

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique

**UNIVERSITÉ de BLIDA 1**

**Faculté de Technologie**

**Département de Génie des Procédés**



**Mémoire**

En vue de l'obtention du diplôme

**MASTER EN GENIE DES PROCEDES**

**Spécialité : Génie Chimique.**

Intitulé du mémoire

Étude de l'efficacité des tensioactifs commerciaux comme des  
inhibiteurs de corrosion.

Présenté par :

BOURELAF Lamia  
SLAMANI Nour El-houda

Encadré par :

Dr. S.AOUDJ

Année universitaire 2022/2023.

## *Remerciment*

---

*En premier lieu nous tenons à remercier Allah le Tout Puissant de nous avoir donné la force et le courage, la volonté et la patience pour dépasser toutes les difficultés et d'accomplir et réaliser à bien ce travail.*

*Ce travail a été accompli au sein de l'université Saad DAHLEB Blida au laboratoire de recherche de génie chimique (équipe électrochimie et corrosion) Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur AOUDJ Salaheddine maitre de conférences à l'université de BLIDA 1, à qui nous exprimons notre profonde gratitude et nos sincères remerciements pour son accueil dans son laboratoire et pour nous avoir permis de préparer notre mémoire dans des meilleures conditions et pour nous avoir honoré par la direction et le suivi de notre mémoire jusqu'aux derniers moments, et sa patience, ses disponibilités et surtout ses conseils judicieux, qui ont alimenté notre réflexion.*

*Nous exprimons toute notre gratitude aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de bien vouloir étudier avec attention notre travail.*

*On souhaite aussi exprimer nos remerciements les plus sincères aux professeurs et enseignants de département de génie des procédés et tout particulièrement M*

*HADJI Mohamed El Moundher*

*Enfin, merci à tous ceux et celles qui nous ont aidé d'une façon ou d'une autre dans notre travail, on les remercie du fond du cœur.*

# *Dedicaces*

---

*Avec l'aide du Bon DIEU le tout puissant qui m'a éclairé le chemin du savoir, j'ai pu réaliser ce travail que je dédie à :*

*À ma très généreuse MÈRE qui a été chaleureusement présente avec beaucoup d'amour et de tendresse dans les moments les plus difficiles.*

*À mon PÈRE l'homme de ma vie qui m'encourage et me pousse toujours vers l'avant.*

*Merci d'être tout simplement mes parents.*

*C'est à vous que je dois dédier cette réussite et je suis tellement fière de vous l'offrir.*

*Aucune dédicace, aussi expressive ne saurait exprimer la profondeur de mes sentiments et estime que j'ai pour vous, Merci pour tous vos sacrifices, vos encouragements, votre amour.*

*À ma sœur qui était avec moi depuis le jour où je suis née : BOCHRA.*

*À mes frères la force de ma vie après mon père : RABAH et MOHAMED.*

*À mes chères grands-mères.*

*À ma Binôme BOURELAF LAMIA.*

*A ma chère cousine FADWA.*

*À mes chères copines et sœurs INES, TAKWA, AMINA, MANEL et WARDA*

*Merci pour votre aide, gentillesse et amitié que vous m'avez offerts.*

*Tous ceux qui m'ont donné la force de continuer et tous les gens qui me connaissent et qui ne retrouvent pas leurs noms.*

*Enfin à mes collègues de la promotion génie chimique de 2022/2023.*

*Nour el-houda.*



## *Dedicaces*

*Je dédie ce mémoire à mes chers parents qui ont été toujours à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études.*

*A ma chère mère RAZIKA*

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.*

*A mon cher père MOULOUD*

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection*

*A mes très chers frères ABDO et RIADH et mes chères sœurs SARA, NOUR, ABIR et BATOUL.*

*A mon binôme adoré SLAMANI Nour el-houda.*

*À mes chères amies INES, MANEL, AMINA, TAKOUA, MAROUA, LINDA et DOUNIA.*

*Je ne peux pas trouver les mots pour vous exprimer mon amour, vous êtes pour moi des sœurs.*

*En fin à tous ceux qui m'ont aidé de prêt ou de loin.*

**LAMIA**

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو تقييم الفعالية المثبطة للمواد الخافضة للتوتر السطحي التجارية مثل CTAB و SDBS و TWEEB-80 في الوسائط المسببة للتآكل. يعتمد عملنا على دراسة القوة الوقائية لهذه المواد الخافضة للتوتر السطحي ضد تآكل فولاذ X70 ، المستخدم على نطاق واسع في صناعة خطوط الأنابيب ، بالطرق: الجاذبية والكهروكيميائية. بالنسبة لـ TA CTAB كفاءة تبلغ 81% و 78% بتركيز 20 جزء في المليون في وسط HCl و NaCl على التوالي ، بالنسبة لـ TA SDBS بكفاءة تبلغ 90% بتركيز 200 جزء في المليون و 68% بتركيز 100 جزء في المليون في متوسط HCl و NaCl على التوالي ، وبالنسبة لـ TA TWEEN 80 بكفاءة تبلغ 82% بتركيز 100 جزء في المليون و 86% بتركيز 50 جزء في المليون في وسط حمض الهيدروكلوريك وكلوريد الصوديوم على التوالي. بالنسبة للخليط (خليط متساوي المولي) ، أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن خليط TA SDBS و TA CTAB أكثر فعالية من كل واحد على حدة. كفاءة قصوى لهذا الخليط تبلغ 91% لكل 200 جزء في المليون و 20 جزء في المليون في الوسط HCl 1M و 3% NaCl pH = 3 على التوالي.

**الكلمات الأساسية:** التآكل ، أنيوني ، كاتيوني ، خافض للتوتر السطحي غير الأيوني ، الكفاءة المثبطة ، التوصيف الكهروكيميائي ، البيئة المسببة للتآكل ، الفولاذ الكربوني X70 .

## **Résumé**

L'objectif de ce travail est d'évaluer l'efficacité inhibitrice des différents tensioactifs commerciaux tels que CTAB, SDBS et TWEEN-80 dans des milieux corrosifs différents. Notre travail est basé sur l'étude du pouvoir protecteur de ces tensioactifs contre la corrosion de l'acier X70 largement utilisé dans les pipelines, et ce par les méthodes gravimétriques et électrochimiques. Pour TA CTAB, les efficacités d'inhibition sont de 81 % et 78% dans les milieux HCl 1M et NaCl 3% (pH 3) respectivement, à une concentration de 20 ppm. Pour le TA SDBS une efficacité de 90% a été obtenue à une concentration de 200 ppm et de 68% à une concentration 100 ppm dans les milieux HCl 1M et NaCl 3% (pH 3) respectivement. Pour le TA TWEEN 80, une efficacité de 82 % à une concentration de 100 ppm et de 86 % à une concentration 50 ppm dans le milieu HCl 1M et NaCl 3% (pH 3) ont été obtenues respectivement. Pour le mélange (50% massique), les résultats obtenus montrent que le mixte de TA SDBS et TA CTAB est plus efficace que le tensioactif seul. Une efficacité maximale pour ce mélange de 91% pour 200 ppm et 20 ppm dans le milieu HCl 1M et NaCl 3% pH=3 respectivement.

**Mots clés** : corrosion, tensioactif anionique, tensioactif cationique, tensioactif non ionique, efficacité inhibitrice, caractérisation électrochimique, acier au carbone X70.

## **Abstract**

The objective of this work is to evaluate the inhibitory efficacy of commercial surfactants such as CTAB, SDBS and TWEEN-80 in corrosive media. Our work is based on the study of the protective power of these surfactants against the corrosion of X70 steel, widely used in the pipeline industry, by gravimetric and electrochemical methods. For TA CTAB, an efficiency of 81% and 78% at a concentration of 20 ppm in the HCl 1M and NaCl 3% (pH 3) medium were obtained respectively. For TA SDBS, the efficiency were 90% at a concentration of 200 ppm and 68% at a concentration of 100 ppm in the medium HCl 1M and NaCl 3% (pH 3) respectively, while for TA TWEEN 80, an efficiency of 82% at a concentration of 100 ppm and 86% at a concentration of 50 ppm were obtained in the medium HCl 1M and NaCl 3% (pH 3) respectively. For the mixture (50% mass). The obtained results show that the mixture of TA SDBS and TA CTAB is more effective than the surfactant alone. A maximum efficiency for this mixture of 91% for 200 ppm and 20 ppm in the medium HCl 1M and NaCl 3% pH=3 are reached respectively.

**Keywords:** corrosion, anionic surfactant, cationic surfactant, nonionic surfactant, inhibitory efficiency, electrochemical characterization, carbon steel X70.

## TABLE DES MATIERES

RESUME	
REMERCIEMENTS	
DEDICACES	
TABLE DES MATIERES	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
ABREVIATION	
INTRODUCTION	1
<b>RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE</b>	
1. Généralité sur le phénomène de la corrosion	3
1.1. Définition de la corrosion	3
1.2. Classification de la corrosion	3
1.2.1. Corrosion chimique	3
1.2.2. Corrosion Biologique	3
1.2.3. Corrosion Electrochimique	3
1.3. Les types de corrosion	3
1.3.1. La corrosion généralisée	3
1.3.2. La corrosion localisée	4
2. La corrosion dans les industries pétrolière	4
2.1. Introduction	4
2.2. Définition de pipelines	4
2.3. L'intérêt de transport par pipelines	5
2.4. La corrosion de pipelines	5
2.5. Les paramètres influent la corrosion pétrolière	6
2.5.1. La teneur en oxygène	6
2.5.2. La salinité	6
2.5.3. L'acidité	7
2.6. Les principaux risques de la corrosion des pipelines	7
2.7. Moyens de lutte contre la corrosion	7
3. Généralités sur les inhibiteurs de corrosion et tensioactifs	8
3.1. Définition d'un inhibiteur de corrosion	8
3.2. Propriétés des inhibiteurs	9
3.3. Condition d'utilisation des inhibiteurs de corrosion	9
3.4. Mode d'action des inhibiteurs de corrosion	10
3.5. Classification des inhibiteurs	10
3.5.1. Les inhibiteurs classes selon leur composition chimique	10
3.5.2. Les inhibiteurs classés selon leur mode d'action	12
3.5.3. Les inhibiteurs classés selon la nature électrochimique du processus	13
3.6. Méthodes d'étude des inhibiteurs de corrosion	14

3.6.1. La méthode de gravimétrie	15
3.6.2. Les méthodes électrochimiques	16
3.7. Les inhibiteurs à base de tensioactifs	21
3.7.1. Définition	21
3.7.2. Les différentes classes des tensioactifs	21
3.7.3. Propriétés physico-chimiques des tensioactifs	23
4. Emploi des tensioactifs comme inhibiteurs de corrosion	24
4.1 Synthèse bibliographie	24
<b>MATERIELS ET METHODES</b>	
2.1 Les produits utilisés	29
2.2. Les tensioactifs utilisés	29
2. 3. Caractérisation des tensioactifs utilisés	29
2.3.1. Caractérisation par des méthodes spectroscopiques	29
2.4. Détermination de la concentration micellaire critique	30
2.5. Méthode d'étude des inhibiteurs contre la corrosion de l'acier X70	30
2.5.1. La méthode de perte de masse (gravimétrie)	30
2.5.2. Méthode de Tafel	33
<b>RESULTATS ET DISCUSIONS</b>	
3.1. Caractérisation des tensioactifs	35
3.1.1. Caractérisation par des méthodes spectroscopiques	35
3.2. Détermination de la Concentration micellaire critique	38
3.3. Méthode d'étude des inhibiteurs de corrosion	39
3.3.1. La Méthode de gravimétrie	39
3.3.2. Les courbes de potentiodynamiques	47
CONCLUSION	50
ANNEXE	

## Liste des figures

Figure 1.1. Corrosion uniforme et corrosion localisée	4
Figure 1.2. les pipelines	5
Figure 1.3. corrosion dans les pipelines	6
Figure 1.4. Adsorption d'un inhibiteur organique sur une surface métallique en milieu Aqueux	11
Figure 1.5. Mécanismes d'adsorption d'inhibiteurs cathodique et anodique	12
Figure 1.6 . Représentation en milieu « acide » du rôle d'un inhibiteur anodique	13
Figure 1.7 : L'emplacement de l'échantillon dans le milieu corrosif.	15
Figure 1.8 : Courbe de polarisation	17
Figure 1.9: Courbe de Tafel	18
Figure 1.10 : Détermination de la résistance de polarisation	19
Figure 1.11 : Diagramme de Nyquist d'une réaction sous contrôle d'activation	20
Figure 1.12 : Diagramme de Bode d'une réaction sous contrôle d'activation	21
Figure 1.13 : Représentation schématique conventionnelle d'un tensioactif	21
Figure 1.14 : Exemple de tensioactif anionique.	22
Figure 1.15 : Exemple de tensioactif cationique.	22
Figure 1.16 : Exemple de tensioactif non ionique.	23
Figure 1.17 : Schématisation d'une formation de micelle directe.	23
Figure 1.18 : Origine de la tension superficielle.	24
Figure 1.19 : Comparaison entre les efficacités, déterminées par EIS, $R_p$ et Tafel, pour différentes quantités de tension actives synthétise (TAGA, TAPF, TAPB et TAKE)	25
Figure 1.20: Comparaison entre les efficacités déterminées par Gravimétrie, EIS et Tafel, pour différentes quantités de TCPF.	26
Figure 1.21 : Résultats obtenus par EIS et Tafel	27
Figure 2.1 : Les échantillons avant et après le polissage	31
Figure 2.2 : Échantillons immergés dans la solution corrosive	32
Figure 2.3 : Les échantillons dans le bain marie	32
Figure 2.4 : Montage de la chaîne de mesure et la cellule électrochimique	33
Figure 2.5 : Electrode de travail	34
Figure 2.6 : La contre-électrode en platine	34
Figure 2.7 : Electrode de référence au calomel saturé	34

Figure 3.1 : Le spectre IR du tensioactif CTAB.	37
Figure 3.2 : Le spectre IR du tensioactif SDBS.	37
Figure 3.3 : Le spectre IR du tensioactif Tween-80.	38
Figure 3.4 : Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA SDBS. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29° C.	39
Figure 3.5: Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA SDBS. Acier X70, solution NaCl 3% pH=3, 4h d'immersion, température 29° C.	40
Figure 3.6 : Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA CTAB. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29° C	40
Figure 3.7 : Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA CTAB. Acier X70, solution NaCl 3% pH=3, 4h d'immersion, température 29° C.	41
Figure 3.8 : Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA Tween-80. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29° C.	41
Figure 3.9 : Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA Tween-80. Acier X70, solution NaCl 3% pH=3, 4h d'immersion, température 29° C.	42
Figure 3.10 : Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA SDBS+TWEEN80. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29° C.	43
Figure 3.11 : Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA SDBS+TWEEN80. Acier X70, solution NaCl 3% pH=3, 4h d'immersion, température 29° C.	44
Figure 3.12 : Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA CTAB+TWEEN80. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29° C.	44
Figure 3.13 : Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA CTAB+TWEEN80. Acier X70, solution NaCl 3% pH=3, 4h d'immersion, température 29° C.	45

- Figure 3.14 : Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TASDBS+ CTAB. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29° C. 45
- Figure 3.15 : : Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA SDBS + CTAB. Acier X70, solution NaCl 3% pH=3, 4h d'immersion, température 29° C. 46
- Figure 3.16 : Courbes de polarisation potentiodynamique de l'acier X70 dans HCl 1M, sans et avec différentes concentrations du TA SDBS, à 30°C 47
- Figure 3.17 : Courbes de polarisation potentiodynamique de l'acier X70 dans HCl 1M, sans et avec différentes concentrations du TA CTAB, à 30°C 48
- Figure 3.18 : Courbes de polarisation potentiodynamique de l'acier X70 dans HCl 1M, sans et avec différentes concentrations du TA TWEEN80, à 30°C 48

## Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Actions spécifiques sur les éléments du système matériaux-surface-milieu.	8
Tableau 2.1 : Produits utilisés	29
Tableau 2.2 : Quelques caractéristiques des tensioactifs utilisés.	29
Tableau 2.3 : La composition chimique de l'acier utilisé.	30
Tableau 3.1 : Les longueurs d'onde du maximum d'absorption des tensions active	35
Tableau 3.2 : Les nombres d'ondes et les types de liaisons ou groupe dans les tensioactifs.	36
Tableau 3.3: Les résultats de la CMC	39

## Liste des symboles et abréviations

C	Concentration.
UV	Ultraviolet.
FTIR	Infrarouge à Transformée de Fourier.
CMC	Concentration micellaire critique.
TA	Tensioactif
CTAB	Bromure de Cétyltriméthylammonium
SDBS	Sodium Dodecyl Benzene Sulphonate
Tween-80	Polysorbate-80
$V_{\text{corr}}$	La vitesse de corrosion.
$E_{\text{corr}}$	Potentiel de corrosion.
$I_{\text{corr}}$	Courant de corrosion.
E %	Efficacité inhibitrice.
$R_p$	La résistance de polarisation
HCl	Acide chlorhydrique
NaCl	Chlorure de sodium
EGIG	European Gas Pipeline Incident Group
OCP	potentiel en circuit ouvert
ISO	Organisation internationale de normalisation
$b_a$	La pente

# Introduction générale

## **Introduction**

L'industrie pétrolière et gazière est parmi les plus grandes industries du monde. Elles apportent une contribution significative à l'économie mondiale. En Algérie, le pétrole joue un rôle capital dans l'économie nationale, avec des exportations d'hydrocarbures représentant 96% des ressources de l'État. L'industrie pétrolière revêt une importance économique cruciale, couvrant des diverses activités telles que le forage, la production et le transport. Cependant, les installations de cette industrie sont souvent vulnérables à la corrosion, ce qui peut entraîner de nombreuses défaillances.

Les pipelines sont utilisés comme l'une des méthodes les plus pratiques et les moins chères pour le transport du pétrole et du gaz à grande échelle depuis 1950. Les installations de pipelines pour le transport du pétrole et du gaz ont considérablement augmenté au cours des trois dernières décennies. Par conséquent, les problèmes de défaillance des pipelines se produisaient de plus en plus. Les considérations économiques et environnementales nécessitent une évaluation de l'intégrité structurale et de la sécurité [1].

La corrosion interne des pipelines peut être le fait soit du caractère corrosif du produit transporté, brut sulfureux par exemple, soit, le plus souvent, de la présence des traces d'eau salée qui accompagnent toujours le fluide transporté [2].

L'adoption de mesures préventives contre la corrosion est donc nécessaire et la méthode la plus souple et la plus adaptée est l'utilisation d'inhibiteurs. Cette méthode consiste à utiliser des substances chimiques qui sont ajoutées en très faibles quantités à un milieu agressif, peuvent réduire la vitesse de la corrosion du métal exposé [2].

Il existe des différents types d'inhibiteurs qui sont utilisés dans l'industrie pétrolière (cathodique, anodique et mixte). Parmi ces inhibiteurs, les tensioactifs se distinguent par leurs propriétés très intéressantes formant une classe de choix comme inhibiteurs. Par ailleurs, des études antérieures ont montré que la structure et la nature des tensioactifs ont une grande influence sur l'efficacité inhibitrice [2-4]. Kouache [3] a synthétisé des tensioactifs cationiques de la famille des sels d'ammoniums quaternaires à partir de produits pétroliers Algériens, (plat format). Ces inhibiteurs ont donné une efficacité de 71.78% à une concentration de 320 mg/L. Javadian *et al* [4] ont étudié la corrosion de l'acier doux dans une solution à 3,5 % de NaCl par le Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide CTAB et le sodium dodecyl sulfate SDS individuellement ainsi qu'en mélange. Leurs résultats ont

## *Introduction générale*

---

donné une efficacité de 67,8% à une concentration de 0,2 mM pour le CTAB et 61,5 % à une concentration de 2,5 mM pour SDS.

Dans ce cadre, nous avons opté pour l'étude des tensioactifs de différentes charges (anioniques, cationiques et non ioniques) qui peuvent être utilisés comme des inhibiteurs de corrosion. L'objectif est donc de tester l'influence de la composition, la nature et les propriétés des tensioactifs sur l'efficacité inhibitrice, et contribuer ainsi à trouver des solutions dans le cadre de l'effort national de la mise en point d'inhibiteurs de corrosion.

Ainsi, cette étude a un double objectif : Dans un premier temps l'étude de l'efficacité inhibitrice pour les trois tensioactifs tels que le Bromure de Cétyltriméthylammonium (CTAB), Sodium Dodecyl Benzene Sulphonate (SDBS) et le Polysorbate-80 (Tween-80). Dans un deuxième temps, le mélange de ces derniers et l'évaluation de leur efficacité inhibitrice vis -à- vis de la corrosion des aciers, en particulier ceux qui sont utilisés en industrie pétrolière, par la méthode de la perte de masse (la gravimétrie) et quelques méthodes électrochimiques différentes telles que le suivi du potentiel en circuit ouvert (OCP), l'extrapolation de Tafel et la résistance de polarisation  $R_p$ .

Ce mémoire se divise en deux parties :

La première partie théorique, elle comporte des généralités sur le phénomène de la corrosion, la corrosion dans l'industrie pétrolière et les inhibiteurs et les tensioactifs comme un moyen de lutte contre la corrosion.

La deuxième partie expérimentale qui comporte l'étude de l'efficacité inhibitrice des tensioactifs commerciaux par la méthode de gravimétrie dans deux milieux différents HCl 1M et NaCl 3% pH=3, en absence et en présence d'inhibiteurs choisis.

