



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



Université Echahid Hamma Lakhdar El Oued

FACULTÉ DES TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT Génie des procédés et pétrochimie

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : **Sciences et Technologies**

Spécialité : **Génie Pétrochimie**

Et Dans le cadre de décision 1275 pour l'obtention d'un diplôme universitaire -
startup-brevet

Thème

**Phénomène de corrosion résultant de l'équipement
d'échangeur de chaleur au niveau de traitement des
hydrocarbures**

Présenté par :

Bettayeb Lahcen & keddar Aya & Khelifi Kelthom & Madani Farouk

Dr. Hamami Hadia

U.H.L. El Oued

Président

Dr. Oucif khaled Mohamed Tayeb

U.H.L. El Oued

Examineur

Dr. Miloudi Abd Elmonem

U.H.L. El Oued

Représentant INCUBATOR

Dr. Belghit Mohamed yazid

U.H.L. El Oued

Promoteur

Dr. Redjeb Youcef

U.H.L. El Oued

Représentant CATI

Année universitaire 2022/2023

Rremerciement



Remerciement

Avant de présenter ce travail, tout d'abord, nous tenons à remercier notre grand seigneur Dieu tout puissant pour nous avoir donné la foi en Lui, d'avoir éclairé notre route et de nous avoir guidé dans le meilleur et le bon chemin.

Nous tenons à remercier notre encadreur Dr. BELGHIT Mohamed Yazid qui nous a fait l'honneur de diriger ce travail de fin d'étude.

Nous adressons également notre profonde gratitude à tous les enseignants d'université El-Chahid Hamma Lakhdar en particulier ceux du département

" Génie des Procédés et Pétrochimie " qui nous ont enseigné et qui par leur compétence nous ont soutenues dans la poursuite de nos études ; votre enseignement a porté ses fruits.

*Nous remercions **Mr. BOUHAFS Mourad***

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué



بسم الله الرحمن الرحيم

(قل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون)

إلى من كلله الله بالهبة والوقار . . إلى من علمني العطاء بدون انتظار . . إلى من
أحمل أسمه بكل اقتنار . . أرجو من الله أن يمد في عمرك لترى ثمارا قد حان قطافها
بعد طول انتظار وستبقى كلماتك نجوم أهتدي بها اليوم وفي الغد وإلى الأبد . . . والذي
العزير.

إلى مالكي في الحياة . . إلى معنى الحب وإلى معنى الحنان و التفاني . . إلى بسمة
الحياة وسر الوجود إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى أغلى
الحبيب . . . أمي الحبيبة ، و إلى كل اخوتي دون استثناء حفظهم الله .

قدار آية





"وما توفيتي إلا بالله عليه توكلت وإليه أنيب"

سبحان الله الذي أنار درسي وكان سببا في توفيتي.

أهدي هذا الإنجاز في حصولي على درجة الماجستير، إلى والديا

الكريمين، و اخوتي وأبنائهم، وإلى كل من علّمني حرفا، وكل

من ساندني ولو بكلمة طيبة، كما لا أنسى القريبين من قلبي كل

شخص باسمه.

خليفة كلثوم



أهدي الى امي وأبي واخوتي،

والعائلة الكريمة والاصدقاء

والأحباب.

حسن .

Sommaire

Liste des tableau

Liste des figure

Introduction général	1
----------------------------	---

Chapitre I: Les échangeurs de chaleur et Généralités sur la corrosion

Généralité du échangeur de chaleur	3
I.1.Introduction	3
I.2.Définition:	3
I.3. Différents types d'échangeurs des chaleurs :	4
I.3.1 Récupérateurs et Régénérateurs :	4
I.3.2Processus de transfert.....	6
I.3.3Géométrie de construction :	7
I.3.3.1 Echangeurs tubulaires :	7
I.3.3.2 Echangeur double tube :	8
I.3.4 Mécanismes de transfert de chaleur :	10
I.3.5 Arrangements de flux :	11
I.4. Critères du choix de l'ordre de passage des fluides :	12
I.5. Généralités sur la corrosion	13
I.5.1. Définition de la corrosion :	13
I .5.2. Réaction de corrosion :	13
I.5.3. Différentes formes de corrosion (caractérisation suivant l'aspect du métal) :	14
I.5.4. Classification de la corrosion (caractérisation suivant le mode d'action du milieu)	15
I. 5.6. Corrosion rencontrée dans les installations pétrolière :	17
I. 5.7. Aspects généraux de la corrosion.	19
I. 5.8. Principaux facteurs de la corrosion	19

Chapitre II :Les problèmes des échangeurs de chaleur et solutions précédentes proposées

II.1. Problèmes de fonctionnement de l'échangeur de chaleur :	23
II.1.1. L'encrassement :	23
A. Corrosion:	23
II.1.2. Vibrations :	27
II.1.3. Problème de tenue mécanique :	27
II.1.4. Problèmes de pression :	29
II.1.5. Mauvais équilibrage des débits :	29
II.1.6. Corrosion :	29
II.1.7. Les fuites :	31
II.1.8. Problèmes de température :	32
II.2. Protéger les échangeurs de chaleur de la corrosion :	33
II.2.1. Revêtements protecteurs :	33
II.2.2. Matériaux résistants à la corrosion :	34
II.2.3. Anodes sacrificielles :	35
II.2.4. Inhibiteurs de corrosion :	36
II.2.4.1. Utilisations industrielles courantes :	36
II.2.4.2. Propriétés des inhibiteurs:	36
II.2.4.3. Classes des inhibiteurs:	36
II.2.5. Surveillance de la corrosion :	39

Chapitre III: les effet des base de Schiff contre la corrosion.

Introduction.....	44
III.1. Définition d'une Base de Schiff :	44
III.2. Synthèse :	45
III.3. Classification des bases de Schiff :	45
III.4. Application des bases de Schiff:	46
III.4.1. Dans le domaine industrielle :	47
III.6. Inhibition de la base de Schiff sur le comportement de l'acier doux dans le milieu acide :	60
III.7. Mécanisme d'inhibition de la corrosion	60

Liste des tableaux

Tableau I.1:	Classification du taux de corrosion (A. Maurel, 2006)	17
Tableau I.2:	Principaux facteurs de corrosion	23
TableauII.1 :	Actions envisageable pour limiter l'encrassement dans les échangeurs	30
TableauIII.1:	études sur l'effet des complexes métalliques comme inhibiteurs de corrosion pour l'acier en solution acide	67
TableauIII.2:	Les points forts de ces activités de recherche rapportées sont décrits	68

Liste des figures

FigI.1:	Quelques Des exemples du type récupérant des échangeurs.	6
FigI.2	Échangeurs de chaleur de type contact indirect: (a) échangeur de chauffage à double tuyau; (b) type feceam calandre échangeur de chaleur	7
Fig.I.3:	Échangeurs de chaleur de type contact direct: (a) condensateur de tray ; (b) condenser à pulvérisation	7
Fig.I.4:	Principe de l'échangeur tubulaire	9
Fig.I.5.	Échangeur « double tubes »	10
Fig.I.6:	Échangeurs à plaques	10
Fig.I.7:	Échangeurs à spirale	11
Fig.I.8:	Flux parallèle 4 Co-courant)	13
Fig.I.9 :	Flux contre-feux (contre-courant)	14
FigI.10:	Le Cross-Flow (courants croisés)	14
Fig.I.11:	forme de corrosion	15
Fig.I.12:	la forme de corrosion uniforme et corrosion localisée d'un métal	17
Fig.I.13:	corrosion chimique	18
Fig.I.14:	Exemple de bactéries responsable de la corrosion bactérienne et corrosion dentaire	20
Fig.I.15:	une pipe en acier au carbone attaquée par un acide minéral fort	21
Fig.II.1:	Echangeur propre (à droite) et échangeur sale (à gauche)	27
Fig.III.1:	schéma d'une Réaction générale de formation d'une base de Schiff	50
Fig.III.2:	Synthèse des bases de Schiff	51
Fig.III.3:	Aldimine primaire et secondaire	51
Fig.III.4:	Cétimine primaire et secondaire	52
Fig.III.5:	Modes d'adsorption des inhibiteurs organiques sur une surface métallique : (1) Adsorption simple ; (2) Chélation de surface ; (3) Pontage de surface ;(4) Adsorption en multicouche	56
Fig.III.6:	Structure des ligands bases de Schiff (G. G. Mohamed et al.)	62
Fig.III.7:	Structure des bases de Schiff synthétisés par L.	63
Fig.III.8	Structures chimiques des bases de Schiff étudié comme	64

inhibiteurs de corrosion

Introduction general

Au cours du quart de siècle passé, l'importance des échangeurs de chaleur a augmenté énormément du point de vue de la conservation de l'énergie, la conversion, la récupération et la mise en œuvre réussie des nouvelles sources d'énergie.

Dans les sociétés industrielles, l'échangeur de chaleur est un élément essentiel de toute politique de maîtrise de l'énergie. On l'utilise principalement dans les secteurs de l'industrie (chimie, pétrochimie, sidérurgie, agroalimentaire, production d'énergie), du transport (automobile, aéronautique), et aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation). Lors de l'exploitation des échangeurs de chaleur, le problème de fonctionnement le plus souvent rencontré c'est le phénomène de la corrosion. Dans les pays industrialisés, les coûts de la corrosion représentent trois à quatre pour-cent du produit national brute. [1]

La corrosion n'est pas seulement une source de gaspillage de matières première et d'énergie, mais elle peut aussi, provoquer des accidents aux conséquences graves et dans certains cas, contribuer à la pollution de l'environnement naturel.

Pour cela, il est important de présenter dans ce travail des aperçus sur les principaux types et formes de corrosion les plus rencontrés dans le domaine pétrolier et plus particulièrement le type de corrosion présent au niveau du échangeurs de chaleur.[2]

On comprend alors l'intérêt de développer des méthodes anti-corrosion efficaces pour résoudre ces problèmes. Les solutions acides sont largement utilisées dans l'industrie, les principaux domaines d'application étant le décapage ou le nettoyage à l'acide, la stimulation des puits de pétrole et l'élimination de dépôts localisés (tartre non uniformément repart, rouille, dépôts bactériens, etc....). D'autre part, les acides sont largement utilisés dans de nombreux procédés de synthèse industrielle. Du fait de l'agressivité de ces solutions acides, l'utilisation des inhibiteurs de corrosion est devenue indispensable pour limiter l'attaque des matériaux métalliques. Cependant, les méthodes utilisées pour inhiber la corrosion doivent être évaluées en fonction des paramètres particuliers du système, car les mesures préventives, utilisées avec succès dans un environnement donné, peuvent être néfastes dans d'autres conditions. Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion de métaux. Les composés organiques contenant des liaisons insaturées et /ou des atomes polaires

comme O, N, S et P, sont généralement considérés comme étant des inhibiteurs de corrosion efficaces.

Les bases de Schiff ont ainsi des propriétés inhibitrices importantes en raison de la présence du groupement ($-C=N-$). Les calculs chimiques quantiques et l'utilisation des simulations dynamiques moléculaires sont des outils utiles et modernes pour étudier l'interaction entre les inhibiteurs et la surface métallique.[3]

Le contenu du mémoire est divisé en 3 chapitres :

Le premier chapitre est consacré sur les échangeurs de chaleur, des généralités sur le phénomène de corrosion.

Le deuxième chapitre résumé Les problèmes des échangeurs de chaleur et solutions précédentes proposées.

Le dernier chapitre est consacré à une mise au point bibliographique sur la synthèse des bases de Schiff et leur l'inhibition de la corrosion.

Le mémoire est couronné par une conclusion générale qui résume les résultats les plus importants mis en évidence tout en évoquant quelques perspectives.

Chapitre I

Les échangeurs de chaleur et Généralités sur la corrosion

Généralité sur échangeur de chaleur

I.1.Introduction

Les échangeurs de chaleur sont des dispositifs qui assurent l'échange d'énergie thermique entre deux fluides ou plus à des températures différentes. Les échangeurs de chaleur sont utilisés dans une grande variété d'applications. Il s'agit notamment de la production d'électricité; industries de transformation, chimiques et alimentaires; électronique; ingénierie environnementale; récupération de la chaleur perdue; industrie manufacturière; et la climatisation, le refroidissement et les applications spatiales.

Le cycle thermique d'une unité consiste toujours à porter l'alimentation à haute température, puis à refroidir les produits obtenus à une température suffisamment basse pour les envoyer dans les conteneurs de stockage. La valeur des calories, libérées dans le four de chauffage de la charge, constitue souvent l'un des éléments prépondérants du prix de retour de la fabrication; c'est pourquoi, on s'attache à réduire au maximum ce poste, en réalisant un circuit de récupération de chaleur entre l'alimentation froide et les effluents chauds de l'installation. L'équipement de récupération est constitué d'appareils tubulaires d'échange de chaleur. Les échangeurs de chaleur peuvent être classés selon les critères principaux suivants [4] :

1. Récupérateurs/Régénérateurs
2. Processus de transfert : contact direct et contact indirect
3. Géométrie de construction : tubes, plaques et surfaces étendues
4. Mécanismes de transfert de chaleur : monophasé et biphasé
5. Dispositions de flux : flux parallèles, à contre-courant et croisés

I.2.Définition:

Il s'agit d'un équipement dans lequel l'échange de chaleur entre deux fluides de processus est effectué. Rappelons que, indépendamment du niveau thermique auquel ils se trouvent lorsqu'ils circulent dans les échangeurs, le fluide qui cède de la chaleur est appelé « fluide chaud » tandis que celui qui Il s'agit de « fluide froid ».[5]

I.3. Différents types d'échangeurs des chaleurs :

I.3.1 Récupérateurs et Régénérateurs :

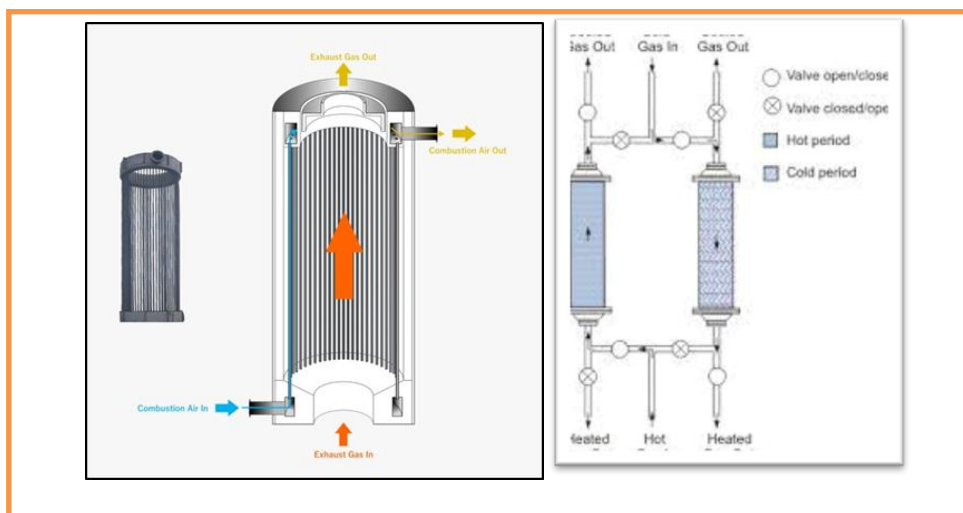
L'échangeur de chaleur conventionnel, montré diagramme magiquement à la (Figure.I.1).1a avec transfert de chaleur entre deux fluides, est appelé un récupérateur parce que le flux chaud.

A récupère (récupère) une partie de la chaleur du flux B. Le transfert de chaleur se produit à travers un mur de séparation ou à travers l'interface entre les courants comme dans le cas des échangeurs de chaleur de type contact direct (Figure.I.2.).

Quelques Des exemples du type récupérant des échangeurs sont présentés dans la (Figure.I.1).

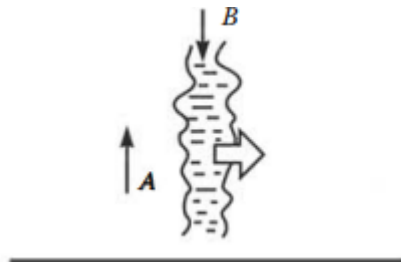
Dans les régénérateurs ou les échangeurs de chaleur de type stockage, le même passage (matrice) est occupée alternativement par l'un des deux fluides. Les boutiques chaudes fluides l'énergie thermique dans la matrice; pendant le flux de fluide froid à travers le Échangeurs de chaleur : sélection, classement et conception thermique, troisième édition

- Récupérateurs et Régénérateurs:

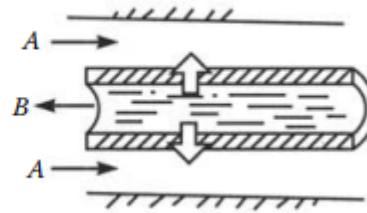


Chapitre I: Les échangeurs de chaleur et Généralités sur la corrosion

- Contact direct / transfert de chaleur transmuter:

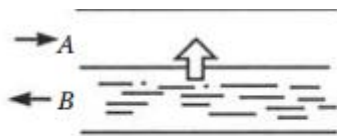


c) Transfert de chaleur de contact direct
Transfert de chaleur à travers
Interface entre les fluides

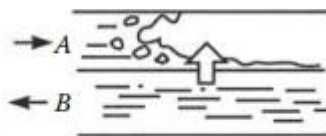


d) Transfert de chaleur
Transfert de chaleur à travers
Murs : fluides non en contact

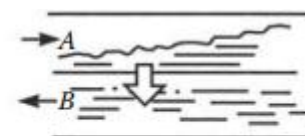
- Single phase / deux phases:



(e) Single phase

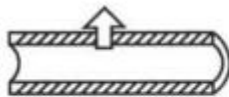


(f) Evaporation

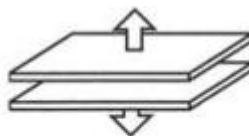


(g) Condensation

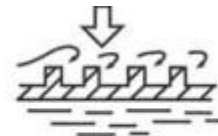
- Géométrie:



(h) Tubes

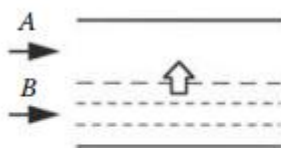


(i) Plates

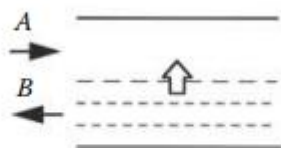


(j) Enhanced surfaces

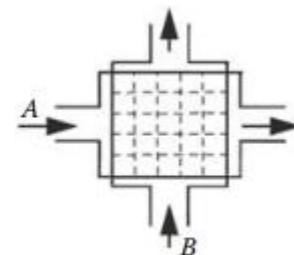
- Les arrangements de flux:



(k) Parallel flow



(l) Counter flow



(m) Cross flow

Figure I.1: Quelques Des exemples du type récupérant des échangeurs.

