



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université 20 août 1955 -SKIKDA**

Faculté de  
Technologie  
Département de  
Pétrochimie

**Mémoire**

**En vue de l'obtention du diplôme de**

**Master**

**Filière: Industrie Pétrochimique**

**Spécialité: Génie Pétrochimique**

**Thème:**

**Etude de l'effet inhibiteur de la griffe de sorcière et vérification d'inhibiteur chimique contre la corrosion de l'acier au carbone**

**Réalisé par:**

- Sadaoui norhane
- Soltane Rania amani

**Encadré par:**

**Chahrazed Saadi**

**Année Universitaire 2022/2023**

## **Remerciements**

**Au terme de ce mémoire je tiens à remercier, en premier lieu le bon Dieu, le tout puissant, qui m'a donné la force, le courage et la patience pour terminer ce modeste travail.**

**Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.**

**Je voudrais dans un premier temps remercier Mr.Boudis Abd El Djalil Et aussi ma encadreur Mme Chahrazed**

**Je ne trouve certainement pas formule pour exprimer ma reconnaissance et mon entière gratitude pour leur soutien total tout au long de ce travail**

## **Dédicaces**

**A mes très chers parents. Source d'énergie et de ma réussite que dieu les préservent.**

**A mon grand-père Mohamed**

**A ma tante Iman, mes oncles Waheb, Hamza et mes grands-parents, Que Dieu leur fasse  
miséricorde**

**A toute ma famille**

**A monsieur Abd El Djalil Boudis**

**A tous mes amis plus particulièrement : Nardjes et Marwa pour leur contribution et  
encouragement**

**A tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de mon travail**

**Soltane Rania Amani**

## **Dédicaces**

**A mes très chers parents, Sans eux je n'aurais pas abouti à ce stade d'étude que DIEU  
puisse m'aider À les honneurs les servir et les combler**

**A la famille et mes amis**

**Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux et le fruit de votre soutien infallible**

**Sadaoui norhane**

## **Résumé**

Ce travail porte sur l'étude comparative de l'effet de l'inhibiteur de corrosion chimique utilisé dans le complexe RA2K par rapport au inhibiteur de l'extrait de la plante la griffe de la sorcière qui est une source économique , biodégradable et respectueuse à l'environnement.

Une aperçu théorique sur les méthodes de détermination de l'efficacité des deux inhibiteurs de corrosion sur l'acier (types A106 , A179 et l'acier ordinaire des clou ) dans une solution (acide HCl 1M et dans l'eau importée de la tour de refroidissement du complexe RA2K ) ainsi que la morphologie de la surface de l'acier a été réalisée. tel que la méthode de gravimétrie, la méthode d'observation visuelle, les isothermes d'adsorption , les courbes de polarisation protection-dynamique, et la spectroscopie d'impédance électrochimique .

Mots clé : Acier, inhibiteur de corrosion , griffe de la sorcière

## ملخص

يركز هذا العمل على الدراسة المقارنة لتأثير مثبت التآكل الكيميائي المستخدم في مركب RA2K مقارنة بـ مثبت مستخلص نبات مخلب الساحرة وهو مصدر اقتصادي وقابل للتحلل البيولوجي ومحترم للبيئة.

تم اجراء دراسة نظرية حول طرق تحديد كفاءة المثبتين ضد تآكل الفولاذ (أنواع A106، A179 و فولاذ مسمار عادي) في محلول (حمض M HCl11 وفي ماء برج التبريد للمركب RA2K) بالإضافة إلى شكل سطح الفولاذ. مثل طريقة الجاذبية ، وطريقة المراقبة البصرية ، وتساوي حرارة الامتزاز ، ومنحنيات الاستقطاب الديناميكي الفعال ، والتحليل الطيفي

الكلمات المفتاحية الفولاذ ، تثبيط التآكل، نبات مخلب الساحرة

## **Abstract**

This work focuses on the comparative study of the effect of a chemical degradation inhibitor used in the RA2K complex compared to an inhibitor of witch's claw plant extract which is an economical, biodegradable and environmentally respectful source.

A theoretical study was conducted on methods to determine the efficiency of the two inhibitors against corrosion of steel (types A106, A179 and common nail steel) in a solution (1M HCl acid and in cooling tower water of RA2K) in addition to the surface shape of the steel. Such as gravity method, optical observation method, adsorption isotherms, dynamic effective polarization curves, and spectroscopy

Keywords steel, corrosion inhibition, witch's claw

## Liste d'abréviation

- RA2K : Raffinerie Algérienne De Skikda
- P : pureté
- D : la densité
- M : la
- $\Delta$  : la perte de masse
- E : efficacité
- $m_0$  : La masse de l'échantillon initiale (g)
- $m_1$  : La masse de l'échantillon finale (g)
- $\Delta$  : Le taux de corrosion de l'échantillon (g) [24]
- $V_{corr}$  et  $V_{inh}$  représentent respectivement les vitesses de corrosion sans inhibiteur et en présence d'inhibiteur
- Q : Quantité de substance adsorbée à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg.g-1) ;
- $C_e$  : Concentration du substrat en adsorbat à l'équilibre (mg.L-1) ;
- a : Capacité d'adsorption à la saturation (mg.g-1)
- b : coefficient d'adsorption (L.mg-1), c'est également la constant d'adsorption

<b>Liste des figures</b>		
<b>Figure</b>	<b>titre</b>	
		23
<b>Figure.I.1</b>	: corrosion métallique	24
<b>Figure.I.2</b>	: corrosion métallique	27
<b>Figure.I.3</b>	: Corrosion généralisée	28
<b>Figure.I.4</b>	: Corrosion localisée par piqûres dans les fluides contenant des ions chlorures	28
<b>Figure.I.5</b>	: Corrosion caverneuse localisée dans les fluides contenant des ions chlorures	29
<b>Figure.I.6</b>	: Corrosion sous contrainte dans les fluides contenant des ions chlorures	29
<b>Figure.I.7</b>	: Corrosion sous contrainte en présence d'une pression partielle de sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S) élevée	30
<b>Figure.I.8</b>	: Fragilisation par l'hydrogène	30
<b>Figure.I.9</b>	: Corrosion intercrystalline	31
<b>Figure.I. 10</b>	: ECS signifie électrode au calomel saturé	31
<b>Figure.I.11</b>	: Corrosion galvanique en présence d'un électrolyte	.32
<b>Figure II.12</b>	: plante La Griffe de sorcière (Carpobrotus edulis )	42
<b>Figure II.12</b>	: plante La Griffe de sorcière (Carpobrotus edulis )	42
<b>Figure II.13</b>	: classements de griffe de sorcière	42
<b>Figure II.14</b>	: plante La Griffe de sorcière (Carpobrotus edulis )	43
<b>Figure II.15</b>	: plantes griffe de sorcière	45
<b>Figure II.16</b>	: schéma d'extraction par solide-liquide	46
<b>Figure II.17</b>	: macération	46
<b>Figure II.18</b>	: extraction liquide-liquide	47
<b>Figure II.19</b>	: montage de l'hydrodistillation	48
<b>Figure III 20</b>	: Les pièces de l'acier	51
<b>Figure III.21</b>	: décapage chimique et mécanique de l'acier	52
<b>Figure III.22</b>	: récolte la plante de griffe de sorcière	52
<b>Figure III.23</b>	: séchage de la griffe de sorcière dans l'étuve	53
<b>Figure III.24</b>	: la Griffe de la sorcière avant le séchage	53
<b>Figure III.25</b>	: broyage de la griffe de la sorcière	54

<b>Figure III.26</b> : le mélange (poudre de la plante, éthanol et eau)	54
<b>Figure III.27</b> : Macération	55
<b>Figure III.28</b> : filtration sous vide et filtration normale	55
<b>Figure III.29</b> : Rotavap	56
<b>Figure III.30</b> : l'extrait de la griffe de sorcière après le séchage	56
<b>Figure III.31</b> : fiche technique du l'eau de La tour de refroidissement	58
<b>Figure III.32</b> : un spectrophotomètre	59
<b>Figure III.33</b> : 6 solutions à différents concentrations d'inhibiteur chimique	60
<b>Figure III.34</b> : six solutions de l'extrait de Griffé de la sorcière à différentes concentrations	61
<b>Figure III.35</b> : Les trois bocaux qui contiennent trois clous de forme différente	63
<b>Figure III.36</b> : la formation des moisissures dans la solution	64
<b>Figure III.37</b> : Les deux biocides importés de la zone industrielle RA2K	64
<b>Figure III.38</b> : L'échantillon dans une moule en plastique	67
<b>Figure III.39</b> : électrode de travail	68
<b>Figure III.40</b> : dispositif expérimental utilisé	69
<b>Figure III.41</b> : courbe de polarisation	70
<b>Figure III.42</b> : Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel	72
<b>Figure III.43</b> : courbe de résistance de polarisation	72
<b>Figure III.44</b> : diagramme de Nyquist de l'impédance d'un circuit électrique	73
<b>Figure III. 45</b> : Diagramme de Bode d'une réaction sous contrôle d'activation	74
<b>Figure IV.46</b> : Courbe de la perte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur chimique	78
<b>Figure IV.47</b> : Courbe de la perte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur ver	81
<b>Figure IV.48</b> : Courbe de la vitesse de corrosion en fonction de temps dans l'expérience de l'inhibiteur vert	83
<b>Figure IV.49</b> courbe d'efficacité d'inhibiteur chimique	85

<b>Figure IV.50</b> Courbe efficacité d'inhibiteur vert	86
<b>Figure IV.51</b> : les images photographiés de expérience de HCL	90
<b>Figure IV.52</b> : les images photographiés de expérience de l'eau de refroidissement	93
<b>Figure IV.53</b> : Courbe de Freundlich	95
<b>Figure IV.54</b> : Courbe de langmuir	95
<b>Figure IV.55</b> :Courbe Temkin	96
<b>Figure IV.56</b> : Courbe Temkin	97
<b>Figure IV.57</b> : Courbe de langmuir	97
<b>Figure IV .58</b> : Courbe Freundlich	98
<b>Figure IV.59</b> : Courbe de polarisation l'inhibiteur chimique	99
<b>Figure IV.60</b> : Courbe de polarisation de la plante	99
<b>Figure IV.61</b> :Courbe Polarisation chimique	100
<b>Figure IV.62</b> : Courbe polarisation vert	100
<b>Figure IV.63</b> : Courbe polarisation vert	100
<b>Figure IV.64</b> : Courbe de l'impédance à températures 25 c° de l'inhibiteur chimique	101
<b>Figure IV.65</b> : Courbe de l'impédance à températures 25 °c de l'inhibiteur vert	102
<b>Figure IV.66</b> : Courbe de l'impédance à températures 50 c° de l'inhibiteur chimique	102
<b>Figure IV.67</b> : Courbe de l'impédance à températures 50 c° de l'inhibiteur vert	103

<b>Liste des tableaux</b>		
<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	
<b>Tableau III.1</b>	Le pourcentage de l'inhibiteur et l'Hcl dans chaque solution	60
<b>Tableau III.2</b>	Le pourcentage de l'inhibiteur vert et l'Hcl dans chaque solution	60
<b>Tableau IV.3</b>	la variation de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur chimique	76
<b>Tableau IV.4</b>	la parte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur chimique	77
<b>Tableau IV.5</b>	la variation de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur vert	78
<b>Tableau IV.6</b>	la parte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur vert	79
<b>Tableau IV.7</b>	la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps de l'expérience de l'inhibiteur chimique	80
<b>Tableau IV.8</b>	la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps de l'inhibiteur de l'inhibiteur vert	82
<b>Tableau IV.9</b>	la variation de l'efficacité de l'inhibiteur chimique en fonction de temps	83
<b>Tableau IV. 10</b>	Meilleur efficacité de chaque concentration d'inhibiteur chimique	85
<b>Tableau IV. 11</b>	la variation de l'efficacité de l'inhibiteur vert	85
<b>Tableau IV. 12</b>	Meilleur efficacité de chaque concentration d'inhibiteur vert	86
<b>Tableau IV. 13</b>	Le taux du fer total en (ppm)	87
<b>Tableau IV. 14</b>	Le taux du fer total en (ppm)	87
<b>Tableau IV. 15</b>	Le taux du fer total	94
<b>Tableau IV. 16</b>	Le taux du fer total	95
<b>Tableau IV. 17</b>	Isotherme d'adsorption chimique	95
<b>Tableau IV. 18</b>	Les calculs des isotherme d'adsorption	96
<b>Tableau IV. 19</b>	Les calculs de l'enthalpie $\Delta G$ et $\Delta H$	96
<b>Tableau IV. 20</b>	Isotherme d'adsorption chimique	98
<b>Tableau IV. 21</b>	<b>Les calculs des isothermd'adsorption</b>	98
<b>Tableau IV. 22</b>	Les calculs de l'enthalpie $\Delta G$ et $\Delta H$	98

## Sommaire

Remerciements .....	2
Dédicaces .....	4
Dédicaces .....	4
Résumé .....	6
Liste d'abréviation.....	8
Liste des figures .....	9
Liste des tableaux .....	12
Sommaire.....	13
Introduction générale.....	21
<b>Chapitre 1 : généralité sur corrosion</b>	
I. Introduction .....	24
I.2. Définition de la corrosion .....	24
I.3. Tendance à la corrosion .....	24
I.4. Aspect économique de la corrosion .....	25
I.5. Types de corrosion .....	25
I.5.1. Selon la nature du milieu corrodant .....	26
I.5.1.1 Corrosion humide (corrosion aqueuse) .....	26
I.5.1.2. Corrosion sèche .....	26
I.5.2. Selon le mécanisme réactionnel .....	26
I.5.2.1. Corrosion électrochimique .....	26
I.5.2.2. Corrosion chimique .....	26
I.5.2.3. corrosion bactérienne .....	27
I.5.3. Selon l'aspect du métal corrodé .....	27
I.5.3.. Corrosion généralisée .....	27
I.5.3.2. Corrosion localisée .....	28
I.5.3.2.. Corrosion localisée par piqûres .....	28
I.5.3.2.2. Corrosion caverneuse localisée .....	29
I.5.3.2.3. Corrosion sous contrainte (ions de chlorure) .....	30
I.5.3.2.4. Corrosion sous contrainte (h <sub>2</sub> s) .....	30