Cette dernière partie sera suivie d'une conclusion générale qui résume l'ensemble des résultats obtenus.

# Chapitre 1

## Recherche bibliographique

## **1. Généralités sur le phénomène de la corrosion**

### **1.1. Définition de la corrosion**

La corrosion d'un métal est un phénomène somme toute assez naturel, qui se produit spontanément dès que ce matériau est en contact avec un milieu agressif. Le matériau s'altère, quitte son état métallique pour se transformer en sels (oxydes, sulfures, carbonates) et revient ainsi à son état naturel, d'autre part la corrosion est une interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle du métal lui-même [5].

### **1.2. Classification de la corrosion**

La corrosion peut se développer suivant différents processus induisant plusieurs types de corrosion.

#### **1.2.1. Corrosion chimique**

Il s'agit d'une réaction purement chimique entre la surface du métal et un liquide ou un gaz. Elle consiste généralement à la transformation des métaux en oxydes, formant ainsi des couches superficielles. Lorsque le réactif est gazeux, la corrosion est dite sèche [6].

#### **1.2.2. Corrosion Biologique**

C'est l'attaque bactérienne des métaux, en particulier dans les canalisations enterrées. Elle est due essentiellement aux sécrétions des micro-organismes présents dans le milieu, en contact avec le métal [6].

#### **1.2.3. Corrosion Electrochimique**

Elle se produit lorsqu'il existe une hétérogénéité, soit dans le métal, soit dans le milieu environnant. L'existence de ces hétérogénéités détermine la formation d'une pile, un courant électrique circule alors entre anode et cathode et les zones qui constituent les anodes sont le centre attaqué. Elle se manifeste surtout lorsqu'on en présence de deux couples redox, l'un donneur l'autre accepteur, justifiant l'apparition d'une réaction d'oxydation du métal [6].

## **1.3. Les types de corrosion**

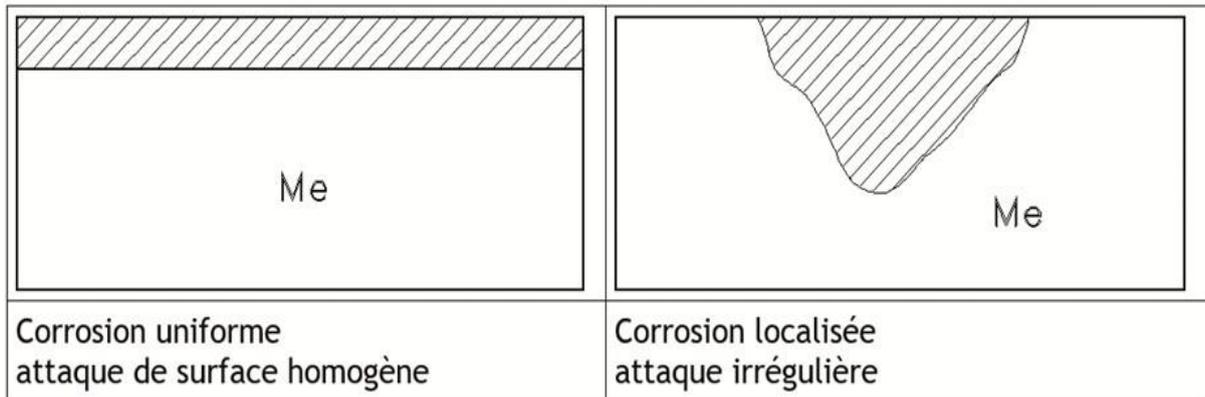
### **1.3.1. La corrosion généralisée**

Il s'agit d'une attaque à peu près uniforme en tout point de la surface du matériau. Cette forme de corrosion n'est pas particulièrement dangereuse parce qu'elle peut être prévue par des essais de corrosion et suivie, car elle produit une usure du matériau facilement mesurable. Il est souvent assez facile de choisir un matériau suffisamment résistant à cette forme

d'attaque, mais le choix pourra dépendre également de considération économique [7].

### 1.3.2. La corrosion localisée

La corrosion localisée survient sur une partie du métal à un taux bien supérieur au reste de la surface, elle peut avoir plusieurs formes [8].



**Figure1.1** : corrosion uniforme et corrosion localisée

De façon globale, Si la progression de la corrosion s'accomplit à une vitesse uniforme en tout point de la surface, on parle de corrosion uniforme. Si la progression des vitesses de corrosion est non homogène, on parle de corrosion localisée [9].

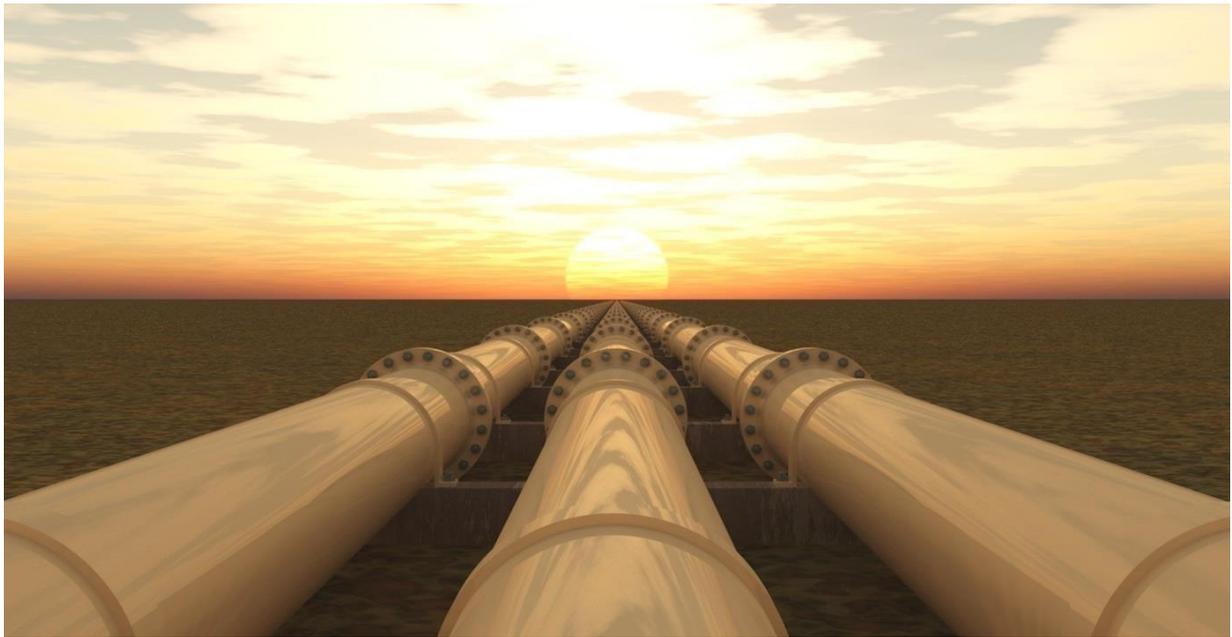
## 2. La corrosion dans les industries pétrolière

### 2.1. Introduction

Les objectifs de l'industrie pétrolière sont d'extraire, transporter, raffiner des pétroles en très grandes quantités dans les conditions économiques les plus performantes et pour des conditions de sécurité et de fiabilité des équipements optimales [10]. Les pipelines permettent le transport des pétroles bruts et des produits pétroliers depuis les régions de production jusqu'aux zones de consommation. Les pipelines sont composés de tubes, soudés les uns aux autres, d'un diamètre de quelques dizaines de centimètres à plus de 1m [11].

### 2.2. Notion de pipelines

Sont des Canalisations de gros diamètre servant au transport à grande distance de certains fluides (notamment carburants liquides, gaz naturel) et de certaines substances pulvérisées [12].



**Figure1.2** : les pipelines

### **2.3. L'intérêt de transport par pipelines**

Transport par pipeline est la solution la plus adaptée pour le transport massif d'hydrocarbures et limite les risques de la pollution par rapport aux transports maritimes. Dans l'industrie pétrolière, les pipelines sont des outils indispensables pour le transport à longue distance et ils combinent des débits élevés à grande échelle des hydrocarbures. Année après année, ils sont confirmés comme le moyen de transport d'hydrocarbures le plus sûr et le plus économique [12].

### **2.4. La corrosion de pipelines**

Les pipelines souffrent d'un certain nombre de formes de corrosion, certaines plus courantes que d'autres. Ils vont de la corrosion par piqûres, la corrosion uniforme, la corrosion galvanique, la corrosion cavernueuse et la bio-corrosion influencée pour n'en nommer que quelques-uns. La corrosion peut également se développer dans les tuyaux non métalliques tels que le plastique ou même la fibre de carbone.

Les pertes dues à la corrosion contribuent grandement au pourcentage de pertes de procédé dans le transport par pipeline et sont également une source importante de pollution. Les statistiques de l'European Gas Pipeline Incident Group (EGIG) montrent que la cause principale de l'accident est une attaque externe, généralement un accident de génie civil. Entre 1970 et 1992, le taux annuel d'accidents dus aux agressions extérieures et aux fuites de gaz était de 0,3 par mille kilomètres.

La température et le pH affectent directement la vitesse de la corrosion, tandis que l'effet indirect se fait par la phase aqueuse. La surface métallique et la pression affectent directement

la pression partielle de CO<sub>2</sub> [10].

La figure suivante présente la corrosion interne et externe des pipelines.



**Figure 1.3:** Corrosion dans les pipelines

## 2.5. Les paramètres influant la corrosion pétrolière

La corrosion de l'acier dans le sol se ramène à un phénomène électrochimique, elle dépend d'une part de l'agressivité propre du sol dans lequel la canalisation est posée, d'autre part de l'existence des phénomènes d'électrolyse liés à la nature du produit transporté.

Les problèmes les plus importants posés par la corrosion dans les puits et conduites en acier sont causés par des substances chimiques conduisant à une acidification de l'eau contenue dans le brut ou le gaz naturel. Les principaux facteurs conférant à l'eau une agressivité sont [2]:

### 2.5.1. La teneur en oxygène

La teneur en oxygène est un paramètre primordial dans les processus de la corrosion des aciers. La corrosion électrochimique des aciers en présence de l'oxygène s'effectue selon les réactions suivantes [13]:



### 2.5.2. La salinité

La salinité de l'eau contenue dans les gisements de pétrole est très élevée (plus de 3 à 4 fois celle de l'eau de mer). La concentration de chlorure de sodium constitue, à lui seul, 80 à 85% de la salinité globale et peut parfois atteindre et même dépasser les conditions de saturation.

Le paramètre important de la corrosion par les chlorures est la teneur en oxygène. En effet, en l'absence totale d'oxygène, la corrosion d'une eau chlorurée peut-être très faible si les

conditions de non- agressivité carbonique de l'eau sont réunies [13].

### 2.5.3. L'acidité

La présence des acides dans le milieu augmente l'agressivité des attaques de ce dernier envers le métal. Dans le pétrole brut et ses dérivés, on peut trouver une grande quantité et une variété d'acides. Par exemple :

- L'acide chlorhydrique
- L'acide sulfurique
- Les acides naphthéniques [13]

Parmi les acides qui causent d'énormes problèmes de corrosion dans les systèmes de production, de transport et de stockage des hydrocarbures, les gaz acides tel que :  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{S}$ . Dans les puits d'huile ou de gaz, la présence de  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{S}$ , qui se dissolvent dans l'eau, a pour conséquence une acidification de l'eau en provoquant une grande agressivité vis-à-vis des métaux [2].

## 2.6. Les principaux risques de la corrosion des pipelines

La corrosion est l'une des causes principales de rupture de canalisations d'hydrocarbures. Les principaux risques de corrosion des pipelines étaient très clairement identifiés par les expériences antérieures. Les pertes économiques en matériel attribuées à la corrosion en général sont très importantes. On distingue :

- Les effets directs qui concernent les dépenses dues à la détérioration du matériel et son remplacement. On estime que le remplacement d'une pipe coûte 10 à 20 M€.
- Les effets indirectes qui sont sans doute plus importants .il s'agit de :
  - Des pertes de productivité consécutives à l'arrêt des installations pour réparation. Ces pertes sont variables, on estime qu'un mois d'arrêt de production serait de l'ordre de 3M€.
  - Des pertes de production (fuites dans les canalisations, émissions de gaz,...).
  - Coût de l'entretien et du contrôle (mise en peinture, protection cathodique).
  - Coût dû à l'utilisation des matériaux plus nobles.
  - Contamination du produit par les produits de corrosion.
  - Arrêt de la production [13].

## 2.7. Moyens de lutte contre la corrosion

La résistance à la corrosion n'est pas une propriété intrinsèque d'un métal donné, mais plutôt une propriété de l'interface métal / milieu. D'où la nécessité de caractériser la composition chimique et la microstructure de celle-ci, ainsi que son comportement électrochimique. De

plus, le comportement en corrosion dépend des sollicitations diverses auxquelles le matériau est soumis qu'elles soient physicochimiques, thermiques ou mécaniques. On en déduit que tout moyen d'action de prévention et / ou lutte contre la corrosion concernera l'un des trois éléments du système étudié voire son ensemble [14].

**Tableau1.1** : Actions spécifiques sur les éléments du système matériaux-surface-milieu [14].

Élément	Action
Matériau	Choix approprié ; Traitements thermomécaniques ou thermochimiques ; Elaboration ...
Surface	Traitement de surface, préparation, nettoyage ; Revêtement ....
Milieu	Inhibiteurs ; Contrôle des paramètres physicochimiques (température, pH, aération, teneur en gaz dissous en impuretés...)
Ensemble du système	Protection cathodique Passivation anodique

Parmi ces différentes actions, nous allons nous intéresser, dans ce travail, à l'action sur la surface et / ou le milieu par l'utilisation directe des inhibiteurs de corrosion.

### 3. Généralités sur les inhibiteurs de corrosion et des tensioactifs

L'inhibition de la corrosion est une alternative très appréciée pour lutter contre les attaques corrosives. La plupart des inhibiteurs de corrosion efficaces en milieux acides sont des composés organiques ; ils agissent par adsorption sur la surface métallique conduisant à un blocage des sites actifs de corrosion [15].

#### 3.1. Définition d'un inhibiteur de corrosion

La définition d'un inhibiteur selon la norme ISO 8044 : « Substance chimique ajoutée au système de corrosion à une concentration choisie pour son efficacité, et qui entraîne une diminution de la vitesse de la corrosion sans modifier de manière significative la concentration en agent corrosif contenu dans le milieu agressif » [14].

L'inhibition de la corrosion par les molécules de surfactant est liée à la capacité des surfactants à s'agréger aux interfaces et en solution [14].

### 3.2. Propriétés des inhibiteurs

D'une manière générale un inhibiteur doit [15] :

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

### 3.3. Condition d'utilisation des inhibiteurs de corrosion

Bien que leur utilisation puisse être théoriquement envisagée dans la plupart des cas de corrosion (avec, comme principales limitations, un volume trop important du milieu corrosif ou l'impossibilité éventuelle d'y incorporer des additifs), les inhibiteurs ont plusieurs domaines traditionnels d'application [16].

- 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.

### 3.4. Mode d'action des inhibiteurs de corrosion

Il n'existe pas de mode d'action unique des inhibiteurs de corrosion. Un même composé aura d'ailleurs souvent un mécanisme d'action qui sera fonction du système de corrosion (métal + solution) en présence duquel il se trouvera.

On peut concevoir l'action de l'inhibiteur comme :

- l'interposition d'une barrière entre le métal et le milieu corrosif ; dans ce cas, qui est essentiellement celui des milieux acides, le rôle de l'adsorption du composé à la surface sera primordial ;
- le renforcement d'une barrière préexistante, en général la couche d'oxyde ou d'hydroxyde formée naturellement en milieu neutre ou alcalin. Ce renforcement pourra consister en une extension de l'oxyde à la surface, ou en la précipitation de sels aux endroits faibles de l'oxyde, ces sels étant des produits de corrosion ;
- la formation d'une barrière par interaction entre l'inhibiteur et une ou plusieurs espèces du milieu corrosif, ce type de mécanisme étant également spécifique des milieux neutres ou alcalins [18].

### 3.5. Classification des inhibiteurs

Il existe plusieurs possibilités de classement des inhibiteurs :

- Leur nature chimique : minérale ou organique ;
- Leur action sur les réactions de corrosion dans les zones anodiques, cathodiques ou les deux.
- Leur mode d'action: ils peuvent s'adsorber chimiquement ou électrostatiquement ou bien former une couche protectrice à la surface du métal
- Soit à partir du domaine d'application.

#### 3.5.1. Les inhibiteurs classés selon leur composition chimique

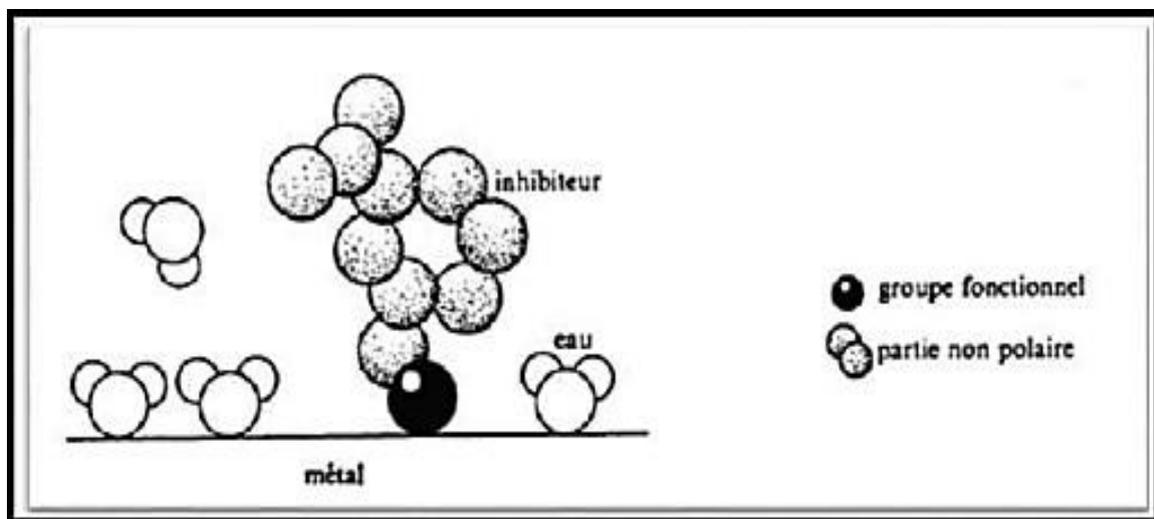
##### a. Inhibiteurs organiques

Les molécules organiques sont destinées à un développement plus que certain en termes d'inhibiteur de corrosion : leur utilisation est actuellement préférée, en dépit des inhibiteurs inorganiques pour des raisons d'écotoxicité essentiellement.

L'action inhibitrice de ces composés organiques, qui est généralement indépendante des processus anodiques et cathodiques de corrosion, est liée à la formation (par adsorption) d'une

barrière plus ou moins continue, mais d'épaisseur finie, qui empêche l'accès de la solution au métal (figure 1.4). Ce mécanisme d'action sera développé plus en détail par la suite [19].

Il existe de très nombreux composés organiques susceptibles d'être utilisés comme inhibiteurs. À partir d'une molécule "mère" possédant une certaine efficacité, il est toujours possible de synthétiser des composés de plus en plus complexes dans le but par exemple d'améliorer l'efficacité inhibitrice ou encore certaines propriétés physiques (solubilité en milieu aqueux ou non aqueux, pouvoir mouillant, température d'ébullition,...). Par ailleurs, la commercialisation d'un produit dépend en grande partie de son prix de revient : la préférence est souvent donnée à des sous-produits de l'industrie pétrolière [18].



**Figure 1.4** : Adsorption d'un inhibiteur organique sur une surface métallique en milieu aqueux

### b. Inhibiteurs inorganiques

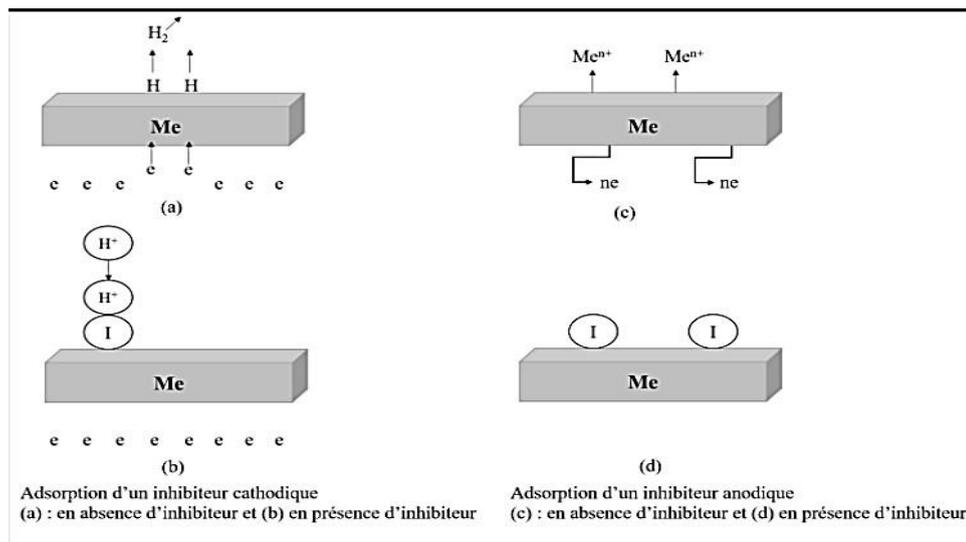
Les inhibiteurs inorganiques ou minéraux qui peuvent être des anions du type  $XO_4^{n-}$  (avec X le métal et n nombre de charge) tels que les chromates, les phosphates, les molybdates, les nitrates, les nitrites, les silicates, ou des cations essentiellement l'ion calcium  $Ca^{2+}$  et l'ion magnésium  $Mg^{2+}$  et ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyde  $OH^-$ .