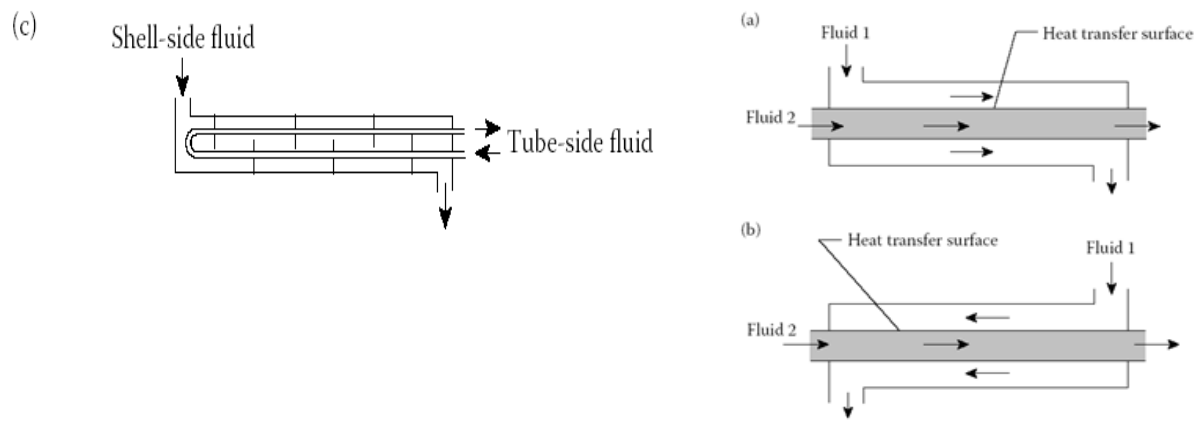


Figure I.2 : Échangeurs de chaleur de type contact indirect : (a) échangeur de chauffage à double tuyau ; (b) type Shell-and-tube échangeur de chaleur.

I.3.1.1. Processus de transfert

Selon les processus de transfert, les échangeurs de chaleur sont classés comme type de contact et type de contact indirect (transmuera transfert thermique).

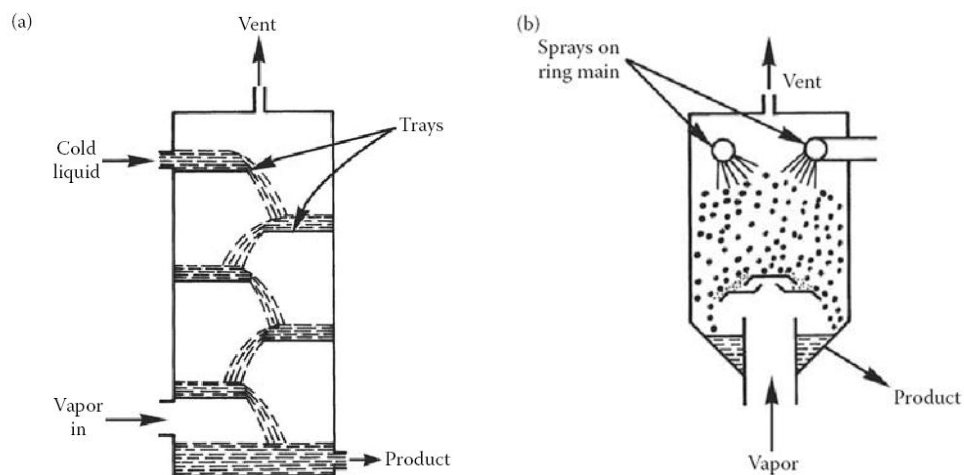


Figure. I. 3 : Échangeurs de chaleur de type contact direct: (a) condensateur de tray ; (b) condenser à pulvérisation.

Échangeurs de chaleur de type contact direct, la chaleur est transférée entre le froid et des fluides chauds par contact direct entre ces fluides. Il n'y a pas de mur entre les courants chauds et froids, et le transfert de chaleur se produit à travers le l'interface entre les deux courants, comme illustré dans la (Figure I.1). En contact direct- échangeurs de chaleur, les courants sont deux liquides immiscibles, un gaz-Une paire liquide, ou une combinaison de particules solides. Spray et traie condensateurs (Figure .I. 2) et les tours de refroidissement sont de bons exemples de tels échangeurs de chaleur.

Très souvent dans de tels échangeurs, le transfert de chaleur et de masse se produisent simultanément. Dans une tour de refroidissement, un spray d'eau tombant du haut de la tour est directement contacté et refroidi par un courant d'air qui coule vers le haut.

Dans un échangeur de chaleur de contact indirect, l'énergie thermique est échangée entre les fluides chauds et froids à travers une surface de transfert de chaleur, c'est-à-dire un mur séparant Les deux fluides. Les fluides froid et chaud coulent en même temps que le l'énergie thermique est transférée à travers un mur de séparation, comme illustré dans Tableau.I.1. Les fluides ne sont pas mélangés. Exemples de ce type d'échangeurs de chaleur .Elles sont présentées à la (Figure .I.1).

Les échangeurs de chaleur de contact indirect et de transfert direct sont également appelés récupérateurs.

I.3.1.2.Géométrie de construction :

Les échangeurs de chaleur de type transfert direct (échangeurs transmetteurs) sont souvent décrites en termes de caractéristiques de leur construction. La plus grande construction. Les types sont des échangeurs de chaleur tubulaires, de plaque et de surface étendue

I.3.1.2.a Echangeurs tubulaires :

Les échangeurs tubulaires encore près de la moitié des échangeurs thermiques vendus en France et en Europe. Cela montre un désavantage spécifique : certains SLI ne feront que faciliter une meilleure relation avec le fabricant. ILS peut être utilisé pour la pression électrique intense et la température. Leur robustesse et fiabilité Lear compenser les seigneurs Lear

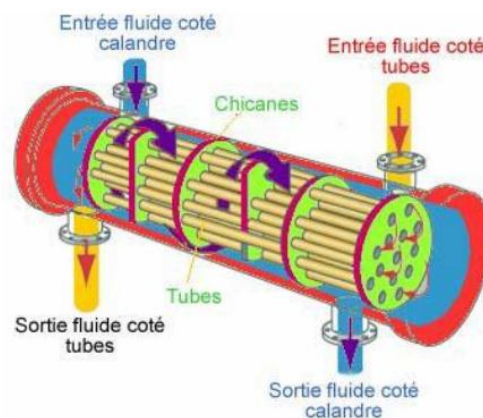


Fig.I.4 : Principe de l'échangeur tubulaire

Le plus savant on spécialité :

- les échangeurs monotubes pour les cules le tube est place dans un réservoir;
- les échangeurs coaxiaux pour les cules les tubes sont le plus savant sinters;
- les échangeurs multitubulaires :

a) les échangeurs à Tubes ailettes qui permettent d'Emilio le coefficient d'échange: lorsque l'un des fluides transitant dans l'échangeur s'avère moins bon lcloporteiliutations.

b) les échangeurs à tubes et calandre où la calandre est un enveloppe métallique cylindrique entourant un fascié de tubes: Ils ne boit de distribution c'est à dire un dispositif que distribue o recrute tubes. Ils peuvent être à boîte fixe à boîte flottante ou à tubes en U avec une boîte à chaque extrémité de l'échangeur. It supports Les Tubes Prévente Etre Par des Chicanes.[1]

I.3.1.2.b Echangeur double tube :

Ces échangeurs sont constitués d'éléments rectilignes de deux tubes concentriques reliés à leurs extrémités par des coudes. Les différents éléments sont tous assemblés par des raccords à démontage rapide, et le remplacement des tuyaux est possible .

Les problèmes de dilatation thermique et d'étanchéité entre le tube intérieur et le tube extérieur sont résolus par l'utilisation de la presse étoupe ou du joint torique.



Fig.I.5. Échangeur « double tubes »

I.3.1.2.c Échangeurs à plaques :

Ce sont des échangeurs composés d'un nombre variable de plaques disposées côte à côte et séparées par un espace. Les fluides chauds et les fluides froids circulent en passages alternants, chaque fluide froid est entouré de deux fluides chauds, et vice versa. En raison de leur compacité, ces échangeurs permettent une grande surface d'échange dans un volume limité.

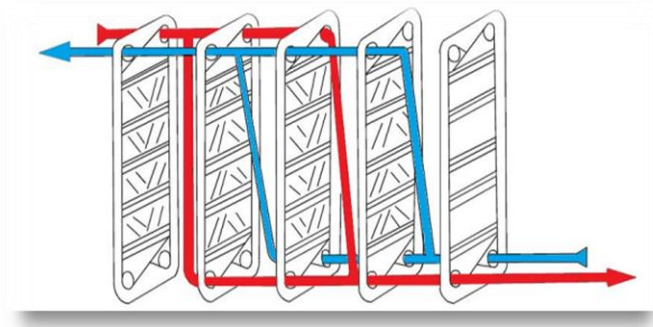


Fig.I.6 : Échangeurs à plaques.

I.3.1.2.d Échangeurs à spirale :

Un échangeur à spirales se compose de 2 plaques métalliques enroulées de manière hélicoïdale pour former une paire de canaux en spirale. Le diamètre de l'échangeur est relativement grand, avec une surface d'échanges maximale d'environ 450 m² pour un diamètre de 3 m, ce qui le place dans la catégorie des échangeurs non compacts.

Il est utilisable pour les liquides visqueux ou pour les mélanges liquide-solide et possède une capacité d'auto-nettoyage garantissant une impureté réduite par rapport à l'échangeur à faisceau tubulaire. Il ne peut travailler qu'avec des différences de température et de pression des limites.[3]

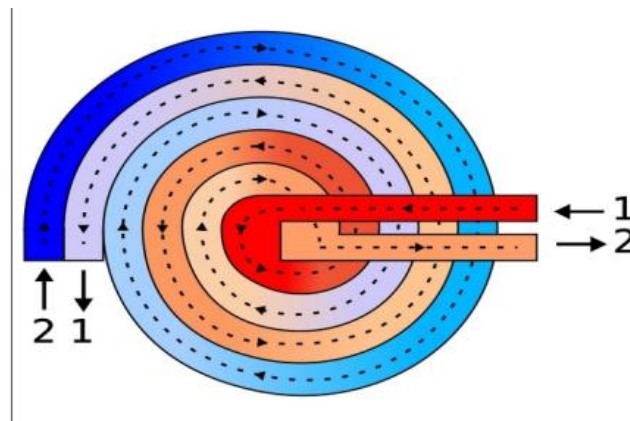


Fig.I.7 : Échangeurs à spirale

I.3.1.2.e Échangeurs tubulaires à faisceau et calandre :

- Ce type d'échangeur est le plus répandu dans les unités de transformation des industries chimiques et pétrochimiques. Un faisceau de tubes est situé à l'intérieur d'une calandre dans laquelle circule le deuxième fluide. Cette conception se retrouve également dans les condensateurs, les rebondisses et les fours multitubulaires.

- Le faisceau est monté en deux plaques en communication avec des boîtes de distribution qui assurent la circulation du fluide à l'intérieur du faisceau en plusieurs passages. Le faisceau muni de chicanes est logé dans une calandre possédant des tuyaux d'entrée et de sortie pour le deuxième fluide circulant à l'extérieur du faisceau tubulaire
- Selon un chemin imposé par les chicanes.
- La construction de ces échangeurs ont fait l'objet d'une normalisation, à la fois par la T.E.M.A. (Tubulaire Echanger Manufacturers Association) que l'A.S.M.E. Société américaine des mécaniques gâchées (A.P.I. (Institut américain des pétroliers).
- La calandre est généralement fabriquée en acier au carbone dont les brides portant les boîtes de distribution et la couverture sont soudées. Les tubes du faisceau répondent à des spécifications très strictes.
- Le choix du matériau dépend de son utilisation :
- Acier au carbone pour usage courant.
- Laiton pour les appareils travaillant avec de l'eau de mer.
- Acier allié pour les produits corrosifs à haute température.
- Aluminium et cuivre pour des températures très basses.

I.3.1.3 Mécanismes de transfert de chaleur :

Les équipements d'échangeur de chaleur peuvent également être classés selon le transfert de chauffage. Les mécanismes comme :

- Convergence de phase unique des deux côtés
- Convection à deux phases sur un côté L'autre côté
- Convergence en deux phases des deux côtés

Les principes de ces types sont illustrés dans la (figure I.1). Étiquette I.1 et I.2 illustrent deux modes possibles d'échangeurs de chaleur de flux à deux phases. à la (figure I.1), le fluide A est évaporé, recevant de la chaleur du fluide B, et dans(Figure I.1), le liquide A est condensé, donnant de la chaleur au liquide B. Dans les échangeurs de chaleur, tels que les économiseurs et les chauffe-air dans les chaudières, le compresseur intercoolers, radiateurs automobiles, régénérateurs, refroidisseurs à huile, espace chauffages, etc., la convection en phase unique se produit des deux côtés. Les condensateurs· chaudières, générateurs de vapeur utilisés dans les réacteurs à eau sous pression (PWR) et les centrales électriques, les évaporateurs et les radiateurs utilisés

dans la climatisation et le chauffage de l'espace comprennent les mécanismes de condensation, d'ébullition et radiation sur l'une des surfaces de l'échangeur de chaleur.

Deux phases de chaleur Le transfert peut également se produire des deux côtés de l'échangeur de chaleur tels que la condensation.d'un côté et bouillant de l'autre côté du transfert de chaleur de surface. Cependant, sans changement de phase, nous pouvons également avoir une phase à deux mode de transfert de chaleur de flux comme dans le cas des lits fluidisés où un mélange de gaz et de particules solides transportent la chaleur vers ou à partir d'un transfert de chaleurs de surface.

I.3.1.4 Arrangements de flux :

Les échangeurs de chaleur peuvent être classés selon le parcours de fluide à travers. L'échangeur de chaleur. Les trois configurations de flux de base sont les suivantes:

1. Flux parallèle.
2. Contre-feux.
3. Le Cross-Flow.

Dans les échangeurs de chaleur de flux parallèle, les deux flux de fluide entrent ensemble à d'un bout, traverser dans la même direction, et laisser ensemble à l'autre end (Figure I.8). [4]

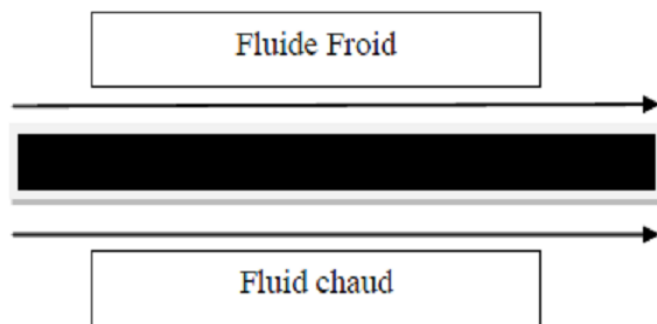


Fig.I.8: Flux parallèle 4 Co-courant)

Dans les échangeurs de chaleur contre-feux, deux flux de fluide Des directions opposées (Figure I.9)

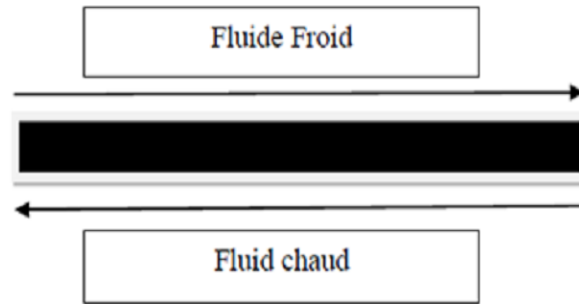


Fig.I.9 : Flux contre-feux (contre-courant)

Dans un seul échangeur de chaleur de flux croisé (Figure I.10), un flux de fluide à travers la surface de transfert de chaleur à des angles droits vers le parcours de flux de l'autre fluide. des flux croisés avec les deux fluides non mélangés.

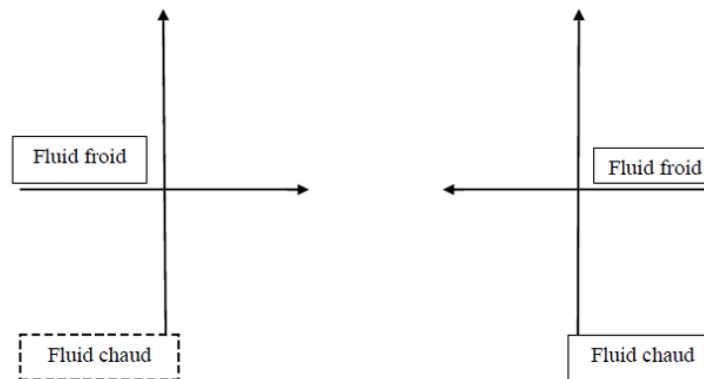


Fig. I.10 : Le Cross-Flow (courants croisés)

I.4. Critères du choix de l'ordre de passage des fluides :

- ✓ Eau de refroidissement (autant que possible pour obtenir une évacuation par convection naturelle).
- ✓ Fluides soumis au moindre écart de température (pour les grands écarts de température $> 100^\circ$, tout le faisceau doit pouvoir se dilater, donc le fluide change de côté).
- ✓ Fluide le plus corrosif (coût de remplacement du tube inférieur à celui du remplacement du boîtier).
- ✓ Fluide le plus sale (l'intérieur du tube est plus facile à nettoyer que le faisceau extérieur).

- ✓ Fluide à haute pression (l'épaisseur et l'endommagement de la canalisation seront moindres).
- ✓ Liquide avec le débit volumétrique le plus faible (nous avons augmenté le facteur de ce côté).
- ✓ Fluides moins visqueux (plus facile d'augmenter le coefficient d'échange de ce côté du tube).[5]

I.5. Généralités sur la corrosion

I.5.1. Définition de la corrosion :

Le nom « corrosion » vient du latin « corroder » signifie nécrose, attaquer. Il s'agit d'une destruction indésirable de minéraux sous le mouvement de milieux corrosifs (détaillants atmosphériques ou réactifs chimiques), après l'attaque

Evans, puis Wagner et Trude ont été les premiers à identifier la corrosion en présence de Phase liquide, en tant que processus électrochimique.

C'est un phénomène naturel qui tend à ce que les ré-métaux tendent à revenir à leur état primitif d'oxyde, de sulfure, de carbonate, etc., plus solides par rapport au milieu considéré et donc sujets à la détérioration de leurs propriétés .[6]



Fig.I.11: forme de corrosion.

I .5.2. Réaction de corrosion :

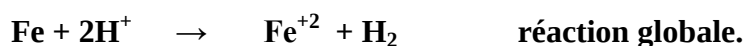
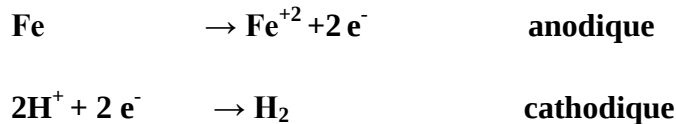
La corrosion des métaux est due à une rémovement d'oxydoréduction irréversible entre le métal et un agent oxydant contenu dans l'environnement, selon l'équation globale suivante :



Chapitre I: Les échangeurs de chaleur et Généralités sur la corrosion

Toute réaction d'oxydoréduction se compose de deux réactions partielles: la réaction partielle d'oxydation ou réaction partielle anodique, et réaction partielle de réduction ou réaction partielle cathodique.