I.5.3.2.5. Fragilisation par l'hydrogène .....	31
I.5.3.2.5. Corrosion inter cristalline .....	31
I.5.3.2.7. Corrosion galvanique en présence d'un électrolyte .....	32
I.5.3.2.8. Érosion-corrosion .....	33
I.6. Facteurs de la corrosion .....	33
I.6.1. Facteurs liés au métal .....	33
I.6.1.1. Facteurs métallurgiques .....	33
I.6.1.2. Effet des impuretés (inclusions) du métal.....	33
I.6.1.3. Effet de l'état de surface .....	34
I.6.1.4. Effet de la soudure .....	34
I.6.2. Facteurs liés à la solution .....	34
I.6.2.1. Influence de l'oxygène dissous .....	35
I.6.2.2. Influence de la température .....	35
I.6.2.3. Influence de PH .....	35
I.6.2.4. Influence de la salinité .....	35
I.6.2.5. Influence des bactéries .....	35
I.7. Conclusion .....	35

## **Chapitre 2 : les inhibiteurs de corrosion et les inhibiteurs verts**

II.1. Introduction ... ..	37
II.2. Les inhibiteurs de corrosion .....	37
II.2.1. Définition des inhibiteurs de corrosion .....	37
II.2.3. la classification des inhibiteurs de corrosion .....	37
II.2.3.1. Selon leur composition chimique .....	38
II.2.3.1.1. Les inhibiteurs organiques .....	38
II.2.3.1.2. Les inhibiteurs inorganiques (minéraux) .....	38
II.2.3.2. Selon leur mécanisme réactionnelle .....	38
II.2.3.2.1. Les inhibiteurs passivant .....	39
II.2.3.2.2. Les inhibiteurs d'adsorption .....	39
II.2.3.2.3. Inhibition de corrosion par précipitation.....	39
II.2.3.2.4. Inhibition de corrosion par élimination de l'agent corrosif .....	39

II.2.3.3. Selon la nature électrochimique du processus .....	39
II.2.3.3.1. Les inhibiteurs cathodiques .....	41
II.2.3.3.2. Les inhibiteurs anodiques .....	41
II.2.3.3.3. Les inhibiteurs mixtes .....	41
II.2.4. Conditions d'utilisation.....	41
II.2.5. Mécanismes et principes d'action .....	41
II.2.6 Domaines d'emploi des inhibiteurs .....	41
II.3. les inhibiteurs verts .....	42
II.3.1. Matière végétale étudié La Griffes de sorcière (Carpobrotus edulis ) .....	43
II.3.1.1. Description générale .....	43
II.3.1.2. Nomenclature .....	43
II.3.1.3. Origine géographique .....	44
II.3.1.4. Usages actuels .....	44
II.3.1.5. classification .....	44
II.4. Extractions .....	46
II.4.1. Définition .....	46
II.4.2. Types d'extractions .....	46
II.4.2.1. Extraction solide-liquide .....	46
II.4.2.1.1. La macération .....	47
II.4.2.1.2. L'infusion .....	47
II.4.2.1.3. La décoction .....	47
II.4.2.1.4. La filtration .....	47
II.4.2.2. L'extraction liquide-liquide .....	48
II.4.2.3. L'hydrodistillation .....	49
II.5. Conclusion .....	49
<b>Chapitre 3 : Matériel et méthode</b>	
III.1. Protocole expérimental .....	52
III.1.1. Composition chimique des aciers .....	52
III.1.1.1. Composition de l'acier utilisé dans la méthode gravimétrique .....	52
III.1.1.2. Composition de l'acier utilisé dans la méthode électrochimique .....	52
III.1.2. Préparation de l'acier .....	52
III.1.3. Préparation des inhibiteurs .....	53
III.1.3.1. L' inhibiteur vert de la griffe de socière .....	53

III.1.3.1.1. Récolte .....	53
III.1.3.1.2. Séchage .....	53
III.1.3.1.3. Broyage .....	54
III.1.3.1.4. Protocol de macération .....	55
III.1.3.1.5. Filtration .....	55
III.1.3.1.6. Rotavap .....	56
III.1.3.1.7 Séchage .....	57
III.1.3.2. L'inhibiteur utilisé dans le complexe RA2K .....	57
III.1.4. milieu d'étude .....	57
III.1.4.1. La solution de l'HCl .....	57
III.1.4.2. La solution de l'eau de La tour de refroidissement .....	58
III.1.5. Les analyses de concentration du fer .....	59
III.1.5.1. Spectrophotomètre .....	59
III.1.5.2. Technique des analyses de concentrations du fer (Fiche technique de laboratoire de complexe RA2K) .....	59
III.2. Technique gravimétrique .....	60
III.2.1. Préparation des échantillons .....	60
III.2.1.1. Pour l'inhibiteur chimique .....	60
III.2.1.2. Solution de l'extrait de la griffe de la sorcière .....	61
III.2.2. Mesure gravimétrique .....	61
III.2.2.1 Mesure de la perte de masse .....	61
III.2.2.2. Mesure de la vitesse .....	61
III.2.2.3. Mesure d'efficacité .....	61
III.3. Technique d'observations visuelles des surfaces .....	63
III.3.1. Préparation des échantillons .....	63
III.3.2. Suivi de la dégradation de l'acier .....	64
III.3.3. Les analyses de concentration de fer .....	64
III.4. Technique des isothermes d'adsorption .....	65
III.4.1. Définition d'isothermes d'adsorption .....	66
III.4.2. les types des isothermes d'adsorption .....	66
III.4.2.1. Isotherme de Langmuir .....	66
III.4.2.2. Isotherme de freundlich .....	67
III.4.2.3. Isotherme de Temkin .....	67.
III.5. Tehnique électrochimique .....	68

III.5.1. Cellule électrochimique .....	68
III.5.2. Préparation des électrodes .....	68.
III.5.3. montage électrochimique .....	69
III.5.4. Méthodes des analyses électrochimiques .....	69
III.5.4.1. Méthodes stationnaires .....	69
III.5.4.1.1. Mesure du potentiel de corrosion .....	69
III.5.4.1.2 Courbe de polarisation .....	70
III.5.4.1.3. Courbe de tafel .....	71
III.5.4.1.4. Résistance de polarisation .....	72
III.5.4.2. Méthode transitoire .....	73
III.5.4.2.1. Spectroscopie d'impédance .....	73
III.5.4.2.2.2. Diagrammes d'impédance .....	74
<b>Chapitre 4 : résultats et durcissions</b>	
IV.1. Introduction .....	77.
IV.2.Méthode gravimétrique .....	77
IV.2.1. Perte de masse .....	77
IV.2.1.1.perte de masse de l'inhibiteur chimique .....	77
IV.2.1.2. perte de masse de l'inhibiteur vert .....	79
IV.2.2. la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps .....	81
IV.2.2.1. l'expérience de l'inhibiteur chimique .....	81
IV.2.2.2. L'experience de l'inhibiteur vert .....	81
IV.2.3. la variation de l'efficacité de l'inhibiteur en fonction de temps .....	81
IV.2.3.1. l'inhibiteur chimique .....	82
IV .2.3.2. l'inhibiteur vert .....	83
IV .2.4. Les analyses de concentrions du fer.....	83
IV.2.4.1. L'experience de l'inhibiteur chimique .....	83
IV.2.4.2. L'experience de l'inhibiteur vert .....	83
IV.2.5. la méthode d'observations visuelles .....	85
IV.2.5.1. les images photographiés .....	85
IV.2.5.1.1. expérience de HCL.....	85
IV.2.5.1.2. Expériences de L'eau de refroidissement .....	85

IV.2.5.2. Les analyses de concentration du fer.....	94
IV.2.5.2.1. L'expérience de l'Hcl.....	95
IV.2.5.2.2. L'expérience de l'eau de la tour de refroidissement.....	95
IV.3. isotherme d'adsorption et paramètres thermodynamique.....	95
IV.3.1. Les courbes d'isothermes d'adsorption.....	97
IV.3.1.1. Isotherme d'adsorption inhibiteur chimique .....	98
IV.3.1.2. les isothermes d'adsorption vert .....	98
IV.4. méthode électrochimique et paramètre thermodynamique.....	99
IV.4.1. les mesures de la polarisation .....	99
IV.4.1.1. L'influence du temps.....	99
IV.4.1.1.1. Inhibiteur chimique.....	99
IV.4.1.1.2. inhibiteur vert.....	100
IV.4.1.2. L'influence du température .....	101
IV.4.1.2.1. Inhibiteur chimique.....	101
IV.4.1.2.2. inhibiteur vert .....	101
IV.4.2. les mesures de l'impédance .....	102
IV.4.2.1. L'influence du temps .....	103
IV.4.2.1.1. Inhibiteur chimique .....	103
IV.4.2.1.2. Inhibiteur vert .....	103
IV.4.2.2. influence de la température .....	103
IV.4.2.2.1. Inhibiteur chimique .....	103
IV.4.2.2.2. Inhibiteur vert .....	103
Conclusion générale.....	105
Référence .....	107

# Introduction générale

# Introduction générale

---

## Introduction générale

La corrosion des métaux et alliages est un phénomène universellement connu qui entraîne chaque année des pertes matérielles considérables, directes et indirectes, pour l'industrie et la collectivité. Plus grave encore, la corrosion peut causer des dommages irréversibles à l'environnement et même des pertes en vie humaine puisqu'elle est susceptible d'entraîner des problèmes de santé (pollution, contamination...) mais également d'affecter les appareils et les structures en service (matériels de transport par exemple) en provoquant de graves altérations telles que la diminution générale d'épaisseur, la génération de piqûres, mais aussi des fissures de corrosion sous tension dans les zones soudées ou à leur voisinage.[1]

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion métallique. Ils présentent l'originalité d'être le seul moyen d'intervention à partir du milieu corrosif, ce qui en fait une méthode de contrôle de la corrosion facile à mettre en oeuvre et peu onéreuse, pour peu que le ou les produits utilisés soient d'un coût modéré. Les nombreuses études consacrées, depuis une cinquantaine d'années, à ces composés, ont abouti à proposer des produits ou des mélanges de produits précis correspondant à des systèmes de corrosion (couples métal/milieu corrosif) donnés. Chaque cas de corrosion reste cependant un cas particulier, et il est nécessaire de connaître les données de base de fonctionnement de ces inhibiteurs, leurs limites d'utilisation, leur toxicité particulière, pour pouvoir les utiliser avec une marge suffisante de sécurité.[2]

FIA4975\_Old1importnt

Les extraits de plantes se sont avérés comme une source véritable inépuisable pour les inhibiteurs verts de corrosion, écologiquement acceptables, abondamment disponibles et utilisables pour une vaste gamme de préventions contre la corrosion. Les constituants phytochimiques abondants dans les extraits de plantes comme les flavonoïdes, les phénols, les alcaloïdes, les tannins, etc., possèdent un potentiel considérable d'intérêt industriel incontestable. Le rendement de ces produits naturels, ainsi que les capacités d'inhibition de la corrosion des extraits de plantes varient largement en fonction de la partie sélectionnée de la plante et son emplacement. L'extrait de parties diverses de la plante, racines, graines, feuilles, tige, fleur et fruits pourrait être utilisé comme inhibiteur de corrosion.

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'étude du pouvoir inhibiteur de L'extrait de la plante Griffé de sorcière luxuriante dans la région de Skikda contre la corrosion d'un acier du Carbone en milieu d'acide chlorhydrique (HCL 1 M)

Ce manuscrit est constitué de trois chapitres :

# Introduction générale

---

- Chapitre 1 est consacré à une étude bibliographique sur la corrosion en générale et les types et les facteurs de corrosion
- Chapitre 2 présente la protection contre la corrosion par les inhibiteurs et principalement les inhibiteurs verts suivie par une description de plante de griffe de sorcière et leur extraction
- Chapitre 3 est dédié à la description et les méthodes expérimental et les différentes méthodes électrochimique et technique d'analyse utilisée
- Chapitre 4 rassemble les résultats électrochimique et théorique obtenus et leurs interprétations et discussions

Nous terminons ce travail par une conclusion générale qui résume nos principaux résultats

# Chapitre I :

## Généralité sur la corrosion

## I. Introduction

Le phénomène de corrosion est connu depuis longtemps, mais son étude scientifique a dû attendre les essais de De La Rive, à l'université de Grenoble, et ceux de Faraday (1791- 1867) sur l'électricité et la pile de courant en 1830. Ces chercheurs ont découvert que la corrosion des métaux était un phénomène électrochimique. Cependant, cette explication ne s'applique pas à toutes les formes de corrosion, ni à la compréhension de la corrosion humide. Par exemple, la corrosion sèche fait intervenir la réaction chimique du milieu extérieur directement sur le matériau [3]

## I.2. Définition de la corrosion

On appelle corrosion métallique tout processus de dégradation des métaux et alliages faisant intervenir, au moins partiellement, la composition chimique de leur environnement. En d'autres termes on peut dire que la corrosion d'un métal est la destruction de celui-ci sous l'effet de réactions chimiques ou électrochimiques, lorsqu'il est en contact avec un électrolyte. Elle correspond donc au retour de la matière à son état le plus stable. Dans le cas du fer, par exemple, la forme stable dans la nature n'est pas le métal mais l'oxyde, c'est pourquoi une pièce en acier exposée sans protection à une atmosphère humide tend à se transformer en rouille (oxyde de fer hydraté). Or, la corrosion ne se limite pas à l'acier, mais affecte tous les matériaux ainsi que les polymères et céramiques.[4]



Figure.I.1 : corrosion métallique

## I.3. Tendances à la corrosion

L'histoire de la corrosion accompagne celle de la métallurgie. Au cours de l'histoire de l'humanité, les premiers matériaux métalliques utilisés ont été, dans un premier temps, ceux

directement disponibles dans la nature à l'état natif (métaux nobles : or, argent, cuivre), puis des alliages facilement réalisables (bronze). Les perfectionnements dans les processus d'élaboration métallurgiques impliquent une énergie de transformation de l'oxyde (minerai) en métal pur utilisable industriellement toujours plus importante. Le prix de revient d'un métal est ainsi plus lié au coût de ces processus d'élaboration qu'à son abondance dans la croûte terrestre.