Ces inhibiteurs sont utilisés en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin, et plus rarement en milieu acide [20].

### 3.5.2. Les inhibiteurs classés selon leur mode d'action

#### a. Inhibiteurs d'adsorption

L'adsorption est un phénomène de surface présenté par les solides qui consiste en l'adhésion dans une couche extrêmement mince des molécules de gaz, de liquides et de substances dissoutes avec lesquelles ils sont en contact [22].



**Figure 1.5 :** Mécanismes d'adsorption d'inhibiteurs cathodique et anodique [14].

Deux types d'adsorption peuvent être distingués : la physisorption (formation de liaisons faibles) et la chimisorption.

#### ❖ L'adsorption physique ou physisorption

L'adsorption physique se produit sans modification de la structure moléculaire et est parfaitement réversible (c'est-à-dire que les molécules adsorbées peuvent être facilement désorbées en diminuant la pression ou en augmentant la température) [23].

#### ❖ Chimisorption

La chimisorption est un mécanisme plus fréquent que le mécanisme de physisorption et conduit à une efficacité plus importante de l'inhibiteur. Il fait intervenir un transfert électronique entre les orbitales du métal et la molécule inhibitrice, ce qui engendre la formation de liaisons chimiques bien plus stables car elles sont basées sur des énergies de liaison plus importantes. On rencontre, généralement, le transfert molécule donneur/ métal accepteur ; il existe aussi le transfert où le métal est le donneur d'électrons et la molécule

l'accepteur [24].

### **b. Inhibiteurs passivations**

Ces inhibiteurs forment des films de passivation tridimensionnels entre la surface du métal et les molécules d'inhibiteur. L'inhibition s'appelle aussi inhibition d'interphase. Ils sont également incorporés dans les couches barrières et ainsi ces molécules inhibitrices conduisent à des réseaux homogènes et denses présentant du fait une faible porosité et une bonne stabilité [23].

Il existe deux catégories d'inhibiteurs passivant :

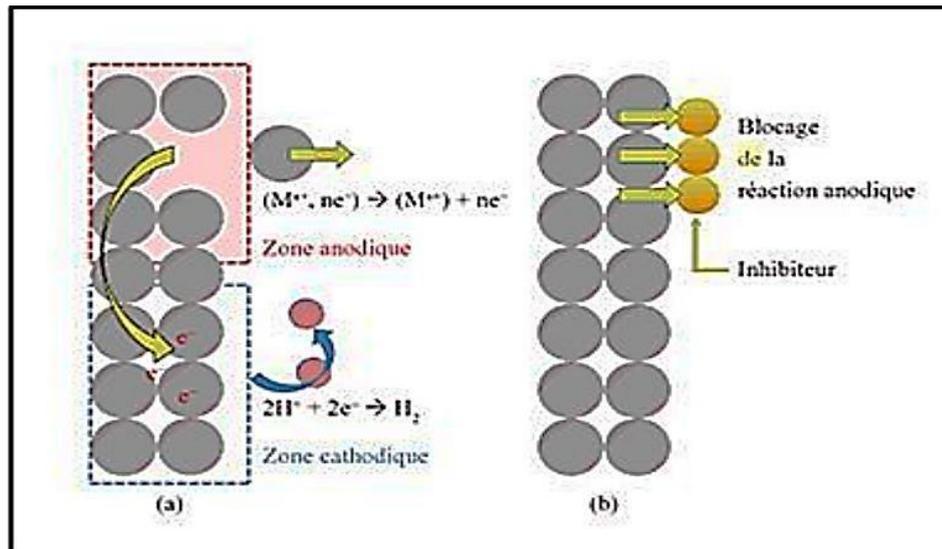
- Les ions oxydants comme  $\text{CrO}_4^{-2}$  qui peuvent passiver l'acier en absence d'oxygène,
- Les ions non oxydants ( $\text{MoO}_4^{-2}$ ,  $\text{WO}_4^{-2}$ ,  $\text{PO}_4^{-3}$ ,  $\text{B}_4\text{O}^{-2}$ ) qui nécessitent la présence d'oxygène et déplacent la réaction cathodique de la réduction de ce dernier en favorisant son adsorption à la surface du métal [23].

### **3.5.3. Les inhibiteurs classés selon la nature électrochimique du processus**

#### **a. Inhibiteurs anodiques**

Les inhibiteurs anodiques sont des substances inorganiques comme les orthophosphates, silicates des chromates, sont adsorbés sur la surface métallique en formant (un produit insoluble) un film protecteur ou une barrière le long de l'anode, diminuent la densité du courant partiel anodique, déplacent le potentiel de corrosion dans le sens positif et ralentissent ainsi la réaction de corrosion [26]. Ils sont efficaces lorsqu'ils sont présents à une concentration suffisamment élevée par contre ils sont très dangereux lorsque les concentrations tombent en dessous des limites minimales car ils peuvent réellement provoquer des piqûres et accélérer la corrosion [27].

Egalement appelé inhibiteur de passivation, si l'inhibiteur s'adsorbe préférentiellement sur les sites anodiques de dissolution du métal où la réaction suivante se déroule, il s'agit d'un inhibiteur anodique (figure 1.6) [28].



**Figure 1.6 :** Représentation en milieu « acide » du rôle d'un inhibiteur anodique : (a) sans inhibiteur, (b) avec inhibiteur.

-Une réaction anodique de dissolution du métal (réaction d'oxydation) :



### b. Inhibiteurs cathodiques

La réduction cathodique de l'oxygène conduit à la production d'ions hydroxyde(OH). Les inhibiteurs cathodiques contrôlent généralement la corrosion soit en diminuant le taux de réduction, soit en précipitant sélectivement sur les zones cathodiques, et sont solubles à pH moyen dans l'eau [29].

Les inhibiteurs cathodiques sont en général utilisés pour renforcer l'action d'autres types d'inhibiteurs.

-Une réaction cathodique de réduction d'oxydant de la solution :



### c. Inhibiteurs mixtes

Les inhibiteurs mixtes sont capables d'inhiber à la fois la corrosion anodique et la corrosion cathodique. Ils agissent sur la partie anodique et les emplacements cathodiques et réduisent le taux de corrosion sans un changement considérable du potentiel de corrosion, Les inhibiteurs mixtes les plus utilisés sont ceux qui forment un groupe hydrophobe avec les groupes polaires tels que N, S, OH [30].

### 3.6. Méthodes d'étude des inhibiteurs de corrosion

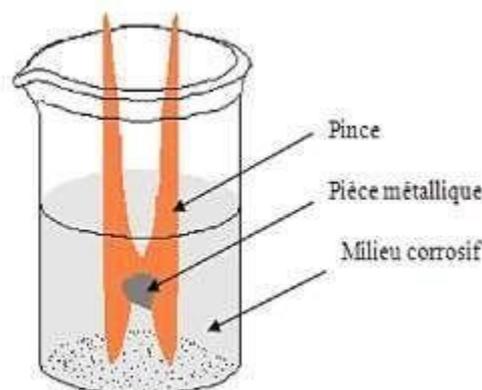
Les méthodes d'étude des inhibiteurs de corrosion sont celles de la corrosion d'une manière générale, qu'elles soient électrochimiques ou non. Il ne semble donc pas nécessaire de développer une approche particulière de ces méthodes. Quelques points méritent cependant d'être soulignés.

- Il faut distinguer entre essais à réaliser :
  - sur une surface métallique propre.
  - sur une surface déjà recouverte d'un produit de corrosion.
  
- Il est nécessaire de respecter les rapports entre la surface du métal, le volume du réactif et la concentration de l'inhibiteur, dans la mesure où ce dernier peut être consommé en fonction du temps, la vitesse de consommation dépendant naturellement des rapports indiqués.
  
- Les essais électrochimiques apportent d'intéressantes indications quant au mécanisme d'action de l'inhibiteur, et, dans la mesure où elles sont correctement interprétées, sur la vitesse des processus de corrosion à l'instant où est faite la mesure, ce qui rend de toute façon nécessaire une étude en fonction du temps [18].

Parmi ces méthodes, on peut mentionner les suivantes :

#### 3.6.1. La méthode de gravimétrie

Cette méthode présente l'avantage d'être une mise en œuvre simple, de ne pas nécessiter un appareillage important, mais ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Son principe repose sur la mesure de la perte de poids  $\Delta m$  subie par un échantillon de surface  $S$ , pendant le temps  $t$  d'immersion dans une solution corrosive maintenue à température constante et à mesurer la différence de masse des échantillons avant et après chaque essai [31].



**Figure 1.7 :** L'emplacement de l'échantillon dans le milieu corrosif.

La vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante :

$$V_{corr} = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \left( \frac{g}{cm^2 \cdot h} \right) \quad (1.5)$$

$\Delta m$  : la perte de masse exprimée en g ;

t : le temps de l'immersion en heure ;

S : surface de l'échantillon en  $cm^2$  ;

L'efficacité inhibitrice d'un composé organique est donnée par la relation suivante :

$$E(\%) = \left[ 1 - \frac{V_{corr}}{V_{corr}^o} \right] \times 100 \quad (1.6)$$

Où  $V_{corr}$  et  $V_{corr}^o$  représentent respectivement les vitesses de corrosion en présence et en l'absence d'inhibiteur.

### 3.6.2. Les méthodes électrochimiques

#### a. Mesure du potentiel de corrosion

Lorsqu'un matériau métallique est immergé dans une solution aqueuse, il prend un potentiel appelé potentiel libre, potentiel mixte, potentiel d'abandon ou potentiel de corrosion. Il correspond à la différence du potentiel entre la solution et le métal. Ce potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence, il est défini par l'égalité des vitesses des réactions élémentaires d'oxydation ( $i_a$ ) et de réduction ( $i_c$ ) qui se produisent à la surface du matériau lorsqu'il est immergé dans la solution [32].

La détermination de cette tension est indispensable avant chaque mesure électrochimique, son évolution dans le temps fournit d'un côté, des informations préliminaires sur la nature des processus en cours, à l'interface métal/électrolyte : corrosion, passivation, etc., et traduit la cinétique d'évolution du matériau vers un état stationnaire d'autre côté. Elle renseigne aussi, sur la nature du mode d'action de l'inhibiteur (anodique, cathodique ou mixte) suivant le sens d'évolution du potentiel par rapport au potentiel mesuré en absence d'inhibiteur. Si l'inhibiteur est à caractère mixte, pas ou peu de variation est observée [33].

#### b. Courbe de polarisation

Le tracé des courbes de polarisation permet de confirmer les indications données par l'évolution du potentiel de corrosion et de les préciser en distinguant l'influence de l'inhibiteur sur chacune des réactions élémentaires, anodique et cathodique, à l'électrode. Cette méthode permet d'estimer assez rapidement les vitesses de corrosion et sa mise en œuvre est relativement aisée au sein du laboratoire [34].

Les courbes  $E=f(I)$  ou  $I=f(E)$  constituent les courbes de polarisation (Figure 1.8). Ces dernières renseignent sur la cinétique de l'étape la plus lente du processus global de corrosion qui se compose de différentes réactions élémentaires comme transfert de charge, transfert de matière, adsorption des espèces sur l'électrode...ect. Étant donné que la vitesse de la réaction globale est déterminée par celle de l'étape la plus lente, le tracé des courbes de polarisation peut être exploité pour mesurer la vitesse de corrosion [13].

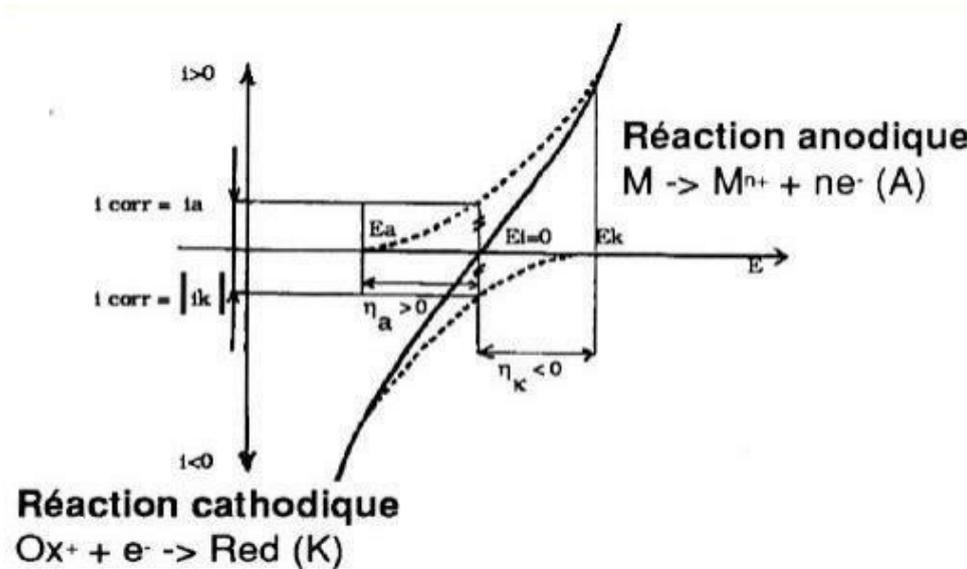


Figure 1.8: Courbe de polarisation

### c. Méthode de Tafel

Cette méthode utilise les portions de la courbe [ $i = f(E)$ ], éloignées du potentiel de corrosion, c'est-à-dire les portions pour lesquelles  $E_a \gg E_{corr}$  (domaine anodique) où  $E_c \ll E_{corr}$  (domaine cathodique). L'équation de Butler –Volmer peut être simplifiée [2].

- Pour la branche anodique ( $E_a \gg E_{corr}$ )

$$\Rightarrow i_a = i_{corr} \cdot \exp \left[ \frac{2.3 (E - E_{corr})}{b_a} \right] \quad (1.7)$$

$$\Rightarrow E - E_{corr} = a + \log (i) \quad (1.8)$$

$$\eta_a = a + \log (i) \quad (1.9)$$

Où

$\eta_a$  : polarisation.

$a$  : l'ordonnée à l'origine

$b_a$  : la pente

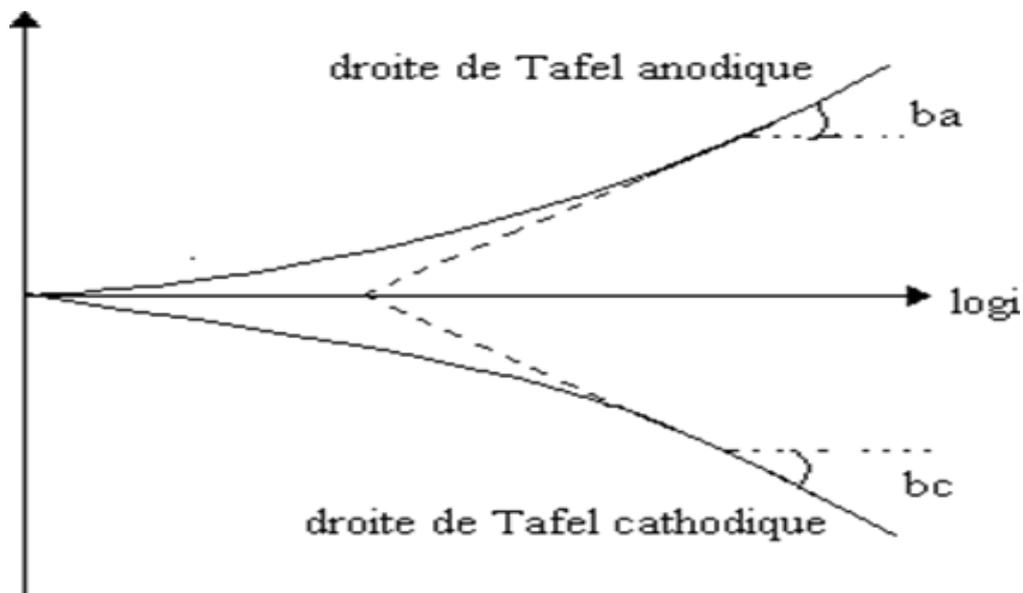
- Pour la branche cathodique ( $E_c \lll E_{\text{corr}}$ )

$$\Rightarrow i_c = -i_{\text{corr}} \cdot \exp \left[ \frac{-2.3 (E - E_{\text{corr}})}{b_c} \right] \quad (1.10)$$

$$\Rightarrow E - E_{\text{corr}} = a' + b' \log (i') \quad (1.11)$$

$$\eta_b = a' + b' \log (i') \quad (1.12)$$

Les équations (1.9) et (1.12) représentent la loi de Tafel sous sa forme simplifiée et indiquent que la courbe  $[\log (i) = f(E)]$  doit présenter une partie linéaire appelée couramment « droite de Tafel ». Cette dernière permet de visualiser la tension de transfert et aussi de déduire le courant de corrosion après extrapolation des droites anodique et cathodique jusqu'au potentiel de corrosion ( $E = E_{\text{corr}}$ ), comme il est illustré sur la représentation potentiodynamique (figure 1.9).



**Figure 1.9:** Courbe de Tafel

#### d. Résistance de polarisation

La résistance de polarisation est déterminée à partir de la courbe  $E=f(I)$  au voisinage immédiat du potentiel de corrosion à  $+ 20\text{mV}$  ou  $- 20\text{mV}$  (figure 1.10). La résistance de polarisation est la pente  $\Delta E/\Delta I$  de la courbe de polarisation, l'unité de mesure est exprimée en  $\Omega/\text{cm}^2$ . Elle est

définie par la formule de Stern-Geary (Equation. 1.13), qui découle elle-même de l'équation de Butler-Volmer précédemment citée, selon la relation (pour  $E = E_{corr}$ ) [35] :

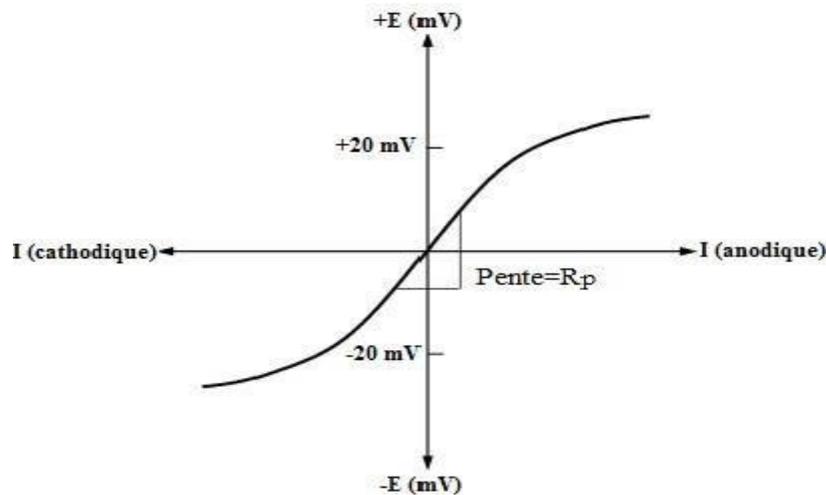
$$\frac{\Delta E}{\Delta I} = R_p = \frac{b_a \times b_c}{2,303(b_a + b_c)} \times I_{corr}^{-1} \quad (1.13)$$

$$\text{En posant } B = \frac{b_a \times b_c}{2,303(b_a + b_c)} \quad (1.14)$$

On arrive à l'expression

$$I_{corr} = \frac{B}{R_p} \quad (1.15)$$

La résistance de polarisation est donc inversement proportionnelle au courant de corrosion. Cette méthode de mesure simple et rapide suppose la linéarité d'une portion de courbe  $E=f(I)$  au voisinage de (figure 1.10).



**Figure 1.10** : Détermination de la résistance de polarisation

### e. La spectroscopie d'impédance électrochimique

La méthode peut être avantageusement couplée à celle du tracé des courbes stationnaires  $I=f(E)$  et permet une analyse plus complète du mécanisme d'action de l'inhibiteur. Elle est généralement effectuée sur électrode tournante de manière à fixer rigoureusement les conditions hydrodynamiques au voisinage du métal. Le rôle de l'inhibiteur dans les différents processus intervenant à l'électrode (transfert de charge, diffusion, adsorption...) peut être étudié en détail, et des valeurs telles que celles de la résistance de transfert et de la résistance de polarisation peuvent permettre d'accéder à la mesure de la vitesse de corrosion.

Une méthode annexe, la spectroscopie d'impédance électrohydrodynamique, permet d'analyser le rôle de couches superficielles (molécules adsorbées, couches poreuses) dans le

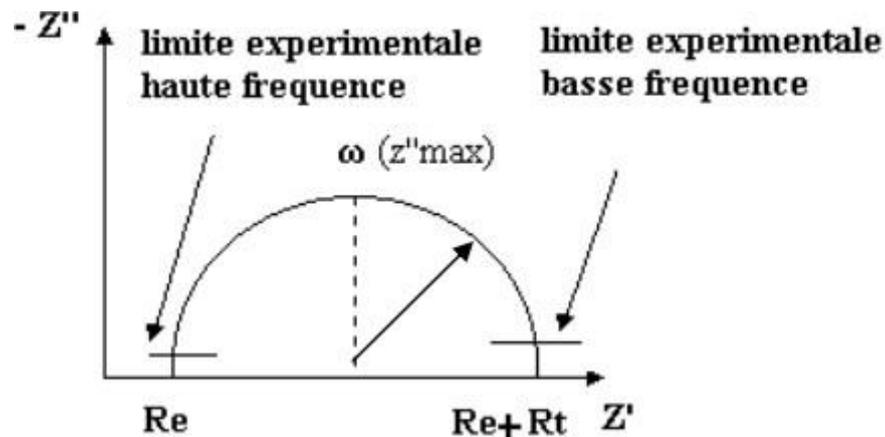
fonctionnement de l'inhibiteur [18].