EX :



I.5.3. Différentes formes de corrosion (caractérisation suivant l'aspect du métal) :

Une des classifications importantes du phénomène de la corrosion peut sur l'état de surface du métal a analysé, on distingue deux type de corrosion généralisée ou localisée.

a. Corrosion généralisée (corrosion uniforme) :

La forme la plus classique de corrosion; mais pas toujours la plus importante en termes économiques ou sécuritaires. Elle se caractérise par l'existence de plusieurs processus électrochimiques individuels qui se produisent uniformément sur toute la surface considérée ; toute la surface est simultanément cathode et anode. Elle se traduit en diminution d'épaisseur si les produits de corrosion sont solubles , ou par un dépôt uniforme s'ils ne le sont pas. [7]

b. Corrosion localisée :

La corrosion localisée est la forme la plus insidieuse. Elle survient sur une partie du métal qui représente un lieu spécifiquement anodique, clairement distingué, dont la surface est très faible devant le reste de la structure métallique qui constitue la zone cathodique

Corrosion qui se déroule en un lieu spécifiquement anodique d'une surface ou d'une Shape métallique.[8]

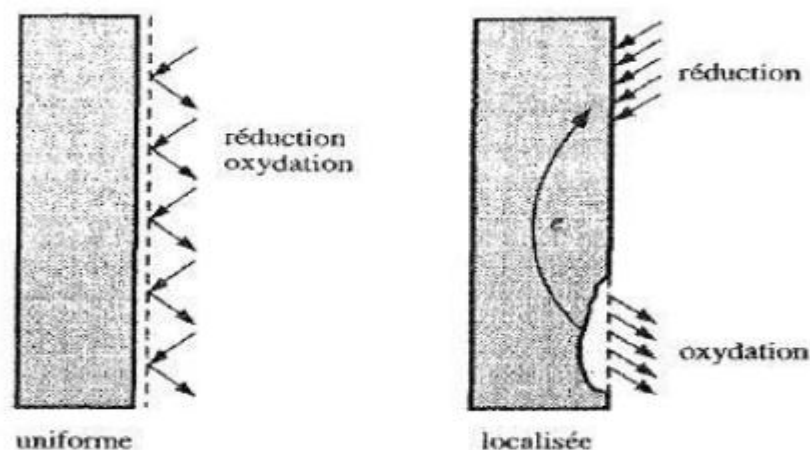


Fig.I.12 : la forme de corrosion uniforme et corrosion localisée d'un métal.

Tableau.I.1 : Classification du taux de corrosion (A. Maurel, 2006)

Taux de corrosion	Classification
< 0,05 mm/an	Excellent
0,05 à 0,130 mm/an	Bon
0,130 à 1,25 mm/an	Satisfaisant
> 1,25 mm/an	Non satisfaisant

I.5.4. Classification de la corrosion (caractérisation suivant le mode d'action du milieu)

Selon la nature du milieu environnant avec lequel le matériau rentre en interaction, la corrosion peut être classée en trois grandes classes : chimique, électrochimique et bactérienne.

a. corrosion chimique :

Au cours de la corrosion chimique, l'oxydation du métal et la réduction de l'oxydant se fait en une seule action. C'est la réaction entre le métal et une phase gazeuse ou liquide. Si cette corrosion se produit à haute température elle est alors appelée « corrosion sèche » ou corrosion à haute température. Ce type de corrosion, se rencontre sur tout dans les fours, les chaudières et les turbines à gaz. [9]



Fig.I.13 : corrosion chimique.

b. Corrosion électrochimique :

La corrosion électrochimique, appelée encore corrosion humide, Elle se produit lorsqu'il existe une hétérogénéité dans le métal ou dans le réactif, Autrement appelée corrosion humide; la corrosion électrochimique représente par ailleurs la grande majorité des problèmes de corrosion rencontrés car liée à la présence de l'eau au contact des métaux. C'est le cas en particulier des environnements naturels, L'existence de ces hétérogénéités détermine la formation d'une pile, alors un courant électrique circule entre anodes et cathodes dans le réactif et les zones qui constituent les anodes sont attaquées (corrodées).

La corrosion électrochimique d'un matériau correspond à une réaction d'oxydoréduction, dont :

- La réaction d'oxydation d'un métal est appelée réaction « anodique »,
- La réaction de réduction d'un agent oxydant est appelée réaction « cathodique ».

Dans la corrosion électrochimique, la réaction cathodique et la réaction anodique sont indissociables. [10]

c. corrosion bactérienne :

Ce type de corrosion, appelé aussi bio-corrosion, rassemble tous les phénomènes de corrosion dans lesquels les bactéries agissent directement ou par l'intermédiaire de leur métabolisme en jouant un rôle primordial, soit en accélérant un processus déjà établi, soit en créant les conditions favorables à son établissement.

C'est l'attaque bactérienne des métaux en particulier dans les canalisations enterrées. Le mécanisme de ce mode de corrosion peut être de plusieurs types.

- Chimique par production de substances corrosives telles que CO_2 , H_2S , H_2SO_4 , NH_3 ou d'un acide organique, le cas le plus répandu est celui rencontré dans les canalisations enterrées et déterminé par la formation d'acide sulfurique qui attaque le métal.
- Certaines bactéries peuvent réduire les sulfates par l'intermédiaire d'hydrogène.[11]

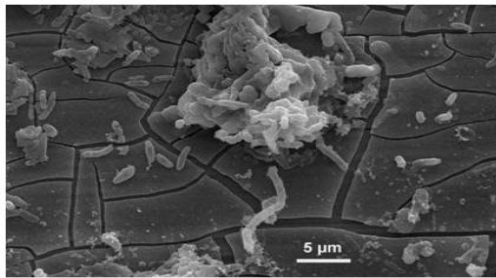


Fig.I.14 : Exemple de bactéries responsable de la corrosion bactérienne et corrosion dentaire.

I. 5.6. Corrosion rencontrée dans les installations pétrolière :

La Corrosion dans l'industrie pétrolière et gazière est le résultat de l'action des matériaux corrosives présentes dans le pétrole brut. Divers facteurs doivent être pris en compte pour résoudre les problèmes de corrosion de l'industrie pétrolière et gazière.

Le kind de roches réservoirs, les acides utilisés pour la corrosion stimulation, les équipements de puits de pétrole tels que les tubings et les cuvelages et les situations de fonctionnement sont quelques facteurs importants qui affectent la corrosion. Les facteurs qui causent la corrosion dans les installations industrielles sont :

A/ Le CO₂ dont la fonction est d'abaisser le pH provoquant une corrosion chimique appelé : corrosion douce ou « Sweet corrosion » dans le cas d'installation de gaz.

B/ L'H₂S qui provoque des phénomènes de corrosion varies suivant la nature des métaux et les conditions de production [12] .

Acidification des puits de pétrole

L'acidification de puits de pétrole, généralement effectuée avec des solutions d'acide chlorhydrique, peut provoquer une grave attaque de la corrosion sur les tubes de production, les outils pour forage et le tubage (Figure I-15). L'acide chlorhydrique (HCl) est un type d'acide couramment utilisé dans les puits pour stimuler la production. Ils sont utiles pour éliminer les gisements carbonatés. De plus, HCl peut être combiné avec un acide de boue ou de l'acide fluorhydrique (HF) et utilisé pour dissoudre le quartz, le sable et l'argile des roches du réservoir . [13]

La réaction acide peut être représentée par l'équation suivante :

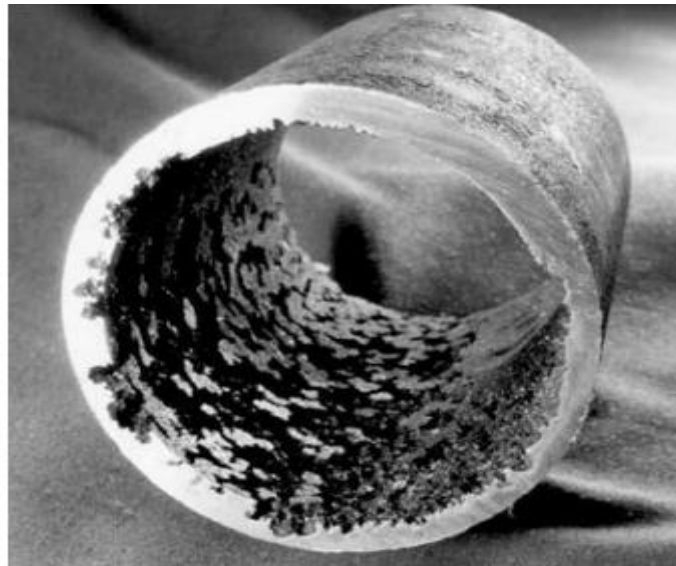
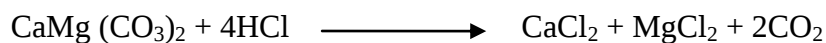
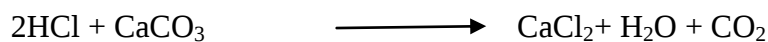


Fig.I.15 : une pipe en acier au carbone attaquée par un acide minéral fort

I. 5.7. Aspects généraux de la corrosion.

Le phénomène de corrosion a plusieurs effets, y compris directs et indirects, dont certains sont mentionnés sous forme de points :

- Production interrompue
- Coût des réparations à effectuer, pièces de rechange.
- Coût de l'entretien et du contrôle (mise en peinture, protection cathodique)
- Coût dû à l'utilisation de matériaux plus nobles,
- Augmentation des coefficients de sécurité,
- Contamination des matières premières par des matériaux usagés pour protéger contre la corrosion. [14]

I. 5.8. Principaux facteurs de la corrosion

Le phénomène de corrosion dépend d'un nombre de facteurs généralement en relation les uns avec les autres. Ces facteurs peuvent être d'origine interne ou externe, à savoir : [15]

Tableau.I.2: Principaux facteurs de corrosion.

Facteurs du milieu Corrosif	Facteurs définissant les conditions d'emploi	Facteurs métallurgiques	Facteurs dépendant du temps
-pH du milieu -Température -Pression concentration de réactif. -Teneur en oxygène -Présence de bactérie	-Etat de surface -Procédés d'assemblage -Emploi d'inhibiteur -Forme des pièces	-Traitement thermique -Traitement mécanique -Impuretés -Procédé d'élaboration. -composition du alliage.	-Modification des revêtement protecteurs. -Vieillessement -Tension mécanique.

Références bibliographies:

- [1] Bekhouche Manel - Louahem Amina, , Phénomène de corrosion dans les condenseurs. ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES MINES ET METALLURGIE ENSMM – Annaba,
- [2] Daoud Douadi, Issaadi Chafaa, Corros. Sci.79 (2014) page 50-58.
- [3] Delplace, Franck. Identification des échangeurs de chaleur à plaques: application à l'étude de l'encrassement par les produits laitiers. Diss. Université Henri Poincaré-Nancy 1, 1995.
- [4] Formation Industrie - IFP Training, Division 2-1/B ; brochure « MATÉRIEL THERMIQUE : TECHNOLOGIE ET UTILISATION DES ÉCHANGEURS » 2005 ENSPM.
- [5] Laloui, Lyesse, Matteo Moreni, and Laurent Vulliet. "Comportement d'un pieu bi-fonction, fondation et échangeur de chaleur." Canadian Geotechnical Journal 40.2 (2003): 388-402.
- [6] BAADACHE, KHIREDINE. Etude des Performances des Echangeurs de Chaleur à Doubles Tubes Concentriques et Calandre. Diss. University de Batna 2, 2015.
- [7] Fontana, "Corrosion Engineering", Edit. MC GAW-Hill Book, New York. (1986).
- [8] BOUTELDJA, Malika. Contribution à l'étude de l'utilisation des inhibiteurs dans la lutte contre la corrosion. Diss. 2016.
- [9] Cazenave, Florian. Modélisation et simulation de l'encrassement des échangeurs de chaleur pour eaux géothermales. Diss. Pau, 2019.
- [10] Dr. Diha , Cours corrosion , Université Larbi Tébessi Tébessa , Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie Mécanique , Option: Génie Matériaux
- [11] Dr .boudaif moussa , Cours corrosion, université El-Chahid Hama akheder El-Oude , Faculté des Sciences et de la Technologie Département de Génie de procédé et pétrochimique.
- [12] Tahrou, Farouk. Modélisation et optimisation des échangeurs de chaleur à ailettes indépendantes. Diss. UB1, 2016.
- [13] Portevin, Albert, E. Pretet, and H. Jolivet. "Méthodes d'études de la corrosion des métaux et alliages par les gaz à température élevée et leurs applications." Revue de Métallurgie 31.3 (1934): 101-115.
- [14] Dr. DJELLAB Mounir; étude :Corrosion des installations pétrolières : Effet de la synergie des ions iodures et des inhibiteurs naturels sur la protection contre la corrosion de l'acier API 5L X70 en milieux acides. Mémoire Doctorat en Science 2019
- [15] Faiza K., Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasiques (eau, huile et gaz), Université de Boumerdès (Algérie), 2008.
- [16] Landolt, Dieter. Corrosion et chimie de surfaces des métaux. Vol. 12. PPUR presses polytechniques, 2003.

[17] Pr. T. LANEZ , Cours post-graduation ,Université Kasdi Merbah – Ouargla Faculté des sciences Département de physique.

Chapitre II

**Les problèmes des
échangeurs de chaleur et
solutions précédentes
proposées**

II.1. Problèmes de fonctionnement de l'échangeur de chaleur :

Lors du fonctionnement des échangeurs de chaleur, les constructeurs rencontrent souvent des phénomènes liés à l'encrassement, à la corrosion, aux vibrations ou encore à la tenue mécanique des équipements. La résistance mécanique des échangeurs de chaleur peut être considérée comme une question à part, pour ce qui concerne les échangeurs de chaleur à géométries conventionnelles, elle est réglementée par des textes spécifiques et est en passe d'être régie par la normalisation européenne.

II.1.1. L'encrassement :

Les échangeurs de chaleur peuvent accumuler des dépôts de particules, de sédiments ou de produits chimiques présents dans le pétrole brut. Cela réduit l'efficacité du transfert de chaleur et nécessite un nettoyage régulier.

Saleté, dans sa forme la plus générale pouvant être définie comme l'accumulation de solides indésirables aux interfaces, affecte un grand nombre d'opérations industrielles.[1]



Fig.II.1: Echangeur propre (à droite) et échangeur sale (à gauche).

Selon la classification établie en 1978 par Epstein, il existe cinq grands types d'encrassement différents :

- La corrosion.
- L'encrassement biologique.
- L'encrassement par réaction chimique.
- L'entartrage.
- L'encrassement particulaire.

a) Corrosion:

Il est le résultat d'une réaction chimique (ou électrochimique) entre la surface d'échange et le fluide en écoulement, influencée par plusieurs paramètres : la nature du métal, l'état de la surface, la nature et les conditions physico-chimiques de l'agent de gravure (température, débit taux, etc.). Cela se traduit par un encrassement dû aux produits de la réaction qui se déposent sur la surface d'échange (on parle alors de corrosion in situ). En revanche, les produits de corrosion créés ailleurs, entraînent un encrassement particulaire (corrosion ex situ).

b) Entartrage:

Il intervient généralement quand on est en présence d'une production de solution solide à partir d'une solution liquide. Ce phénomène est rencontré surtout dans les échangeurs refroidis à l'eau, dans les unités de dessalement d'eau de mer ou saumâtre, dans les chaudières et les systèmes géothermiques.

c) Encrassement particulaire :

Ce type d'encrassement est lié au phénomène de dépôt, où des particules solides s'accumulent alors sur les surfaces d'échange, emportées par le fluide en écoulement. Ainsi, les eaux de chaudières (produits de corrosion) ou les eaux de tours aéroréfrigérantes (poussières, oxydes et hydroxydes de fer) ou encore les fumées industrielles qui déposent des résidus solides de combustion sont considérées comme des systèmes encrassant particuliers.

d) Encrassement biologique :

Le encrassement biologique est causé par le développement de micro-organismes qui forment un film d'encrassement au contact des surfaces d'échange. Elle peut être causée par trois principaux types de micro-organismes :

- Le développement des algues est dû à la présence d'énergie solaire pour la photosynthèse.
- Champignons qui se développent en raison de changements dans les conditions environnementales telles que l'humidité, la température ou le pH.

Dans certains cas extrêmes, il peut même être caractérisé par l'apparition de coquillages.[2]

e) Encrassement par solidification:

Le gel de liquides purs au contact de surfaces d'échange thermique sous-refroidies peut parfois conduire à la formation d'une couche de glace ou de givre pouvant entraîner

l'encrassement des canalisations. On peut très simplement observer le dépôt d'alcanes (à point de congélation élevé) au contact des surfaces froides d'échange. En fin de compte, un schéma combiné peut en fait être observé, car la plupart des dépôts sont le résultat d'au moins deux types d'encrassement. En conséquence, les échangeurs refroidis à l'eau peuvent souffrir d'encrassement, d'encrassement particulaire et d'encrassement biologique, entre autres.

f) Les paramètres influençant l'encrassement:

Plusieurs paramètres ont été identifiés durant la conception comme ayant une influence directe sur l'encrassement des échangeurs.

Ces paramètres sont :

- Les propriétés des fluides et leurs aptitudes à encrasser
- Le matériau des tubes.
- Les changements saisonniers de température.
- La vitesse d'écoulement et les effets hydrodynamiques.
- Les impuretés et l'étanchéité de l'échangeur.
- Les produits solides en suspension.
- La température et la rugosité de surface.
- La géométrie et l'orientation de l'échangeur.
- Le fluide encrassant du côté tube.
- Le changement de phase (la condensation, la vaporisation).
- L'écoulement côté calandre.

g) Prévention de l'encrassement:

Il existe des procédés mécaniques ou chimiques de prévention de l'encrassement pendant le fonctionnement de l'échangeur. L'objectif de ces procédés est non seulement une amélioration merveilleuse des performances, mais également une augmentation de la durée de vie entre deux arrêts programmés (pour protection). Le tableau suivant représente quelques stratégies utilisées pour prévenir l'encrassement des échangeurs :

TableauII.1 : Actions envisageable pour limiter l'encrassement dans les échangeurs.

Phase fonctionnement	Phase construction et montage	Phase d'arrêt
-Choix de type d'échangeur. -Choix de la géométrie et de la configuration. -Choix des conditions de fonctionnement (Température débit....).	-Assurance qualité sur la fabrication. -Protection pendant le transport et lors du stockage. -Opération de nettoyage et de passivation.	-Démontage et nettoyage manuel -Attaques mécanique du dépôts(perçage) -Nettoyage hydraulique à la lance (vapeur ,air)

Ils sont utilisés principalement dans les secteurs de l'industrie (chimie, pétrochimie sidérurgie, agro-alimentaire, production d'énergie, etc.), du transport (automobile aéronautique), mais aussi dans le secteur résidentiel et tertiaire (chauffage, climatisation, etc...).

Ils constituent donc un des dispositifs clé du thermicien, et sont un composant quasi inévitable dans la maîtrise de l'énergie. Compte- tenu de leurs multiples utilisations, les difficultés rencontrées par les utilisateurs d'échangeurs de chaleur sont diverses et variées. Toutefois, un des principaux problèmes de fonctionnement aux que sils se heurtent a trait aux phénomènes d'encrassement. En effet, l'encrassement reste encore, de nos jours, l'un des phénomènes le moins compris et le moins prédictible de l'industrie.[3]

h) Encrassement par réaction chimique :

Est dû à la présence d'une réaction chimique au voisinage d'une surface d'échange, qui entraîne la formation de produits solides qui se déposent sur cette surface.