Les métaux se corrodent car c'est leur tendance naturelle à revenir à la forme oxydée qu'ils ont dans les minerais d'où ils sont extraits. Cette forme oxydée est celle qui est thermodynamiquement stable, c'est-à-dire qui correspond à un état énergétique minimal. Tous les métaux, sauf les métaux nobles (or, platine) qui existent à l'état natif, sont dans la nature sous forme de minerais (oxydes, sulfures, carbonates,..). Ils sont alors plus stables d'un point de vue énergétique qu'à l'état de métal. La corrosion est donc un processus naturel qui fait retourner tout métal non noble à un niveau énergétique comparable à celui qu'il possède sous forme de minerai.[5]



**Figure.I.2:** corrosion métallique

## I.4. Aspect économique de la corrosion

La corrosion entraîne des pertes économiques très importantes mais difficiles à évaluer. On distingue les pertes directes, facilement évaluables (dépenses dues à la détérioration du matériel et à son remplacement) et les pertes indirectes, plus difficilement évaluables : - pertes d'exploitation conséquentes aux arrêts d'installations pour réparation, - pertes de production, - accidents, - surdimensionnement des pièces qui entraîne des surcoûts de fabrication des structures, - lutte contre la corrosion (revêtements, traitements de surfaces, protection cathodique, ...)

**I.5. Types de corrosion****I.5.1. Selon la nature du milieu corrodant****I.5.1.1. Corrosion humide (corrosion aqueuse)**

Le terme « corrosion humide » couvre tous les cas de corrosion par un milieu liquide conducteur. Cela peut être de l'eau, toute solution acide, basique ou d'autres[6]

**I.5.1.2. Corrosion sèche**

La corrosion sèche est l'attaque d'un métal par un gaz, conduisant à la formation d'un troisième composé. La plus connue est celle qui est provoquée par l'attaque des métaux ou des alliages par l'oxygène. C'est un processus d'oxydation très complexe.

Lorsque le métal est placé dans une atmosphère gazeuse, sa surface adsorbe les particules de gaz par un processus physique ou chimique selon la température. La vitesse de corrosion dépend ainsi de la température du métal. [6]

**I.5.2. Selon le mécanisme réactionnel****I.5.2.1. Corrosion électrochimique**

La corrosion électrochimique est essentiellement l'oxydation d'un métal sous forme d'ions ou d'oxydes. Elle se produit par des transferts électroniques entre un métal et une solution électrolytique à son contact (circulation d'un courant électrique). Elle nécessite la présence d'un réducteur H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>... Sans celui-ci, la corrosion du métal (réaction anodique) ne peut se produire. Dans la corrosion électrochimique, la réaction cathodique et la réaction anodique sont indissociables, Elles se produisent simultanément. [7]

**I.5.2.2. Corrosion chimique**

C'est une réaction hétérogène entre une phase solide (le métal) et une phase liquide ou gazeuse. Lorsque le réactif est gazeux, la corrosion est dite sèche. Si le réactif est liquide, il est en général accompagné d'une corrosion électrochimique. L'attaque d'un métal par un autre métal liquide, par un sel fondu ou par une solution non aqueuse peut être considérée comme une corrosion chimique. Donc on peut dire que la corrosion chimique est l'attaque du métal par son environnement. Elle est généralement rencontrée dans les industries produisant ou utilisant les acides[7]

### I.5.2.3. corrosion bactérienne

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries dites anaérobiques qui se développent dans les eaux contenant des sulfates. Elles consomment donc ces sulfates et les rejettent sous la forme réduite de sulfure H<sub>2</sub>S. La pollution locale du milieu corrosif en H<sub>2</sub>S et son effet connu sur la corrosion, suffisent à expliquer les dommages provoqués par les bactéries [10]. La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique, elle est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs [7]

### I.5.3. Selon l'aspect du métal corrodé

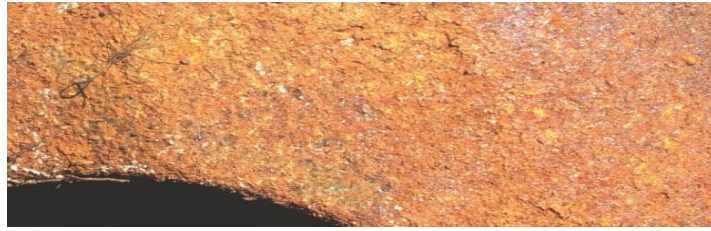
#### I.5.3.1. Corrosion généralisée

Ce type de corrosion, qui est le plus connu, est également le plus facile à repérer et à prévoir. Il est peu courant – mais pas impossible – que la corrosion généralisée entraîne des défaillances catastrophiques. Pour cette raison, la corrosion généralisée est souvent davantage perçue comme une pollution visuelle que comme un problème grave. La corrosion généralisée attaque une surface métallique d'une manière relativement uniforme. La diminution progressive de l'épaisseur de paroi d'un composant doit être prise en compte dans le calcul des pressions nominales.

- Comment se forme-t-elle

Dans un milieu marin ou tout autre environnement corrosif, la surface d'un composant fabriqué en acier au carbone ou dans un acier faiblement allié commence à se dégrader. Il se forme alors une écaille d'oxyde de fer qui va s'épaissir jusqu'à ce qu'elle se détache, entraînant la formation d'une nouvelle écaille.

- On peut la mesurer de la manière suivante :
- En mesurant la perte d'épaisseur du matériau en un an. Par exemple, un acier au carbone non protégé peut se dégrader à raison d'un millimètre par an dans un environnement marin.
- En mesurant la perte de masse – généralement en milligrammes par centimètre carré de matériau exposé par jour – d'un alliage en contact avec un fluide corrosif.[8]



**Figure.I.3** : Corrosion généralisée

### **I.5.3.2. Corrosion localisée**

- Ce mode d'attaque n'affecte que certaines zones spécifiques du métal
- se produit dans des milieux quelquefois peu agressifs en apparence
- pertes de masse très faibles mais pouvant entraîner la ruine du matériau
- difficile à détecter
- nécessite la mise en place de techniques de CND (contrôles non-destructifs)

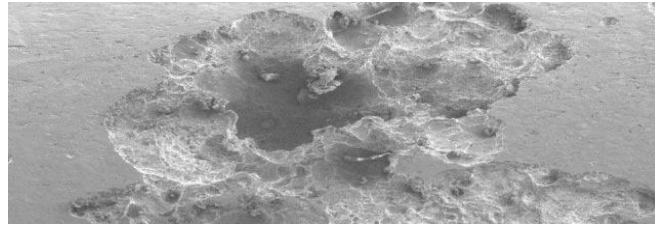
#### **I.5.3.2.. Corrosion localisée par piqûres**

La corrosion par piqûres engendre la formation de petites cavités à la surface d'un matériau. Ces piqûres, bien que généralement décelables en procédant à un examen visuel approfondi, peuvent devenir suffisamment profondes pour perforer la paroi d'un tube. La corrosion par piqûres s'observe le plus souvent à des températures élevées dans des milieux à forte teneur en ions chlorure.

- Comment se forme-t-elle

Lorsque la couche protectrice d'oxyde (ou couche d'oxyde inerte) présente sur la surface du métal se dégrade, celui-ci peut alors céder des électrons. Le fer de l'alliage se dissout au niveau du fond de la cavité (réaction anodique). Les ions fer se diffusent ensuite vers le haut de la cavité où ils forment de la rouille par oxydation. La solution de chlorure de fer voit sa concentration augmenter et gagne en acidité au fur et à mesure que la cavité se creuse. Il en résulte une accélération du phénomène qui aboutit à la perforation de la paroi du tube et à l'apparition de fuites.

Le meilleur moyen pour éviter la corrosion par piqûres consiste à choisir un alliage adapté. L'indice de résistance à la corrosion par piqûres (PREN), qui est calculé à partir de la composition chimique du matériau, permet de comparer les différents métaux et alliages. Le PREN augmente lorsque les teneurs en chrome, molybdène et azote sont plus élevées.



**Figure.I.4 :** Corrosion localisée par piqûres dans les fluides contenant des ions chlorures

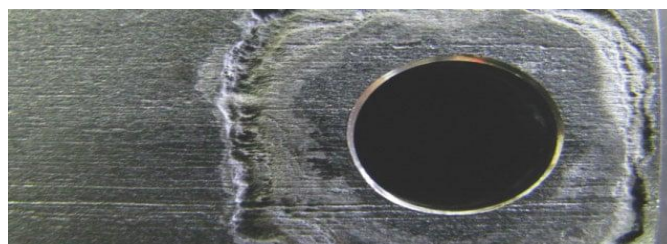
#### I.5.3.2.2. Corrosion caverneuse localisée

Dans un système fluide, des anfractuosités sont généralement présentes entre les tubes et les supports ou les colliers qui les soutiennent, entre deux tronçons de tube adjacents ou sous la boue ou les dépôts qui ont pu s'accumuler sur des surfaces. Il est pratiquement impossible de l'éviter, mais lorsque ces anfractuosités sont de petite taille, le risque de corrosion devient très important.

- Comment se forme-t-elle

Comme la corrosion par piqûres, la corrosion caverneuse commence par une dégradation de la couche d'oxyde inerte qui protège le métal. Cette dégradation entraîne la formation de petites cavités. Les cavités gagnent en largeur et en profondeur et finissent par recouvrir entièrement l'anfruosité. À certains endroits, cela peut aller jusqu'à perforer le tube. La corrosion caverneuse se produit à des températures beaucoup plus basses que la corrosion par piqûres

- Solutions possible
- Alliages 6-moly
- Alliage 2507
- Alliage 825
- Alliage 625
- Alliage C-276
- Alliage 400 [8]



**Figure.I.5 :** Corrosion caverneuse localisée dans les fluides contenant des ions chlorures

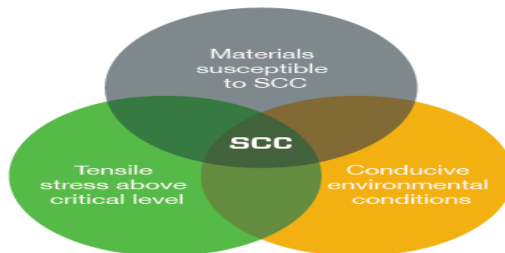
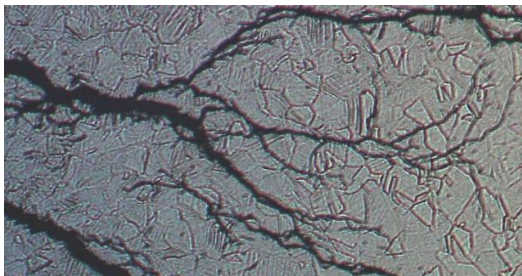
### I.5.3.2.3. Corrosion sous contrainte (ions de chlorure)

La corrosion sous contrainte (SCC) est dangereuse, car elle peut entraîner la destruction d'un composant à des niveaux de contraintes très inférieurs à la limite d'élasticité d'un alliage. En présence d'ions chlorure, les aciers inoxydables austénitiques sont sujets à ce type de corrosion. Les ions réagissent avec le matériau au fond d'une fissure – là où les contraintes de traction sont les plus fortes – ce qui favorise l'élargissement la fissure. Une fois amorcée, la corrosion sous contrainte peut s'avérer difficile à déceler : une défaillance définitive du composant concerné peut alors survenir soudainement.

- Comment se forme-t-elle

Pour que le phénomène se produise, trois conditions doivent être remplies simultanément :

- Le métal doit être sensible à la corrosion sous contrainte
- Des conditions ambiantes (température, type de fluide) propices à ce type de corrosion doivent être réunies
- Les contraintes de traction (appliquées + résiduelles) doivent être supérieures au niveau critique



**Figure.I.6:** Corrosion sous contrainte dans les fluides contenant des ions chlorures

### I.5.3.2.4. Corrosion sous contrainte (h<sub>2</sub>s)

La corrosion sous contrainte due aux gaz sulfureux a pour effet de dégrader un métal en contact avec de l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) dans une atmosphère humide. En présence d'eau, l'hydrogène sulfuré (ou sulfure d'hydrogène - H<sub>2</sub>S) devient extrêmement corrosif. Cette situation peut conduire à une fragilisation du matériau et aboutir à une fissuration sous l'action conjuguée de contraintes de traction et de la corrosion.

- Comment se forme-t-elle

Le risque de corrosion sous contrainte due aux gaz sulfureux augmente avec les facteurs suivants :

- Le métal doit être sensible à la corrosion sous contrainte
- Le milieu doit être suffisamment acide (riche en sulfure d'hydrogène  $H_2S$ )
- Les contraintes de traction (appliquées + résiduelles) doivent être supérieures au niveau critique

Le risque de corrosion sous contrainte due aux gaz sulfureux augmente à des températures plus basses lorsque la ductilité des matériaux tend à diminuer [8]



**Figure.I.7:** Corrosion sous contrainte en présence d'une pression partielle de sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ) élevée

### I.5.3.2.5. Fragilisation par l'hydrogène

Les atomes d'hydrogène ont la capacité de diffuser dans les métaux, ce qui tend à fragiliser ces derniers. Tous les matériaux sujets à cette fragilisation par l'hydrogène sont également très sensibles à la corrosion sous contrainte.

- Comment se forme-t-elle

Une fissuration par l'hydrogène peut se produire si le métal est soumis à des contraintes de traction statiques ou cycliques. L'hydrogène peut modifier les propriétés mécaniques et le comportement du métal .