#### f. Diagrammes d'impédance

Il existe deux types de diagrammes:

##### - Diagramme de Nyquist

C'est une représentation dans le plan complexe avec deux axes perpendiculaires. En abscisses est portée la partie réelle de l'impédance  $Z' = Z \cos \omega$ , tandis qu'en ordonnée, c'est la partie imaginaire  $Z'' = Z \sin \omega$  et cela pour différentes fréquences.



**Figure 1.11:** Diagramme de Nyquist d'une réaction sous contrôle d'activation [36].

##### - Diagramme de Bode

En abscisses est porté le logarithme décimal de la pulsation et en ordonnées le logarithme décimal du module de l'impédance, d'une part, et le déphasage, d'autre part, la figure 1.12 obtenue permet d'atteindre  $Re$  et  $(Re + Rt)$  et par extrapolation de sa partie linéaire médiane  $1/Cd$ . L'autre courbe  $\varphi = f(\log \omega)$  présente un maximum qui permet le calcul de  $Cd$ .

Cette représentation donne les mêmes renseignements que la représentation de Nyquist mais offre l'avantage de raccourcir la durée des mesures effectuées dans le domaine des basses fréquences.

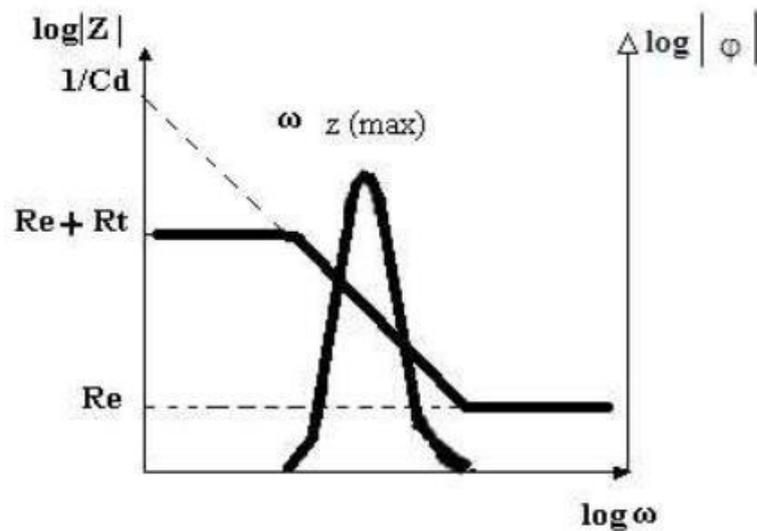


Figure 1.12 : Diagramme de Bode d'une réaction sous contrôle d'activation [36].

### 3.7. Les inhibiteurs à base de tensioactifs

#### 3.7.1. Définition de tensioactif

Les tensioactifs sont définis comme des molécules organiques amphibies d'origine naturelle ou souvent synthétique. Ils sont constitués d'une molécule comprenant une partie hydrophile, souvent une tête polaire, et une partie hydrophobe, souvent une longue chaîne carbonée, comme le montre la figure 1.13. Cette structure amphibie leur permet de s'orienter à l'interface entre les phases, formant un film dense qui stabilise les émulsions, réduit la tension superficielle et facilite le mouillage des surfaces.

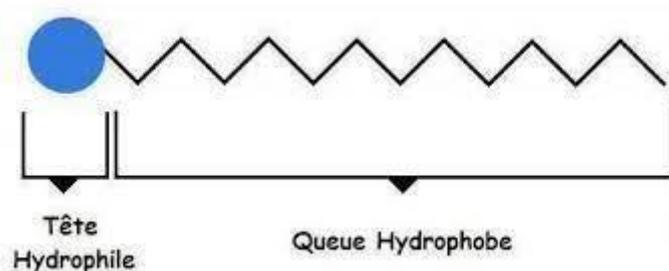


Figure 1.13 : Représentation schématique conventionnelle d'un tensioactif.

#### 3.7.2. Les différentes classes des tensioactifs

Une classification simple des agents de surface basée sur la nature du groupe hydrophile est couramment utilisée. Trois classes de tensioactifs peuvent être distinguées, à savoir anionique, cationique et non ionique.

### a. Les tensioactifs anioniques

Les tensioactifs anioniques sont historiquement, les agents de surface les plus fréquemment rencontrés et utilisés. Ils représentent 60 % de la production mondiale [37].

Ils sont caractérisés par une partie hydrophile chargée négativement, qui peut être une terminaison carboxylate, sulfate, sulfonate ou encore phosphate, et se présentent en général sous forme de sels de métaux alcalins (sodium ou potassium) ou d'ammonium. Le groupe hydrophobe typique est une chaîne hydrocarbonée en C<sub>12</sub> à C<sub>15</sub>, ramifiée ou linéaire [38].



Sodium Dodecyl Benzene Sulphonate (SDBS)

**Figure 1.14 :** Exemple de tensioactif anionique.

### b. Les tensioactifs cationiques

Les tensioactifs cationiques sont caractérisés par une partie hydrophile chargée positivement. Ils sont généralement stables aux variations de pH et ont la capacité de tuer les micro-organismes ou au moins de retarder leur croissance. Ils sont compatibles avec les sels inorganiques alcalins et les non-ioniques et sont utilisés avec eux dans les agents de nettoyage pour détergents destinés au lavage de la vaisselle. Ils sont également utilisés en tant que revitalisants pour les cheveux, car ils s'adsorbent sur ces derniers en leur conférant douceur et propriétés antistatiques [39].



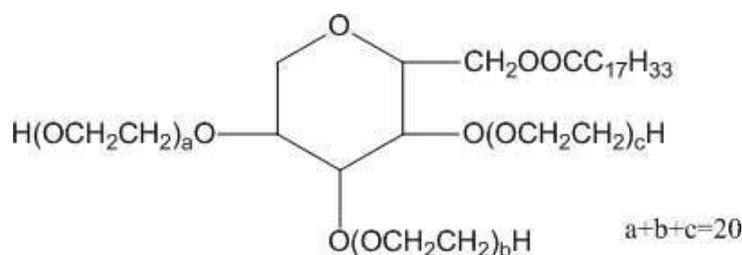
Bromure de Cetyltriméthylammonium (CTAB)

**Figure 1.15 :** Exemple de tensioactif cationique.

### c. Les tensioactifs non ioniques

Les tensioactifs non-ioniques comportent une partie hydrophile non chargée, les groupements hydrophiles les plus courants sont le groupement hydroxyle (ROH), le groupement éther (R-OR') et ester (R-CO-O-R') (avec R pour Radical désignant un groupe alkyle). Les propriétés de solubilisation dans l'eau d'un groupe hydroxyle ou d'un groupe éther sont faibles

comparées aux sulfates ou sulfonâtes, si un seul groupe hydroxyle ou un groupe éther est présent, la longueur de la chaîne de l'hydrocarbure R ne sera que de 6 à 8 atomes de carbones avant que le produit ne devienne insoluble et présente de mauvaises propriétés tensioactives [40].



Tween-80, Polysorbate-80

**Figure 1.16** : Exemple de tensioactif non ionique.

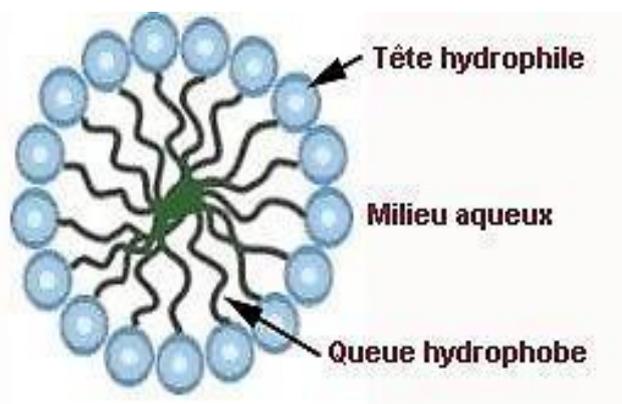
### 3.7.3. Propriétés physico-chimiques des tensioactifs

Parmi les différentes caractéristiques physico-chimiques des tensioactifs la concentration micellaire critique, le pourcentage en matière active, ainsi que la tension superficielle présente un intérêt particulier à cet égard.

#### a. La concentration micellaire critique

La CMC est par définition, la concentration en solution d'un agent de surface au-dessus de laquelle, une partie des molécules dispersées au sein de la solution se ressemblent sous forme de micelle (figure 1.17).

Quand la concentration des surfactants est voisine de celle de la CMC. Un phénomène d'agrégation se produit et donne des micelles sphériques, ellipsoïdales dans lesquelles les groupements hydrophiles sont dirigés pour être en contact avec la solution aqueuse et former le cœur de la micelle, qui est apolaire [41].



**Figure 1.17** : Schématisation d'une formation de micelle directe.

### b. Tension superficielle

La tension superficielle est une propriété des liquides qui permet de maintenir en équilibre leur surface libre. Au sein d'un liquide au repos, chaque molécule est soumise à l'attraction des proches voisines. La résultante de ces forces, dirigées dans toutes les directions, est nulle en moyenne à la surface de séparation entre le liquide et le gaz qui le surmonte, les forces de cohésion ne présentent plus cette symétrie moyenne : chaque molécule subit de la part des molécules placées à l'intérieur du liquide, des forces d'attraction dont la résultante, normale à la surface est dirigée vers l'intérieur du fluide, n'est compensée par aucune autre force [42].

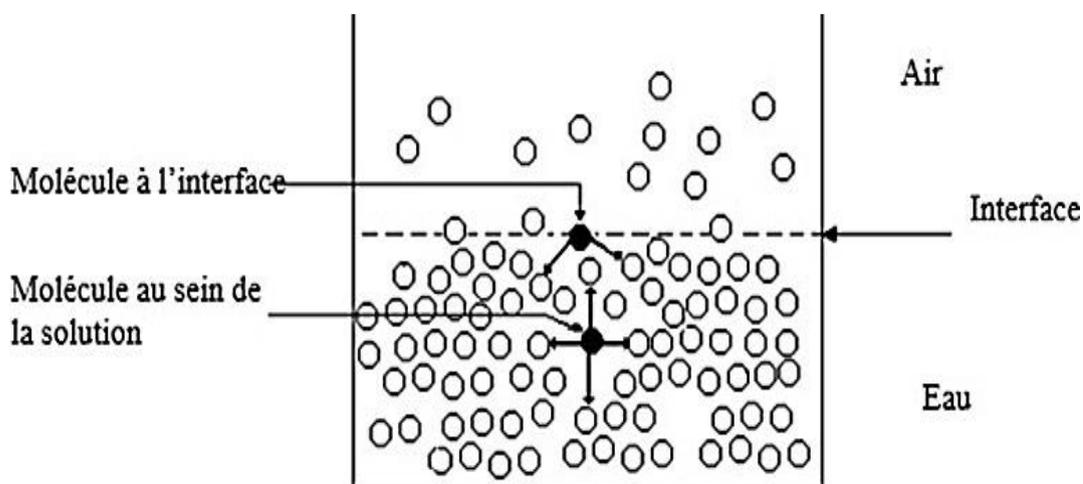


Figure 1.18 : Origine de la tension superficielle.

## 4. Emploi des tensioactifs comme inhibiteurs de corrosion

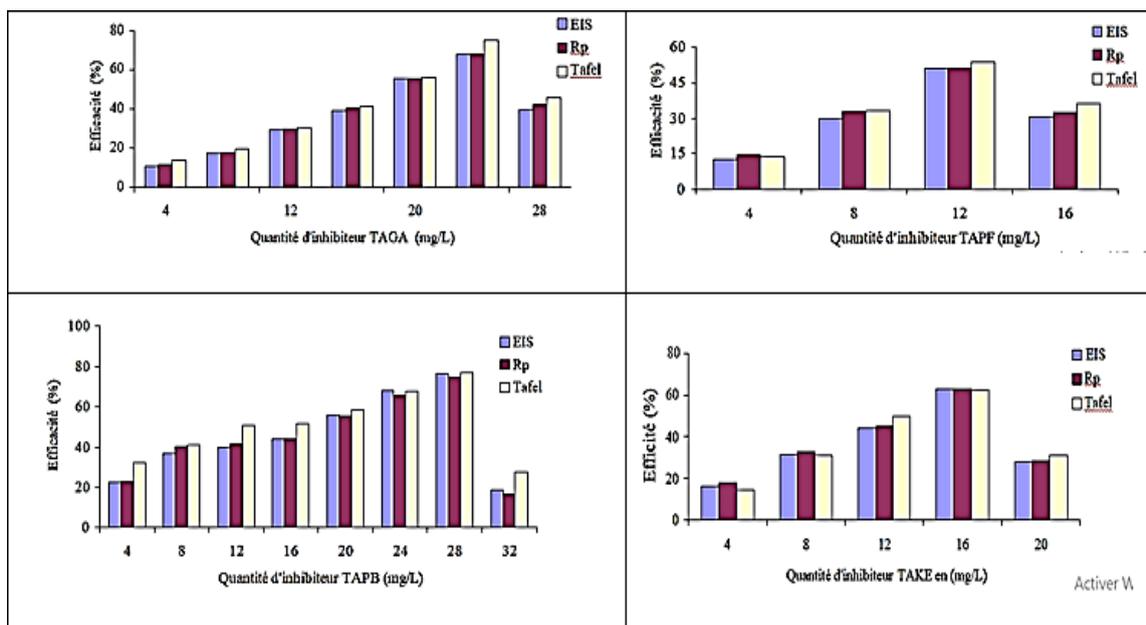
### 4.1 Synthèse bibliographique

La corrosion des métaux constitue un problème majeur qui entraîne des préjudices économiques énormes surtout aux sociétés pétrolières (dans les pipelines). L'injection d'inhibiteurs représente la solution la plus couramment utilisée pour la corrosion interne des pipelines. Cependant, le coût élevé de ces produits a poussé les industriels à chercher d'autres produits alternatifs comme les inhibiteurs synthétisés.

Les tensio-actifs sont couramment utilisés comme des inhibiteurs de corrosion. De nombreux chercheurs ont abordé l'évaluation du pouvoir inhibiteur des tensio-actifs. D'autres se sont intéressés à la synthèse des tensio-actifs et à tester leurs efficacités contre la corrosion dans des milieux différents.

• Hamitouche [2] a synthétisé des tensio-actifs (TA) anioniques à partir des coupes pétrolières algériennes (gasoil (GA), plat format (PF), pétrole brut (PB) et kérosène) et a testé leurs efficacités inhibitrices contre la corrosion. Elle a testé l'efficacité des inhibiteurs synthétisés sur l'acier X60 par 3 méthodes dans le milieu NaCl 3% pH=3 à 30 °C :

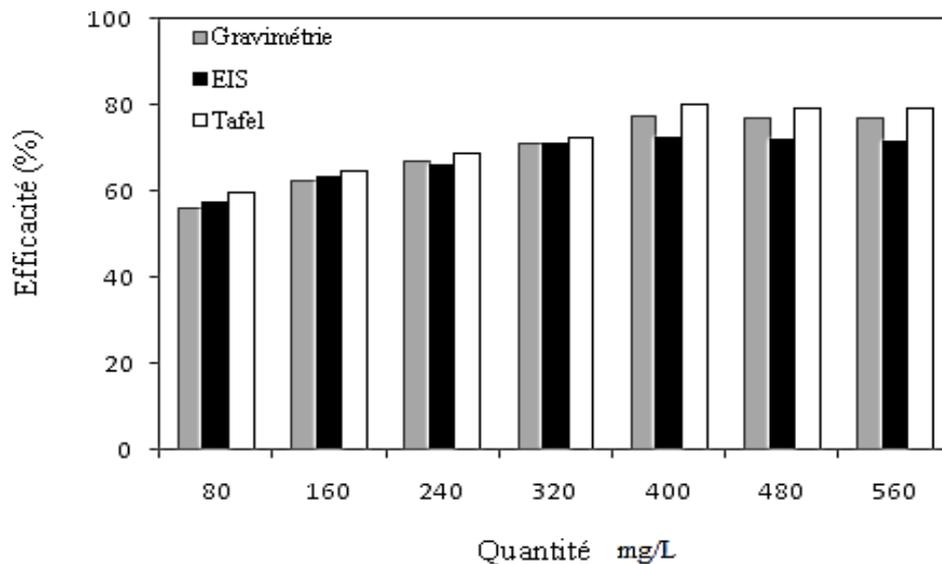
Pour la méthode d'impédance électrochimique, elle a trouvé une meilleure efficacité pour TAGA de 68,14% avec une concentration 24 ppm, de 51,04% pour TAPF avec une concentration 12ppm, de 76,60% pour TAPB avec une concentration 28ppm et de 63,03% pour le TAKE avec une concentration 16ppm. Pour la méthode de la résistance de polarisation une meilleure efficacité pour TAGA de 68% avec une concentration 24 ppm, le TAPF est de 51.15% avec une concentration 12ppm, le TAPB est de 74,55% de concentration 28ppm et le TAKE est de 62,69% avec une concentration 16ppm. Et enfin pour la méthode de Tafel une meilleure efficacité pour TAGA de 74,76% avec une concentration 24 ppm, TAPF de 53,73% avec une concentration 12ppm, TAPB de 76,89% de concentration 28ppm et TAKE de 62,37% avec une concentration 16ppm.



**FIGURE 1.19 :** Comparaison entre les efficacités, déterminées par EIS, Rp et Tafel, pour différentes quantités de tension actives synthétise (TAGA, TAPF, TAPB et TAKE)

- Kouache [13] a synthétisée des tensioactifs cationiques de la famille des sels d'ammoniums quaternaires à partir de produits pétroliers Algériens (la coupe pétrolière Plat format (PF)).

Elle a testé l'efficacité de l'inhibiteur synthétisé sur l'acier X60 par 3 méthodes dans le milieu HCl 1% et elle a trouvé une meilleure efficacité à la concentration 320ppm par les 3 méthodes à 25 °C. Une efficacité de 70,90%, pour la méthode de gravimétrie, 64,95% pour spectroscopie d'impédance électrochimique et 71,78% pour Tafel



**Figure 1.20 :** Comparaison entre les efficacités déterminées par Gravimétrie, EIS etTafel, pour différentes quantités de TCPF.

- Hegazy et al[43] ont étudié l'efficacité d'un nouveau tensioactif (y N,N'-((oxalybis(oxy))bis(ethane-2,1-diyl))bis(N,N-dimethyldodecan-1-aminium bromide) a été synthétisé par eux par 3 méthodes dans le milieu HCl 1M une meilleure efficacité 94.81% de la méthode de gravimétrie, et 94.10% de spectroscopie d'impédance électrochimique et 94.84% de tafel à la concentration  $5 \times 10^{-3}$ (M) à 25 °C.

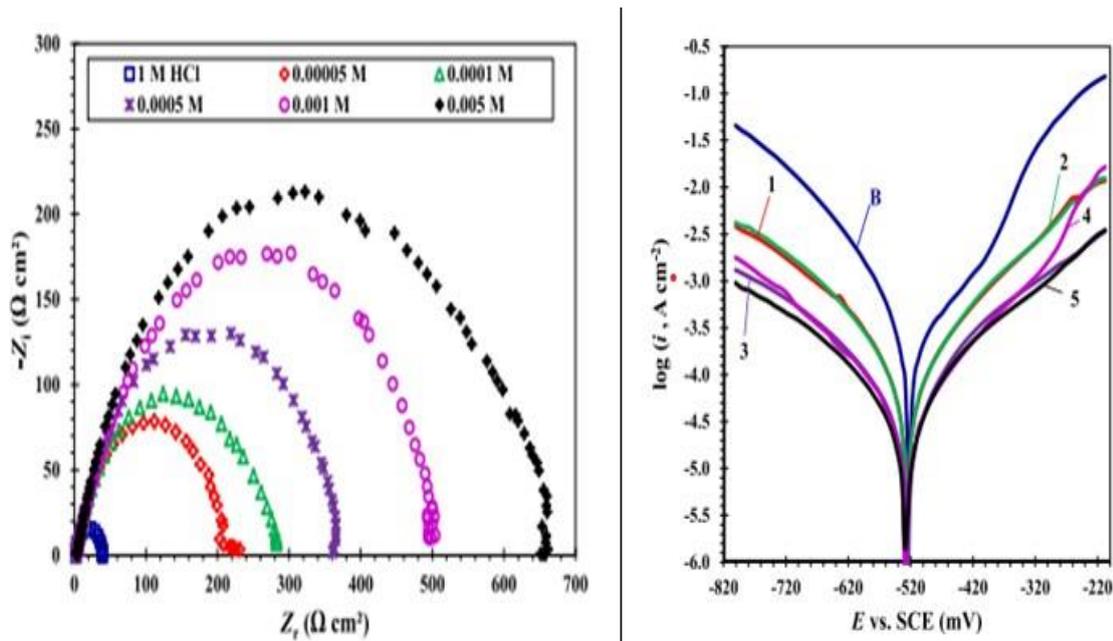


Figure 1.21 : les résultats obtenus par EIS et Tafel dans les travaux de Hegazy et al.