Ce type d'encrassement est le plus souvent causé par une réaction de polymérisation qui implique la formation d'un dépôt de haut poids moléculaire. Les vitesses de ces réactions chimiques peuvent être accélérées par des éléments catalyseurs. Cependant, la vitesse globale du mécanisme de dépôt dépend également des phénomènes de surface et de transfert. L'encrassement par réaction chimique est courant dans les industries alimentaires, nucléaires et dans les procédés de raffinage du pétrole. [4]

i) Aspect économique et environnemental de l'encrassement

L'encrassement peut avoir des impacts économiques et environnementaux significatifs. Sur le plan économique, l'encrassement peut entraîner une perte d'efficacité de l'échangeur de chaleur, ce qui peut augmenter les coûts d'exploitation et réduire la durée de vie de l'équipement. Le nettoyage ou le remplacement des échangeurs encrassés peut également être coûteux. Sur le plan environnemental, l'encrassement peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie nécessaire pour maintenir les performances de l'échangeur, ce qui peut entraîner une augmentation des émissions de gaz à effet de serre et d'autres polluants atmosphériques. De plus, le nettoyage des échangeurs encrassés peut générer des déchets dangereux qui doivent être traités correctement pour éviter toute contamination environnementale .[5]

II.1.2. Vibrations :

Est un paramètre important à prendre en compte dans la conception des échangeurs de chaleur au même titre que le transfert de chaleur ou la chute de pression. Outre les aspects classiques (choc, spectre vibratoire) générés par le milieu extérieur, les échangeurs induisent leurs propres vibrations sous l'action du fluide qui les traverse. Ce paragraphe traite essentiellement des efforts dynamiques dus au fluide et de leurs répercussions sur les tubes dans les échangeurs tubulaires et calandrés ; cet aspect de vibration est peu ou pas rencontré dans les autres échangeurs.

Selon le débit du fluide côté coque, le tube vibrant à sa propre fréquence peut se déplacer suffisamment pour entrer en collision. Cela peut entraîner des phénomènes de fatigue et même des fuites ou des ruptures.

Une grande partie du travail consiste à évaluer les paramètres naturels de la conduite (fréquences propres, amortissement), les propriétés hydrauliques du fluide côté calandre et à analyser le couplage fluide/conduite. [6]

II.1.3. Problème de tenu mécanique :

Le choix du matériau doit répondre aux exigences de résistance mécanique et de résistance à la corrosion correspondant aux conditions de fonctionnement. Un cahier des charges précis doit être établi en fonction des ingrédients et des conditions Traitement thermique pour limiter la présence d'inclusions et contrôler l'état.

Microstructure, y compris les zones soudées. Dans les cas où la sensibilisation après traitement thermique est un problème, le choix d'un matériau "stable" est critique. Dans le cas de l'acier inoxydable, utiliser des nuances à faible teneur en carbone

Soit stabilisé avec du titane ou du niobium (résistance carbone plus élevée que le chrome), ce qui peut limiter le risque de déchromassions et donc la susceptibilité à la fissuration intergranulaire.

Il existe plusieurs types de métaux dont nous mentionnons :

a/ Les aciers alliés :

Les aciers « inoxydables » sont des alliages de fer (et de carbone) contenant du chrome (12 % minimum) ou des additions simultanées de chrome et de nickel et souvent un certain nombre d'élément (Mo, Ti, Si, Nb, Ta...) en quantités moindres.

On conçoit alors la grande variété des nuances commerciales d'aciers fortement alliés, variété basée sur des compositions différentes, des états de surface différents, mais aussi sur des traitements thermiques et mécaniques pouvant se traduire par des structures métallurgiques différentes.

Or, c'est souvent cette structure qui conditionne le comportement des aciers inoxydables vis-à-vis de la corrosion.

b/ Les aciers martensitiques au chrome

Ils contiennent de 12 à 20 % de chrome et de 0,1 à 0,5% de carbone (jusqu' à 1% dans certain cas). Les aciers inoxydables martensitiques sont souvent choisis pour leurs propriétés mécaniques élevées et non pour leur résistance à la corrosion, puisque dans les grandes familles d'aciers.

Alliés, ils sont les moins riches en chrome. On les utilise dans des milieux peu ou moyennement agressifs (clapets, soupapes, arbres et ailettes de pompe au contact de l'eau liquide ou vapeur, d'hydrocarbures, de gaz liquéfiés, de boissons alimentaires...).

De tels aciers peuvent alors être employés dans des atmosphères salines (pièces d'accastillage, turbines hydrauliques, domaine aéronautique...).

c/ Les aciers ferriques

Ces aciers ferriques ne contenant pas de nickel et assez peu d'autres éléments d'alliage que le chrome, sont parmi les moins coûteux des aciers alliés. Ils ont des caractéristiques

mécaniques souvent faibles, surtout à chaud. Les nuances riches en chrome peuvent subir cependant un phénomène de durcissement structural à 475 °C : les propriétés mécaniques sont modifiées, l'alliage est plus fragile et peut devenir sensible à la corrosion inter -granulaire.

Pour éviter ce type de corrosion suite à une opération de soudage par exemple, les nuances à 17% de chrome sont généralement stabilisées par addition d'éléments tels que le titane ou le niobium.

Se prêtant assez bien à l'emboutissage et à la conformation à froid, ces aciers inoxydables sont largement utilisés en architecture et décoration (panneaux de façade, toitures...), en construction automobile, en électroménager (machines à laver, couverts, plats, éviers,...).

La famille des super-ferriques se caractérise par une exceptionnelle résistance à la corrosion, localisée (piqûres et crevasses) en milieu marin, ce qui en fait un matériau de choix pour les échangeurs de chaleur utilisant l'eau de mer. [7]

II.1.4. Problèmes de pression :

Les échangeurs de chaleur sont soumis à des pressions élevées dans les usines de traitement pétrolier. Des fluctuations ou des surpressions peuvent entraîner des dommages structurels ou des fuites.

II.1.5. Mauvais équilibrage des débits :

Une distribution inégale des fluides dans les échangeurs de chaleur peut entraîner des problèmes de transfert de chaleur inefficaces. Il est essentiel de s'assurer que les débits sont correctement équilibrés pour optimiser les performances.

II.1.6. Corrosion :

La corrosion est un autre problème courant rencontré dans les échangeurs de chaleur. La corrosion est un processus chimique qui provoque la détérioration des matériaux métalliques en raison de réactions avec l'environnement, généralement en présence d'eau ou d'humidité. Voici quelques aspects liés à la corrosion dans les échangeurs de chaleur :

- **Corrosion galvanique :**

Lorsque deux métaux différents sont en contact dans un échangeur de chaleur et qu'il y a un électrolyte présent (comme de l'eau), une corrosion galvanique peut se

produire. Cela se produit lorsque des courants électriques se forment entre les métaux, conduisant à la corrosion accélérée d'un métal par rapport à l'autre.

- **Corrosion due à la présence de produits chimiques :**

Certains fluides de refroidissement utilisés dans les échangeurs de chaleur peuvent contenir des produits chimiques corrosifs tels que des acides ou des bases. Ces produits chimiques peuvent attaquer les surfaces métalliques et entraîner une corrosion accélérée.

- **Corrosion due à la température et à la pression :**

Les conditions de température élevée et de pression dans les échangeurs de chaleur peuvent également contribuer à la corrosion. Des températures élevées peuvent accélérer les réactions chimiques impliquées dans la corrosion, tandis que des pressions élevées peuvent favoriser la pénétration des agents corrosifs à travers les surfaces métalliques.

- **Corrosion par piqûres :**

La corrosion par piqûres est un type de corrosion localisée qui se manifeste par la formation de petits trous ou de crevasses à la surface du métal. Cela peut se produire en présence de conditions spécifiques, telles qu'une concentration élevée d'ions corrosifs ou une absence d'oxygène, qui favorisent la corrosion localisée.

La corrosion dans les échangeurs de chaleur peut entraîner une détérioration des matériaux, une réduction de l'efficacité de l'échange de chaleur, des fuites et des pannes. Il est important d'identifier les mécanismes de corrosion spécifiques à un échangeur donné et de prendre des mesures préventives telles que l'utilisation de matériaux résistants à la corrosion, le contrôle de la composition chimique des fluides de refroidissement et la mise en œuvre de programmes de maintenance appropriés pour prévenir ou gérer la corrosion.[8]

Les facteurs influents sur la corrosion :

Le comportement d'un matériau vis-à-vis la corrosion dépend de plusieurs facteurs:

- Facteurs liés au milieu concentration, teneur en oxygène, température, pression, présence de bactéries, du milieu, présence d'écoulement, etc.
- Facteurs liés au matériau structure métallurgique, composition, homogénéité, noblesse du métal, traitement thermique et mécanique, etc.
- Facteurs définissant le mode d'utilisation l'état de surface, la forme des pièces, l'emploi d'inhibiteurs, contraintes, chocs, frottement, etc.

- Facteurs dépendants du temps le vieillissement, les tensions mécaniques et la température.[9]

II.1.7. Les fuites :

Les fuites sont un problème fréquent dans les échangeurs de chaleur. Elles peuvent se produire pour plusieurs raisons, notamment :

1. Corrosion : La corrosion peut entraîner la formation de petits trous ou de fissures dans les parois des échangeurs de chaleur, ce qui peut provoquer des fuites. Lorsque les surfaces métalliques sont corrodées, elles deviennent plus fragiles et peuvent se rompre sous la pression du fluide.

2. Usure mécanique : L'usure due à la friction constante entre les matériaux et le fluide peut entraîner l'apparition de fissures ou de fuites dans les échangeurs de chaleur. Cela peut se produire en raison de mouvements de vibration, de pressions excessives ou de charges mécaniques.

3. Joint défectueux : Les échangeurs de chaleur comportent souvent des joints, tels que des joints d'étanchéité en caoutchouc ou des joints d'étanchéité en métal, qui peuvent se détériorer avec le temps. Si ces joints deviennent défectueux, des fuites peuvent se produire à travers les surfaces d'étanchéité.

4. Installation incorrecte : Une mauvaise installation de l'échangeur de chaleur peut entraîner des fuites. Cela peut être dû à des erreurs lors du raccordement des tuyaux, des raccords défectueux ou une mauvaise fixation des composants.

5. Pression excessive : Des pressions excessives dans les échangeurs de chaleur peuvent causer des défaillances des composants, entraînant des fuites. Cela peut se produire en raison d'une surcharge du système, d'un dysfonctionnement des soupapes de sécurité ou d'une conception inadéquate de l'échangeur.

Lorsque des fuites se produisent, elles peuvent entraîner des pertes de fluide, une baisse de l'efficacité du transfert de chaleur, des pannes du système et des problèmes de sécurité. Il est important de détecter et de réparer les fuites rapidement pour éviter des conséquences plus graves.[10]

II.1.8. Problèmes de température :

Les problèmes de température dans les échangeurs de chaleur peuvent se manifester de différentes manières, notamment :

- **Surchauffe** : La surchauffe se produit lorsque la température du fluide à l'intérieur de l'échangeur de chaleur dépasse les limites de conception. Cela peut être causé par une augmentation excessive de la température du fluide d'alimentation, une diminution du débit de fluide de refroidissement ou une mauvaise distribution de la chaleur à l'intérieur de l'échangeur. La surchauffe peut entraîner des dommages aux matériaux, une dégradation de l'efficacité thermique et des risques pour la sécurité du système.
- **Sous-refroidissement** : Le sous-refroidissement se produit lorsque la température du fluide à l'intérieur de l'échangeur de chaleur est inférieure à la température cible. Cela peut être dû à une diminution de la température du fluide d'alimentation, une augmentation du débit de fluide de refroidissement ou une mauvaise distribution de la chaleur à l'intérieur de l'échangeur. Le sous-refroidissement peut entraîner une inefficacité du transfert de chaleur et une dégradation des performances du système.
- **Gradient de température élevé** : Un gradient de température élevé se produit lorsque la différence de température entre les fluides chauds et froids à l'intérieur de l'échangeur de chaleur est excessive. Cela peut entraîner des contraintes thermiques élevées sur les matériaux, une détérioration de l'intégrité structurale de l'échangeur et une diminution de l'efficacité du transfert de chaleur.
- **Stratification de température** : La stratification de température se produit lorsque les fluides à l'intérieur de l'échangeur de chaleur ne se mélangent pas efficacement, ce qui entraîne une distribution inégale de la chaleur. Cela peut provoquer des zones de température élevée ou faible, affectant l'efficacité globale du transfert de chaleur.
- **Contrôle de température inadéquat** : Un mauvais contrôle de la température peut entraîner des fluctuations indésirables de la température à l'intérieur de l'échangeur de chaleur. Cela peut être dû à un dysfonctionnement des dispositifs de contrôle, à des réglages incorrects des paramètres ou à une mauvaise régulation du débit des fluides.

Les problèmes de température dans les échangeurs de chaleur doivent être surveillés attentivement et résolus pour assurer un fonctionnement efficace, sécuritaire et durable du système. Cela peut nécessiter des ajustements des paramètres de fonctionnement, une optimisation de la distribution de la chaleur, des améliorations de la régulation du débit ou des réparations et remplacements de composants défectueux.

II.2. Protéger les échangeurs de chaleur de la corrosion :

La protection contre la corrosion vise à maintenir l'intégrité structurale et fonctionnelle des échangeurs de chaleur en évitant ou en minimisant les effets de la corrosion. Cela peut être réalisé en utilisant des techniques telles que l'application de revêtements protecteurs, le choix de matériaux résistants à la corrosion, le contrôle du pH des fluides, l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion et la mise en place de bonnes pratiques de maintenance.

En protégeant les échangeurs de chaleur de la corrosion, on peut préserver leur efficacité thermique, maintenir un fonctionnement optimal et prolonger leur durée de vie, ce qui contribue à réduire les coûts d'entretien et de remplacement.

Quelques exemples utilisés pour protéger les échangeurs de chaleur dans les usines:

II.2.1. Revêtements protecteurs :

Les revêtements spéciaux appliqués sur les surfaces des échangeurs de chaleur peuvent offrir une protection contre la corrosion en formant une barrière physique entre le métal et l'environnement corrosif.

Les revêtements protecteurs sont utilisés sur les surfaces des échangeurs de chaleur pour fournir une protection contre la corrosion. Ces revêtements agissent en formant une barrière physique entre le métal de l'échangeur et l'environnement corrosif, empêchant ainsi le contact direct entre les deux.

La corrosion peut être causée par différents facteurs, tels que l'exposition à l'humidité, aux produits chimiques corrosifs ou aux températures élevées. Les échangeurs de chaleur sont souvent soumis à ces conditions, ce qui peut entraîner une détérioration prématurée du métal et une diminution de l'efficacité de l'échangeur.

Les revêtements protecteurs sont conçus pour résister à ces conditions agressives. Ils peuvent être fabriqués à partir de divers matériaux, tels que des polymères, des émaux vitreux ou des revêtements métalliques. Ces revêtements sont appliqués sur les surfaces des échangeurs de chaleur de manière à former une couche protectrice continue et adhérente.

La couche de revêtement agit comme une barrière physique, empêchant les agents corrosifs d'entrer en contact direct avec le métal. Elle peut également offrir une résistance supplémentaire à d'autres facteurs, tels que l'abrasion, l'érosion ou les rayons ultraviolets.

En plus de fournir une protection contre la corrosion, les revêtements protecteurs peuvent également améliorer l'efficacité globale des échangeurs de chaleur en réduisant les pertes thermiques et en favorisant un écoulement fluide des fluides à travers l'échangeur.

Il est important de choisir le revêtement protecteur approprié en fonction des conditions spécifiques d'utilisation de l'échangeur de chaleur, du type de fluides traités et des contraintes environnementales. Une application correcte du revêtement et un entretien régulier sont également essentiels pour assurer une protection optimale contre la corrosion et prolonger la durée de vie de l'échangeur de chaleur.[11]

II.2.2. Matériaux résistants à la corrosion :

Utilisez des matériaux de construction résistants à la corrosion, tels que l'acier inoxydable, le titane ou des alliages spéciaux, pour les parties des échangeurs de chaleur qui sont en contact avec des fluides corrosifs.

L'utilisation de matériaux résistants à la corrosion est une approche courante pour assurer la durabilité des échangeurs de chaleur lorsqu'ils sont en contact avec des fluides corrosifs. Différents matériaux peuvent être choisis en fonction de la nature des fluides et des conditions de fonctionnement. Voici quelques exemples de matériaux couramment utilisés pour les parties des échangeurs de chaleur en contact avec des fluides corrosifs :

a. Acier inoxydable : L'acier inoxydable est un matériau largement utilisé en raison de sa résistance à la corrosion dans de nombreux environnements. Il existe différentes qualités d'acier inoxydable, chacune adaptée à des conditions spécifiques. Par exemple, l'acier inoxydable de type 316 est couramment utilisé dans les applications où une résistance élevée à la corrosion est requise.

b. Titane : Le titane est un matériau très résistant à la corrosion, notamment dans des environnements agressifs tels que les milieux salins ou les acides forts. Il est léger, mais sa fabrication peut être coûteuse, ce qui limite parfois son utilisation aux applications nécessitant une résistance à la corrosion particulièrement élevée.

c. Alliages spéciaux : Il existe plusieurs alliages spéciaux conçus spécifiquement pour résister à des environnements corrosifs sévères. Par exemple, l'alliage Hastelloy est utilisé dans les applications où une résistance élevée à la corrosion est primordiale, notamment dans les industries chimiques et pétrolières.

Lors de la sélection du matériau, il est important de prendre en compte les caractéristiques chimiques du fluide en contact avec l'échangeur de chaleur, les températures de fonctionnement,

la pression et d'autres facteurs environnementaux. Une bonne compréhension des propriétés des matériaux et de leur compatibilité avec les conditions spécifiques permet de choisir le matériau le mieux adapté pour assurer une résistance optimale à la corrosion et prolonger la durée de vie de l'échangeur de chaleur.[12]

II.2.3. Anodes sacrificielles :

Les anodes sacrificielles, telles que les anodes en zinc ou en magnésium, peuvent être utilisées pour protéger les échangeurs de chaleur en sacrifiant elles-mêmes pour prévenir la corrosion du métal de base.

les anodes sacrificielles sont utilisées pour protéger les échangeurs de chaleur et prévenir la corrosion du métal de base. Une anode sacrificielle est généralement fabriquée à partir de matériaux plus réactifs, tels que le zinc ou le magnésium, qui se corroderont préférentiellement par rapport au métal de l'échangeur de chaleur.

Lorsque l'anode sacrificielle est en place et correctement connectée à l'échangeur de chaleur, elle forme un couple galvanique avec le métal de base. Cela crée une réaction électrochimique où l'anode se corrode de manière préférentielle, tandis que le métal de l'échangeur de chaleur est protégé.

Le processus de corrosion se produit ainsi sur l'anode sacrificielle au lieu du métal de l'échangeur de chaleur. L'anode se consume progressivement au fil du temps et doit être remplacée périodiquement pour maintenir une protection efficace contre la corrosion.

Il est important de choisir le type d'anode sacrificielle approprié en fonction de l'environnement spécifique dans lequel l'échangeur de chaleur est utilisé. Par exemple, les anodes en zinc sont souvent utilisées dans des environnements d'eau douce, tandis que les anodes en magnésium sont préférées dans des environnements plus corrosifs, tels que les eaux salines.