**Figure.I.8 :** Fragilisation par l'hydrogène

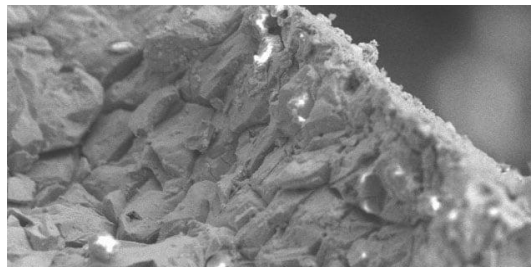
### I.5.3.2.5. Corrosion intercrystalline

Pour comprendre la corrosion intercrystalline (IGC), imaginez que tous les métaux sont constitués de « grains ». À l'intérieur de chaque grain, les atomes sont disposés régulièrement de manière à former un réseau cristallin tridimensionnel. La corrosion intercrystalline attaque

le matériau au niveau des limites intergranulaires (là où s'assemblent les grains qui constituent le métal).

- Comment se forme-t-elle

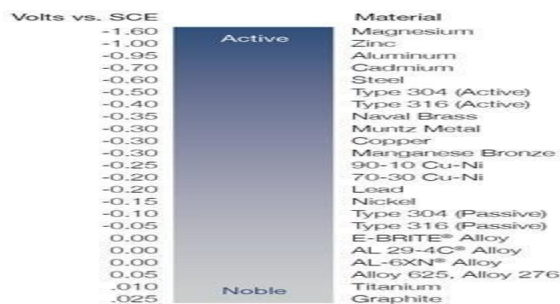
Au cours d'une opération de soudage, d'un traitement thermique ou d'une exposition à des températures élevées, des carbures peuvent commencer à se former au niveau des limites intergranulaires. Avec le temps, la taille de ces précipités de carbure peut augmenter. Cette formation de carbure nuit à l'uniformité de la répartition des éléments au sein du métal, dans la mesure où la précipitation capte des éléments importants comme le chrome dans le matériau au voisinage des limites intergranulaires. Lorsque des fluides corrosifs (comme les acides) attaquent les zones où le chrome a disparu, des fissures intergranulaires peuvent se former. Ces fissures peuvent ensuite se propager dans l'ensemble du matériau sans être détectées, ce qui fait de corrosion intercrystalline une forme dangereuse de corrosion.



**Figure.I.9** : Corrosion intercrystalline

### I.5.3.2.7. Corrosion galvanique en présence d'un électrolyte

La corrosion galvanique se produit quand deux matériaux aux potentiels d'électrode différents entrent en contact l'un avec l'autre en présence d'un électrolyte.



**Figure.I. 10:** ECS signifie électrode au calomel saturé

Potentiel anodique : Des matériaux très nobles aux « surfaces passives » sont moins sensibles à la corrosion galvanique que des matériaux moins nobles ou des matériaux nobles aux «

surfaces actives ». Sur ce graphique, le magnésium est le matériau le moins noble, tandis que le graphite est le matériau le plus noble.

La très fine couche inerte présente sur un acier inoxydable est constituée d'un oxyde riche en chrome qui se forme automatiquement dans l'air ambiant et protège le matériau contre la corrosion. Cette couche inerte rend un matériau plus noble et moins sensible à la corrosion. La compatibilité des métaux peut être déterminée par leur potentiel anodique, c'est-à-dire la différence de potentiel de chaque métal mesurée dans l'eau de mer par rapport à une électrode normale.

- Comment se forme-t-elle

Lorsque la différence de potentiel entre deux métaux différents en présence d'un électrolyte est trop grande, la couche inerte qui recouvre le matériau commence à se décomposer.



**Figure.I.11** : Corrosion galvanique en présence d'un électrolyte

### I.5.3.2.8. Érosion-corrosion

Corrosion dans une canalisation due à la vitesse élevée du fluide :

- par impact de particules solides
- par impact de gouttes liquides dans la vapeur (séchage de la vapeur en aval des turbines)
- par une vitesse excessive du fluide
  - exemple :
- les alliages cuivreux dans l'eau de mer (ils sont sensibles à des vitesses de quelques m/s)
- les aciers faiblement alliés : pompes alimentaires, tuyauteries de sècheurs-surchauffeurs...

### I.6. Facteurs de la corrosion

Le fer est toujours allié au carbone, Le pourcentage de carbone utilisé permet de

distinguer les aciers (jusqu'à 1% de carbone) et les fontes (entre 1 % et 5 % de carbone).

Les nuances d'acier, fontes sont très nombreuses, et sont fonctions des métaux additifs supplémentaires tels le chrome, nickel, molybdène, ... ou des métalloïdes tels le bore, silicium, ... qui confèrent à l'alliage, les propriétés mécaniques souhaitées et une meilleure tenue aux agressions chimiques.

L'acier « noir » et l'acier « galvanisé » sont utilisés pour la fabrication des tubes, de tôles : chaudronnerie, la robinetterie.

L'acier inoxydable (concentration de chrome dépasse 7%) est utilisé pour la confection de tubes, éléments de robinetterie, chaudronnerie, ... il est utilisé chaque fois que l'on veut limiter au maximum la corrosion et leurs effets sur l'eau véhiculée ; mais l'acier inoxydable est tout de même sujet à certains types de corrosion qui dépendent de la nuance utilisée.

La fonte la fabrication de robinetterie, émetteurs... Sa résistance à la corrosion est très moyenne, mais généralement peu gênante du fait de l'épaisseur des pièces et des températures d'utilisation moins de 70°C. Dans tous les cas de corrosion d'un acier ou d'une fonte c'est le fer qui est attaqué.

## **I.6.1. Facteurs liés au métal**

### **I.6.1.1. Facteurs métallurgiques**

1. les joints de grains constituent une région où la corrosion peut se développer de façon préférentielle.
2. Dans le cas d'un métal polyphasique, on observe une sensibilité plus grande à la corrosion pour l'une des structures (phases) .
3. La corrosion est d'autant plus faible que la structure est plus fine. Elle est augmentée par les hétérogénéité engendrée par l'écrouissage.

### **I.6.1.2. Effet des impuretés (inclusions) du métal**

Un métal contenant des atomes étrangers s'attaque plus rapidement dans un réactif chimique donné que le même métal pris à un degré de pureté élevé.

### **I.6.1.3. Effet de l'état de surface**

La présence des dépôts, des trous, des rayures sur la surface du métal conduit à la corrosion localisée.

### **I.6.1.4. Effet de la soudure**

La présence d'une soudure favorise également l'attaque du métal.

## **I.6.2. Facteurs liés à la solution**

### **I.6.2.1. Influence de l'oxygène dissous**

Son rôle est double : il agit comme dépolarisant ou comme transformateur des produits de corrosion (transformation de  $\text{Fe}^{+2}$  en  $\text{Fe}^{+3}$ ).

### **I.6.2.2. Influence de la température**

Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère les cinétiques de réactions et de transport. L'importance de son influence diffère cependant en fonction du milieu corrosif dans lequel se trouve le matériau

### **I.6.2.3. Influence de pH**

La susceptibilité du matériau à la corrosion est fonction du pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques, donc La corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu

### **I.6.2.4. Influence de la salinité**

La présence des ions chlorures en solution provoque une agressivité du milieu électrolytique qui peut être l'origine de la corrosion localisée

### **I.6.2.5. Influence des bactéries**

Les bactéries entraînent la formation des biofilm et provoquent par conséquent la corrosion par aération différentielles.

## **I.7. Conclusion**

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents types de corrosion, son mécanisme ainsi que les facteurs et les influences de la corrosion

**Chapitre II :**  
**les inhibiteurs de corrosion**  
**et**  
**les inhibiteurs verts**

## II.1. Introduction

La prévention de la corrosion doit être envisagée dès la phase de conception d'une installation. En effet, des mesures préventives prises au bon moment permettent d'éviter de nombreux problèmes lorsqu'il s'agit de garantir une certaine durée de vie à un objet, notamment pour des industries telles que le nucléaire, l'industrie chimique ou l'aéronautique, où les risques d'accident peuvent avoir des conséquences particulièrement graves pour les personnes et l'environnement.

La protection contre la corrosion comprend les méthodes suivantes :

- Choix judicieux des matériaux;
- Forme adaptée des pièces;
- Ajout d'inhibiteurs aux circuits;
- Utilisation de revêtements;
- Protection électrochimique.

## II.2. Les inhibiteurs de corrosion

### II.2.1. Définition des inhibiteurs de corrosion

D'après National Association of Corrosion Engineers (NACE), un inhibiteur est une substance chimique qui retarde la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement agressif en faible concentration . 8 Un inhibiteur est efficace s'il satisfait un certain nombre de critères :

- Réduire la vitesse de corrosion du métal sans affecter les propriétés physicochimiques du milieu ou du métal.
- Être stable aux températures d'utilisation et en présence des autres constituants du milieu, en particulier avec les oxydants.
- Être soluble et disperser dans le milieu.
- Être efficace à faible concentration.
- Respecter les normes de non-toxicité.
- Peu onéreux.[9]

### II.2.3. la classification des inhibiteurs de corrosion

Il existe plusieurs façons de classer les inhibiteurs de corrosion :

### II.2.3.1. Selon leur composition chimique

#### II.2.3.1.1. Les inhibiteurs organiques

représentent un groupe très important d'inhibiteurs de corrosion, ils sont généralement utilisés en milieu acide ; cependant, en raison de leur écotoxicité, ils sont de plus en plus utilisés en milieu neutre/alcalin. Leur efficacité est liée à :

-Sa structure ; ils comportent une partie non polaire, hydrophobe, constituée d'une ou plusieurs chaînes hydrocarbonées et une partie polaire, hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels : amine (-NH<sub>2</sub>), hydroxyle (-OH), mercapto (-SH), phosphonate (-PO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>), sulfonate (-SO<sub>3</sub>H), carboxyle (-COOH) et leurs dérivés (les groupes fonctionnels usuels, permettant de se fixer sur la surface du métal,

-Sa concentration dans le milieu

-Et aux propriétés chimiques de la couche formée, leur action réside dans le résultat de leur adsorption à la surface du matériau. Après cette adsorption, ils ont une double action ralentissant simultanément les processus anodique et cathodique.

-Son poids moléculaire et leur utilisation est préférés pour des raisons d'écotoxicité.

#### II.2.3.1.2. Les inhibiteurs inorganiques (minéraux)

sont utilisés en milieux neutre/alcalin mais rarement en milieu acide. Les molécules minérales se dissocient en solution et les anions et cations assurent en fait une inhibition efficace.

-Parmi les anions inhibiteurs, on trouve les chromates, les phosphates, les molybdates, les nitrates, les nitrites, les silicates, etc.,

-Et parmi, les cations inhibiteurs on trouve essentiellement les ions Ca<sup>2+</sup> et Zn<sup>2+</sup>. Les inhibiteurs minéraux sont de moins en moins utilisés en raison de leur toxicité. Leur emploi se limite à certains systèmes en circuit fermé[10]

### II.2.3.2. Selon leur mécanisme réactionnelle

#### II.2.3.2.1. Les inhibiteurs passivant

La passivation est le fait de rendre un métal non-réactif suite à l'application d'un revêtement ou au moyen d'une modification plus spécialisée de sa surface. Certains inhibiteurs oxydants agissent en provoquant une passivation spontanée du métal, ce qui diminue la vitesse de corrosion. La passivation peut être favorisée également par des agents tampons qui augmentent le pH près de la surface métallique . Ce sont les inhibiteurs minéraux en générale qui agissent par passivation. Ils provoquent la passivation spontanée du substrat métallique en

renforçant la couche protectrice d'oxyde formée naturellement sur la surface du métal. Ils se réduisent sur les pores de la couche d'oxyde/hydroxyde plus ou moins protectrice qui se forme naturellement sur la surface du métal. L'ion chromate est l'un des inhibiteurs passivant par excellence mais son usage est limité à cause de son caractère cancérigène et sa forte toxicité. [11]

#### **II.2.3.2.2. Les inhibiteurs d'adsorption**

Suite à l'adsorption d'une espèce inhibitrice à la surface du métal, la corrosion peut ralentir. En général, ce sont les inhibiteurs organiques qui agissent par adsorption. Cela empêche l'action du milieu agressif par la fixation de ces espèces sur la surface métallique. Cette fixation s'effectue principalement par la fonction active de l'inhibiteur; mais d'autres parties polaires peuvent aussi être adsorbées. Les inhibiteurs agissant par la chimisorption s'avèrent souvent plus efficaces que ceux agissant par la physisorption, car le partage des électrons renforce la liaison entre le substrat métallique et l'espèce inhibitrice. Pour la chimisorption, la molécule inhibitrice se comporte comme donneur d'électrons et le métal se comporte comme un récepteur de ces mêmes.[11]

#### **II.2.3.2.3. Inhibition de corrosion par précipitation**

Certains inhibiteurs provoquent la formation de films superficiels par précipitation de sels minéraux ou de complexes organiques peu solubles. Ces films réduisent l'accessibilité de l'oxygène à la surface et, en plus, ils bloquent partiellement la dissolution anodique [35]. Les inhibiteurs agissant par précipitation provoquent la formation d'un film superficiel constitué de sels minéraux ou de complexes organiques peu solubles formés lors de la précipitation des produits de réaction cathodique tout en bloquant la dissolution anodique. Il s'agit généralement de sels d'acide faible et de base forte comme les borates, les silicates, les phosphates, les poly-phosphates et les sels de zinc[11]

#### **II.2.3.2.4. Inhibition de corrosion par élimination de l'agent corrosif**

Ce type d'inhibition n'est applicable que dans les systèmes fermés. Il se pratique notamment dans les circuits d'eau chaude des centrales thermiques. Une faible quantité de sulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) ou d'hydrazine ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) ajoutée à l'eau, préalablement dégazée et dé-ionisée, supprime les dernières traces d'oxygène et élimine ainsi la corrosion[11]

#### **II.2.3.3. Selon la nature électrochimique du processus**

On distingue trois types d'inhibiteurs

#### II.2.3.3.1. Les inhibiteurs cathodiques

Ils sont nommés ainsi car ils s'opposent à la réduction de l'oxygène dissous ou des ions  $H^+$  qui est la *réaction cathodique*.

La réaction cathodique tend à élever le pH du milieu. Les inhibiteurs cathodiques (sels de zinc, polyphosphates, phosphonates) forment, à pH élevé, un film insoluble et non conducteur de l'électricité qui protège le métal.