- Mobin et al [44] ont étudié l'efficacité d'un nouveau tensioactif cetylpyridinium picrate liquide ionique (CPP).

Leurs travail rapporte la réponse inhibitrice du CPP synthétisé pour le substrat MS (acier doux) dans une solution de HCl 1 M. La pouvoir d'inhibition et les aspects mécanistiques de CPP ont été étudiés par les techniques expérimentales standard comme la gravimétrie, les méthodes électrochimiques, SEM-EDS, l'angle de contact mesure, XPS et FT-IR. Le test de polarisation Tafel a décrit que le CPP fonctionnait comme un inhibiteur de type mixte avec une excellente inhibition atteignant 99,04 % à 70 °C même à faible concentration.

- Tavecchi et al [45] ont étudié les effets inhibiteurs du dodécylbenzènesulfonate de sodium (SDBS) et du 2-mercaptobenzoxazole (2-MBO) sur la corrosion du cuivre dans une solution d'acide sulfurique à l'aide de la spectroscopie d'impédance électrochimique (EIS) et des mesures de polarisation de Tafel. Pour le 2-MBO, une augmentation monotone de l'efficacité d'inhibition a été observée pour une concentration de  $2 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ . Cependant, pour le SDBS, un optimum dans l'efficacité d'inhibition a été observé pour une concentration de  $5 \times 10^{-4} \text{ mol dm}^{-3}$ , qui est attribuée à la formation d'agrégats hémimicellaires qui provoquent la désorption de l'inhibiteur de l'interface métal/solution à des concentrations plus élevées.
- Javadian et al. [46] ont étudié la corrosion de l'acier doux dans une solution à 3,5 % de NaCl, solution inhibable par le Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide CTAB et le sodium dodecyl sulfate SDS individuels ainsi que leurs mélanges. Ils ont trouvé une efficacité de

67,8% à une concentration de 0,2 mM pour le CTAB et 61,5 % à une concentration de 2,5 mM pour SDS, par la méthode de Tafel . Ils ont observé que le mélange de tensioactifs présentait des propriétés d'inhibition plus appropriées par rapport aux tensioactifs individuels, en raison de la forte adsorption sur la surface métallique et de la formation d'un film protecteur. Les études de polarisation potentiodynamique ont indiqué que les inhibiteurs étaient des inhibiteurs de type mixte.

- Helal et al [47] ont examiné l'inhibition de la corrosion d'un alliage Mg-Al-Zn dans une solution neutre de chlorures libres, par une série d'acides aminés classés selon leurs structures : acides aminés aliphatiques: (glycine, alanine, thréonine, valine et leucine) ; acides aminés aromatiques: (phényle alanine et tyrosine) ; acides aminés acides: acide glutamique ; acides aminés soufrés : cystéine. les techniques de polarisation et de spectroscopie d'impédance électrochimique ont révélé que l'efficacité d'inhibition dépend de la structure chimique de l'acide aminé et de sa concentration. La présence du cycle aromatiques et des hétéroatomes tels que le soufre dans la structure d'acide aminé cause une augmentation significative de l'efficacité d'inhibition. Le Phényle alanine a montré une efficacité remarquablement élevée 93% à une concentration de 2 mol /cm<sup>3</sup>.

CHAPITRE 2  
MATERIELS ET  
METHODES

## 2.1. Les produits utilisés

**Tableau 2.1** : Produits utilisés dans ce travail

Produit	La masse molaire (g/l)	La densité	Origine
Acide chlorhydrique 37%	36.46	1.18	Panreac
Chlorure de sodium NaCl	58.44	2.17	Biochem chemopharma
Acétone	58.08	0.998	Biochem chemopharma

## 2.2. Les tensioactifs utilisés

Les tensioactifs utilisés dans le cadre de ce travail sont : le Sodium Dodecyl Benzene Sulphonate (SDBS), le Bromure de Cétyltriméthylammonium (CTAB) et Polysorbate-80 (Tween-80), le tableau 3.1 ci-dessous rassemble quelques caractéristiques de ces composés tensioactifs.

**Tableau 2.2** : quelques caractéristiques des tensioactifs utilisées.

Nom	Fonction	Type	Partie hydrophobe	Partie Hydrophile	Contre-ion
<b>SDBS</b>	$C_{18}H_{29}NaO_3S$	anioniques	$C_{12}H_{25}$ $C_6H_4$	$SO^{3-}$	$Na^+$
<b>CTAB</b>	$C_{19}H_{42}BrN$	cationiques	$C_{19}H_{42}$	N	$Br^-$
<b>Tween-80</b>	$C_{64}H_{124}O_{26}$	non ioniques	$C_{64}H_{124}$	$O_{26}$	/

## 2.3. Caractérisation des tensioactifs utilisés

### 2.3.1. Caractérisation par des méthodes spectroscopiques

#### a. Spectroscopie UV

Nous utilisons un spectromètre de type SHIMADZU UV-1700 pour effectuer les analyses. Pour déterminer la longueur d'onde d'absorption maximale, nous avons effectué un balayage des longueurs d'onde comportant le domaine, [200–800 nm].

## **b. Spectroscopie IR**

Le pastillage de nos produits dans du bromure de potassium nous a permis de caractériser nos tensioactifs synthétisés en utilisant un spectrophotomètre type SHIMADZU type FTIR 8900. On a aussi analysé les produits par IR. Un échantillon solide est broyé avec du bromure de potassium (KBr), qui est transparent dans l'IR, et pressé sous forme de pastille, ou préparé en fine lame et placé entre deux fenêtres KBr.

## **2.4. Détermination de la concentration micellaire critique**

Du fait de sa rapidité d'exécution et sa précision, l'analyse conductimétrique est souvent utilisée. Un conductimètre de type EC 214-215 HANNA Instruments a été utilisé pour la mesure des conductivités des solutions en TA. Cette méthode est restreinte aux solutions électrolytiques contenant des tensioactifs de nature anionique ou cationique, et ne peut pas être appliquée aux tensioactifs non ioniques.

## **2.5. Méthodes d'étude des inhibiteurs contre la corrosion de l'acier X70**

Les méthodes d'étude des inhibiteurs de corrosion sont celles de la corrosion d'une manière générale, qu'elles soient physico-chimique comme la méthode de perte de masse (gravimétrie) ou électrochimiques comme les courbes de Tafel.

### **2.5.1. La méthode de perte de masse (gravimétrie)**

Les mesures de perte de masse constituent une première approche pour étudier l'inhibition de la corrosion d'un métal dans une solution corrosive. Les tests de gravimétrie ont été réalisés dans des béchers de 100 ml contenant 80 ml de la solution corrosive, avec et sans inhibiteur. Les dimensions des échantillons utilisées (largeur, longueur et épaisseur) ont été mesurées et les échantillons ont été pesés préalablement, puis fixés à l'aide d'un fil dentaire avant d'être immergés dans la solution corrosive.

#### **➤ choix de matériau**

Le matériau de notre étude est un acier au carbone utilisé pour le transport des hydrocarbures sous une pression de service de 70 bars (selon le journal Nature & Technology) de dénomination APIX70, est répond à la spécification imposée par la norme API5L.

**Tableau 2.3** : La composition chimique de l'acier X70 utilisé.

Elément	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
%	0.125	1.680	0.270	0.051	0.040	0.021
Elément	S	Cu	Ti	Nb	Al	p
%	0.005	0.045	0.003	0.033	0.038	0.012

➤ **Le choix de milieu**

- 1<sup>er</sup> milieu : Solution aqueuse HCl 1M

Une solution aqueuse d'acide Hydrochloride à la concentration (1M de HCl) a été obtenue en diluant un volume V de HCl à partir d'une solution commerciale d'HCl (37%) de densité 1.18 dans un litre d'eau distillée.

- 2<sup>ème</sup> milieu : NaCl 3% pH=3

Une solution aqueuse à 3% de chlorure de sodium (3 g de NaCl avec 100 ml d'eau distillé), Le pH de la solution est ajusté à 3 avec de l'acide HCl

➤ **Préparation des échantillons**

Le but de cette préparation est d'obtenir une surface plane et propre pour des résultats fiables et reproductibles, pour cela les échantillons sont prétraités avant chaque essai, c'est-à-dire un polissage de surface, réalisé à l'aide d'une polisseuse sous jets d'eau distillée, à l'aide de papier de verre de grain de plus en plus fin (grain 80, 100, 400, 800, 1000, 1200 ,1500, et 2000).



**Figure2.1** : Les échantillons avant et après le polissage.

Après polissage, les échantillons ont été rincés à l'eau et dégraissés à l'acétone. Les échantillons sont ensuite fixés à l'aide d'un fil dentaire et cure-dents puis rapidement immergés dans les solutions corrosives.



**Figure 2.2:** Échantillons immergés dans la solution corrosive

Les échantillons sont maintenus à une température constante (28 C°) à l'aide d'un bain marie pendant 4h. Après avoir été nettoyé et séché, l'échantillon est repesé pour mesurer la quantité de masse perdue due à la corrosion ( $\Delta m$ ). Pendant 4h d'immersion.



**Figure 2.3 :** les échantillons dans le bain marie

### 2.5.2. Méthode de TAFEL

Les essais électrochimiques ont été effectués dans une cellule électrochimique à double paroi de capacité de 250 ml. L'électrode de travail en acier au carbone (X70), de  $1.56 \text{ cm}^2$ . La contre électrode est une plaque en platine, placé vis-à-vis de l'électrode de travail. L'électrode de référence est une électrode au calomel saturé (SCE).

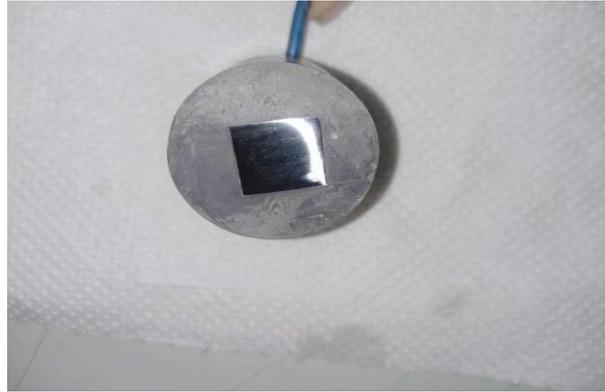


**Figure 2.4 :** dispositif de test électrochimique.

#### ➤ Préparation de l'électrode de travail

Au centre de la pièce métallique en acier, de forme carrée, est soudé un fil conducteur. L'ensemble est enrobé d'une résine thermodurcissable à base de méthacrylate de méthyle. Afin d'assurer des résultats fiables et reproductibles, la préparation de l'électrode de travail comprend plusieurs étapes. Tout d'abord, la surface de l'électrode est polie avant chaque essai à l'aide d'une polisseuse utilisant un jet d'eau. Ce polissage est effectué en utilisant du papier abrasif de granulométrie progressive, allant de 80 à 2000 mesh, de plus en plus fin.

Après le polissage, l'électrode est dégraissée en utilisant de l'éthanol, puis rincée à l'eau distillée. Ces prétraitements garantissent une préparation uniforme de l'électrode avant chaque essai, ce qui est essentiel pour obtenir des résultats cohérents et reproductibles.



**Figure 2.5** : électrode de travail

Une fois cette étape terminée, l'échantillon est fixé sur le couvercle de la cellule et plongé rapidement dans l'électrolyte avec le contre électrode et l'électrode de référence.



**Figure 2.6** : contre électrode en platine



**Figure 2.7** : électrode de référence au calomel saturé.

CHAPTRE 3  
RESULTATS ET  
DISCUSSIONS

## Introduction

Dans cette partie du travail, nous allons exposer les caractérisations spectroscopiques et physico-chimiques des tensio-actifs commerciaux. Et on va étudier l'efficacité inhibitrice par l'utilisation de la méthode gravimétrique et la méthode de Tafel, à différentes concentrations sur l'acier au carbone X70, dans deux milieux corrosifs "acide chlorhydrique HCl (1M) et NaCl 3%". Des discussions et des interprétations seront données au fur et à mesure.

Nous avons testé le SDBS, CTAB et Tween-80 comme inhibiteurs contre la corrosion métallique. Généralement le rôle d'inhibiteur est d'abaisser la vitesse de la corrosion des métaux pour une protection permanente ou durant une période où le métal est particulièrement sensible à la corrosion.

### 3.1. Caractérisation des tensioactifs

#### 3.1.1. Caractérisation par des méthodes spectroscopiques

##### a. Spectroscopie ultraviolet

Le tableau 3.1 représente la longueur d'onde du maximum d'absorption ( $\lambda_{\max}$ ) des produits utilisés.

**Tableau 3.1 :** Les longueurs d'onde du maximum d'absorption des tensio-actifs

Tensio-actif commercial	Les longueurs d'onde maximum (nm)
TA CTAB	235
TA SDBS	218
TA Tween-80	224

Les résultats du tableau (3.1) montrent que la longueur d'onde maximale d'absorption de trois tensioactifs commerciaux est de 235 nm pour le TA CTAB, et 218 nm pour TA SDBS, et 224 nm pour Le TA Tween-80.

Ces résultats obtenus sont en accord avec la littérature, et sont confirmés entre 200 et 300 nanomètres (nm) pour la SDBS, et pour Tween-80 entre 210 et 280 (nm), et pour le TA CTAB entre 230 et 280 (nm).

##### b. Spectroscopie IR

Les figures (3.1, 3.2 et 3.3) représentent respectivement les spectres infrarouges des produits utilisés. Dans le tableau 3.4 Le nombre d'ondes, les types de liaisons et les intensités des

différentes vibrations des molécules sont indiqués.

**Tableau 3.2 :** Les nombres d'ondes et les types de liaisons ou groupe dans les tensioactifs.

Nombre d'onde (cm <sup>-1</sup> )	Liaison ou groupe	Composés	Tensioactif (TA)
650,10 675,04 690,47	S-C	C-SO <sub>2</sub> -OH	TA CTAB TA SDBS TA Tween-80
833,19 883,30 825,50	S-O	C-SO <sub>2</sub> -OC	TA CTAB TA SDBS TA Tween-80
1100,04 1157,21 1107,06	C=S  SO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	C=S  RSO <sub>3</sub> H	TA CTAB TA SDBS TA Tween-80
1481,23 1492,80 1461,94	C=C	Aromatiques	TA CTAB TA SDBS TA Tween-80
1631,67 1639,38 1643,24	C=C	Naphténiques	TA CTAB TA SDBS TA Tween-80
2160,13 2136,98 2152,41	X≡C  N  O	Alcynes   Nitriles	TA CTAB TA SDBS TA Tween-80
2920,03 2908,45 2923,88	C-H	Paraffiniques	TA CTAB TA SDBS TA Tween-80
3444,63 3417,63 3444,63	O-H	Eau condensée	TA CTAB TA SDBS TA Tween-80

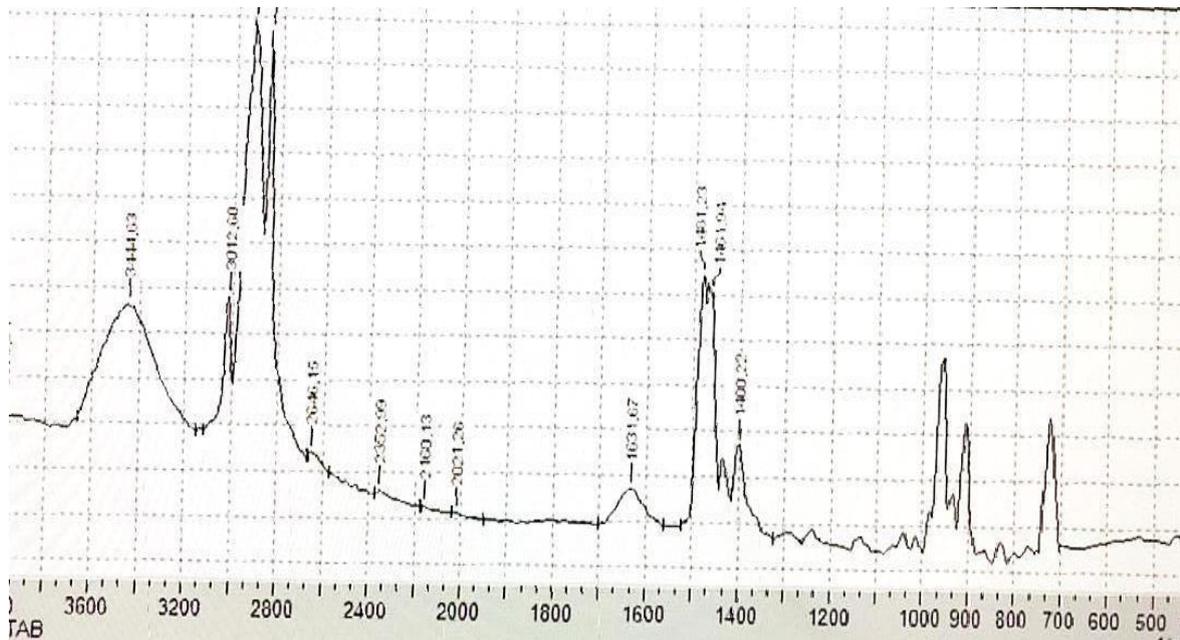


Figure 3.1 : Le spectre IR du tensioactif CTAB.

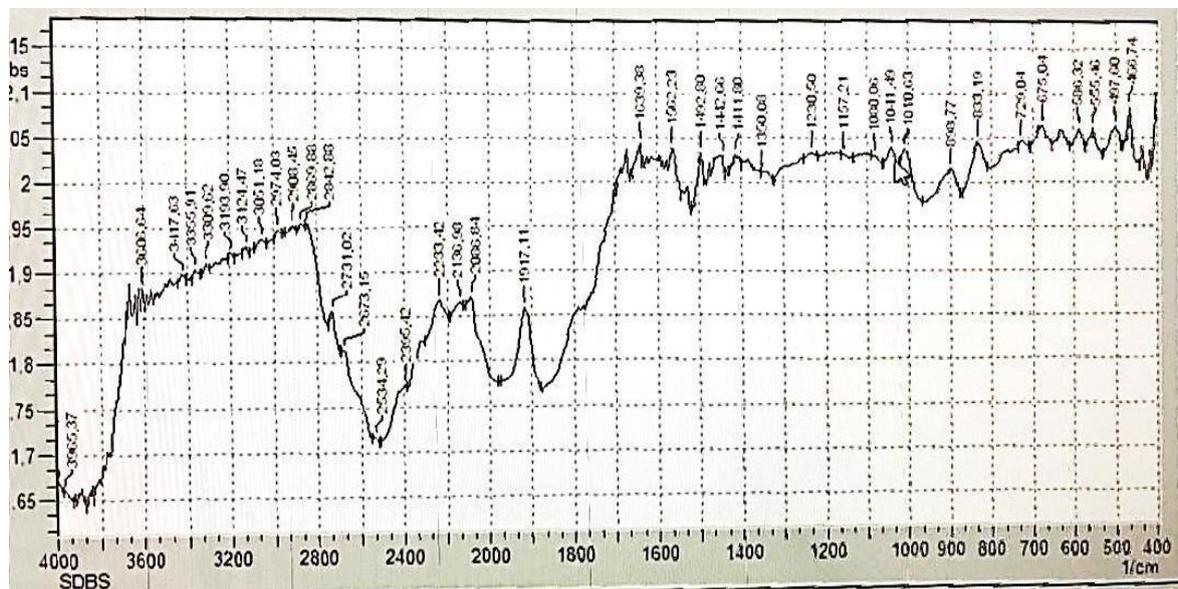
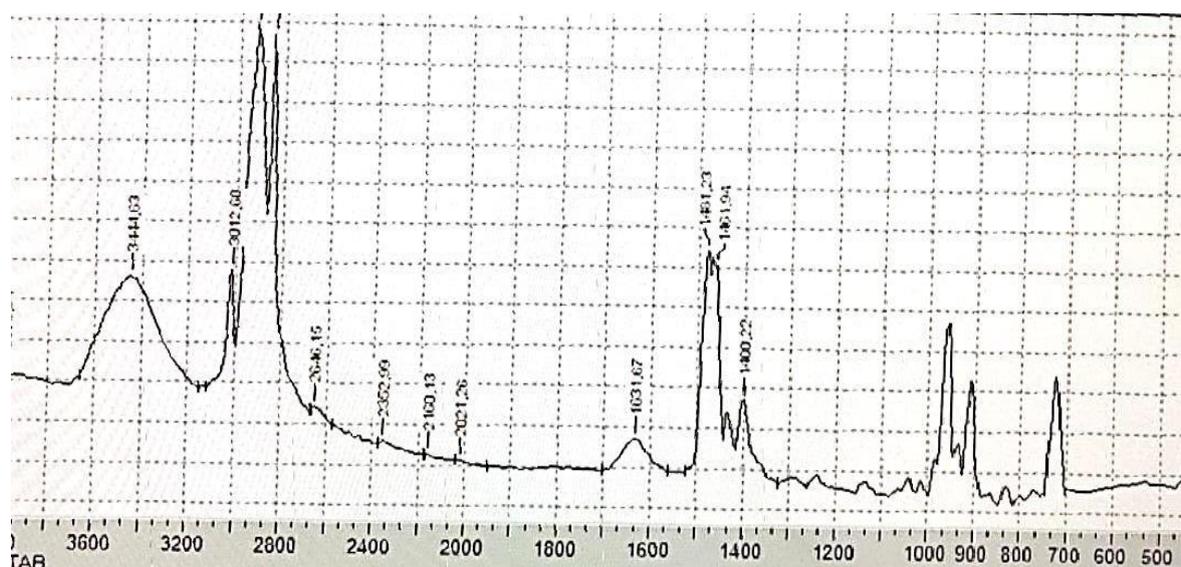


Figure 3.2 : Le spectre IR du tensioactif SDBS.