L'utilisation d'anodes sacrificielles est une méthode économique et relativement simple pour protéger les échangeurs de chaleur contre la corrosion. Cependant, il est essentiel de surveiller régulièrement l'état des anodes et de les remplacer lorsqu'elles sont entièrement corrodées afin de maintenir une protection adéquate.[13]

II.2.4. Inhibiteurs de corrosion :

Les inhibiteurs de corrosion sont des produits chimiques ajoutés aux fluides de processus pour réduire l'activité corrosive. Ils peuvent former une couche protectrice sur les surfaces métalliques et empêcher la corrosion.

II.2.4.1. Utilisations industrielles courantes :

Les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application :

- ✓ Le traitement des eaux (eaux sanitaires, eaux de procédés industriels, eaux de chaudières, etc.)
- ✓ l'industrie du pétrole : forage, extraction, raffinage, stockage et transport ; à tous les stades de cette industrie, l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion est primordiale pour la sauvegarde des installations.
- ✓ la protection temporaire des métaux, que ce soit pendant le décapage acide, le nettoyage des installations ou le stockage à l'atmosphère (inhibiteurs volatils, incorporation aux huiles et graisses de protection temporaire) ou pour le traitement des huiles de coupe.
- ✓ l'industrie des peintures sur métaux où les inhibiteurs sont des additifs assurant la protection anticorrosion des métaux.

II.2.4.2. Propriétés des inhibiteurs:

Un inhibiteur est efficace s'il satisfait un certain nombre de propriétés, pour cela il doit :

- Abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans affecter les caractéristiques physico-chimiques, en particulier la résistance mécanique.
- Etre stable en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants.
- Etre stable aux températures d'utilisation.
- Etre efficace à faible concentration.
- Etre compatible avec les normes de non-toxicité.
- Etre peu onéreux.

II.2.4.3. Classes des inhibiteurs:

Les inhibiteurs peuvent être classés de différentes façons:

A) Selon leur composition chimique :

a. Inhibiteurs organiques :

C'est l'utilisation qui est préférée actuellement, en raison d'une faible écotoxicité que celle des inhibiteurs inorganiques ce sont principalement des sous-produits de l'industrie pétrolière. Ils renferment au moins un atome servant de centre actif susceptible d'échanger des électrons pour se fixer sur le métal, tel l'azote, l'oxygène, le phosphore ou le soufre [15].

Les inhibiteurs organiques agissent par :

- ✓ Adsorption à la surface (cas des composés amines et soufrés)
- ✓ Neutralisation ou alcalinisation du milieu corrosif
- ✓ Formation d'un film protecteur à la surface du métal
- ✓ Hydrophilisation de la surface du métal Les groupes fonctionnels usuels, permettant leurs fixations sur le métal, sont :
 - ✓ Le radical aminé — NH_2
 - ✓ Le radical mercaptan — SH
 - ✓ Le radical hydroxyle — OH

b. Inhibiteurs inorganique (minéraux) :

Les molécules minérales sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin et plus rarement en milieu acide. Les produits se dissocient en solution et ce sont souvent leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions et cations).

Les cations inhibiteurs sont essentiellement Ca^{+2} et Zn^{+2} et ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle OH^- . Les principaux anions inhibiteurs sont les oxo- anions de type XO_4^{n-} tels que les chromates, les molybdates, les phosphates, les silicates,[16].

Le nombre de molécules en usage à l'heure actuelle va en se restreignant, car la plupart des produits efficaces présentent un côté néfaste pour l'environnement. Cependant, de nouveaux complexes organiques de chrome (III) et d'autres cations (Zn^{+2} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Mn^{+2} , Sr^{+2} , Al^{+2} , Zr^{+2} , Fe^{+2}) efficaces contre la corrosion et non toxiques ont été développés .[17]

B) Selon la nature électrochimique du processus

a. Les inhibiteurs cathodiques :

L'action de ces inhibiteurs se traduit par une diminution de la vitesse de la réaction cathodique et donc par un déplacement du potentiel de corrosion vers des valeurs moins nobles.

b. Les inhibiteurs anodiques:

Les inhibiteurs anodiques sont très nombreux.

Ce sont des substances inorganiques comme les ortho phosphates, silicates, chromates,..... Leur mode d'action consiste à élever la valeur du potentiel de corrosion du matériau afin de l'amener à une valeur pour laquelle il y a formation d'un film passif protecteur sur l'anode[18].

c. Les inhibiteurs mixtes :

Ces inhibiteurs diminuent la vitesse des deux réactions partielles, mais modifient peu le potentiel de corrosion [19].

C) Selon leur mode d'action :

a. Les inhibiteurs passivant

Ces inhibiteurs forment des films de passivation tridimensionnels entre la surface corrodée et les molécules d'inhibiteurs. L'inhibiteur s'appelle aussi inhibiteurs «d'interphase ». Ils sont également incorporés dans les couches barrières et ainsi ces molécules inhibitrices conduisent à des réseaux homogènes et denses présentant de fait une faible porosité et une bonne stabilité[20]. Il existe deux catégories d'inhibiteurs passivant :

- ✓ Les ions oxydants comme CrO_4^{2-} peuvent passiver l'acier en absence d'oxygène.
- ✓ Les ions non oxydants comme (MoO_4^{2-} , WO_4^{2-} , PO_3^{3-} , $B_4O_7^{2-}$, $C_6H_5COO^-$) qui nécessitent la présence d'oxygène et déplacent la réaction cathodique de réduction de ce dernier en favorisant son adsorption à la surface du métal. Tous ces ions se consomment lentement et il est donc nécessaire de contrôler périodiquement la concentration du circuit lors d'utilisation de tels inhibiteurs.[21]

b. Les inhibiteurs d'adsorption:

On parle d'adsorption lorsqu'il y a une simple fixation des molécules de l'inhibiteur à la surface du métal, sans qu'il n'y ait de réaction[22]

L'adsorption est un phénomène de surface universel car toute surface est constituée d'atome n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a donc tendance à combler ce manque en captant atomes et molécules se trouvant à proximité. La liaison entre

l'espèce adsorbée et la surface métallique peut être essentiellement de deux types : la physisorption et la chimisorption.

II.2.5. Surveillance de la corrosion :

la surveillance de la corrosion est essentielle pour détecter rapidement les problèmes potentiels et prendre des mesures correctives avant qu'ils ne conduisent à des défaillances ou des dommages importants. Voici quelques méthodes couramment utilisées dans la surveillance de la corrosion des échangeurs de chaleur :

1. Capteurs de corrosion : Les capteurs de corrosion sont des dispositifs qui mesurent directement le taux de corrosion en surveillant des paramètres tels que la perte d'épaisseur du métal ou le courant électrique généré par la corrosion. Ces capteurs peuvent être installés à des endroits critiques de l'échangeur de chaleur pour fournir une surveillance en temps réel de l'évolution de la corrosion.

2. Techniques d'inspection non destructives : Les techniques d'inspection non destructives, telles que la radiographie, la thermographie infrarouge, l'ultrasonographie et la magnétoscopie, peuvent être utilisées pour évaluer l'intégrité structurelle de l'échangeur de chaleur sans endommager les matériaux. Ces techniques permettent de détecter les défauts, les fissures ou les zones de corrosion dans les parties internes et externes de l'échangeur.

3. Analyses chimiques régulières des fluides de processus : L'analyse régulière des fluides de processus permet de surveiller la présence de contaminants corrosifs, de substances chimiques indésirables ou de niveaux de pH corrosifs. Ces analyses chimiques peuvent aider à identifier les conditions susceptibles de provoquer la corrosion et permettre une intervention préventive.

4. Inspection visuelle : L'inspection visuelle régulière de l'échangeur de chaleur peut révéler des signes évidents de corrosion, tels que des zones décolorées, des dépôts, des fuites ou des détériorations visibles. Cette méthode simple mais importante permet de repérer les problèmes de corrosion à un stade précoce.

En mettant en place un système de surveillance de la corrosion combinant ces différentes méthodes, il est possible de détecter les problèmes de corrosion potentiels dès qu'ils surviennent, d'évaluer leur gravité et de prendre des mesures correctives appropriées. Cela permet de minimiser les risques d'échec des échangeurs de chaleur, d'optimiser les opérations et de prolonger leur durée de vie utile.

La corrosion des minéraux et de l'acier dans les solutions aqueuses acides est l'un des principaux domaines de préoccupation dans de nombreuses industries, en particulier dans les industries alimentaires, chimiques, électrochimiques, pétrolières et énergétiques où les acides sont largement utilisés pour des applications telles que le décapage acide, nettoyage acide et acidification des puits de pétrole, S'il est très important d'ajouter des inhibiteurs de corrosion pour empêcher la fonte des métaux et réduire la consommation d'acide en raison de l'agressivité générale de la solution acide

La plupart des inhibiteurs acides connus sont des composés organiques contenant des atomes d'azote, du soufre et de l'oxygène. L'action inhibitrice des composés organiques sur la dissolution des espèces métalliques est généralement associée aux interactions par adsorption entre les inhibiteurs et la surface métallique. Bon amortisseur a de nombreux avantages tels que l'adéquation d'inhibition élevée, bas prix, faible toxicité et facile de production.

Les inhibiteurs de corrosion sont des composés qui contrôlent, réduisent ou préviennent les interactions entre les métaux et les cercles corrosifs. De nombreux inhibiteurs organiques efficaces ont des liens dans leurs structures ainsi que des atomes hétérogènes tels que : azote, oxygène, soufre. Ceux-ci incluent les bases de Schiff et les complexes minéraux.

Une seule paire d'électrons a été rapportée sur l'azote dans le composé qui rend le composé un inhibiteur de corrosion efficace des métaux et alliages dans l'environnement acide, montrant des composés organiques contenant plus d'un atome hétérogène contenant Les électrons élevés inhibent les connexions appropriées en fournissant des électrons pour interagir avec la surface métallique.

Les bases de Schiff peuvent agir comme des bases de Lewis en faisant don de leur paire(s) d'électrons ainsi que de tous les électrons au métal. L'adsorption de bases de Schiff sur la surface métallique protégera et couvrira le métal de l'environnement corrosif et donc inhiber la corrosion.[15]

References bibliographies

- [1] Bott Fouling of Heat Exchangers, Editions Elsevier, Amsterdam-Lausanne-New York-Oxford- Shannon-Tokyo, 2005
- [2] Goyhenetche, M., Diagnostic technique et économique de l'encrassement des équipements de transfert thermique dans l'industrie française, Michel Goyhenetche Consultants, France, 1991.
- [3] Pritchard, A.M., The economics of fouling, Fouling Science and Technology, Editions L.F. Melo et al, p31-43, 2010
- [4] Dr. Land. Sandhu 'Chemical reaction fouling due to foodstuffs, Editions Summer scales, Hemisphere Washington DC, p 437, 1981
- [5] Van Nostrand., 'Economic penalties associated with the fouling of Refinery heat transfer Equipment'. Hémisphère Publishing Corporation.)
- [6] Nortershauser, David. Résolution de problèmes inverses tridimensionnels stationnaires de conduction de la chaleur. Diss. École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace (Toulouse; 1972-2007), 2000
- [7] Lalanne, Pr. Berthier, et J. Der-Hagopian. 'La corrosion dans les matériels frigorifiques' Centre Technique Des Industries Mécaniques (CETIM), 2006.
- [8] Dr. Neff, Université de Technologie de Compiègne.(2003).
- [9] Fiaud Lemaitre, N. Pébère, Corrosion et anticorrosion, Lavoisier, Paris (2002) .
- [10] Shorky , M.Yuasa, I. Sekine, R.M.Issa, H.Y.ElBaradie, G.K.Gomma; Corros.Sci., **40**, 2173(1998).
- [11] NACE Glossary of Corrosion Terms, Materials Protection 4 (1965) 79–80.
- [12] BENMACHICHE, Abdelmoumène Hakim. Estimation du coefficient d'échange thermique local sur des ailettes circulaires planes d'un tube d'échangeur de chaleur à faisceau aligné ou quinconcé. Diss. Université Mohamed Khider de Biskra, Département de Génie M, 2012.
- [13] Jouty, M. "Transferts de chaleur et problèmes de circulation dans les échangeurs: revue de quelques progrès récents." La Houille Blanche 1 (1957): 59-68.
- [14] Rozenfeld, Corrosion Inhibitors, McGraw-Hill, (1981).
- [15] Tobaly, Pascal. "Échangeurs de chaleur." Licence professionnelle thesis, IUT of St Denis, GPI (2002): 10-11.
- [16] Touhami, Younès. Identification spatio-temporelle d'une source de chaleur dans un milieu diffusif par résolution d'un problème inverse. Diss. Aix-Marseille 1, 1996.
- [17] Fiaud, Inhibiteurs de corrosion, techniques-ingenieur.(1990).

[18]Pr. Benrd, A. Michel, J. Philibert, J. Talbort, Métallurgie générale, Masson Editeur (1969).

[19] Fabre, Antoine. Développement d'indicateurs de performance et de détection de défauts sur les réseaux de chaleur dans une démarche d'optimisation de leur pilotage. Diss. Université Paris sciences et lettres, 2020.

[20] BENSABA, LOTFI. ETUDE EXPERIMENTALE SUR LES DEPOTS ORGANIQUE DANS UN ECHANGEUR DE CHALEUR A PLAQUES AU CHAMP D'OURHOUD. Diss. université Ghardaia, 2022.

[21] BENOUEDJEH, Lalia, and Sabah SABEUR. Etude de problème de l'encrassement dans Les équipements de traitement De brut. Diss.

[22] R.S.Abdel Hammed; Aminolysis of polyethylene terephthalate waste as corrosion inhibitor for carbon steel in HCl corrosive medium, Advances in Applied Science Research, **2(3)**, page 483-499 (**2011**).

Chapitre III:

les effets des base de Schiff contre la corrosion.

Introduction

Les bases de Schiff, nommé d'après Hugo Schiff en 1864 .Elles sont des ligands largement exploités en chimie médicale et en chimie de coordination, et cela revient à la simplicité de leurs préparations, la diversité de leur application par le biais de la stabilité relative de leurs complexes avec la majorité des métaux de transition. Les ligands bases de Schiff présentent des intérêts potentiels très variées pour un grand nombre de domaines interdisciplinaires dans le domaine biologique, médicinal, pharmaceutique, catalytique, magnétique ainsi que dans le domaine industriel.[1]

III.1. Définition d'une Base de Schiff :

Une base de Schiff définie comme tout produit comportant une fonction amine d'ont l'un des constituants sur le carbone ou sur l'azote, est un groupement aromatique .ce produit résulte de la réaction entre l'agent nucléophile qui est l'amine primaire est un composé carbonylé (aldéhyde ou cétone) présentant un foyer électrophile qui est l'atome de carbone de la fonction carbonyle cette étape est suivie de la formation d'une molécule d'eau qui doit être éliminée du milieu réactionnel afin de déplacer l'équilibre de la réaction vers la formation du la base de Schiff .

On note que dans cette réaction, l'élimination de l'eau est nécessaire pour pouvoir déplacer l'équilibre vers la formation de la fonction imine qui est la base de Schiff.[2]

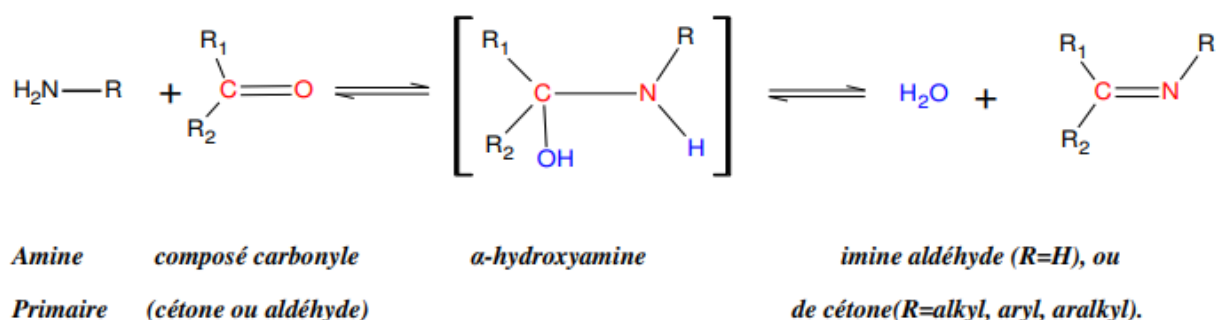


Fig.III.1: schéma d'une Réaction générale de formation d'une base de Schiff.

III.2. Synthèse :

La réaction de synthèse des bases de Schiff est souvent caractérisée par la présence des molécules d'eau qui pourraient conduire à une réaction réversible (hydrolyse). Cette réaction est réalisée habituellement dans un milieu alcoolique ou parfois à reflux. On note que dans cette réaction, l'élimination de l'eau est nécessaire pour pouvoir déplacer l'équilibre vers la formation de la fonction iminiques ; qui est la base de Schiff. La mobilité des hydrogènes liés à l'azote permet également des condensations avec les aldéhydes aliphatiques : il se forme des imines stables « les bases de Schiff »[3].

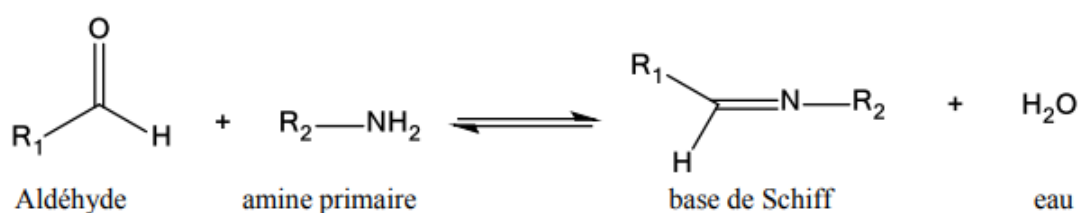


Fig.III.2 : Synthèse des bases de Schiff.

III.3. Classification des bases de Schiff :

Les imines sont des analogues des composés carbonylés (aldéhydes et cétones), on peut les classer comme suit :

- **Aldimine** : Est une imine dans laquelle le carbone lié à l'azote porte un groupe Alkyle et un atome d'hydrogène. Lorsque l'atome d'azote est lié à un atome d'hydrogène ou un groupe hydrocarbyle, on l'appelle respectivement «aldimine primaire » ou« Aldimine secondaire.

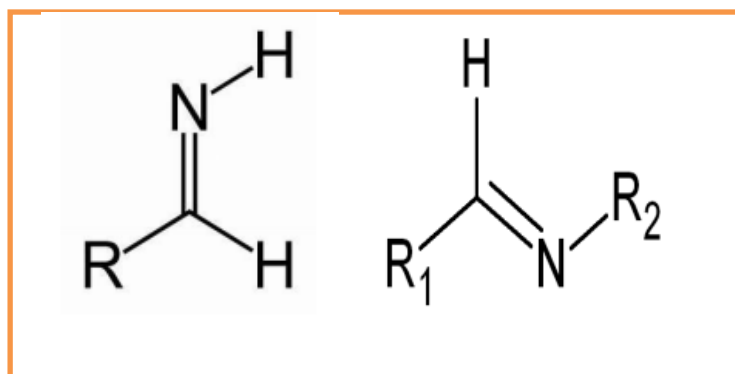


Fig. III.3: Aldimine primaire et secondaire.