Ils sont rarement utilisés seuls, mais renforcent l'action des inhibiteurs anodiques. Quelques exemples:

- zinc + chromate
- zinc + phosphate
- zinc + phosphonate
- phosphate + phosphonate
- phosphate + polyphosphate[12]

#### II.2.3.3.2. Les inhibiteurs anodiques

Ils sont nommés ainsi car ils s'opposent à la dissolution du métal qui est la *réaction anodique*.

Leur rôle est de favoriser la formation d'un film protecteur d'oxyde ferrique "gamma" ( $\gamma Fe_2O_3$ ). Ils peuvent être de type:

- "oxydant" (chromates, nitrites) ne nécessitant pas de présence d'oxygène dissous,
- "non-oxydant" (phosphates, benzoates, molybdates) mais ayant besoin d'oxygène dissous pour agir.[12]

#### II.2.3.3.3. Les inhibiteurs mixtes

Ces inhibiteurs diminuent la vitesse des deux réactions partielles, mais modifient peu le potentiel de corrosion.[12]

#### II.2.4. Conditions d'utilisation

Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être utilisé comme unique moyen de protection :

- soit comme protection permanente ; l'inhibiteur permet alors l'utilisation de matériaux métalliques (ferreux non alliés, par exemple) dans des conditions satisfaisantes de résistance à la corrosion ; une surveillance de l'installation s'impose ;
- soit comme protection temporaire pendant une période où la pièce ou l'installation est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage) ; dans ce cas, le contrôle du système est *a priori* plus simple, la prévision du comportement de l'inhibiteur dans le temps étant plus facile à faire.

Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être combiné à un autre moyen de protection : protection supplémentaire d'un alliage à haute résistance à la corrosion, addition à un revêtement de surface tel que peinture, graisse, huile, etc [13]

### II.2.5. Mécanismes et principes d'action

Les inhibiteurs de corrosion n'ont pas un mode d'action propre, unique, mais ils sont liés au système de corrosion. Un inhibiteur peut agir comme une barrière entre le métal et le milieu corrosif, et celle-ci peut être préexistante (couche d'oxyde ou d'hydroxyde déjà formée). Dans ce cas les mécanismes font intervenir le plus souvent des processus d'adsorption et de blocage de surface (Figure I.10). Le mode d'action peut aussi être de nature cinétique, l'inhibiteur peut alors ralentir la vitesse de la réaction cathodique ou de la réaction anodique ou agir simultanément sur les deux. L'inhibition peut aussi résulter de la formation d'un composé insoluble qui colmate les zones sensibles et la vitesse de corrosion diminue alors avec le temps. [14]

### II.2.6 Domaines d'emploi des inhibiteurs

Leur domaine d'utilisation couvre les milieux acides, la vapeur, et les eaux de refroidissement. Il n'existe pas de système inhibiteur universel et chaque situation doit faire l'objet d'une analyse englobant l'ensemble des matériaux présents, la teneur en sels, le pH et la concentration en oxygène. Nous allons dans ce paragraphe passer en revue quelques situations courantes en citant les types d'inhibiteurs classiquement utilisés. Dans le cas d'un circuit véhiculant de l'eau déminéralisée (peu corrosive compte tenu de sa résistivité élevée), des

concentrations minimales d'inhibiteurs minéraux comme les chromates, nitrites, polyphosphates, benzoates ou borax permettent d'obtenir une bonne protection. En présence d'oxygène, il suffit généralement d'abaisser sa teneur à moins de 0,1 ppm par dégazage ou par ajout d'un désoxygénant. On peut également, suivant les matériaux, utiliser un inhibiteur passivant. Toutefois, lorsque le circuit contient des chlorures, l'acier peut se révéler difficile à passiver. Pour de fortes concentrations de chlorures (ainsi qu'en présence de sulfates), nous ferons donc plutôt appel à des inhibiteurs non passivants. Dans les systèmes de réfrigération en circuit fermé, en éliminant l'oxygène, la corrosion est alors contrôlée par un simple ajustement du pH à une valeur suffisamment élevée. Les chromates et les nitrites sont efficaces dans ce cas. Il faut toutefois s'abstenir d'employer les nitrites, si les canalisations sont à base de cuivre (ou alliage) car la formation d'ammoniac est incompatible avec ces matériaux. [14]

### II.3. les inhibiteurs verts

Un inhibiteur de corrosion doit abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier. Mais l'inconvénient principal, est que la plupart de ces inhibiteurs sont toxiques ou cancérigènes et nuisibles à l'environnement même si leur efficacité inhibitrice est bonne. Pour cela, des recherches ont été récemment menées vers l'utilisation des huiles essentielles d'origine naturelle comme inhibiteurs de corrosion, car ces substances n'agressent pas l'environnement et sont écologiquement satisfaisantes. En raison de la crise sanitaire causée par le covid-19, ce mémoire de master est dédié à une étude bibliographique sur les travaux de recherche de la littérature liés à l'application des huiles essentielles des plantes utilisées comme des inhibiteurs de corrosion en milieu acide. Nous nous sommes plus basés sur l'étude de l'huile essentielle de la griffe de la sorcière en tant qu'inhibiteur de corrosion de l'acier doux dans HCl 1M par rapport à ce qui est utilisé dans la zone industrielle de Skikda (topping de condensat) Ra2k. [15]

#### II.3.1. Matière végétale étudiée La Griffe de sorcière (Carpobrotus edulis)



**Figure II.12:** plante La Griffe de sorcière (*Carpobrotus edulis*)

### II.3.1.1. Description générale

Plante grasse herbacée vivace, rampante ou pendante, pouvant atteindre plusieurs mètres de long et formant de grands “tapis”. Subligneuse à sa base, le système racinaire fibreux est très dense et se concentre dans la partie supérieure du sol. A chaque nœud de la tige, de nouvelles racines peuvent se former. Les feuilles, longues de 8 à 11 cm, sont disposées de manière opposées sur la tige et séparées par des entre nœuds de plusieurs centimètres. Le limbe des feuilles est charnu à 3 angles, plus ou moins recourbé au sommet en forme de griffe. Sa section transversale est en forme de triangle équilatéral. Sa couleur généralement verte peut virer au rouge selon la température et le taux d’humidité. Les grandes fleurs de couleur jaune clair (5 à 12 cm de diamètre) sont des fleurs solitaires à nombreux pétales linéaires et sépales inégaux, en position terminale. Les fruits formés sont charnus, en forme de figue, appelés “Figues des Hottentots”. Ils contiennent de nombreuses petites graines (1000 à 1800 graines par fruit, graine de 1mm de long) engluées dans un mucilage très collant [16]



C. Edulis.



C. acinaciformis

**Figure II.13** : classements de griffe de sorcière**II.3.1.2. Nomenclature**

- Doigt-de-sorcière
- Ficoïde à feuilles en sabre
- Bâlsam menut
- Hottentot Fig
- Red Hottentot-fig
- Rode Hottentotvijg
- Rote Mittagsblume
- Sally-my-handsome [17]

**Figure II.14**: plante La Griffe de sorcière (Carpobrotus edulis )**II.3.1.3. Origine géographique**

Cette plante pousse sur les sols sableux, souvent sur les dunes littorales ou dans l'arrière-dune, mais on peut aussi la trouver sur les falaises ou rochers du littoral. Elle forme souvent de grands tapis végétaux pouvant couvrir plusieurs mètres carrés<sup>1</sup>.

En Afrique du Sud.[18]

**II.3.1.4. Usages actuels**

- Ornement

Espèce commercialisée (site internet, jardinerie) à destination des jardiniers pour ses qualités ornementales (couvresol ou en “cascades”).

- Aménagement

Espèce plantée pour orner les talus routiers et les ronds-points. Elle est aussi utilisée pour stabiliser les

dunes, les talus et les remblais face à l'érosion et couvrir des surfaces stériles (constructions,

- Médical

Le jus des feuilles de *Carpobrotus* est un astringent doux. Dilué dans de l'eau, il peut être utilisé pour traiter la diarrhée, la dysenterie et des crampes d'estomac. Ou encore comme un gargarisme pour les maux de gorge et la laryngite, ainsi que pour les infections bactériennes légères de la bouche

Le jus de feuilles peut également être utilisé en externe, tout comme celui d'Aloe Vera contre les brûlures, écorchures, coupures, égratignures et les coups de soleil. Ainsi que contre la teigne, l'eczéma, la dermatite, l'herpès, le muguet, les boutons de fièvre, les gerçures des lèvres, les allergies cutanées.

Un ancien remède à la constipation est de manger le fruit avec de l'eau salée. Un sirop fait à partir du fruit a des propriétés laxatives

### II.3.1.5. classification

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Caryophyllidae
Ordre.	Caryophyllales
Famille	Aizoaceae
Genre	Carpobrotus
Classification	phylogénétique
Ordre.	Caryophyllales
Famille	Aizoaceae



**Figure II.15** : plantes griffe de sorcière

## II.4. Extractions

De nos jours, l'extraction végétale est devenue un véritable savoir-faire. Des protocoles précis s'adaptent aux matières premières et aux actifs recherchés afin de respecter l'intégrité des composants végétaux et d'obtenir des extraits ultra purs et concentrés en molécules actives

Depuis plusieurs millénaires, l'Homme a développé des méthodes d'extraction à partir de plantes. Les procédés les plus ancestraux permettaient par exemple d'obtenir des arômes, des parfums ou encore des pigments. Décoction, macération et hydrodistillation sont en effet des exemples de techniques d'extraction qui existent depuis des millénaires.

Les méthodes sont cependant très variées et ne sont pas équivalentes, notamment du point de vue de la pureté de l'extrait obtenu et de sa sécurité d'emploi.[18]

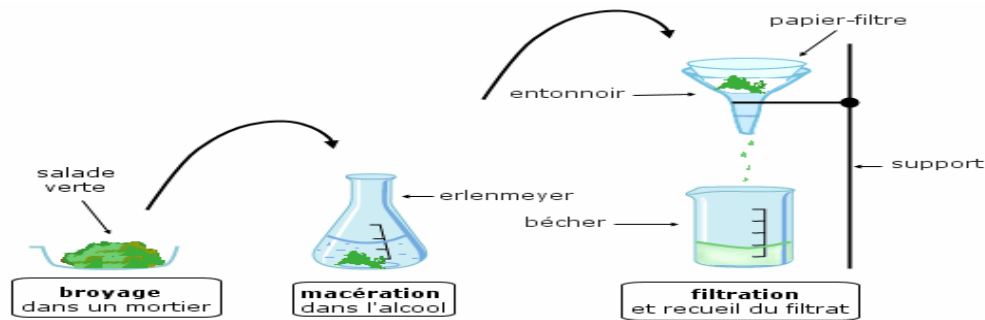
### II.4.1. Définition

Opération qui consiste à récupérer une substance d'intérêt contenue dans une matière première alimentaire, soit parce qu'elle est recherchée (arôme végétal comme le saffrole dans la cannelle), soit parce qu'elle est indésirable (alcaloïde comme la caféine dans le café). Cette opération peut se réaliser mécaniquement (extraction par pression) ou chimiquement (extraction par solvant).[19]

### II.4.2. Types d'extractions

#### II.4.2.1. Extraction solide-liquide

La technique d'extraction par solide-liquide consiste à mettre en contact une matière première solide et broyée et un solvant liquide. Le solvant est sélectionné de sorte que toutes les espèces à extraire du solide soient solubles dans ce solvant



**Figure II.16** : schéma d'extraction par solide-liquide

Déroulé d'une extraction solide-liquide: Dans un premier temps, on peut avoir recours à l'une des techniques suivantes :

#### II.4.2.1.1. La macération

a matière première solide est mise en contact avec un solvant froid [20]



**Figure II.17**: macération

#### II.4.2.1.2. L'infusion

la matière première solide est mise en contact avec un solvant chaud[20]

#### II.4.2.1.3. La décoction

la matière solide est chauffée avec le solvant jusqu'à ébullition [20]

#### II.4.2.1.4. La filtration

La filtration est probablement la méthode de séparation la plus facile à mettre en oeuvre. On peut observer cette technique quotidiennement.

La filtration est un procédé de séparation qui permet de séparer des constituants liquides et solides d'un mélange hétérogène. Elle consiste à faire passer à travers un filtre un mélange

hétérogène contenant des particules en suspension. Ces particules sont alors retenues par le filtre. On recueille après filtration un mélange homogène appelé filtrat ainsi que dans le filtre des particules appelées résidus. Il existe deux types de filtration : la filtration frontale et la filtration tangentielle.

- Filtration frontale

La filtration frontale est la méthode de filtration la plus utilisée. C'est par exemple celle que l'on utilise dans une cafetière à filtre. On y insère le mélange à filtrer perpendiculairement au filtre. Il retient alors toutes les particules en laissant passer le liquide. L'inconvénient de ce système est que si trop de particules sont présentes dans le filtre il est possible que le filtre soit saturé et ne fonctionne plus.

- Filtration tangentielle

Cette filtration permet de faire passer un fluide à la surface du filtre. Dans ce cas de figure, il s'agit de la pression du liquide qui lui permet de traverser le filtre. Les particules restent alors dans le flux, ce qui diminue le risque de colmatage du filtre. On utilise cette méthode pour filtrer des particules de petite taille, comprenant des tailles du micromètre jusqu'au nanomètre.[21]

#### II.4.2.2. L'extraction liquide-liquide

est un procédé de chimie séparative. Elle permet de récupérer, avec une grande sélectivité, un élément chimique présent dans un mélange complexe ou un matériau, afin de le recycler. Après une dissolution préalable du matériau, elle consiste à séparer l'élément d'intérêt en le mettant en contact avec une molécule extractante spécifique. Exemple avec le dysprosium (famille des terres rares) qui entre dans la composition des aimants permanents des moteurs d'éoliennes



**Figure II.18** : extraction liquide-liquide**II.4.2.3. L'hydrodistillation**

est une technique d'extraction qui consiste à extraire des molécules contenues dans un mélange grâce à la vapeur d'eau qui est ensuite recondensée. On dit aussi que c'est un entraînement à la vapeur.