**Figure 3.3** : Le spectre IR du tensioactif Tween-80.

La spectroscopie d'absorption infrarouge permet de connaître la nature des différents groupements chimiques présents dans le tensio-actif, donc de prédire leurs structures (figure 3.1, 3.2 et 3.3)

La composition moléculaire du tensio-actif évaluée par FTIR a révélé la présence de plusieurs bandes provenant de la contribution des différents groupements.

Nos produits ont présenté des pics essentiellement dans les régions suivantes :

- Les bandes d'absorption entre  $3417,63$  et  $3444,63 \text{ cm}^{-1}$  résultent des vibrations des liaisons O-H présentes dans l'eau condensée.
- Les bandes de haute absorbance situées  $2908,45$  à  $2923,88 \text{ cm}^{-1}$  correspondent aux vibrations d'élongation des liaisons C-H dans les paraffines.
- Les bandes d'absorption  $2136,98$  à  $2160,13 \text{ cm}^{-1}$  indiquant la présence des composés Alcyne en faible quantité par rapport aux autres.
- Les bandes d'absorption  $1631,67$  à  $1643,24 \text{ cm}^{-1}$  indiquant la présence des composés Naphténiques.
- La présence de composés aromatiques est révélée par les bandes d'absorption se situant entre  $1461,94$  et  $1492,80 \text{ cm}^{-1}$ .

### 3.2. Détermination de la Concentration micellaire critique

Les concentrations micellaires critiques des deux tensioactifs commerciaux TA SDBS et TA CTAB déterminées par la méthode des conductivités à différentes concentrations dans l'eau

distillée à une température de 28°C.

**Tableau 3.3:** Les résultats de la CMC (Concentration Micellaire Critique) (Annexe a)

Tensioactif	TA CTAB	TA SDBS
CMC (mg/l)	100	325

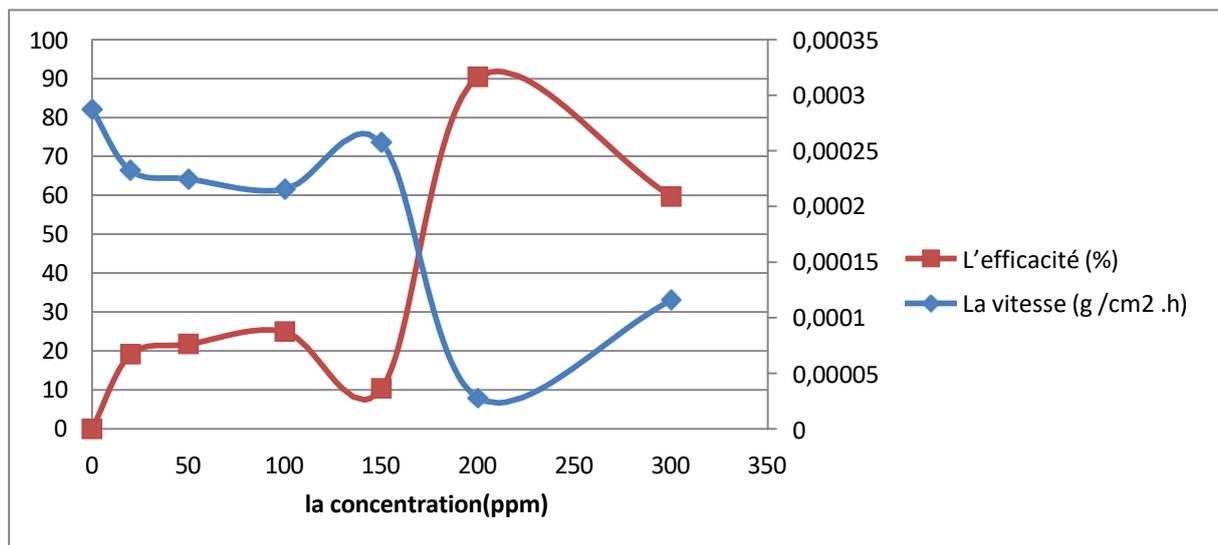
### 3.3. Etude des inhibiteurs de corrosion

#### 3.3.1. La Méthode de gravimétrie

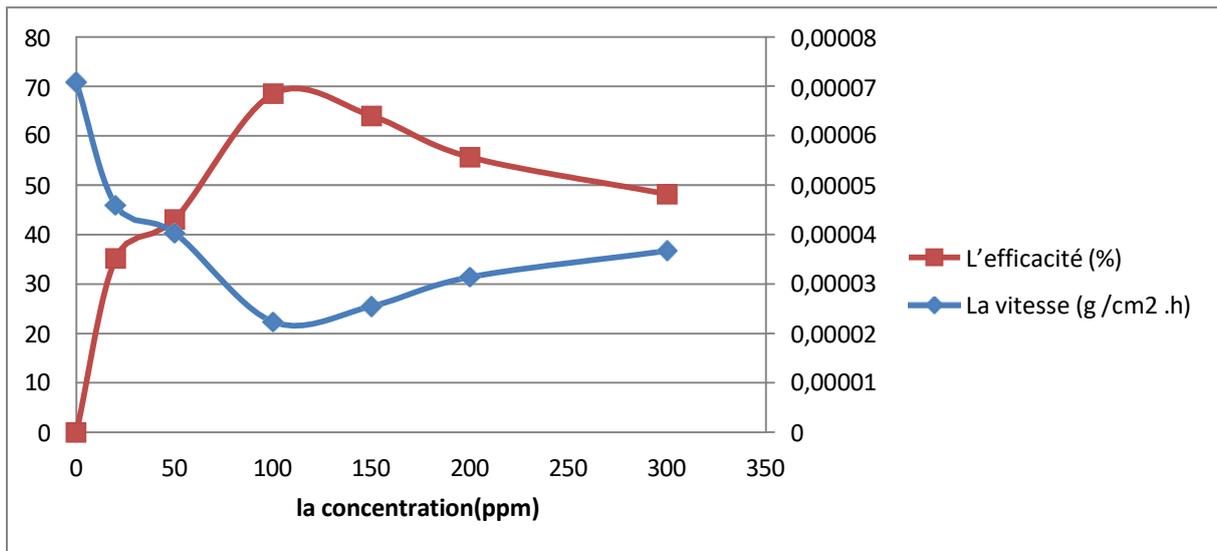
Nous avons mis les pièces en acier dans les milieux corrosifs (HCl 1M et NaCl 3% à pH=3), sans (test à blanc) et en présence des inhibiteurs à différentes concentrations à la température 28-30°C pendant 4h.

Le tableau (Annexe b) reporte les valeurs de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice E(%).

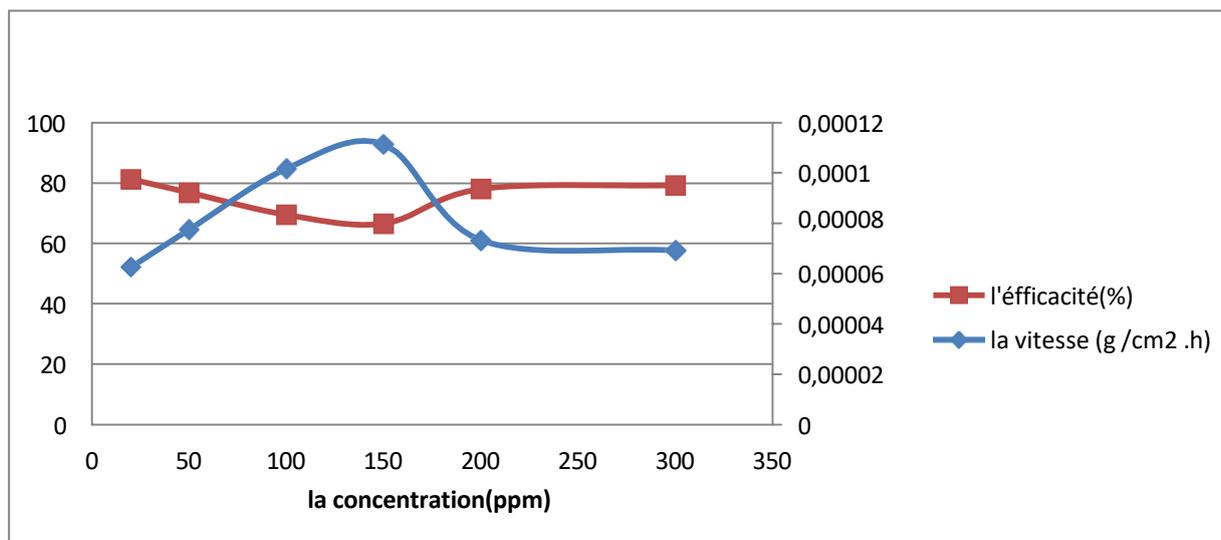
Les figures suivantes représentent la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice déterminées pour des différentes concentrations d'inhibiteurs dans deux milieux différents.



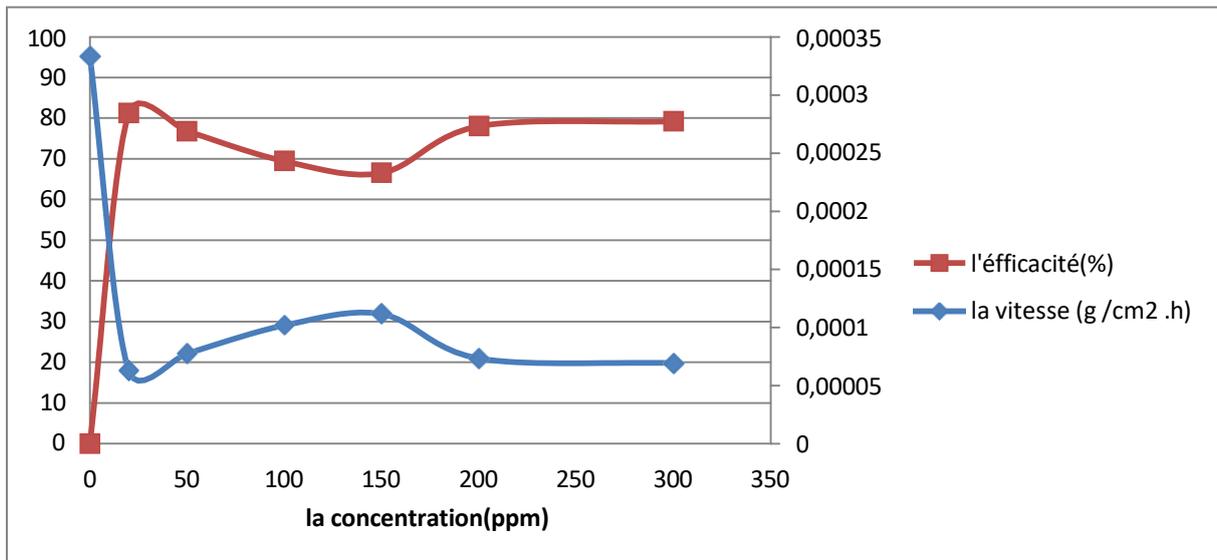
**Figure 3.4.** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA SDBS. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29°C.



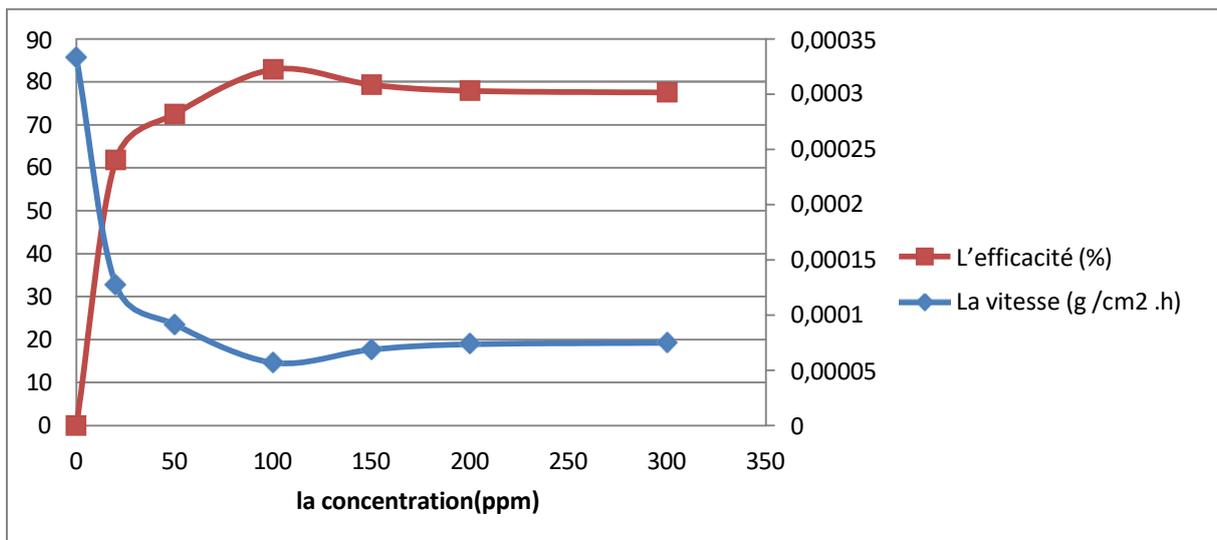
**Figure 3.5 .** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA SDBS. Acier X70, solution NaCl 3% à pH=3, 4h d'immersion, température 29° C.



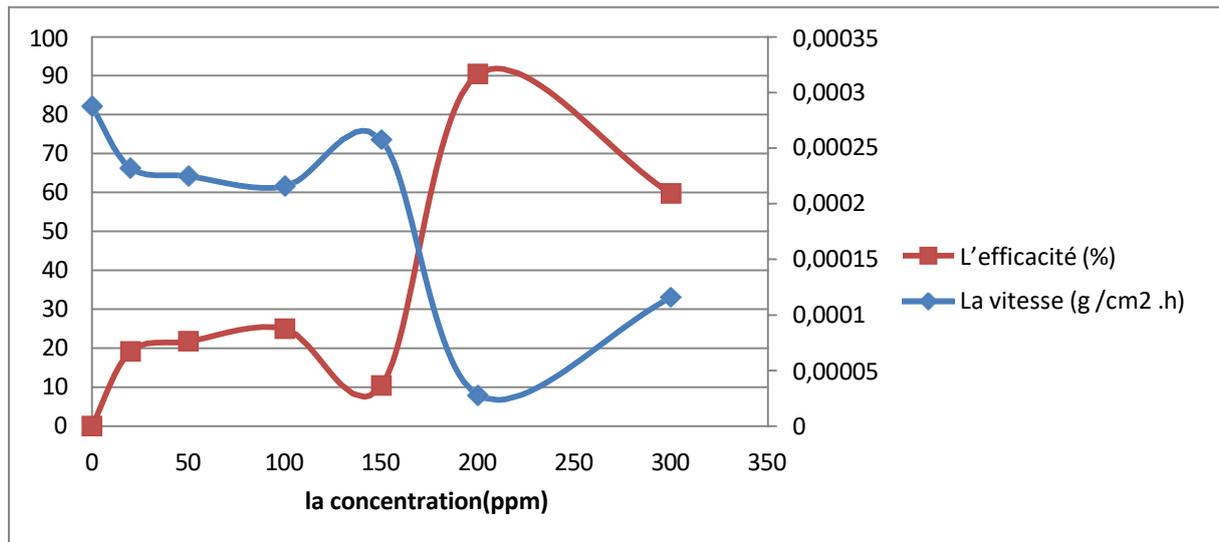
**Figure 3.6.** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA CTAB. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29° C.



**Figure 3.7 .** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA CTAB. Acier X70, solution NaCl 3% pH=3, 4h d'immersion, température 29° C.



**Figure 3.8 .** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA Tween-80. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29° C.



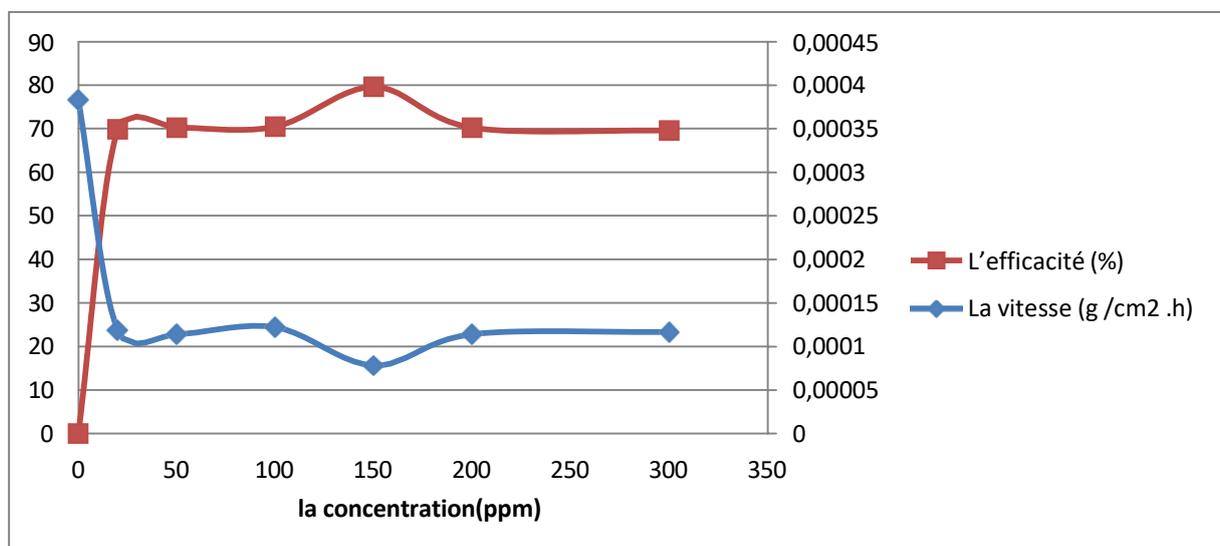
**Figure 3.9.** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA Tween-80. Acier X70, solution NaCl 3% pH=3, 4h d'immersion, température 29° C.

- Les courbes de la vitesse représentent la diminution de la vitesse de corrosion en absence d'inhibiteur et en présence de différentes concentrations des tensioactifs commerciaux testés (SDBS, CTAB et Tween-80) dans les deux milieux. Ces inhibiteurs agissent par adsorption sur la surface de l'acier au carbone et formation d'une couche barrière entre le métal et le milieu corrosif selon Obot [44].
- Les tensioactifs testés présentent un bon pouvoir inhibiteur à temps d'immersion 4h dans les deux milieux à température 28-30 °C. L'efficacité inhibitrice E (%) augmente avec l'accroissement de la concentration en inhibiteur qui atteint une valeur maximale :
  - Pour TA SDBS, une meilleure efficacité de 90,39 % à la concentration de 200 ppm dans le milieu HCl 1M, et une efficacité de 68,50 % à la concentration de 100 ppm dans le milieu NaCl 3% pH=3.
  - Pour TA CTAB une meilleure efficacité de 81,23 % à la concentration 20 ppm dans le milieu HCl 1M, et une efficacité de 78,32% à la concentration 20 ppm dans le milieu NaCl 3% pH=3.
  - Pour TA Tween-80 une meilleure efficacité de 82,89% à la concentration 100 ppm dans le milieu HCl 1M, et une efficacité de 86,45% à la concentration 150 ppm dans le milieu NaCl 3% pH=3.
- L'efficacité d'inhibition du CTAB était supérieure à celle du SDBS dans le milieu NaCl 3% pH=3. Nos études ont montré que le CTAB, qui est un tensioactif

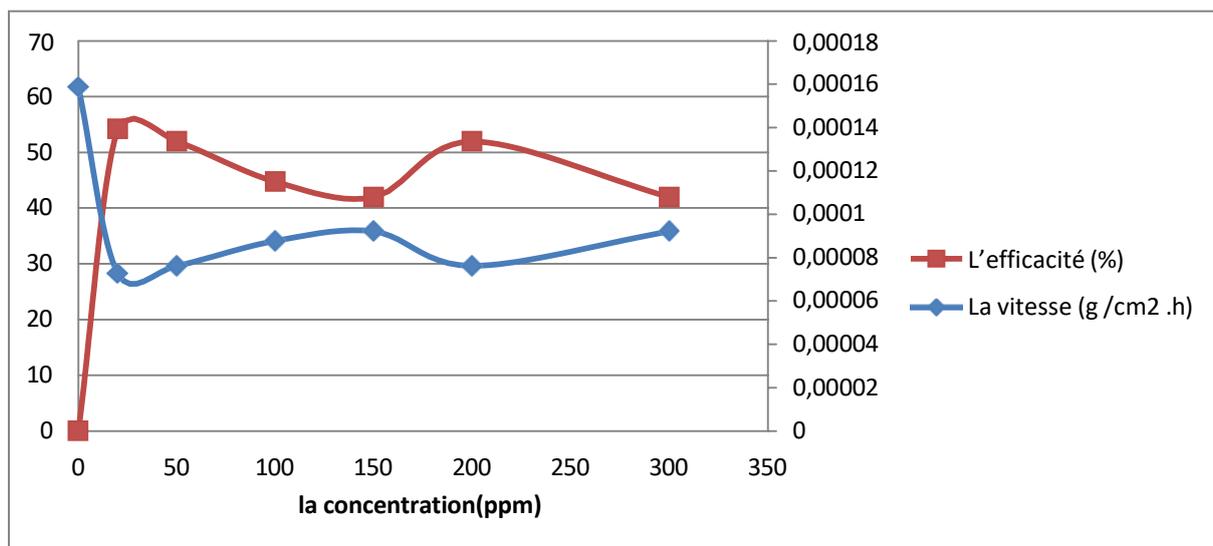
cationique, peut-être mieux absorbé par rapport à un tensioactif anionique (SDBS) sur la surface du métal résultant en une plus grande efficacité d'inhibition. Cette augmentation est due à une forte interaction entre la tête polaire du tensioactif et de la surface métallique. L'autre raison est que les chaînes hydrophobes du tensioactif cationique sont plus longues que SDBS ayant une fraction de couverture plus élevée sur la surface de l'acier selon Javadian et al[46].