- **Cétimine:**

Une imine dans laquelle le carbone lié à l'azote est attaché à deux groupe alkyles est appelée « cétimine ». De même, en fonction de la nature du substituant de N, on l'appellera « :cétimine primaire » ou «cétimine secondaire »^[4]

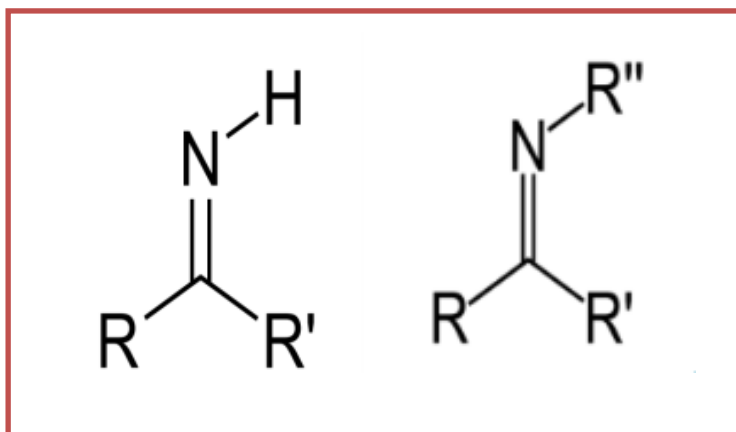


Fig. III.4: Cétimine primaire et secondaire.

III.4. Application des bases de Schiff:

Les bases de Schiff sont largement utilisées en chimie pour diverses applications, notamment :

- ✓ **Réactions de condensation :**

Les bases de Schiff peuvent réagir avec des composés contenant des groupes actifs tels que les aldéhydes, les cétones ou les acides carboxyliques pour former des produits de condensation. Ces réactions sont couramment utilisées en chimie organique pour la synthèse de composés complexes.

- ✓ **Chimie de coordination :**

Les bases de Schiff peuvent former des complexes de coordination avec des ions métalliques. Ces complexes sont utilisés dans la chimie de coordination et la chimie des matériaux pour leurs propriétés magnétiques, optiques ou catalytiques.

- ✓ **Sonde de détection :**

En raison de leur sensibilité aux changements environnementaux, certaines bases de Schiff sont utilisées comme sondes fluorescentes pour détecter des ions métalliques, des

espèces réactives de l'oxygène ou d'autres analytes spécifiques dans des milieux biologiques ou chimiques.[5]

III.4.1 Dans le domaine industrielle :

a. Comme catalyse :

A. K. Sutar et al ont étudié les complexes de polymérisation de complexes base de Schiff jouent un rôle majoritaire dans divers réactions de catalyse homogène et hétérogène, l'activité de ces complexes varie avec le type de ligands, les sites de coordination et des ions métalliques. Nouveaux complexes de manganèse (II) et de manganèse (III) de N, N0 substitués -bis (salicylidène) -1,2-diimino-2-méthyléthane ont été préparés et caractérisés. Analyse élémentaire, spectroscopies IR et EPR, spectrométrie de masse, les mesures magnétiques et l'étude de leurs propriétés redox ont confirmé leur formules

respectives comme $Mn^{III}(H_2O)_2$ et $Mn^{III}(H_2O)_n(ClO_4)$. Substances substituant des électrons sur le phényle Les cycles du ligand stabilisent l'état d'oxydation (II) du manganèse, mais les substituants donneurs d'électrons présents. Les bases de Schiff sont celles qui conduisent aux complexes Mn (III), qui se comportent comme des mimétiques efficaces de la peroxydase en présence du piège hydrosoluble ABTS. Le taux d'activité de la peroxydase des présents complexes est significativement plus élevé que celui des autres séries de composés à base de Mn Schiff, probablement en raison de leur polyvalence à adopter solution une structure qui permet la coordination de la molécule substrat peroxyde d'hydrogène avec le manganèse.[6]

b. Agents chélateurs :

Les bases de Schiff peuvent former des complexes chélateurs avec des métaux. Ces complexes sont utilisés dans des applications telles que la séparation des métaux, la purification de l'eau et l'élimination des métaux lourds des effluents industriels.

c. Matériaux polymères :

Les bases de Schiff peuvent être incorporées dans des polymères pour améliorer leurs propriétés. Par exemple, elles peuvent être utilisées comme agents de réticulation pour améliorer la résistance mécanique et thermique des polymères, ou comme additifs pour conférer des propriétés spécifiques, telles que la conductivité électrique ou la capacité d'adsorption.

d. Capteurs et détecteurs :

Les bases de Schiff peuvent être utilisées pour la fabrication de capteurs et de détecteurs dans divers domaines industriels. Elles peuvent réagir de manière sélective avec certaines substances ou analystes cibles, ce qui permet de détecter leur présence ou de mesurer leur concentration dans des échantillons. Ces applications sont utilisées dans des domaines tels que l'analyse environnementale, la détection de gaz et la surveillance de la qualité des produits chimiques.

e. Revêtements et films minces :

Les bases de Schiff peuvent être utilisées dans la formulation de revêtements et de films minces. Elles peuvent contribuer à améliorer les propriétés adhésives, anti-corrosion ou anti-rayures des revêtements, et être utilisées comme agents de fonctionnalisation pour modifier les surfaces des matériaux.[5]

f. Comme inhibiteur de corrosion :

Les bases de Schiff représentent un groupe très important d'inhibiteurs de corrosion dans différents milieux industriels. L'efficacité de ces composés est liée à la structure, la concentration et aux propriétés chimiques de la couche formée dans les conditions précisées. L'action d'une base de Schiff comme un inhibiteur organique est le résultat de son adsorption à la surface du matériau. L'efficacité d'inhibition des bases de Schiff est beaucoup plus grande que celle des amines et des aldéhydes correspondants et l'ont attribuée à la présence d'un groupe $\text{HC}=\text{N}-$ dans les molécules. La plupart de ces inhibiteurs ont dans leur structure principalement des hétéroatomes tels que l'oxygène, le soufre et l'azote. L'action de tels inhibiteurs dépend de l'interaction spécifique entre les groupes fonctionnels et la surface métallique. La principale caractéristique de ces inhibiteurs est leur efficacité élevée, même à faible concentration, à différentes températures et à long terme. L'effet inhibiteur dépend souvent de la présence ou pas des groupes aromatiques et fonctionnels, de la densité électronique sur les atomes donneurs et le caractère donneur des électrons.[7]

f.1. Inhibition de la corrosion en milieu acide:

Les agents inhibiteurs les plus utilisés dans les environnements acides sont les molécules organiques. Ces inhibiteurs agissent d'abord en adhérant à la surface des métaux avant d'intervenir dans le processus de réaction de corrosion pour le ralentir. Selon Bockris, la réaction suivante peut être utilisée pour décrire l'adsorption d'une matière organique sur la surface d'un

métal: Org(s), $n \text{ H}_2\text{O}_{\text{ads}}$, $n \text{ H}_2\text{O}(\text{s})$ etc. Où est la quantité de molécules d'eau déplacées de la surface pour chaque molécule organique adsorbée. Le nombre n dépend de la géométrie spatiale de la molécule organique par rapport à celle de l'eau plutôt que de la récupération et de la charge du métal. En général, l'utilisation de composés organiques pour supprimer la corrosion est le résultat de leur adsorption à la surface du métal. Le phénomène peut être mis en évidence par:

- L'étude des isothermes d'adsorption.
- L'examen de la surface au moyen de techniques spécifiques :

la microscopie électronique à balayage et la spectroscopie des photoélectrons.[8]

f.2.Facteurs influençant l'adsorption d'inhibiteur :

La connaissance des facteurs qui influencent le phénomène d'adsorption des inhibiteurs est indispensable pour mieux comprendre le mécanisme d'inhibition de ces substances.

f.3.Structure moléculaire des inhibiteurs:

On peut trouver un très grand nombre de substances organique comme inhibiteur pour solution acide, c'est le cas des molécules aromatique et des macromolécules à chaînes linéaires ou branchées. Leur efficacité dépend, entre autre, de leur structure moléculaire et de leur concentration. Les molécules organiques utilisées comme inhibiteurs, contiennent une partie non polaire, hydrophobe et relativement volumineuse, constituée principalement d'atomes de carbone et d'hydrogène, et une partie polaire, hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels, tels que $-\text{NH}_2$ (amine), $-\text{SH}$ (mercapto), $-\text{OH}$ (hydroxyle) etc. La molécule se lie à la surface par son groupe fonctionnel, alors que sa partie non polaire, plus volumineuse, bloque partiellement la surface active.[9]

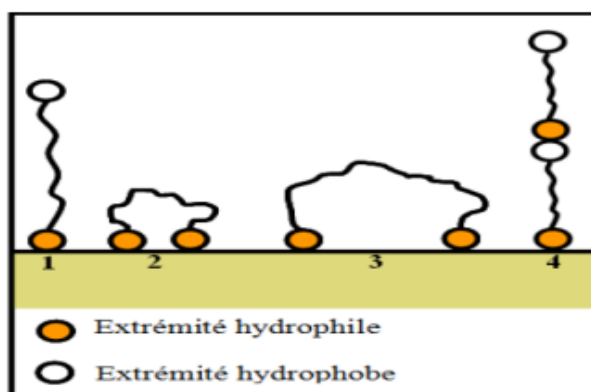
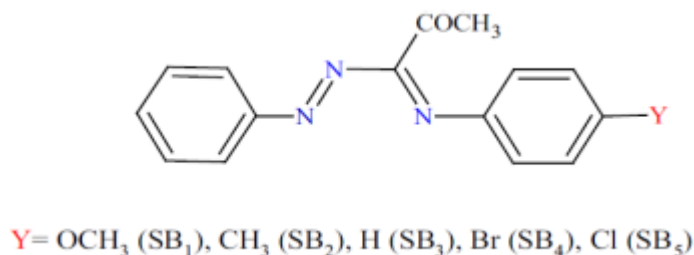


Fig. III.5: Modes d'adsorption des inhibiteurs organiques sur une surface métallique : (1) Adsorption simple ; (2) Chélation de surface ; (3) Pontage de surface ; (4) Adsorption en multicouche.

f.4. Etude bibliographique sur les inhibiteurs utilisés dans le milieu acide:

Parmi les travaux les plus répondus, nous allons décrire d'une façon succincte des travaux récents, traitant particulièrement, le domaine de la protection de l'acier contre la corrosion en milieu acide par des composés organiques :

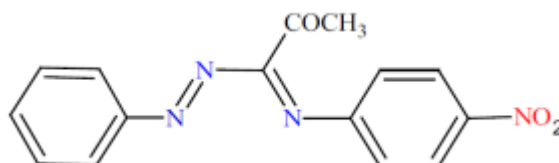
L'effet d'inhibition de la corrosion des nouveaux composés d'azométhine: $\text{Ph N} = \text{N} - \text{C}(\text{COCH}_3) = \text{NC}_6\text{H}_4\text{Y}$ {Y = OCH₃ (SB1), CH₃ (SB2), H (SB3), Br (SB4) et Y = Cl (SB5)} sur X38 dans HCl 1 M, a été étudié par **H.Hamani et coll.**, en utilisant les courbes de polarisation et la spectroscopie d'impédance électrochimique. Ils ont constaté que l'efficacité d'inhibition augmente avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur et que ces derniers s'adsorbent sur la surface de l'acier doux selon l'isotherme de Langmuir. Les courbes de polarisation ont montré que ces bases de Schiff fonctionnent comme des inhibiteurs mixtes.[10]



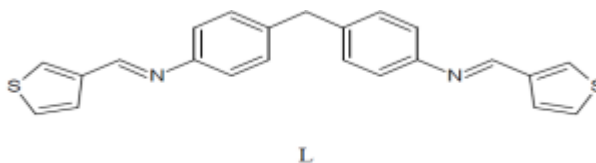
T.Douadi et coll. ont étudié l'influence de la température (25-55°C) et les conditions hydrodynamiques (0-2000 tr/mn) sur l'inhibition de la corrosion des mêmes composés azométhine sur l'acier XC38 dans HCl 1 M. Les résultats des mesures électrochimiques montrent que l'efficacité d'inhibition décroît avec l'augmentation de la température et de la vitesse de rotation. Les paramètres d'activation associés et les données thermodynamiques d'adsorption ont été évalués et discutés. Le mécanisme d'inhibition a été déterminé par des mesures de potentiel de charge nulle (PZC). Les morphologies d'attaque de corrosion ont été observées à des conditions stagnantes et hydrodynamiques par microscopie optique et MEB.[11]

Le 1- (4-nitrophényl-imino) -1- (phénylhydrazono) -propan-2-one (NO2AM) a été étudié par **H.Hamani et coll.** en tant qu'inhibiteur de corrosion pour l'acier XC38 dans HCl 1M par perte de poids, les courbes de polarisation, la spectroscopie d'impédance électrochimique, la

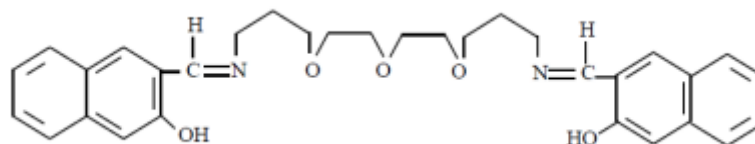
microscopie électronique à balayage (MEB) et la spectroscopie UV visible. L'efficacité d'inhibition augmente avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur et diminue avec l'augmentation de la température. Les courbes de polarisation ont montré que l'inhibiteur se comporte comme un inhibiteur de type mixte et l'adsorption sur la surface de XC38 obéit à l'isotherme de Langmuir. Les résultats obtenus à partir des mesures expérimentales et ceux obtenus par les calculs théoriques (DFT) sont en bon accord.[12]



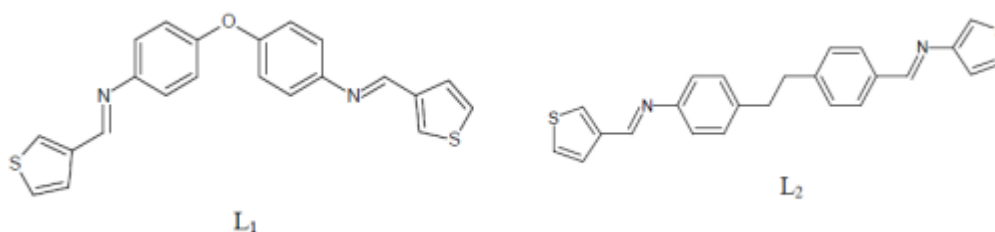
L'effet de l'inhibition d'un nouveau composé base de Schiff : N-(thiophen-3-ylmethylidene)-4-({4-[(E)-(thiophène- 2-ylmethylidene)amin-o]phényle}méthyl)aniline (L) sur la corrosion de l'acier XC52 dans HCl 1 M et H2SO4 1M dans un domaine de température de 25 à 55°C en utilisant la perte de poids , les courbes de polarisation et la spectroscopie d'impédance électrochimique a été étudié par D. Daoud et coll. [49]. Ils ont montré que l'efficacité inhibitrice croît avec l'augmentation de la concentration et diminue avec la température et que l'adsorption sur la surface métallique suit l'isotherme de Langmuir dans les deux milieux corrosifs étudiés.[13]



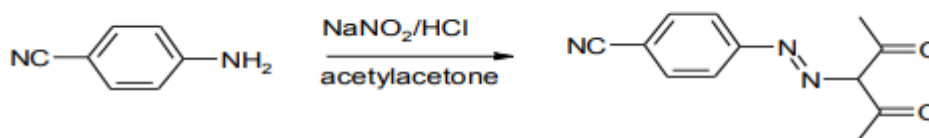
Une nouvelle base de Schiff à savoir 1, 13-bis - [(2-hydroxynaphtaldéhyde) 4, 7, 10-trioxatridécane diamine] (HNTTD) a été synthétisée par **S.Benabid et coll.** L'étude de son comportement d'inhibition à la corrosion de l'acier XC48 dans HCl 1M par méthodes électrochimique et théoriques a montré que l'efficacité d'inhibition augmente avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur. Les courbes de polarisation indiquent que le composé étudié agit en tant qu'inhibiteur mixte en s'adsorbant sur la surface de l'acier selon l'isotherme de Langmuir. L'effet de la structure moléculaire sur l'efficacité de l'inhibition de la corrosion a été étudié en utilisant des calculs DFT. Les résultats des études AFM ont confirmé l'action inhibitrice de HNTTD.



S. Issa Adi et coll. ont étudié par polarisation potentiodynamique et par les impédances électrochimiques l'effet inhibiteur de deux ligands bases de Schiff dérivés de thiophène vis à vis de la corrosion de l'acier en milieu HCl 1M à savoir le 4,4'-bis (3- carboxaldehy de thiophène) diphenyldiiminoether (L1) et le 4,4'-bis (3-carboxaldehyde thiophène) diphenyldiiminoethane (L2). Les courbes de polarisation montrent que ces composés agissent comme inhibiteurs mixtes et que le produit (L1) est plus efficace que le produit (L2). Leur adsorption à la surface de l'acier obéit à l'isotherme de Langmuir.

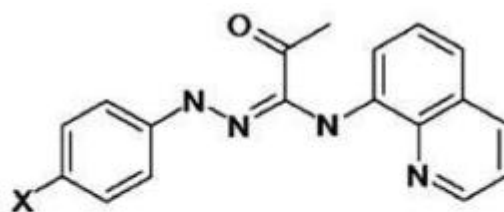


Le 3-(4-cyanophénylazo)-2,4-pentanedione (L) a été synthétisé par L. **Boucherit et coll.** L'effet synergique des ions iodures sur l'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone dans le milieu 0,5M H₂SO₄ par (L) a été étudié par perte de poids, les courbes de polarisation, la spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) . Ils ont constaté que l'addition d'iodure de potassium (KI) à une solution acide contenant L stabilisait l'adsorption de L à la surface du métal. Le rapport de masse optimal est de [L]/[KI]=1 alors que les valeurs du paramètre de synergie ($S\theta$) est supérieur à l'unité dans tous les cas.



Les (1Z)-2-oxo-N0-phényl-N-quinolin-8-ylpropanehydrazonamide (H2L-H) et (1Z)- N0-(4-bromophényle)- Le 2-oxo-N-quinolin-8-ylpropanehydrazonamide (H2L-Br) ont été étudié par I. **Benmahammed et coll.** comme inhibiteurs de corrosion d'acier au carbone en milieu HCl 1M par les méthodes : perte de poids, polarisation potentiodynamique ,les impédances électrochimiques EIS, microscopie électronique à balayage SEM couplée à l'énergie

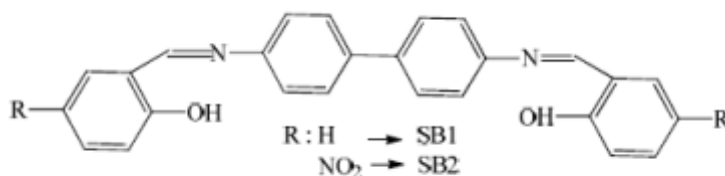
Spectroscopie à rayons X de dispersion EDS, microscopie à force atomique AFM, spectroscopie IR et spectroscopie UV-visible. Il a été démontré que l'efficacité de l'inhibition augmente avec l'augmentation de la concentration des inhibiteurs. L'adsorption à la surface de l'acier obéit à l'isotherme de Langmuir. Le système hydrodynamique et l'effet de synergie ont été mis en œuvre, L'efficacité inhibitrice diminue avec l'augmentation de la vitesse de rotation et l'adsorption en coopération des additifs utilisés pour former une couche protectrice sur la surface métallique. Les résultats obtenus par les mesures expérimentales et ceux obtenus par les calculs théoriques (simulation DFT et MD) sont en bonne corrélation.