En effet, sous l'effet de la chaleur, les espèces volatiles à extraire sont entraînées par les vapeurs d'eau, puis le passage de ces espèces dans une colonne réfrigérée permet de les refroidir et les récupérer sous forme liquide : c'est le phénomène de condensation.

Les espèces présentes dans les fleurs, les écorces ou encore les fruits peuvent être extraites grâce à cette technique pour obtenir des huiles essentielles.[20]

**Figure II.19** : montage de l'hydrodistillation**II.5. Conclusion**

Nous avons présenté dans ce chapitre les inhibiteurs de corrosion et leurs types, suivis par la description de la plante de griffe de sorcière et comment nous avons fait l'extraction de la plante.

# Chapitre III :

## Matériels et Méthodes

### III.1. Protocol expérimental

#### III.1.1. Composition chimique des aciers



Figure III 20 : Les pièces de l'acier

##### III.1.1.1. Composition de l'acier utilisé dans la méthode gravimétrique

Nous avons importé l'acier utilisé dans l'expérience de la perte de masse de la zone industrielle de skikda , complexe topping de condensat , unité 500 (tuyauterie de l'eau de refroidissement)

-La fiche technique de l'acier utilisé : annexe 1

-La description de l'unité 500 : annexe 2

##### III.1.1.2. Composition de l'acier utilisé dans la méthode électrochimique

Nous avons importé l'acier utilisé dans l'expérience de la méthode électrochimique de la zone industrielle de Skikda, complexe topping de condensat , unité 200 ( tuyauterie d'un échangeur)

-La fiche technique de l'acier utilisé : annexe 3

- La description de l'unité ..... : annexe 4

#### III.1.2. Préparation de l'acier

- Nous avons coupé l'acier en petits carrés de surface  $1\text{cm}^2$
- Nous avons dressé la surface que nous voulons observer à la meule en conférant une planéité aussi parfaite que possible
- Nous avons subi les pièces à un décapage chimique (en utilisant une solution d'HCL concentrée pendant 4 h.)
- Nous avons utilisé des papiers abrasif de carbure de silicium de plus en plus fins allant du  $100\ \mu\text{m}$  jusqu'au  $2000\ \mu\text{m}$ . Les échantillons sont ensuite rincés soigneusement à l'eau déminéralisée puis séchés à l'air comprimé



décapage mécanique



décapage chimique

**Figure III.21** : décapage chimique et mécanique de l'acier

### III.1.3. Préparation des inhibiteurs

#### III.1.3.1. L' inhibiteur vert de la griffe de sorcière

##### III.1.3.1.1. Récolte

Nous avons cueilli la griffe de sorcière de la plage Jeanne d'arc SKIKDA

**Figure III.22** : récolte la plante de griffe de sorcière

##### III.1.3.1.2. Séchage

-Nous avons désépilé et lavée la griffe de sorcière à l'eau soigneusement pour enlever toute trace de saleté ou de contaminants. Puis, la coupé en petits morceaux

-Nous avons séché la plante à une étuve pendant 24 à 48 heures ou jusqu'à ce qu'elle soit complètement sèche



**Figure III.23** : séchage de la griffe de sorcière dans l'étuve



**Figure III.24** : la Griffe de la sorcière avant le séchage

#### **III.1.3.1.3. Broyage**

Nous avons broyé les plantes en poudre fine à l'aide d'un broyeur électrique



**Figure III.25** : broyage de la griffe de la sorcière

#### III.1.3.1.4. Protocol de macération

-Nous avons mis 830 g de poudre des plantes dans un bécher.

-Puis nous avons ajouté 1551 ml de mélange d'éthanol et d'eau pour couvrir la poudre de plante



**Figure III.27** : le mélange (poudre de la plante, éthanol et eau)

- Nous avons effectué une macération à 150-200 rpm pendant 24 heures à la température ambiante pour permettre à la plante de libérer ses composés dans le solvant organique.



**Figure III.27** : Macération

#### III.1.3.1.5. Filtration

- Nous avons filtré le mélange à travers un papier filtre Whatman pour éliminer les débris de la plante. La procédure de la filtration a été répétée à travers un bécher et un entonnoir de filtration sous vide pour améliorer l'efficacité de la filtration

- Nous avons récupéré le filtrat dans un flacon



**Figure III.28** : filtration sous vide et filtration normale

#### **III.1.3.1.6. Rotavap**

-Nous avons transféré le filtrat dans un Rotavap préchauffé à 70°C pour éliminer l'éthanol et concentrer le composé d'intérêt en contrôlant la température de Rotavap pour éviter une surchauffe du composé d'intérêt et préserver sa stabilité.

( Dans le Rotavap, on réalise une évaporation sous vide en utilisant une pompe à vide avec une vanne de contrôle. Pendant l'évaporation le ballon est mis en rotation et plongé dans un bain liquide chauffé. L'appareil est muni d'un réfrigérant avec un ballon-collecteur de condensat. La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grande et renouvelée permettant donc d'effectuer une évaporation rapide. L'abaissement de la pression permet d'évaporer le solvant à température réduite, évitant ainsi la dégradation thermique éventuelle des composés. C'est une méthode d'évaporation simple, utile, douce et rapide.)



**Figure III.29** : Rotavap

#### **III.1.3.1.7 Séchage**

-Nous avons séché l'extrait de plante dans une étuve à température 70 c° pendant 24 h



**Figure III.30** : l'extrait de la griffe de sorcière après le séchage

#### **III.1.3.2. L'inhibiteur utilisé dans le complexe RA2K**

Annexe 5

#### **III.1.4. milieu d'étude**

##### **III.1.4.1. La solution de l'HCl**

A partir d'une solution concentrée d'acide chlorhydrique nous avons préparé des solutions de (50 mL) de concentration 1 mol/l

La concentration de l'acide chlorhydrique utilisée est calculée selon les relations comme suit :

$$C_0 = \frac{10 \cdot P \cdot d}{M} \quad (1)$$

Avec :

P : pureté

D : la densité

M : la masse molaire de la solution en g/mol

$$C_0 = \frac{10 \times 36.5 \times 1.18}{36.458} \quad (2)$$

$$C_0 = 11.81 \text{ mol/l}$$

Le volume d'HCl utilisé pour préparer une solution de concentration 1 mol/l est déterminé  
comme suit

$$C_0 V_0 = CV \quad \rightarrow \quad V_0 = \frac{CV}{C_0} = \frac{1.50 \times 10^{-3}}{11.81} \quad (3)$$

$$V_0 = 4.23 \text{ ml}$$

#### III.1.4.2. La solution de l'eau de La tour de refroidissement

Nous avons utilisé l'eau importée de la tour de refroidissement du complexe RA2K unité 500

et voici le rapport d'essais effectuée

Heure de Prélèvement		Quart de		à		Date				
Echantillons		Eau		Eau de Refroidissement		Eaux de Rejet				
Analyses	Indust.	Specs.	Potable	Specs.	Entrée	Sortie	Entrée	Specs.	Sortie	Sp
pH	8,33	8,5 - 9	7,52	8,5 - 9	8,66	8,74	8,8 - 9,2	7,0	8,5 - 9,5	7,97
Température °C	19				24	23				19
Conductivité µm/cm	579	51298	612	6800	829	803	<150			703
TDS mg/l	317	51218	344	60,1	614	611				386
Turbidité Ntu		82,18								0,1
BOD <sub>5</sub> mg/l								5000		
COD mg/l								2000		
TOC mg/l								5000		
Hydrocarbures mg/l							Abs			
Huile & graisse mg/l							Abs			
Phéno mg/l				22,5						
MES mg/l							<10			5000
TA mg/l	20,5		20,5		20,5	20,5				
TAC mg/l	70		65		60	75				
TH mg/l	130	5256,5	160	5100	150	145	50 - 800			
Calcium Ca <sup>2+</sup> mg/l	86	2198	92	175	85	85				
Magnésium Mg <sup>2+</sup> mg/l	104	584,8	69	50	65	60				
Chlorures Cl <sup>-</sup> mg/l	162	5152,23	120	2150,23	213	214	<100			
SiO <sub>2</sub> mg/l		81,4		80,001						
Phosphate PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l				42						
Sulfate SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l				5200			<300			
Nitrite NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l				50,2						
Nitrate NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l				200						
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> N mg/l							<0,5			500
Azote total mg/l										
Sulfide mg/l										510
O <sub>2</sub> dissous mg/l				22						
Fer total mg/l		58,2		50,3			<0,5			
Cuivre Cu <sup>2+</sup> mg/l				22			<1			
Chrome Total µg/l				200						
Chrome Cr <sup>3+</sup> mg/l										
Chrome Cr <sup>6+</sup> mg/l										
Plomb Pb <sup>2+</sup> µg/l										
Zinc Zn <sup>2+</sup> mg/l				22						

Observations: Température C.B.H.O.C.F.H = 19°C

Chief de Quart: M. Boudjama

Chief de Service: 17/04/2009

NB: Pour le suivi de l'environnement des valeurs, indices, des rejets d'effluents liquides industriels, veuillez consulter le Décret n°06-141-03 (Table Et Assai 1427 correspondant au 18 avril 2006)

Figure III.31 : fiche technique du l'eau de La tour de refroidissement

### III.1.5. Les analyses de concentration du fer

#### III.1.5.1. Spectrophotomètre

Un spectrophotomètre permet de déterminer la concentration d'une espèce chimique dans une solution. Pour se faire, l'appareil mesure l'intensité de la lumière (I) qui passe à travers un échantillon. Cette intensité est ensuite comparée à l'intensité de lumière (I<sub>0</sub>) passant à travers un échantillon de référence (contenant le même solvant et cuve que l'échantillon testé). Ainsi en utilisant la loi de Beer-Lambert, on peut remonter à la concentration de l'espèce chimique désirée, dans l'échantillon testé.[22]



**Figure III.32** : un spectrophotomètre

### **III.1.5.2. Technique des analyses de concentrations du fer**

- Prendre 100 ml d'échantillon dans une fiole jaugé
- Ajouter 2 ml HCL (1/1)
- Faire bouillir jusqu'au volume de 40 à 50 ml
- Ajouter 2 ml CHLORYDRATE D'HYDROXILAMINE
- Ajouter 5 ml D'ACTETAE D'AMMONIUM et mélanger
- Ajouter 5 ml de TPTZ et mélanger
- Compléter avec l'eau distillée à 100 ml
- Allumer le spectrophotomètre DR2800 après l'initialisation choisir la méthode Fer TPTZ (270) dans le programme favori
- Attendre 10 min (on utilisant la minuterie du spectrophotomètre
- Introduire la blanc (eau distillé) en utilisant la cellule de 10 ml dans le spectrophotomètre at appuyer sur ZERO
- Noter le résultat en mg/l fer total [23]

Après avoir terminé l'expérience, faire les analyses de concentration du fer

## **III.2. Technique gravimétrique**

### **III.2.1. Préparation des échantillons**

#### **III.2.1.1. Pour l'inhibiteur chimique**

- Nous avons préparé six solution à différents concentrations d'inhibiteur chimique et d'HCl avec un volume total égale à 50 ml .puis nous avons immergé une pièce d'acier dans chaque solution
- Les proportions utilisées sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.1** : Le pourcentage de l'inhibiteur et l'Hcl dans chaque solution

Echantillon Composition	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	Echantillon 5	Echantillon 6
Volume (ml ) d'HCL ajoutés	50	47.5	45	42.5	40	37.5
Volume (ml) d'inhibiteurs chimiques ajoutés	0	2.5	5	7.5	10	12.5

**Figure III.33** : 6 solutions à différents concentrations d'inhibiteur chimique

### III.2.1.2. Solution de l'extrait de la griffe de la sorcière

-Après avoir pesé l'extrait de griffe de sorcière puis nous avons préparé six solutions à différentes concentrations de volume égal à 50 ml

**Tableau III.2** : Le pourcentage de l'inhibiteur vert et l'Hcl dans chaque solution

Echantillon Composition	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	Echantillon 5	Echantillon 6
Volume (ml ) d'HCL ajouté	50	47.5	45	42.5	40	37.5
Volume(g) d'inhibiteur vert ajouté	0	2.5	5	7.5	10	12.5



**Figure III.34** : six solutions de l'extrait de Griffé de la sorcière à différentes concentrations

### III.2.2. Mesure gravimétrique

#### III.2.2.1 Mesure de la perte de masse

La perte de masse est la méthode la plus ancienne de mesure de la corrosion, et qui se base sur la détermination de la vitesse de corrosion. C'est une méthode simple, elle donne des informations très utiles à des prix relativement bas et sans perturbation des systèmes. Son principe est l'immersion de l'échantillon, de surface (S), à étudier dans le milieu corrosif considéré (après sa pesé) pendant une durée (t) bien définie. Ensuite, l'évaluation se fait visuellement. L'inspection visuelle de la morphologie de la corrosion, puis, après lavage, l'échantillon est de nouveau repesé pour déterminer la perte masse ( $\Delta m$ ).[25]

$$\Delta m = m_0 - m_1 \quad (4)$$

$m_0$  : La masse de l'échantillon initiale (g)

$m_1$  : La masse de l'échantillon finale (g)

$\Delta$  : Le taux de corrosion de l'échantillon (g) [24]

Nous avons pesé les échantillons immergés dans les milieux corrosifs pendant 41 jours

#### III.2.2.2. Mesure de la vitesse

La vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante :

$$V_{corr} = \frac{\Delta m}{S.t} \quad (5)$$

### III.2.2.3. Mesure d'efficacité

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

$$E (\%) = \frac{V_{corr} - V_{inh}}{V_{corr}} \times 100 \quad (6)$$

Où  $V_{corr}$  et  $V_{inh}$  représentent respectivement les vitesses de corrosion sans inhibiteur et en présence d'inhibiteur[25]

## III.3. Technique d'observations visuelles des surfaces

L'observation des surfaces des échantillons, est une méthode qualitative qui se fait à l'oeil nu ou par microscopie. Elle permet de mettre en évidence, soit un ternissement, soit des formes de corrosion telles que : les crevasses ou les piqûres, c'est-à-dire la morphologie de corrosion.