- D'après les résultats obtenus une concentration plus faible de CTAB a été utilisée pour avoir le maximum d'efficacité inhibitrice par rapport au SDBS ce qui représente un gain pour la consommation en matière d'inhibiteur de façon générale.

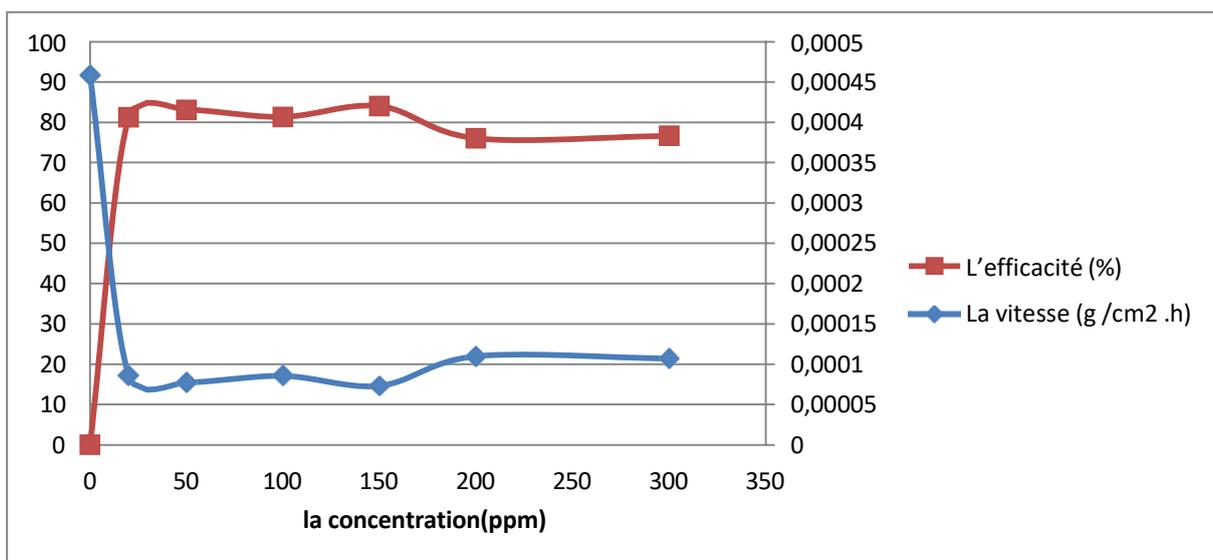
✦ Pour améliorer l'efficacité inhibitrice de ces trois tensioactifs étudiés, on a étudié l'efficacité de mélange de tensioactifs qui diffèrent de leurs charges deux à deux SDBS+TWEEN80 et CTAB+TWEEN80 et SDBS+CTAB (mélange à 50% massique). Les figures suivantes représentent l'évolution de la vitesse de corrosion et l'efficacité inhibitrice des mélanges dans le milieu HCl 1M et le milieu NaCl 3% pH=3 des différents mélanges.



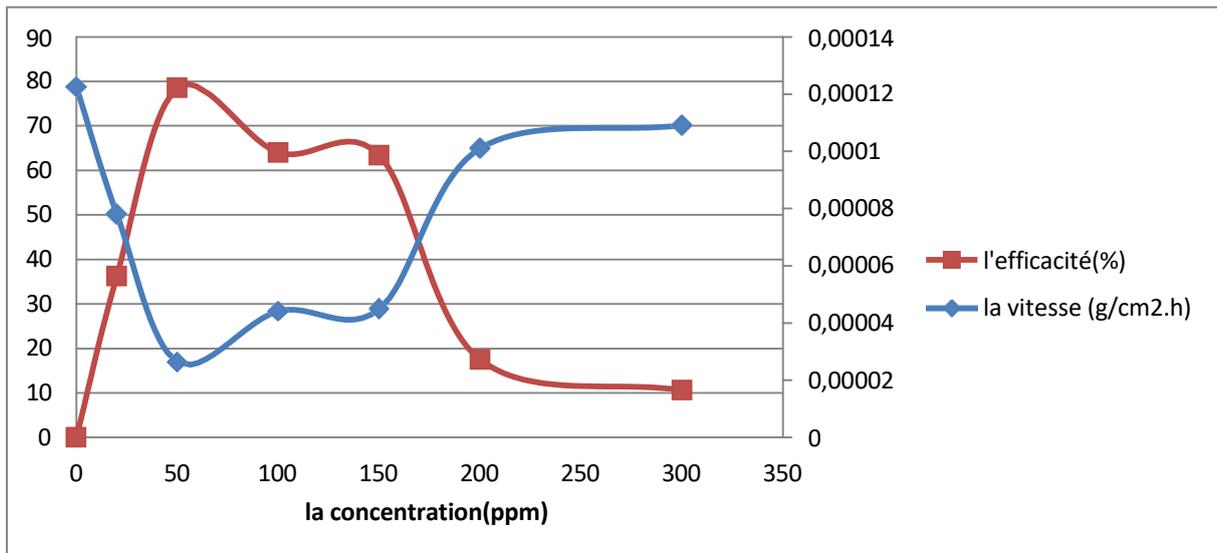
**Figure 3.10.** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA SDBS+TWEEN80. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29° C.



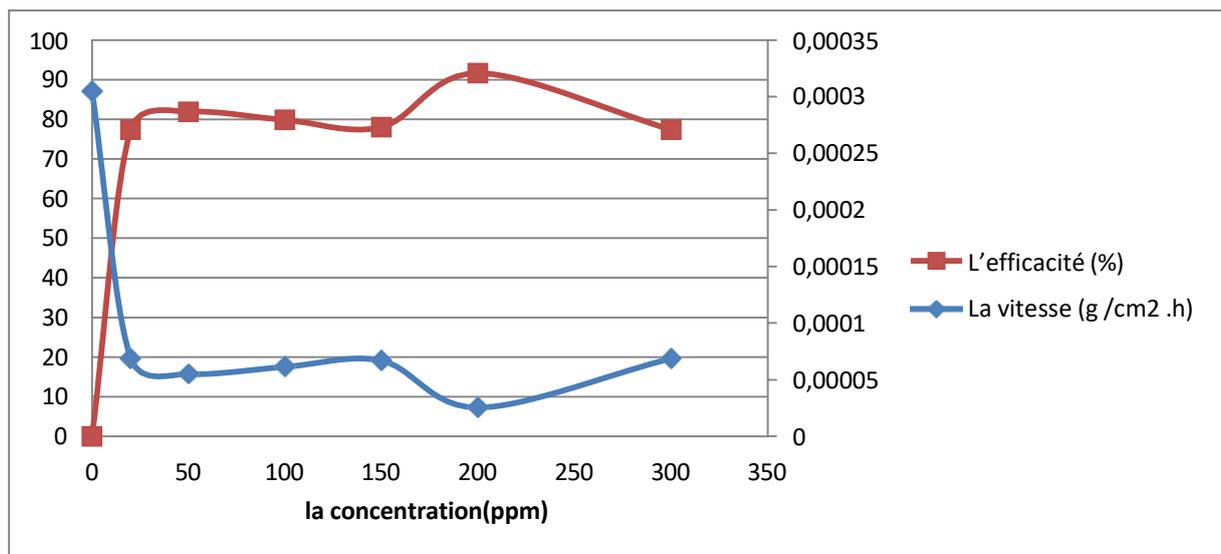
**Figure 3.11.** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA SDBS+TWEEN80. Acier X70, solution NaCl 3% pH=3, 4h d'immersion, température 29° C.



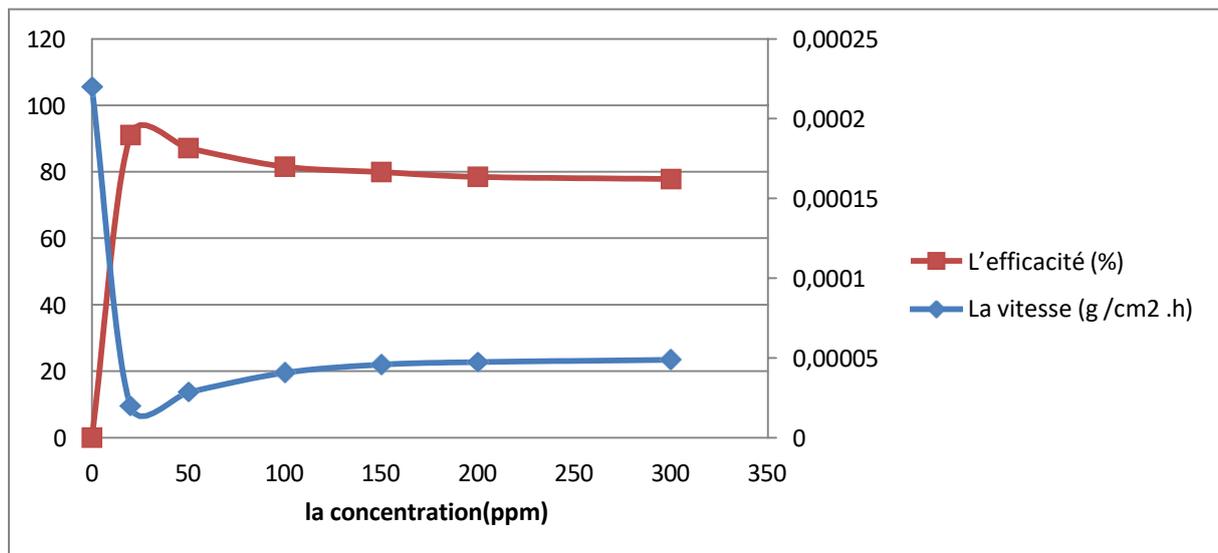
**Figure 3.12.** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA CTAB+TWEEN80. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29° C.



**Figure 3.13.** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA CTAB+TWEEN80. Acier X70, solution NaCl 3% pH=3, 4h d'immersion, température 29° C.



**Figure 3.14.** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA SDBS+CTAB. Acier X70, solution HCl 1M, 4h d'immersion, température 29° C.



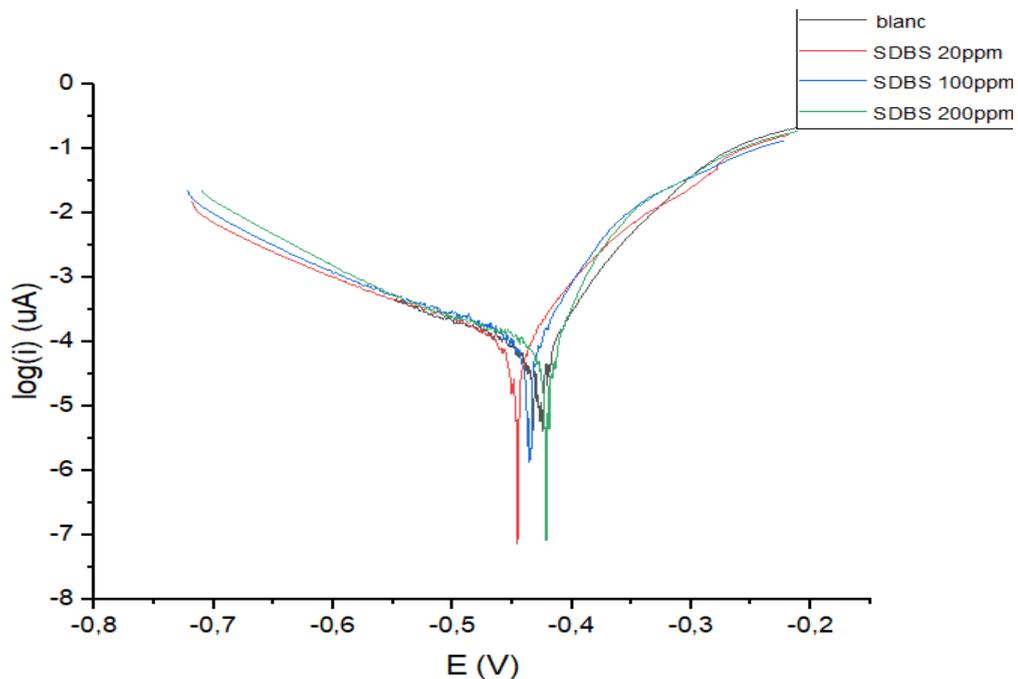
**Figure 3.15.** Effet de la concentration du tensioactif sur la variation de la vitesse de la corrosion et l'efficacité inhibitrice du TA SDBS+CTAB. Acier X70, solution NaCl 3% pH=3, 4h d'immersion, température 29° C.

- L'examen de courbes ci-dessus nous a permis de noter que la vitesse de la corrosion des mélanges diminue quand la concentration de l'inhibiteur augmente et par conséquent l'efficacité augmente dans les deux milieux HCl 1M et NaCl 3% pH=3.
- Le mélange de tensioactifs testé a démontré une capacité d'inhibition efficace pendant une immersion de 4 heures dans les deux milieux, à une température de 28-30 °C. L'efficacité inhibitrice (E %), augmente proportionnellement avec la concentration d'inhibiteur, atteignant une valeur maximale.
- L'efficacité maximale du mélange SDBS+Tween-80 (anionique + non ionique) est de 79,60% à une concentration de 150 ppm dans le milieu HCl 1M et 54,17% à une concentration de 20 ppm dans le milieu NaCl 3% pH=3.
- L'efficacité maximale du mélange CTAB+TWEEN80 (cationique + non ionique) est de 84,02% à une concentration de 150 ppm dans le milieu HCl 1M et 78,51% à une concentration de 50 ppm dans le milieu NaCl 3% pH=3.
- L'efficacité maximale du mélange SDBS+CTAB (anionique + cationique) est de 91,62% à une concentration de 200 ppm dans le milieu HCl 1M et 91,03% à une concentration de 20 ppm dans le milieu NaCl 3% pH=3.
- ✦ Une synergie des deux inhibiteurs a été démontrée, ce qui améliore les performances d'inhibition de la corrosion par rapport aux inhibiteurs agissant seuls. Ce résultat est en parfait accord avec les résultats obtenus par Shan Qian et al [47].

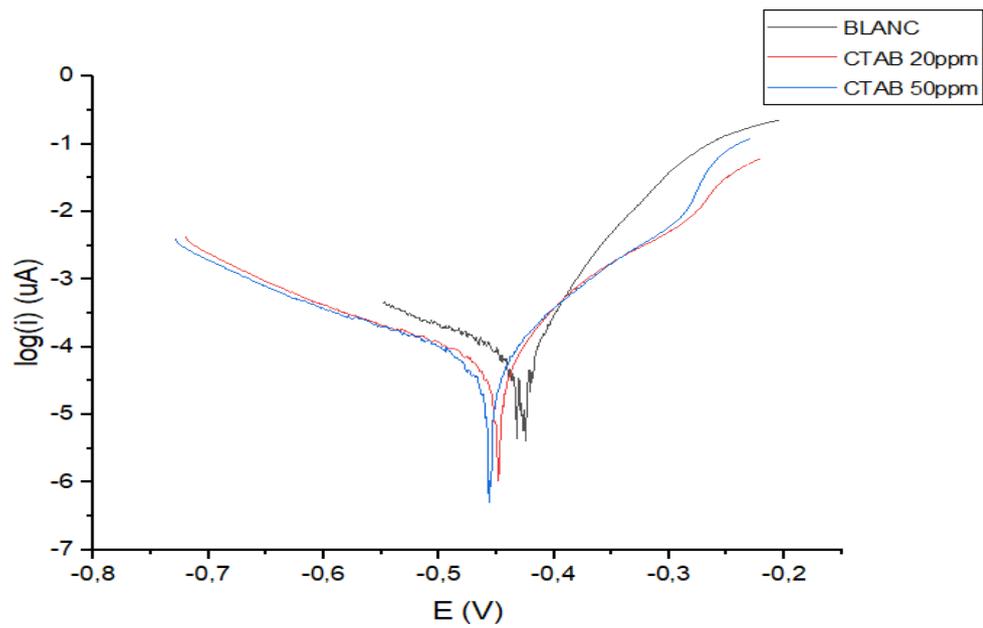
- ✦ En raison des forces attractives entre les tensioactifs, dans la solution contenant un mélange, les sites actifs à la surface de l'acier sont mieux couverts, et une protection plus efficace prend place sur la surface de l'acier. Par conséquent, le mélange a une meilleure performance dans la protection de l'acier par rapport aux tensio-actifs pris individuellement. Cette conclusion est similaire à celle obtenue par Sergolzaei et al[50].
- ✦ Une étude très récente ( 2023) menée par Chen et al [51], a mis en exergue la supériorité l'effet synergique d'un mélange de tensioactifs composé de sulfonates alkylbenzène linéaires (LAS) et le CTAB comme inhibiteurs de premier choix dans l'inhibition de la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu riche en  $\text{CO}_2$

### 3.3.2. Les courbes de potentiodynamiques

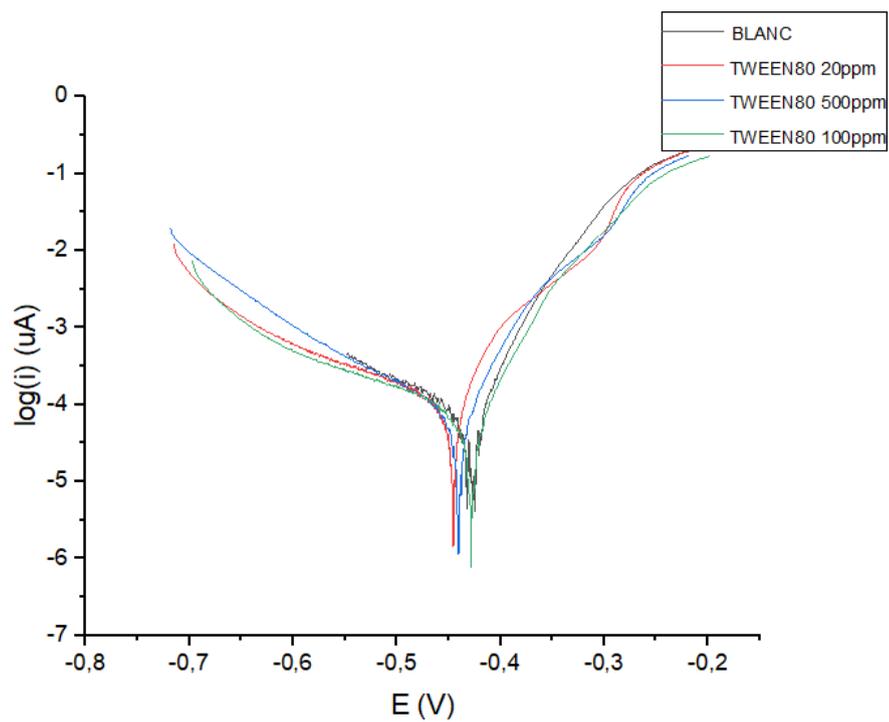
Les courbes de polarisation potentiodynamiques (courbes de Tafel) en absence et en présence de tensioactifs à différentes concentrations, en milieu HCl 1M à 30°C sont présentées sur les figures suivantes.



**Figure 3.16 :** Courbes de polarisation potentiodynamique de l'acier X70 dans HCl 1M, sans et avec différentes concentrations du TA SDBS, à 30°C



**Figure 3.17 :** Courbes de polarisation potentiodynamique de l'acier X70 dans HCl 1M, sans et avec différentes concentrations du TA CTAB, à 30°C



**Figure 3.18 :** Courbes de polarisation potentiodynamique de l'acier X70 dans HCl 1M, sans et avec différentes concentrations du TA TWEEN80, à 30°C

Les figures (3.16, 3.17 et 3.18) représenté les courbes de Tafel de l'interfca acier solution corrosive en absence (blanc) et en présence des différents tensioactifs.

- Le déplacement des courbes de Tafel correspondant aux différentes concentrations d'inhibiteur par rapport au blanc prouve irréfutablement le pouvoir inhibiteur. Cela suggère que l'effet inhibiteur de cette substance se produit par la formation d'un film bloquant les sites actifs cathodiques et anodiques de la surface métallique par adsorption.
- Il est observé que les deux branches cathodique et anodique, loin d' $E_{\text{corr}}$ , maintiennent leur comportement linéaire, ce qui indique que l'addition de l'inhibiteur ne modifie pas le mécanisme de ce processus.

# Conclusion générale

## **Conclusion**

Au cours de ce travail, nous avons étudié le comportement inhibiteur des tensioactifs, disponibles et à un coût raisonnable, vis-à-vis de la corrosion d'acier X70 au contact de deux milieux corrosifs HCl 1M et NaCl 3% pH=3.