X: H $\rightarrow$ {(1Z)-2-oxo-N'-phenyl-N-quinolin-8-ylpropanehydrazonamide} (**H₂L-H**)

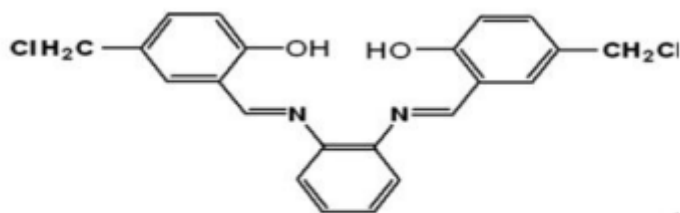
X: Br $\rightarrow$ {(1Z)-N'-(4-bromophenyl)-2-oxo-N-quinolin-8-ylpropanehydrazonamide} (**H₂L-Br**)

L'inhibition de la corrosion de l'acier à faible teneur en carbone dans HCl 2 M par N, N' bis (salicylidène) benzidine (SBA) et N,N' -bis(5-nitrosalicylidène) benzidine (SBB) a été étudiée par **N. Soltani et coll**, en utilisant la mesures de perte de poids et les mesures électrochimiques (spectroscopie d'impédance électrochimique et de polarisation potentiodynamique). Les deux bases de Schiff sont de très bons inhibiteurs et agissent comme des inhibiteurs de type mixte. Les efficacités d'inhibition de la corrosion sont dans l'ordre SBB> SBA.

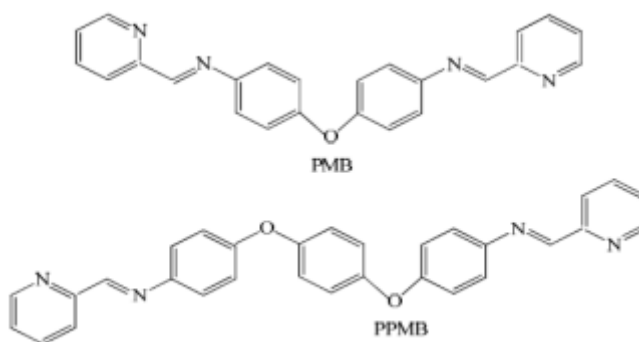


La base Schiff 5-CM- Salophen a été examinée comme inhibiteur de corrosion de l'acier doux dans 0,5 M HCl par **D. Seifzadeh et coll**. Les données gravimétriques ont révélé une meilleure efficacité inhibitrice même à de faibles concentrations. Les mesures de polarisation ont montré que la base de Schiff est un inhibiteur de type mixte et que la résistance de polarisation augmente avec l'augmentation de la concentration de la base de

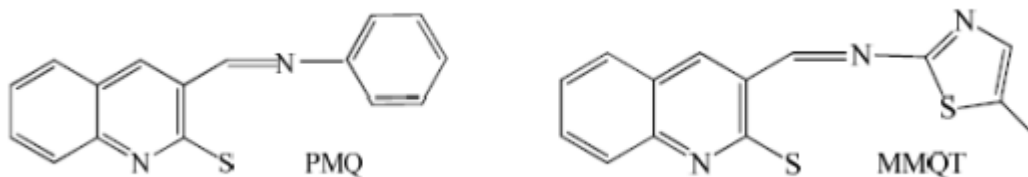
Schiff. L'adsorption à la surface de l'acier obéit à l'isotherme de Langmuir. Les résultats des études MEB ont confirmé l'action inhibitrice de la base de Schiff.[19]



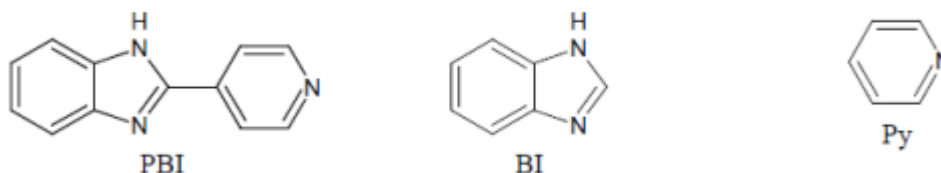
Deux bases de Schiff, à savoir 4-(4-((Pyridin-2-yl) méthylène amino) phenoxy)-N- ((pyridin-2- yle) methylene) benzenamine (PMB) et 4-(4-(4-((Pyridin-2-yl) methylene amino) phenoxy) phenoxy)-N-((pyridin-2 yle)methylene) benzenamine (PPMB) ont été synthétisées par **M. Murmu et col.** et leurs performances d'inhibition de la corrosion sur l'acier doux ont été étudiées par les méthode gravimétrique et électrochimique dans un milieu HCl 1 M. L'analyse par microscopie électronique à balayage et par microscopie à force atomique a confirmé la formation de films protecteurs sur la surface de l'acier.[14]



B.M. Mistry et col. ont étudié l'inhibition de la corrosion de l'acier doux dans la solution HCl 1 N en absence et en présence de différentes concentrations de certains dérivés de la mercapto-quinoléine, à savoir le 3 ((phenylimino)méthyle)quinoline-2-thiol (PMQ) et 3- ((5-methylthiazol-2-ylimino)méthyle)quinoline-2-thiol (MMQT). Grâce aux mesures EIS et aux mesures de perte de poids, il a été constaté que le PMQ et le MMQT étaient des inhibiteurs efficaces et que leur efficacité d'inhibition était considérablement accrue avec l'augmentation des concentrations d'inhibiteurs. Les courbes de polarisation ont montré que les PMQ et MMQT évalués agissent tous deux comme des inhibitions mixtes. Les adsorptions de ces inhibiteurs sur l'acier doux se sont révélées suivre l'isotherme d'adsorption de Langmuir. Les résultats montrent que le taux de corrosion de l'acier doux augmente avec l'augmentation de la température dans la gamme de (25-45) ° C, à la fois en présence d'inhibiteurs et en leur absence.[15]



F. Zhang et coll. ont étudié l'effet inhibiteur des composés suivants : 2-(4- pyroxy)-benzimidazole (PBI), Benzimidazole (BI) et pyridine (Py) sur la corrosion de l'acier en milieu HCl 1M en utilisant la perte de masse et les méthodes électrochimiques. Le composé 2-(4-pyridyl)-Benzimidazole présente une meilleure efficacité inhibitrice de l'ordre de 90.8% pour une concentration de $2 \times 10^{-3} \text{M}$. [16]



G. Mise au point bibliographique sur la synthèse, caractérisation et application des bases de Schiff et leurs complexes

Un nombre important d'articles, de revues et d'ouvrages ont évoqué la synthèse et l'utilisation des composés organiques base de Schiff. Parmi les travaux les plus répondus, nous citerons les travaux récents :

❖ **G. G. Mohamed et al.** ont synthétisé et caractérisé par des méthodes spectroscopiques deux ligands bases de Schiff dérivés du 2-furancarboxaldehyde et de l'ophénylène-diamine (L1), 2-thiophenecarboxaldehyde et de 2-aminothiophenol (L2) (Figure. III.5), et leurs complexes de Co (II), Ni(II), Cu(II), et Zn(II). [17]

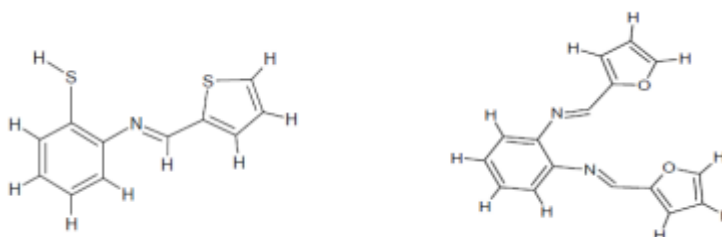


Fig. III.6 : Structure des ligands bases de Schiff (G. G. Mohamed et al.).

L'analyse spectroscopique a confirmé l'attachement des ions au centre métallique avec les sites d'oxygène (O) et d'azote (N) du ligand (L1) et les sites de thiophène (S) et d'azote (N) du ligand (L2).

❖ **L. Sibous et coll.** ont synthétisé de nouveaux ligands bases de Schiff par condensation de 2-hydroxybenzaldehyde ou de 2,4-dihydroxybenzaldéhyde et de 2,4-pentanedione avec le 4,4'-diaminodiphényl dans l'éthanol absolu pour obtenir des ligands tétra dentés (H₂L), la complexation avec les chlorure de Co(II), Ni(II) et Cd(II), conduisant à des complexes métalliques où le rapport métal : ligand est de 2:1. Tous les composés ont été caractérisés par analyse élémentaire, infrarouge, UV-visible, spectroscopie de masse, JH-RMN et DSC. Les voltamogrammes cycliques de ces ligands et de leurs complexes dans le DMF ont été aussi discutés.[18]

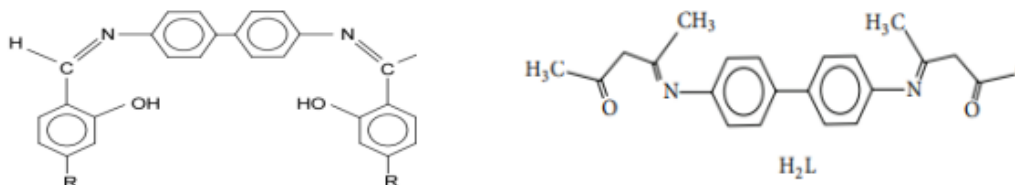


Fig. III.7 : Structure des bases de Schiff synthétisés par L. Sibous et al.

❖ **D. Daoud et al.** étudie l'effet de l'inhibition d'un nouveau composé base de Schiff : N-(thiophen-3-ylmethylidene) 4-({4-[(E)-(thiophen-2-ylmethylidene) amin-o] phényle} méthyl) aniline (L) (Figure I.15) sur la corrosion de l'acier X52 dans HCl 1M et H₂SO₄ 1M dans un domaine de température de 25 à 55 °C. Ils ont montré que l'efficacité inhibitrice croît avec l'augmentation de la concentration et diminue avec la température. Ils ont utilisé l'approche DFT/B3LYP/6-31G (d, p) et on trouve une forte corrélation entre l'efficacité inhibitrice de la molécule étudiée et les paramètres chimiques quantiques de cette molécule à savoir :

les énergies des orbitales frontières, le moment dipolaire (μ), le gap d'énergie ($\Delta E = E_{LUMO} - E_{HOMO}$). D'autre part, ils ont calculé les paramètres structuraux de ce ligand à l'état gazeux et à l'état aqueux (en présence de HCl 1M, ils ont constaté que l'effet inhibiteur de la molécule étudiée devient notable après la protonation).[19]

❖ **L'effet** du (3-phenylallylidene) amino-5-(pyridine-4-yl) -4H-1,2,4-triazole-3-thiol (SB-1), 3-mercapto-5(pyridine-4-yl) -4H-1,2,4-triazole-4-yl) imino) méthyl) phénol (SB-2) et (4 nitrobenzylidene) amino) -5-(pyridine-4-yl) -4H-1,2,4-triazole-3-thiol (SB-3) sur l'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu acide chloridrique HCl 1M a été étudié par K.R. Ansari et al.

Les résultats ont montré que ces bases de Schiff ont une excellente efficacité inhibitrice de la corrosion. [20]

❖ **S.Kr. Saha et al.** ont étudié le mécanisme d'inhibition de la corrosion du 3-((phénylamine) méthyl) quinoline-2-thiol (PMQ) et 3-((5-méthylthiazol-2-ylimino) méthyl) quinoline-2-thiol (MMQT) sur la surface de l'acier par les calculs de la chimie quantique et la simulation de la dynamique moléculaire. Les paramètres de chimie quantique ont prouvé que PMQ et MMQT sont des inhibiteurs efficaces. Les calculs théoriques sont en bon accord avec les résultats expérimentaux et montrent que l'efficacité inhibitrice de MMQT est supérieure de PMQ.[21]

❖ Des bases de Schiff contenant le groupement SH ont été étudiées sur l'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu hydrochlorique normal par H.M. Abd El-Lateef et al. à 50°C. L'évolution de leur pouvoir inhibiteur a montré que ces nouvelles imines inhibent la corrosion et que SII est plus efficace que SI. L'effet de la structure de ces imines sur l'inhibition de la corrosion de l'acier en milieu acide a été étudié en utilisant la méthode DFT pour le calcul des paramètres chimiques quantiques des molécules inhibitrices. Ils ont trouvé une relation étroite entre l'efficacité inhibitrice de ces bases de Schiff et l'énergie de la dernière orbitale moléculaire occupée (EHOMO), l'énergie de la première orbitale moléculaire vacante (ELUMO), moment dipolaire (μ), le gap d'énergie (ΔE) et d'autres paramètres.[22]

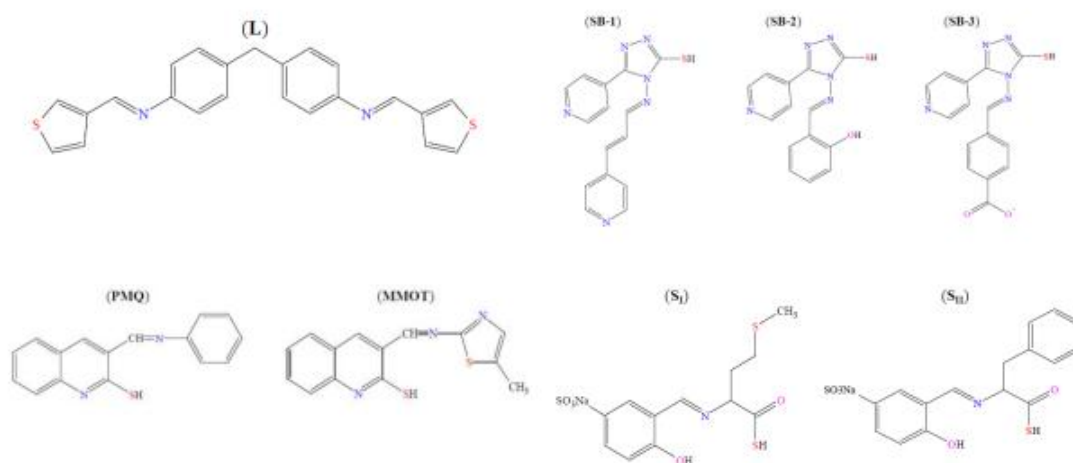


Fig. III.8 : Structures chimiques des bases de Schiff étudié comme inhibiteurs de corrosion.

H. Bases Schiff comme inhibiteurs de corrosion pour aciers:

Comme type représentatif de ces inhibiteurs organiques, les dérivés de l'imidazole et leurs sels d'ammonium quaternaires. L'inhibition de ces composés organiques est attribuée à l'interaction de la surface d'acier doux et des molécules inhibitrices par leur adsorption sur la surface métallique.

Étudie les propriétés d'inhibition de la corrosion de deux bases quaternaires d'isoxazolium Schiff contre les milieux d'acide chlorhydrique mesures de polarisation et d'impédance électrochimique. Les résultats indiquent que la corrosion de l'acier au carbone dans les solutions de 0,5 M HCl est considérablement réduite par l'ajout des inhibiteurs cationiques de la base d'isoxazolium Schiff. L'efficacité de l'inhibition augmentait avec la concentration et la longueur de la chaîne alkyle de l'inhibiteur.

AYurt et ses collègues étudient les activités d'inhibition sur une série de bases de Schiff contenant des substituants hétéroaromatiques. Les composés agissent comme inhibiteurs anodiques et la variation de l'efficacité inhibitrice dépend principalement du type et de la nature des substituants présents dans la molécule inhibitrice. Les hétéroatomes tels que l'azote, l'oxygène et le soufre sont capables de former une liaison covalente de coordonnées avec le métal en raison de leurs paires d'électrons libres et Les hétéroatomes tels que l'azote, l'oxygène et le soufre sont capables de former une liaison covalente coordonnée avec le métal en raison de leurs paires d'électrons libres et d'agir ainsi comme inhibiteurs. Les composés avec des -liaisons présentent généralement de bonnes propriétés inhibitrices en raison de l'interaction de δ -orbital avec la surface métallique.[23]

Les bases Schiff avec $RC=NR$ comme formule générale ont les deux caractéristiques combinées avec leur structure qui peut alors donner lieu à des inhibiteurs particulièrement potentiels.

Dans l'étude , les mesures d'ionisation polaire ont montré que Toutes les bases Schiff testées provoquent une diminution du courant de corrosion et une dégradation des potentiels de corrosion dans une direction noble de telle sorte que l'inhibition soit sous contrôle anodique.

L'efficacité d'inhibition des bases de Schiff diminue avec la température et sa diminution conduit à augmenter l'énergie d'activation du processus de corrosion. Les mesures d'impédance à E_{corr} ont montré une boucle capacitive liée aux propriétés diélectriques du film de surface.

Aysel Yurt et ses collègues en 2010 effet de trois bases de Schiff dérivées de phénoxypropanes sur la corrosion de l'acier doux dans le HCl[18] . Les mesures électrochimiques montrent que l'inhibition des compétences augmente avec l'augmentation de la concentration d'inhibition. Ceci implique que l'action inhibitrice des inhibiteurs était principalement due à l'adsorption sur la surface de l'acier. Les molécules adsorbées filtrent mécaniquement la partie revêtue de la surface métallique de l'action de la corrosion . De plus, les paramètres chimiques quantiques calculés indiquent que les bases de Schiff sont adsorbées sur la surface de l'acier par un mécanisme chimique.[24]

relativement peu d'études sur les composés de métaux communs de Schiff en tant qu'inhibiteurs de corrosion apparaissent dans la littérature.

A. M. Abdel Gaber et ses collaborateurs font état de l'effet de la base Schiff N,N/-bis (salicylaldehyde)-1,3- diaminopropane (Salpr) et de son complexe cobalt correspondant sur le comportement à la corrosion de l'acier dans une acide solution sulfurique de 1M.

Les résultats révèlent que le comportement de rémanence n'est pas idéal dans les processus d'adsorption du complexe Co (Salpr) sur la surface de l'acier. Le Co (Salpr) pourrait déplacer plus de molécules d'eau de la surface de l'acier que le Salpr correspondant. La molécule volumineuse de Co(Salpr) pourrait couvrir plus d'un site actif. Si le processus d'adsorption implique le chevauchement d'un ligan du non collangorbital avec un vide métallique orbital, une liaison de type coordonnée se forme et la chimorption traitée. Cette situation peut survenir dans les cas où les molécules inhibitrices contiennent paires solitaires d'électrons, liaisons multiples ou système de liaison de type conjugué.