### III.3.1. Préparation des échantillons

- Nous avons préparé trois bocaux en verre
- Nous avons rempli chacune de 50 ml de HCL (1mol/l)
- Nous avons laissé une des trois bocaux comme témoin (sans rajout)
- Nous avons rajouté cinq ml de l'inhibiteur utilisé dans le complexe topping de condensat dans l'une des deux bocaux restants
- Nous avons rajouté cinq grammes de l'inhibiteur vert qu'on a préparés dans le deuxième bocal
- Nous avons mis dans chacune des trois bocaux, trois clous de forme différente



**Figure III.35** : Les trois bocaux qui contiennent trois clous de forme différente

**remarque :**

au cours de l'expérience nous avons remarqué l'apparition des moisissures dans la solution composée de l'eau de refroidissement et l'inhibiteur vert donc nous avons refait l'expérience en ajoutant 1 ml des deux biocides importés de la zone industrielle RA2K dans les trois solutions pour éviter la formation des moisissures



**Figure III.36 :** la formation des moisissures dans la solution



**Figure III.37:** Les deux biocides importés de la zone industrielle RA2K

- La fiche technique du biocide : annexe 6
- La fiche technique du bio-dispersant : annexe 7

### III.3.2. Suivi de la dégradation de l'acier

-Nous avons pris des photos pendant des durées différentes

### III.3.3. Les analyses de concentration de fer

Après avoir terminé l'expérience, nous avons effectué les analyses de l'évaluation de la concentration du fer suivant le protocole déjà cité.

## III.4. Technique des isothermes d'adsorption

### III.4.1. Définition d'isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption sont des courbes expérimentales qui représentent les variations (masse ou volume) du substrat adsorbé (gaz ou liquide) par poids d'adsorbant en fonction de la concentration (en phase liquide) ou de la pression (en phase gazeuse).

Elles sont exprimées généralement sous formes d'équations mathématiques, lesquelles sont obtenues à partir d'expériences réalisées

en réacteur statique. Elles permettent essentiellement :

- de déterminer le taux de recouvrement de la surface d'un support par un substrat,
- d'identifier le type d'adsorption pouvant se produire,
- de choisir l'adsorbant qui conviendrait le mieux à la rétention de l'adsorbat.
- les isothermes d'adsorption n'expliquent pas les mécanismes d'adsorption. Ils conduisent seulement à une comparaison de différents systèmes entre eux

### III.4.2. les types des isothermes d'adsorption

#### III.4.2.1. Isotherme de Langmuir

La théorie de Langmuir (1918) a permis l'étude de l'adsorption de molécules de gaz sur des surfaces solides. Elle repose sur les hypothèses suivantes :

- l'adsorption se produit sur des sites localisés d'égale énergie;
- l'adsorption se produit en monocouche;
- Il n'y a pas d'interaction latérale entre les molécules adsorbées à la surface;
- La réaction est réversible (c'est-à-dire qu'il y a équilibre entre l'adsorption et la désorption);
- le nombre de sites d'adsorption sur la surface est limité.

L'isotherme de Langmuir est difficilement utilisable pour des systèmes naturels où l'adsorption en couche simple sur un seul type de site est rarement rencontrée. L'isotherme est représentée par l'équation suivante

$$Q_e = \frac{a \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e} \quad (7)$$

Q : Quantité de substance adsorbée à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg.g-1) ;

C<sub>e</sub> : Concentration du substrat en adsorbat à l'équilibre (mg.L-1) ;

a : Capacité d'adsorption à la saturation (mg.g-1)

b : coefficient d'adsorption ( $L \cdot mg^{-1}$ ), c'est également la constante d'adsorption

spécifique de l'adsorbat sur l'adsorbant. Cette constante est liée à la température et au système adsorbant adsorbat.

$a \cdot b = KL$  : constante d'équilibre de Langmuir ( $L \cdot g^{-1}$ ); [25]

La linéarisation de l'équation (I.2) conduit à l'équation suivante

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{a \cdot b \cdot C_e} + \frac{1}{a} \quad (8)$$

#### III.4.2.2. Isotherme de Freundlich

En 1962, Freundlich a proposé un autre modèle pour décrire l'adsorption en milieu gazeux ou liquide. Ce modèle est représenté par une équation à deux paramètres ( $K_f$  et  $n$ ) et consiste en une distribution exponentielle des énergies des sites d'adsorption à la surface du support et se caractérise par une adsorption en sites localisés.

Il convient de mentionner aussi, que celui-ci s'applique dans le cas des solutions diluées. Il peut être décrit par l'équation suivante

$$Q_e = K_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \quad (9)$$

$Q_e$  et  $C_e$  étant la capacité d'adsorption en  $mg \cdot g^{-1}$

et la concentration du substrat en adsorbat à l'équilibre ( $L \cdot mg$ ) respectivement.

$K_f$  et  $n$ , constantes de Freundlich, sont indicatives de l'intensité et de la capacité d'adsorption. [25]

Les deux paramètres de Freundlich  $K_f$  et  $n$  peuvent être déterminés expérimentalement par le passage au logarithmique de l'expression (I-4) pour donner :

$$\ln Q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} C_e \quad (10)$$

#### III.4.2.3. Isotherme de Temkin

L'énergie libre d'adsorption de l'adsorbat est une fonction linéaire du taux de recouvrement

$\theta$ , les constantes de vitesse chimiques sont fonction de  $\theta$ . Il y a attraction ou répulsion entre espèces adsorbées à la surface. L'équation de l'isotherme de Temkin est :

$$KCinh = \frac{\exp(a\theta) - 1}{1 - \exp[-a(1-\theta)]} \quad (11)$$

Où  $a$  est une constante d'interaction entre particules adsorbées,  $K$  désigne le coefficient d'adsorption et  $Cinh$  la concentration de l'inhibiteur dans l'électrolyte [25]

### III.5. Tehnique électrochimique

#### III.5.1. Cellule électrochimique

Dans la présente étude on utilise un montage classique à trois électrode le dispositif expérimental utilisé pour trace des courbe de polarisation et la réalisation des mesure d'impédances électrochimique est un voltalab 1 h de l'ensemble potentiostat (PGZ 301) piloté par un ordinateur qui permet l'acquisition des donnée ces donnée sont traitée et enregistrées automatiquement grâce au logiciel VoltaMaster 4

#### III.5.2. Préparation des électrodes

- Les échantillons utilisés sont des plaques de  $1 \text{ cm}^2$  de surface, Sur lesquelles un fil de cuivre a été soudé pour assurer un contact électrique. Le tout a été enrobé dans une résine synthétique non attaquable par les solutions étudiées qui permet de délimiter une section circulaire libre et qui évite toute infiltration d'électrolyte. Seule la face +de travail est en contact avec l'électrolyte.
- L'électrode de travail est reliée (soudée) à un fil conducteur au cuivre
- L'échantillon a été couvert dans une résine thermodurcissable isolante effectuer a l'aide d'une moule en plastique et exposé à l'air ambiante pendant un certain temps pour que le résine se solidifie



**Figure III.38** : L'échantillon dans une moule en plastique



**Figure III.39** : électrode de travail

➤ Afin d'obtenir des résultats fiables, l'électrode de travail subit avant chaque essai un prétraitement qui consiste à :

- Un polissage de la surface de l'électrode au papier abrasif de granulométrie

croissance allant de 100  $\mu\text{m}$  jusqu'au 2000  $\mu\text{m}$  pour rendre la surface plate et lisse

- Un rinçage à l'eau distillée puis un séchage sous un flux d'air

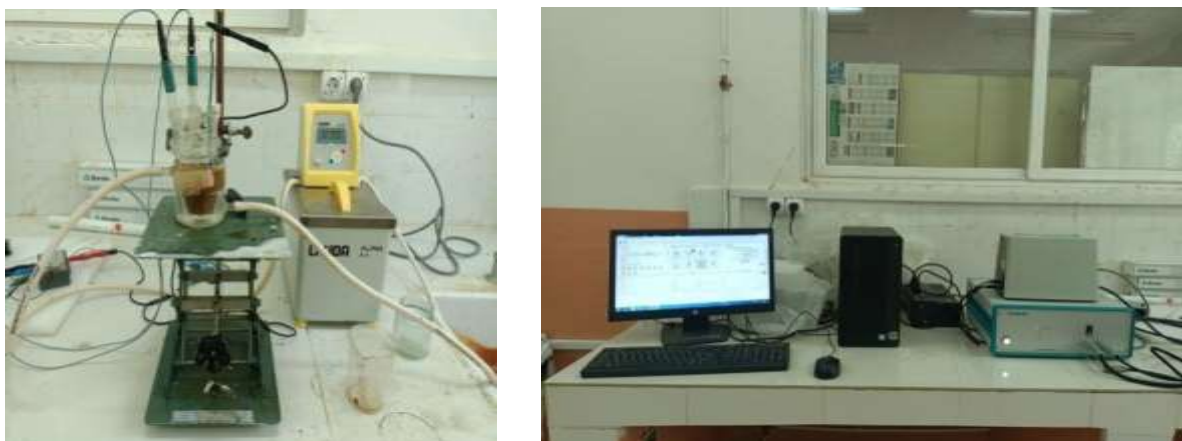
### III.5.3. montage électrochimique

3 solutions ont été préparées :

- une solution contenant 100 ml de HCL
- une solution contenant 85 ml de HCL et 15 ml de inhibiteur de chimec
- une solution contenant 85 ml de HCL et 15 ml de inhibiteur de Griffé de Socière

l'électrode de travail est immergée dans chacune des trois solutions en utilisant un bécher d'une capacité de 250 ml

l'analyse électrochimie a été effectuée en utilisant un Potentiostat /galvanostat de type PGZ 301 ce qui permet d'imposer ou varier un potentiel sur l'électrode de travail et donc la mesure du courant circulant entre l'électrode de travail et le contre électrode associé avec un micro ordinateur et piloter par le logiciel Voltalab 4 permettent le tracé des courbes :  $I = f(E)$  et  $E = f(\log I)$



**Figure III.40:** dispositif expérimental utilisé

### III.5.4. Méthodes des analyses électrochimiques

L'évaluation de l'efficacité des inhibiteurs de corrosion et la caractérisation du comportement électrochimique des matériaux ont été réalisées par les méthodes électrochimiques stationnaires et transitoires.

#### III.5.4.1. Méthodes stationnaires

##### III.5.4.1.1. Mesure du potentiel de corrosion

Lorsqu'un matériau métallique est immergé dans un milieu électrolytique il tend à se dissoudre et à se charger électriquement avec création d'une double couche électrochimique assimilable à un condensateur électrique. Au bout d'un temps l'électrode métallique prend un potentiel appelé potentiel libre, potentiel d'abandon ou potentiel de corrosion, mesuré par rapport à un potentiel de référence. Le suivi de ce potentiel est indispensable avant chaque mesure électrochimique, son évolution dans le temps fournit des indications sur les aptitudes de l'échantillon à la réactivité ou à la passivité et traduit la cinétique d'évolution du matériau vers un état stationnaire aux mesures potentiodynamiques ou d'impédance électrochimique

##### III.5.4.1.2 Courbe de polarisation

Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact d'un électrolyte, elle consiste à faire varier de façon continue le potentiel appliqué à l'électrode de travail depuis le domaine cathodique jusqu'au domaine anodique en enregistrant pour chaque valeur de potentiel et la valeur de la densité de courant correspondante

Les courbes  $E=f(I)$  ou  $I=f(E)$  constituent les courbes de polarisation. 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... 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 [24]

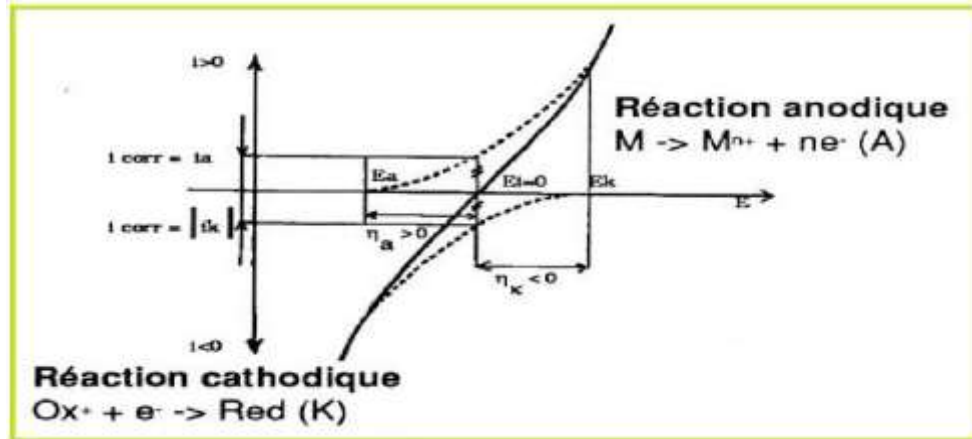


Figure III.41 : courbe de polarisation

### III.5.4.1.3. Courbe de tafel

Cette méthode permet de déterminer expérimentalement les paramètres électrochimiques d'un métal au contact d'un électrolyte. Elle utilise les portions de la courbe [ $\log i = f(E)$ ], la relation entre le courant de corrosion et la surtension d'électrode  $\eta$  ( $\eta = E - E_{eq}$ ), est donnée par la formule simplifiée de l'équation fondamentale de Butler- Volmer :

$$I = I_a + I_c = I_{corr} \left( e^{\frac{\alpha n F}{RT} \eta} - e^{-\frac{(1-\alpha) n F}{RT} \eta} \right) \quad (12)$$

Après simplification de la relation de Butler-Volmer, on obtient une relation entre la surtension d'électrode et le logarithme de la densité du courant mesuré nommée par la loi de Tafel :

$$\log I = a + \frac{\eta_a}{b_a} \quad (13)$$

Pour la branche anodique

$$\log I = a + \frac{\eta_c}{b_c} \quad (14)$$

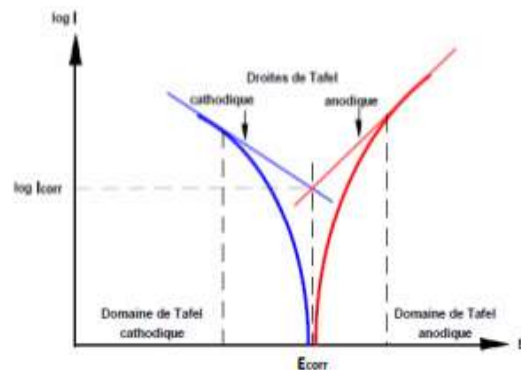
Pour la branche cathodique

$b_a$  et  $b_c$  les pentes de Tafel des réactions anodique et cathodique telles que

$$b_a = \frac{2.303 RT}{\alpha n F} \quad (16)$$

$$b_c = \frac{2.303 RT}{(1 - \alpha) nF} \quad (17)$$

Les équations et représentent la loi de Tafel et indiquent que la courbe  $[\log(i) = f(E)]$  présente une partie linéaire qui est la droite de Tafel [25]



**Figure III.42** : Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel

Au potentiel de corrosion  $E = E_{eq}$  ( $\eta = 0$ ), le courant  $I = I_{corr}$  et la vitesse de corrosion :

$$v_{corr} = \frac{I_{corr}}{nFA} \quad (18)$$

A : la surface de l'échantillon.