Nous avons étudié aussi l'influence du mélange de ces tensioactifs sur l'inhibition de la corrosion. Les résultats obtenus lors de l'étude de la corrosion par gravimétrie montrent que :

- L'augmentation de l'efficacité inhibitrice avec la concentration du tensioactifs. Ceci montre l'existence d'une forte interaction d'inhibiteur avec la surface de l'acier. Une couche qui se forme protège l'acier contre la corrosion.

Les tests de gravimétrie qu'on a effectués donnent les résultats suivants :

- Pour TA SDBS : une meilleure efficacité de 90% à une concentration de 200ppm et 68% à une concentration 100 ppm dans les milieux HCl 1M et NaCl 3% pH=3 respectivement.
- Pour TA CTAB une meilleure efficacité de 81% et 78% à une concentration de 20ppm. dans les milieux HCl 1M et NaCl 3% pH=3 respectivement
- Pour TA Tween-80 l'efficacité maximale est 82 % a une concentration 100 ppm et 86% à une concentration 150 ppm dans les milieux HCl 1M et NaCl 3% pH=3 respectivement.

Pour le mélange :

Pour le SDBS et le Tween-80, on a trouvé une efficacité de 79% à une concentration 150 ppm et 54% à une concentration 20 ppm dans les milieux HCl 1M et NaCl 3% pH=3 respectivement

Pour le CTAB et le Tween-80, les résultats donnent une efficacité 84% à une concentration 150 ppm et 68% à une concentration 50 ppm dans les milieux HCl 1M et NaCl 3% pH=3 respectivement.

Pour le SDBS et le CTAB, on a trouvé la meilleure efficacité de 92 % à une concentration 200 ppm et 20 ppm dans les milieux HCl 1M et NaCl 3% pH=3 respectivement.

## *Conclusion générale*

---

- L'analyse des résultats obtenus indique que ces tensioactifs ont montré un bon comportement dans la protection contre la corrosion de l'acier au carbone X70 dans les deux milieux

Enfin, cette étude a prouvé que les tensioactifs choisis seuls et combinés sont d'excellents composés comme des inhibiteurs de corrosion.

Pour la suite de ce travail nous recommandons :

- Approfondir l'étude sur l'effet de la structure de l'inhibiteur (la synthèse de différentes molécules d'inhibiteurs.....)
- Etude de l'effet de la température pour avoir une idée sur le mécanisme.
- Etude par impédance pour savoir quels sont les mécanismes de la corrosion et de l'inhibition.

## Références bibliographiques

- [1] H. Adib, S. Jallouf, C. Schmitt, A. Carmasol, G. Pluvinage. Evaluation of the effect of corrosion defects on the structural integrity of X52 gas pipelines using the SINTAP procedure and notch theory. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 84 (2007) 123–131.
- [2] H. Hamitouche. Thèse de magistère, Etude de l'efficacité inhibitrice de quelques tensioactifs, synthétisés à partir de coupes pétrolières, dans la lutte contre la corrosion interne des pipelines. Magister, Université SAAD DAHLAB Blida.
- [3] Amal Kouache, Ammonium quaternaire du platformat : synthèse et application à l'inhibition de la corrosion acide d'acier, mémoire de magister, Université de Blida 1, 2011
- [4] Javadian, S., Yousefi, A. and Neshati, J. (2013) Synergistic Effect of Mixed Cationic and Anionic Surfactants on the Corrosion Inhibitor Behavior of Mild Steel in 3.5% NaCl. *Applied Surface Science*, 285, 674-681.
- [5] La corrosion des aciers. *Technique de l'ingénieur*, TBA1054, 2004.
- [6] J. Bernard, A. Mechel, J. Philibert, J. Talbot. *Métallurgie général*. Masson et CIE, Edition, Paris (1969).
- [7] P. Raja et M. Sethuraman. Natural product as corrosion inhibitor for metals in media. *Materials letters*. vl 62, 2008, p.113.
- [8] J.C. Scully, *Corrosion. Protection. Principes fondamentaux*. Edition Masson, p. 93, Paris 1995.
- [9] K. E. Heusler, D. Landolt, S. Trasatti, *Electrochemical corrosion nomenclature*, *Pure and Applied Chemistry* 61 19-22 (1989).
- [10] R. François. *Corrosion des matériaux dans l'industrie pétrolière*. *Technique de l'ingénieur*, COR750 v1, 2010.
- [11] C. Travers, *pétrole, technique de l'ingénieur*, BE8520 v2, 2016.
- [12] A. Khireche. Étude et évaluation des contraintes dans un tube cylindrique corrodé sous l'effet de la pression interne. Thèse de doctorat. Université frères MENTOURI CONSTANTINE 1, 2022.
- [13] A. Kouache. Ammonium quaternaire du platformat synthèse et application à l'inhibition de la corrosion acide d'acier. Thèse de magistère. Université SAAD DAHLAB Blida, 2012.
- [14] I Bouali. Étude d'inhibiteurs de corrosion métallique à base d'orthophosphates de

zirconium lamellaires fonctionnalisés : synthèse, caractérisations et applications. Thèse de doctorat, université de lorraine, 2018.

[15] El-Etre, A. and A. Ali, A novel green inhibitor for C-steel corrosion in  $2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  hydrochloric acid solution. Chinese Journal of Chemical Engineering, , 25(3) p. 373-380, 2017.

[16] J.Saranya(a), P.Sounthari(a) , A. Zarrouk(b), S.Chitra(a). Synergistic effect of halides and surfactants on the corrosion inhibition of thiazolo thiadiazole derivative for mild steel in acid medium. Moroccan Journal of Chemistry. Saranya et al. / Mor. J. Chem. 5 N°1 164-176 (2017).

[17] P.Bommersbach. Evolution des propriétés d'un film inhibiteur de corrosion sous l'influence de la température et des conditions hydrodynamiques : caractérisation par techniques électrochimiques. Thèse de doctorat, INSA de Lyon, (2005)

[18] C.Fiaud. Inhibiteurs de corrosion. Technique de l'ingénieur, COR1005 v1, Paris. 1990

[19] F. Milcard. Etude de l'effet des alcaloïdes sur la corrosion de l'acier C38 en milieu acide chlorhydrique 1M : Application à *Aspidosperma album* et *Geissospermum laeve* (Apocynacées). Thèse de doctorat. Université des Antilles et de la Guyane, 2013.

[20] C. Fiaud, C. Lemaitre, N. Pebère. Inhibiteurs de corrosion. In : g. Beranger, h. Mazille, corrosion et anticorrosion (pratique industrielle). Hernès science publications, paris245, (2002).

[21] Hamner, N. E. et Nathan. Corrosion inhibitors. NACA Houston, Texas, USA, vol. 1, 1973.

[22] Kelly, Robert G., Scully, John R., SHOesmith, David W., et al. Techniques in Corrosion Science and Engineering. 2003.

[23] M.Francis. Adsorption-Aspects théoriques, techniques de l'ingénieur, j2730.2003.

[24] E.McCafferty, Introduction to Corrosion Science, Springer Science,Business Media, 2010.

[25] M.A. Kelland, Production Chemicals for the Oil and Gas Industry, Second Edition, Corrosion Control during Production , chapter 8 (191) , CRC Press, 2014.

[26] M. Aliofkhazraei, Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications. BoD–Books on Demand, 2018, p 96-97.

[27] Tang, Zhenglin, A review of corrosion inhibitors for rust preventative fluids, Current Opinion in Solid State and Materials Science, 2019, vol. 23, no 4, p. 100759.

[28] J. Ledion, Inhibiteurs de corrosion dans le traitement des circuits d'eau, Techniques de l'Ingénieur, cor1000.2013

- [29] A. Olajire, Corrosion inhibition of offshore oil and gas production facilities using organic compound inhibitors - A review, *Journal of Molecular Liquids*. volu248 (2017) 775–808
- [30] Lebrini, Mounim. Synthèses et études physicochimiques de nouveaux thiadiazoles inhibiteurs de corrosion de l'acier en milieu acide. Diss. Lille 1, 2005.
- [31] S. Javadian, B. Darbasizadeh , A. Yousefi, F. Ektefa, N. Dalir, J. Kakemam , Dye-surfactant aggregates as corrosion inhibitor for mild steel in NaCl medium: Experimental and theoretical studies, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* (2017) 344-354
- [32] B.Normand, Cabillac, C, Crousier, J et J - Rameau, Méthodes électrochimiques classiques de caractérisation, Présentation et recommandations pour l'analyse de la corrosion des métaux, *Revue de Metallurgie - CIT/ Science et Génie des Matériaux*, (2002), 689 - 697.
- [33] M.Doum, Études expérimentales et théoriques de l'extrait de *Spergularia Rubra* (Sabline rouge) en tant qu'un inhibiteur vert de corrosion de l'acier au carbone X70 dans HCl 1M, mémoire de Master. Université SAAD DAHLAB-Blida 1,2021.
- [34] H. Bouchelkia. Etude du pouvoir inhibiteur de tensioactifs cationiques synthétisés à partir de produits pétroliers algériens : application à la corrosion interne des pipelines .Thèse de doctorat. Université SAAD DAHLAB-Blida 1,2014.
- [35] M.Faustin, Etude de l'effet des alcaloïdes sur la corrosion de l'acier C38 en milieu acide chlorhydrique 1M : Application à *Aspidosperma album* et *Geissospermum laeve* Apocynacées, Thèse de Docteur en Chimie, Université des Antilles et de la Guyane 2013
- [36] C.Gabrielli, technique de l'ingénieur-traité analyse et caractérisation-PE2210.
- [37] M. R. Porter, *Handbook of Surfactants*, Blackie, London, 1994.
- [38] W. M. Linfield, W. M. Linfield (ed.), *Anionic Surfactants*, Marcel Dekker, New York, 1967.
- [39] M.Rosen, *Surfactans and Interfacial Phenomena*, Third Edition, Wiley- Interscience, (2004).
- [40] Perrin,P, chimie industrielle ,2eme édition , Dunod, Paris ,(1999), 197 p.
- [41] C.KURT PETER, *Traité de chimie organique*, Amazon France, (2004)
- [42]\_F. Puisieux, *Les surfactifs et les émulsionnants*, Centre d'études pharmaceutiques, Paris, (1973).
- [43] M.A. Hegazy, S.M. Rashwan , M.M. Kamel , M.S. El Kotb,article de *Journal of Molecular Liquid*, Synthesis, surface properties and inhibition behavior of novel cationic gemini surfactant for corrosion of carbon steel tubes in acidic solution, (2015) 126–134.
- [44] M. Mobin, Huda, S.Zamindar, P.Banerjee, Mechanistic insight into adsorption and anti-corrosion capability of a novel surfactant-derived ionic liquid for mild steel in HCl medium,

Journal of Molecular Liquids, 122403,2023.

[45] H. Tavakoli , T. Shahrabi , M.G. Hosseini, Synergistic effect on corrosion inhibition of copper by sodium dodecylbenzenesulphonate (SDBS) and 2-mercaptobenzoxazole, Materials Chemistry and Physics, Volume 109, Issues 2–3, 15 June 2008, Pages 281-286.

[46] I.B. Obot, N.O. Obi-Egbedi, N.W. Odozi, Acenaphtho [1, 2-b] quinoxaline as a novel corrosion inhibitor for mild steel in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Corrosion Science 52, 2010, 923–926

[47] Shan Qian, Y. Frank Cheng, Synergism of imidazoline and sodium dodecylbenzenesulphonate inhibitors on corrosion inhibition of X52 carbon steel in CO<sub>2</sub>-saturated chloride solutions, Journal of Molecular Liquids, 2019, 294

[48] S. Javadian, A. Yousefi, J. Neshati, Synergistic effect of mixed cationic and anionic surfactants on the corrosion inhibitor behavior of mild steel in 3.5% NaCl, Applied Surface Science, . 285 (2013) 674–681.

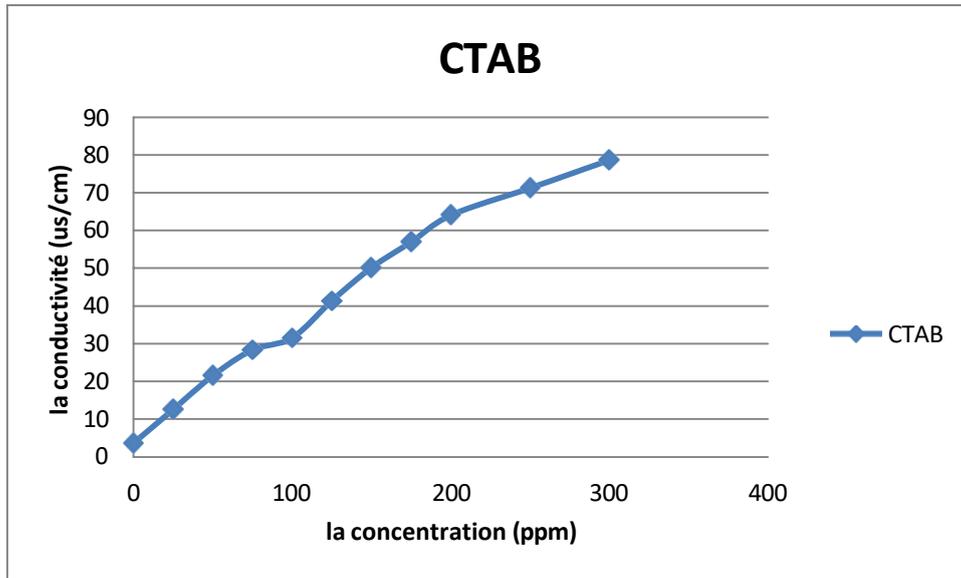
[49] N.H. Helal, W.A. Badawy .Electrochimica Acta 56 (2011) 6581– 6587.

[50] B.Sargolzaei , A.Arab, Synergism of CTAB and NLS surfactants on the corrosion inhibition of mild steel in sodium chloride solution ,Materials Today Communications 29 (2021) 102809.

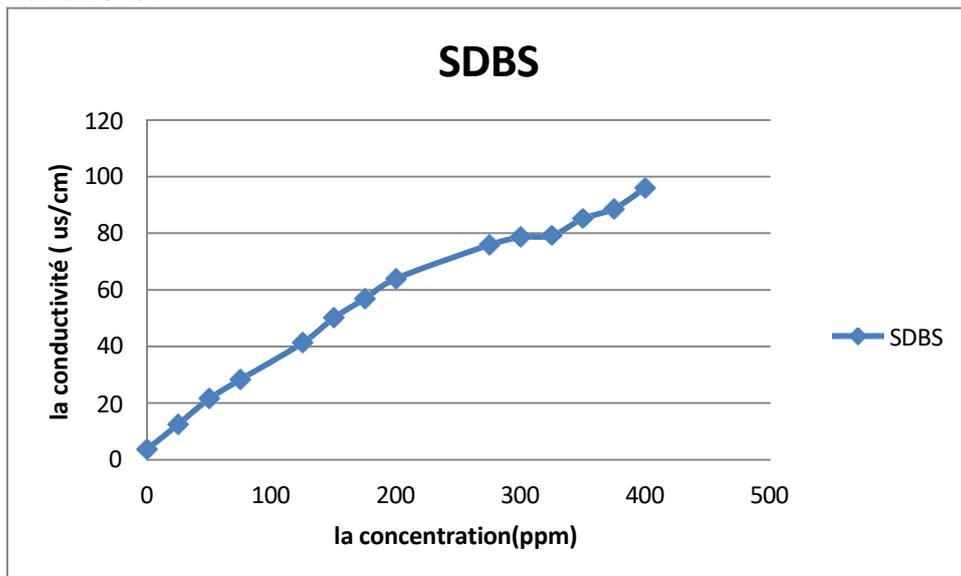
[51] Xu Chen, Wenxuan Cui , Chang Liu , Jiang Yang , Bo Wang , Xintong Wang, Synergism of alkylbenzene sulfonate and cetyltrimethylammonium bromide on corrosion inhibition of carbon steel in CO<sub>2</sub>-saturated solutions, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 658( 2023) 130735.

# Annexes

**Appendice a**  
**Les courbes pour la détermination des concentrations micellaires critiques**



**Figure a.1** : Variation de la conductivité en fonction de la concentration du TA CTAB dans l'eau distillée à 28°C.



**Figure a.2** : Variation de la conductivité en fonction de la concentration du TA SDBS dans l'eau distillée à 28°C.

### Appendice b

**Tableau b.1** : Évolution de la vitesse de corrosion et l'efficacité d'inhibition en présence et en absence de différente concentration de les trois tensioactif en fonction de temps d'immersion dans deux milieux différent avec temps d'immersion 4h .

TA	Concentration (ppm)	HCl 1M				NaCl 3% pH =3			
		S (cm <sup>2</sup> )	Δm (g)	V <sub>corr</sub> (g/cm <sup>2</sup> /h)	E(%)	S (cm <sup>2</sup> )	Δm (g)	V <sub>corr</sub> (g/cm <sup>2</sup> /h)	E(%)
SDBS	0	6.008	0.0069	0.0002871	0	6	0.0017	0.0000708	0
	20	5.7	0.0053	0.0002320	19.19	5.44	0.0010	0.0000459	35.16
	50	5.788	0.0052	0.0002246	21.77	6.2	0.0010	0.0000403	43.07
	100	5.57	0.0048	0.0002154	25	5.6	0.0005	0.0000223	68.50
	150	5.44	0.0056	0.0002573	10.37	5.86	0.0006	0.0000255	63.98
	200	5.44	0.0006	0.0000276	90.39	5.568	0.0007	0.0000314	55.64
	300	5.832	0.0027	0.0001157	59.7	5.44	0.0008	0.0000367	48.16
CTAB	0	6	0.0080	0.0003333	0	5.9	0.0039	0.0001652	0
	20	6.39	0.0016	0.0000625	81.23	6.28	0.0009	0.0000358	78.32
	50	5.8	0.0018	0.0000775	76.8	5.6	0.0015	0.0000669	59.50
	100	6.14	0.0025	0.0001017	69.45	5.6	0.0016	0.0000714	56.77
	150	6.28	0.0028	0.0001114	66.54	5.9	0.0017	0.0000720	56.41
	200	6.14	0.0018	0.0000732	78.03	6.01	0.0015	0.0000623	62.28
	300	6.14	0.0017	0.0000692	79.23	6.28	0.0012	0.0000477	71.12
Tween	0	6	0.0080	0.0003333	0	6.14	0.0039	0.0001587	0
	20	6.28	0.0032	0.0001273	61.80	6.201	0.0009	0.0000362	77.18
	50	6	0.0022	0.0000916	72.49	6.1	0.0008	0.0000327	79.39
	100	6.14	0.0014	0.0000570	82.89	6.	0.0007	0.0000291	81.66
	150	5.8	0.0016	0.0000689	79.30	5.8	0.0005	0.0000215	86.45
	200	6.1	0.0018	0.0000737	77.88	6.14	0.0009	0.0000366	76.93
	300	6	0.0018	0.0000750	77.49	6.19	0.0010	0.0000403	74.60

**Tableau b.2 :** Évolution de la vitesse de corrosion et l'efficacité d'inhibition en présence et en absence de différente concentration de mélange en fonction de temps d'immersion dans deux milieux différent avec temps d'immersion 4h.

TA	Concentration (ppm)	HCl 1M				NaCl 3% pH =3			
		S (cm <sup>2</sup> )	Δm (g)	V <sub>corr</sub> (g/cm <sup>2</sup> /h)	E(%)	S (cm <sup>2</sup> )	Δm (g)	V <sub>corr</sub> (g/cm <sup>2</sup> /h)	E(%)
SDBS + Tween	0	6.004	0.0092	0.0003830	0	6.14	0.0039	0.0001587	0
	20	5.7	0.0027	0.0001184	69.86	5.5	0.0016	0.0000727	54.17
	50	6.14	0.0028	0.0001140	70.23	5.86	0.0018	0.0000762	51.94
	100	6.44	0.0030	0.0001221	70.44	5.7	0.0020	0.0000877	44.72
	150	6.4	0.0020	0.0000781	79.60	5.7	0.0021	0.0000921	41.96
	200	5.7	0.0026	0.0001140	70.23	5.9	0.0018	0.0000762	51.94
	300	6	0.0028	0.0001166	69.55	5.7	0.0021	0.0000921	41.96
CTAB + Tween	0	6	0.0110	0.0004583	0	5.02	0.0025	0.0001225	0
	20	6.10	0.0021	0.0000860	81.23	5.44	0.0017	0.0000781	36.22
	50	5.8	0.0018	0.0000775	83.08	5.7	0.0006	0.0000263	78.51
	100	6.01	0.0021	0.0000855	81.34	5.1	0.0009	0.0000441	64.00
	150	6.14	0.0018	0.0000732	84.02	5.02	0.0009	0.0000448	63.42
	200	6.14	0.0027	0.0001099	76.02	5.44	0.0022	0.0001011	17.46
	300	6.3	0.0027	0.0001071	76.63	5.02	0.0022	0.0001095	10.61
SDBS + CTAB	0	5.50	0.0067	0.0003045	0	6.14	0.0054	0.0002198	0
	20	5.44	0.0015	0.0000689	77.37	6.32	0.0005	0.0000197	91.03
	50	5.44	0.0012	0.0000551	81.90	6.14	0.0007	0.0000285	87.03
	100	5.7	0.0014	0.0000614	79.83	6.14	0.0010	0.0000407	81.48
	150	5.6	0.0015	0.0000669	78.02	6.21	0.0011	0.0000458	79.89
	200	5.86	0.0006	0.0000255	91.62	5.8	0.0011	0.0000474	78.43
	300	5.44	0.0015	0.0000689	77.37	6.14	0.0012	0.0000488	77.79