D'autre part, certains inhibiteurs organiques pourraient réagir avec des ions du métal provenant du processus de corrosion à un complexe formanalogeux de façon irréversible qui peut diminuer ou augmenter la vitesse de corrosion. L'effet inhibiteur de Salpr et Co(Salpr) a été attribué à l'adsorption sur la surface métallique via les centres d'adsorption libres de la molécule.

Suraj B.Ade et ses collaborateurs ont étudié l'effet de la base de Schiff 4-Chloro-2-(2-oxo-1, 2-dihydroindol- 3-ylidène amino)-benzoïque (ACBAI) et de leur Cd

(II) Complexes métalliques Ti (IV), Zr (IV) et Hg (II) sur acier doux dans des solutions acides 0,1N HNO₃ en utilisant une méthode de perte de poids. L'étude révèle que les composés ont des propriétés d'inhibition dues à leur absorption à la surface du métal, agissant ainsi de manière générale pour empêcher le mildsteel d'entrer en contact avec l'environnement corrosif

acide. Les résultats de l'efficacité d'inhibition en pourcentage du complexe in-dicentra t[Cd(II)ACBAI] sont un bon inhibiteur. Les complexes [Ti(IV) ACBAI], [Zr(IV) ACBAI] et [Hg(II) ACBAI] ont une efficacité d'inhibition moindre.[25]

Toutefois, les études sur l'effet des complexes métalliques comme inhibiteurs de corrosion pour l'acier en solution acide qui ont été publiées sont extrêmement limitées Le tableau .III.1

ci-dessous résume les travaux examinés en termes de composés, de milieux et de métaux étudiés:

Tableau .III.1: études sur l'effet des complexes métalliques comme inhibiteurs de corrosion pour l'acier en solution acide .[25]

no	Compound	media	metal
1	2-aminoisoxazole schiff base derivatives	HCl	Carbon steel
2	Thiophene and benzothiazole derivatives	HCl	Carbon steel
3	Phenoxypropane Schiff bases	HCl	Mild steel
4	Salicyldamine schiff bases	H ₂ SO ₄	Chromium-nickel steel
5	Salicyldamine schiff bases	HCl	steel
6	Dianiline Schiff bases	H ₂ SO ₄	Mild steel
7	Benzylidene and salicylidène Schiff bases	HCl	aluminum

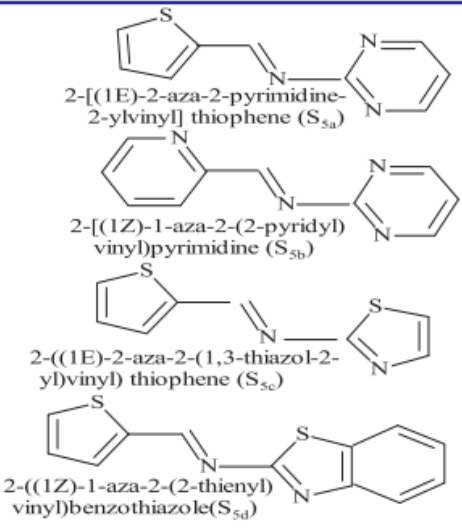
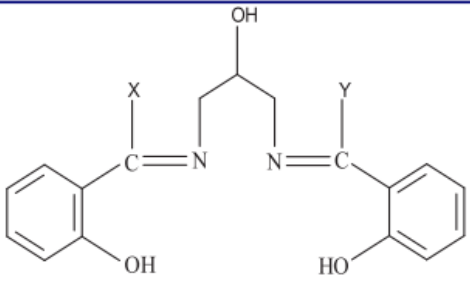
III.6. Inhibition de la base de Schiff sur le comportement de l'acier doux dans le milieu acide :

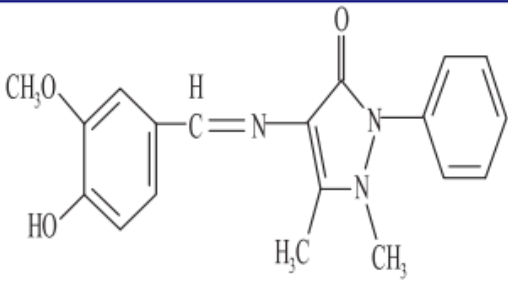
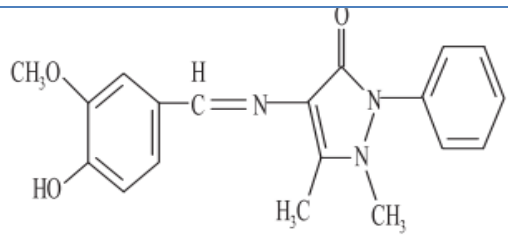
Les bases de Schiff ont reçu la plus grande attention parmi les inhibiteurs organiques en tant qu'inhibiteur de la corrosion à l'acide acier doux. Les points forts de ces activités de recherche rapportées sont décrits dans le tableau III.2. Plusieurs chercheurs ont étudié l'activité inhibiteur des bases de Schiff dans les médias acide chlorhydrique et acide sulfurique contre la corrosion de l'acier doux.[26]

III.7. Mécanisme d'inhibition de la corrosion

Dans les médias acides agressifs, les inhibiteurs organiques empêchent souvent la corrosion en recouvrant le métal

Tableau III.2.: Les points forts de ces activités de recherche rapportées sont décrits.[27]

Inhibiteurs	Médium, méthodes d'essai avec condition, g (%), type d'inhibiteur et d'adsorption, rapport structure-activité inhibition.
 2-[(1E)-2-aza-2-pyrimidine-2-ylvinyl] thiophene (S_{5a}) 2-[(1Z)-1-aza-2-(2-pyridyl) vinyl]pyrimidine (S_{5b}) 2-[(1E)-2-aza-2-(1,3-thiazol-2-yl)vinyl] thiophene (S_{5c}) 2-[(1Z)-1-aza-2-(2-thienyl) vinyl]benzothiazole (S_{5d})	0.1M HCl PDP et méthodes EIS à 293 K. PDP-83.3(S5a), 71.8 (S5b), 64.4 (S6c), 49.5 (S7d) EIS-58.3 (S8a), 54.6 (S9b), 50.2 (S1c), 33.7 (S4d) à 10⁻⁴ M. Inhibiteurs anodiques suivant le mode de chémisorption. La présence d'un excès d'électrons dans l'anneau de thiophène (S5a) a augmenté la densité des électrons au groupe imine et a donc montré une meilleure IE par rapport au reste des composés qui sont attachés à un anneau de pyridine déficient en électron, à une bague de thiazole ou à un Anneau de benzène fusionné avec une baguette de thiazole.
 X=Y= H: N, N'-bis(salicylidene)-2-hydroxy-1,3-propanediamine (S_{9a}) X=Y= -CH₃: N, N'-bis(2-hydroxyaceto phenylidene) 2-hydroxy-1,3-propanediamine (S_{9b})	2M HCl WL, PDP, méthodes EIS à 303 K, 2h IT. WL-79.0 (S9a), 90.0 (s9b) PDP-80.0 (S9a) 91.0 (s 9b) EIS-78.0 (ss 9a), 90% (s9) à 5 10⁻³ M. Tous les composés ont montré un caractère inhibiteur mixte. (S9b) a montré l'efficacité d'inhibition la plus élevée probablement en raison de la présence de deux groupes de méthyl donateurs d'électrons supplémentaires qui ont tendance à augmenter la densité électronique sur l'atome N du groupe imine conduisant à une adsorption plus forte.

 4-[(4-hydroxy-3-hydroxymethyl-benzylidene)-amino]-1,5-dimethyl-2-phenyl-1,2-dihydro-pyrazol-3-one (S₁₃)	2M HCl WL, PDP & EIS méthodes à 293K, 1h IT. WL-92.0; PDP-92.0 ; EIS- 93.0 à 5 10⁻³ M. (S13) agit comme un inhibiteur de type mixte. Les p-électrons du groupe imine, d'un groupe carbonyle et des systèmes aromatiques, ainsi que la présence de groupes électroniques multiples (OCH₃, -CH₃ et -OH) sont responsables de l'adsorption plus forte de (S13). Il a donc montré une bonne activité inhibiteur. Emregul and Hayvali (2006)
 4-[(4-hydroxy-3-hydroxymethyl-benzylidene)-amino]-1,5-dimethyl-2-phenyl-1,2-dihydro-pyrazol-3-one (S₁₁)	2M HCl WL, PDP & Els méthodes à 293K, 1h IT. WL-92.0; PDP-92.0 ; EIS- 93.0 à 5 10⁻³ M. (S13) agit comme un inhibiteur de type mixte. Les p-électrons du groupe imine, d'un groupe carbonyle et des systèmes aromatiques, ainsi que la présence de groupes électroniques multiples (OCH₃, -CH₃ et -OH) sont responsables de l'adsorption plus forte de (S13). Il a donc montré une bonne activité inhibiteur. Emregul and Hayvali (2006)

III.8.Mode de préparation des dérivés bases de Schiff :

La préparation des bases de Schiff s'effectue par le procédé général de condensation des quantités équimolaires d'aldéhyde salicylique avec un dérivé de l'aniline en milieu alcoolique. Les dérivés d'ortho- bases de Schiff sont obtenus sous forme de cristaux de couleurs allant du jaune pâle à l'orange.

Le mélange de condensation d'aldéhyde salicylique (0.01mol) avec une série des dérivés aniline (0.01mol) différemment substituées est dissout dans le minimum d'éthanol pur (15 ml) et placé dans un ballon tricol muni d'un agitateur magnétique, d'un réfrigérant et d'un thermomètre gradué. L'ensemble maintenu au reflux à température 70°C est sous agitation pendant environ deux heures. Le mélange est ensuite refroidi à température ambiante puis concentré par l'évaporation du solvant. Le produit solide obtenu est purifié par recristallisation dans l'éthanol.

Références bibliographies

- [1] Houas, Noudjoud. Synthèse, caractérisation, calculs quantiques et étude comparative de l'activité biologique d'un acide α -aminophosphonique et une base de Schiff. Diss. 2022.
- [2] Astudillo, Mario E. Alva, et al. "Hydroxy Schiff base-oxazolidine tautomerism: apparent breakdown of Baldwin's rules." *Tetrahedron* 41.24 (1985): 5919-5928.
- [3] Nowok, Andrzej, et al. "Simple Rules for Complex Near-Glass-Transition Phenomena in Medium-Sized Schiff Bases." *International Journal of Molecular Sciences* 23.9 (2022): 5185..
- [4] Dr. Philp, L. Grieg, Applying biological principles to the assembly and selection of synthetic superstructures, *Chem. Soc. Revu.*, 30 (2001) page 287–302.
- [5] Dr .Chibouh Fellah Fatima Zohra , Synthèse et détermination structurale de complexes de métaux de transition et d'entités 3d-4f , Universités Paul Sabatier – Toulouse et l'université Aboubaker Belkaid - Tlemcen – Algérie, Le 29 Juin 2008.
- [6] Schiff, Mittheilungen aus dem Universitätslaboratorium in Pisa: eine neue Reihe organischer Basen, *European Journal of Organic Chemistry*, V 131 page (118-119) ,1864.
- [7] Sun, Hao, et al. "Water-stimuli-responsive dynamic fluorescent switch from Kasha's rule to anti-Kasha's rule based on a tetraphenylethene substituted Schiff base." *Chemical Engineering Journal* 405 (2021): 127000.
- [8] Sebti Fouzia, synthèse, caractérisation et activités biologiques d'un ligand chélateur des ions métalliques, université Ferhat Abbas setif-1, 2018.
- [9] Djihane, Hamel Nor, Mechakra Safa, and Zouchoun Bachir. "Les complexes de métaux de transition à base de Schiff." (2021).
- [10] Sabrina, Kassa Latifa Akmoum. Synthèse, caractérisation et études par DFT des molécules base de Schiff. Diss. faculté des sciences et de la technologie univ bba, 2022.
- [11] Cherdoud, Firouz. Synthèse et caractérisation des ligands bases de Schiff et leurs application biologiques. Diss. Université Mohamed Boudiaf, M'sila, 2016.
- [12] Madani, Abdelghani. Synthèse, caractérisation et comportement électrochimique de monomère de bases de Schiff dérivées de composés azotés et carbonyles et de leurs complexes métalliques. Diss. 2022.
- [13] Pr. Raja, M.G. Sethuraman, Materials. Lettrs. Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media — A review V 62(113-116) ;2008.

- [15] Abdala, Abdelhamid. Synthèse et application de nouvelles bases de Schiff dans la protection contre la corrosion des aciers destinés à la construction. Diss. 2018.
- [16] Hamani, Dr. Douadi, M. Al-Noaimi, S. Issaadi, D. Daoud, S. Chafaa, Corrosion Science .V 88 (234–235). 2014
- [17] Mesbah, Mounira. Synthèse Caractérisation et Application Biologique de Nouveaux Ligands Bases de Schiff et Leurs Complexes métalliques. Diss. 2018.
- [18] Démolin, G. "Comportement des adultes de *Thaumetopoea pityocampa* Schiff. Dispersion spatiale, importance écologique." Annales des sciences forestières. Vol. 26. No. 1. EDP Sciences, 1969.
- [19] Boucherit, M. Al-Noaimi, D. Daoud, T. Douadi, N. Chafai, S.J. Chafaa , Mol. Struct . V 1177 (371-380)2019 .
- [20] Dr, Kaabi, T. Douadi, D. Haffar, S. Chafaa, M. Allain, M.A. Khan, G.M. Bouet, Crystal structure of a new pentadentate symmetrical: di [4-(phenylimino) pentan-2-one] ether. Structural and electrochemical studies of its Co II, Ni II, Cu II and Cd II complexes, Transition Metal Chemistry,V 32 (666-673). 2007
- [21] Boughoues, Yasmine. Synthèse, étude physicochimique et électrochimique de nouveaux composés organiques comme inhibiteurs de corrosion de l'acier en milieu acide. Diss. 2022.
- [22] Mohamed, Salami. Etude théorique des complexes extractibles des métaux de transition divalents avec les hydroxy bases de Schiff par la méthode DFT. Diss. Université de Mohamed kheider Biskra, 2021.
- [23] Baian, Lakehal Imene Arach. Synthèse, caractérisations et étude comparative de l'activité antibactérienne d'un ester α -aminophosphonate et d'une base de Schiff: Étude Expérimentale et Théorique. Diss. Faculté des Sciences et Technologies, 2021.
- [24] MEZOUDJI, Hanane. ETUDE THEORIQUE DE LA COMPLEXATION DES METAUX DE TRANSITION PAR LES BASES DE SCHIFF. Diss. Université Mohamed kheider Biskra, 2010.
- [25] Dr. Daoud et al., Corrosion inhibition of mild steel by two new S-heterocyclic compounds in 1 M HCl: Experimental and computational study, Corros. Sci. (2015),
- [26] BELHADJ, NADRA. Etude par voltamétrie cyclique de l'efficacité inhibitrice de nouveaux composés organiques bases de Schiff vis à vis de la corrosion d'un acier destiné à la construction dans un milieu simulant l'eau interstitielle du béton. Diss. 2018.
- [27] Djihane, Hamel Nor, Mechakra Safa, and Zouchoun Bachir. "Les complexes de métaux de transition à base de Schiff." (2021).

Conclusion générale

Notre mission est d'étudier le phénomène de corrosion des échangeurs de chaleur dans les usines de traitement du pétrole et du gaz et de trouver les raisons les plus importantes pour cela, parce qu'il conduit à une perte d'énergie et de temps, parce qu'il conduit à de faibles profits.

Pour réduire les problèmes des échangeurs de chaleur, il est nécessaire d'utiliser des matériaux résistants à la corrosion, de maintenir une surveillance régulière, de mettre en œuvre de saines pratiques de nettoyage et de suivre un programme d'entretien préventif. Ces mesures amélioreront l'efficacité, la durabilité et la fiabilité des échangeurs de chaleur, assurant ainsi le fonctionnement optimal des systèmes industriels.

Aussi en comparant les résultats des chercheurs dans ce domaine, nous avons constaté que les bases de Schiff, qui contiennent la sécurité, ont une grande efficacité dans la protection contre la corrosion si nous les utilisons comme inhibiteurs, et l'efficacité d'inhibition est influencée par la concentration, la température et la nature du milieu, de sorte que l'efficacité de l'inhibition est affectée par l'augmentation ou la diminution de ces facteurs.

Enfin, nous avons conclu qu'il augmente son efficacité en augmentant la concentration de l'inhibiteur et diminue à haute température. Ce procédé consiste à adsorber la surface de l'acier après le lancing de l'isotome dans des intermédiaires corrosifs.

Résumé:

La corrosion est un problème rencontré par les usines de traitement du pétrole, un phénomène commun qui peut se produire dans les échanges de chaleur, et est le résultat d'une interaction chimique entre les métaux d'échange de température et les liquides qui y sont liés. Manger peut affecter négativement la durée de vie du métabolisme plutôt que son efficacité.

Dans notre thème, nous allons étudier ce problème que rencontrent les échanges de chaleur et les facteurs qui en découlent. Les solutions proposées précédemment

L'étude de Base de Schiff et de leurs applications dans le domaine industriel et en particulier contre l'ingestion, les règles du mousse ont une excellente efficacité anti-corrosion et ce processus est effectué en stimulant la surface du métal consommé.

L'efficacité est influencée par la concentration, la température et la moyenne.

Mots-clés : Corrosion, Base de Schiff , Échangeurs de chaleur, Inhibiteurs de corrosion, Usines de traitement du pétrole, Encrassement .

Abstract:

corrosion is a problem facing oil processing plants, a common phenomenon that can occur in thermal exchanges, and is the result of a chemical reaction between the metals of thermal exchange and the liquids that touch it. corrosion can have a negative effect on the age of the thermal exchanger, as well as its efficiency.

On this subject, we discussed the problem of thermal exchange and the most important factors caused by its various types and forms. And most importantly, the previous proposed solutions.

To study Schiff bases important applications in the industrial field, especially against eating, Chef's rules are excellent anti-eating effectiveness, and this process is done by absorbing the surface of the metal that is eaten.

Effectiveness is influenced by concentration, temperature, and the ingestionary medium.

Keywords: Corrosion, Schiff bass, Heat exchangers, Corrosion inhibitors, Oil treatment plants, Fouling.

المخلص :

ان التآكل مشكل يواجه مصانع المعالجة البترولية ،وهو ظاهرة شائعة يمكن ان تحدث في المبادلات الحرارية ،وهو ناتج عن تفاعل كيميائي بين معدن مبادل حراري والسوائل الملامسة له .يمكن ان يؤثر التآكل سلبا على عمر المبادل الحراري ،فضلا عن كفاءته .

في موضوعنا هذا تطرقنا الى دراسة حول هذا المشكل الذي يواجه المبادلات الحرارية واهم العوامل المتسببة فيه مختلف انواعه واشكاله . واهم الحلول المقترحة السابقة

دراسة قواعد شيف واهم تطبيقاتها في المجال الصناعي و خصوصا ضد التآكل ، لقواعد شيف فعالية ممتازة ضد التآكل و تتم هذه العملية عن طريق الامتزاز بسطح المعدن المتآكل .

و تتأثر الفعالية بالتركيز و درجة الحرارة و الوسط .

الكلمات المفتاحية : التآكل، قواعد شيف ، المبادلات الحرارية ، مثبطات التآكل، مصانع المعالجة البترولية ،الانسداد .