#### III.5.4.1.4. Résistance de polarisation

La résistance de polarisation est déterminée à partir de la courbe  $E=f(I)$  au voisinage immédiat du potentiel de corrosion du métal dans la région où cette courbe est linéaire. La résistance de polarisation est donc la pente ( $\Delta E/\Delta I$ ) de la courbe de polarisation. Elle est définie par la formule suivante :

$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{b_a \cdot b_c}{2.303 (b_a + b_c)} \cdot \frac{1}{I_{corr}} \quad (19)$$

En posant :

$$B = \frac{b_a \cdot b_c}{2.303(b_a + b_c)} \quad (20)$$

On obtient l'expression : 
$$I_{corr} = \frac{B}{R_p} \quad (21)$$

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  $E_{corr}$ . [25]

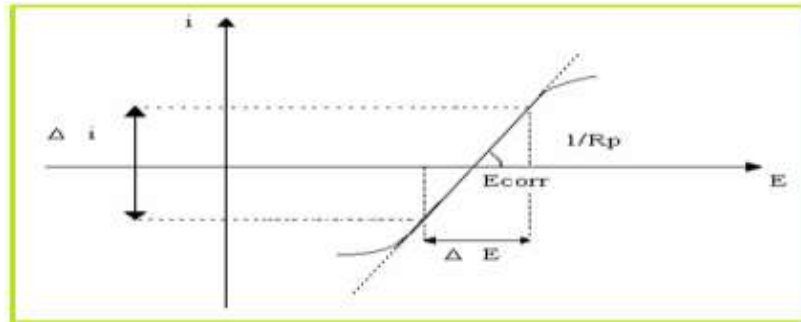


Figure III.43 : courbe de résistance de polarisation

### III.5.4.2. Méthode transitoire

Les techniques dites non-stationnaires ou transitoires sont basées sur la perturbation des grandeurs physiques du système électrochimique de sorte que la réponse du système puisse être analysée dans un domaine linéaire invariant dans le temps.[24]

#### III.5.4.2.1. Spectroscopie d'impédance

La mesure de l'impédance électrochimique consiste à étudier la réponse du système électrochimique, suite à une perturbation qui est le plus souvent un signal alternatif, de faible amplitude sur une large gamme de fréquences, à un point de la courbe de polarisation stationnaire. L'impédance électrochimique se définit comme étant le nombre complexe  $Z(\omega)$  résultant du rapport :

$$Z(\omega) = \frac{\Delta E(\omega)}{\Delta I(\omega)} \quad (22)$$

En mode potentiostatique, un signal perturbateur, de type sinusoïdal  $\Delta E$ , donnera une réponse en courant  $\Delta I$ , de forme sinusoïdale, mais qui sera déphasé d'un angle  $\phi$  par rapport au potentiel selon les équations suivantes :

$$E = E^{\circ} \sin(\omega t) \quad (23)$$

$$I = I^{\circ} \sin(\omega t + \varphi) \quad (24)$$

Dans le domaine de la corrosion, l'impédance permet la détermination précise de la vitesse de corrosion même dans le cas où le métal est recouvert d'une couche protectrice.

Elle permet aussi l'évaluation de l'efficacité de l'inhibiteur, la caractérisation des différents phénomènes de corrosion et l'étude des mécanismes réactionnels à l'interface électrochimique [24]

### III.5.4.2.2. Diagrammes d'impédance

L'impédance peut être représentée par deux représentations. La première qui est la représentation de Nyquist, consiste à porter sur un repère orthonormé la partie imaginaire  $-Z_{im}$  de l'impédance en fonction de la partie réelle  $Z_{Re}$  pour les différentes fréquences. Le diagramme de Nyquist indique un ou plusieurs demi-cercles (figure II.4) dont l'écart à l'origine indique la résistance de l'électrolyte  $R_s$  et l'amplitude indique la résistance de transfert de charge  $R_t$ . La capacité double couche  $C_{dc}$  est déterminée à partir de la relation suivante :

$$C_{dc} = \frac{1}{R_t 2\pi f}$$

$f$ : La fréquence correspondant au sommet de la demi-boucle

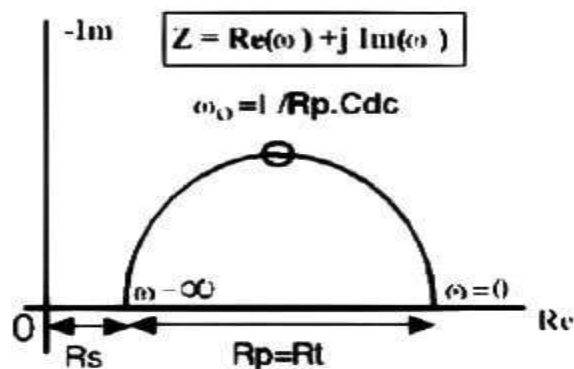
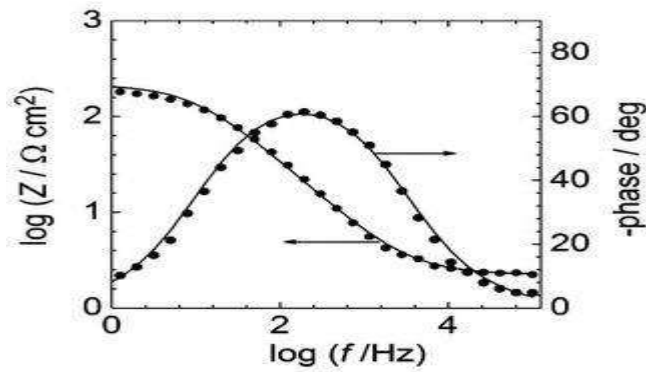


Figure III.44: diagramme de Nyquist de l'impédance d'un circuit électrique

La deuxième représentation est la représentation de Bode, En abscisses est porté le logarithme de la fréquence et en ordonnées le logarithme décimal du module de L'impédance, d'une part, et le déphasage, d'autre part. [24]



**Figure III. 45:** Diagramme de Bode d'une réaction sous contrôle d'activation

Ces deux modes de représentation donnent de différents résultats mais ils sont complémentaires. La représentation de Nyquist permet l'identification de certains phénomènes caractéristiques qui se déroulent à l'interface électrode/électrolyte, mais masque souvent les résultats à haute fréquence qui seront donc observés par la représentation de Bode.[25]

# Chapitre VI: résultats et discussion

## IV.1. Introduction

## IV.2. Méthode gravimétrique

## IV.2.1. Perte de masse

## IV.2.1.1. perte de masse de l'inhibiteur chimique

Tableau IV.3 : la variation de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur chimique

T (s)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	m <sub>3</sub> (g)	m <sub>4</sub> (g)	m <sub>5</sub> (g)	m <sub>6</sub> (g)
0	4,1316	3,9587	4,3922	4,5277	3,9442	4,2
1200	4,1312	3,9587	4,3922	4,5276	3,9441	4,1993
3000	4,1313	3,9583	4,3921	4,5275	3,944	4,1996
3600	4,1313	3,9582	4,392	4,527	3,9437	4,1991
7200	4,1311	3,9581	4,3918	4,5269	3,943	4,1981
22800	4,131	3,9574	4,3906	4,5267	3,9427	4,1984
98400	4,1277	3,9568	4,3904	4,5262	3,9421	4,1977
184800	4,1092	3,9549	4,388	4,5239	3,9399	4,1952
530400	4,0892	3,9524	4,3866	4,5227	3,9389	4,1933
788400	4,046	3,9502	4,3826	4,5199	3,9363	4,1905
1134000	4,0141	3,9509	4,3823	4,5166	3,9359	4,1907
1306800	3,9923	3,9487	4,382	4,516	3,9426	4,1879
1389600	3,9099	3,9435	4,3763	4,515	3,9306	4,1849
1652400	3,5617	3,933	4,364	4,5069	3,9236	4,1709
2343600	3,4503	3,9223	4,3525	4,4979	3,9142	4,1678
2602800	3,4215	3,9074	4,3394	4,4907	3,9045	4,1582
2948400	3,4158	3,9034	4,3362	4,4889	3,9029	4,1555
3034800	3,4057	3,8814	4,3245	4,4809	3,8967	4,1453

3466800	3,405	3,8669	4,3157	4,4755	3,8935	4,1406
3726000	3,3994	3,8501	4,3007	4,4691	3,8872	4,1342
4071600	3,3937	3,8295	4,2887	4,465	3,8817	4,1293
4330800	3,3654	3,7985	4,2563	4,4449	3,8599	4,0993

**Tableau IV.4 :** la perte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur chimique

T (s)	$\Delta m$ (g)	$\Delta m_2$ (g)	$\Delta m_3$ (g)	$\Delta m_4$ (g)	$\Delta m_5$ (g)	$\Delta m_6$ (g)
1200	0,0004	0,0002	1E-04	0	0,0007	0,0003
3000	0,0008	0,0002	1E-04	0,0001	0,0008	0,001
3600	0,0007	0,0006	0,0002	0,0002	0,0009	0,0007
7200	0,0007	0,0007	0,0003	0,0007	0,0012	0,0012
12000	0,0009	0,0008	0,0005	0,0008	0,0019	0,0022
97200	0,001	0,0015	0,0017	0,001	0,0022	0,0019
183600	0,0043	0,0021	0,0019	0,0015	0,0028	0,0026
529200	0,0228	0,004	0,0043	0,0038	0,005	0,0051
788400	0,0428	0,0065	0,0057	0,005	0,006	0,007
1134000	0,086	0,0087	0,0097	0,0078	0,0086	0,0098
1306800	0,1179	0,008	0,01	0,0111	0,009	0,0096
1389600	0,1397	0,0102	0,0103	0,0117	0,0023	0,0124
1652400	0,2221	0,0154	0,016	0,0127	0,0143	0,0154
2257200	0,5703	0,0259	0,0283	0,0208	0,0213	0,0294
2862000	0,6817	0,0366	0,0398	0,0298	0,0307	0,0325
3121200	0,7105	0,0515	0,0529	0,037	0,0404	0,0421
3639600	0,7162	0,0555	0,0561	0,0388	0,042	0,0448

3726000	0,7263	0,0775	0,0678	0,0468	0,0482	0,055
3812400	0,727	0,092	0,0766	0,0522	0,0514	0,0597
4417200	0,7326	0,1088	0,0916	0,0586	0,0577	0,0661
5108400	0,7383	0,1294	0,1036	0,0627	0,0632	0,071
5540400	0,7666	0,1604	0,136	0,0828	0,085	0,101

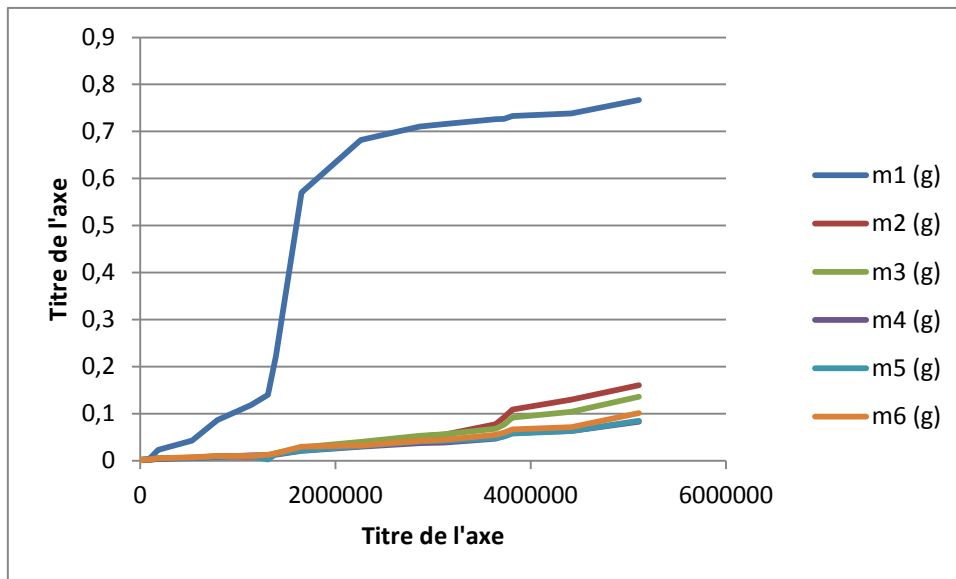


Figure IV.46 : Courbe de la perte de masse de l’acier dans l’expérience de l’inhibiteur chimique

IV.2.1.2. perte de masse de l’inhibiteur vert

Tableau IV.5 : la variation de masse de l’acier dans l’expérience de l’inhibiteur vert

T(s)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	m <sub>3</sub> (g)	m <sub>4</sub> (g)	m <sub>5</sub> (g)	m <sub>6</sub> (g)
0	5,5367	4,9922	4,7932	5,3985	4,9097	4,7707
1200	5,5357	4,9913	4,7922	5,3981	4,9087	4,7706
3000	5,5355	4,991	4,7917	5,3981	4,908	4,7704
3600	5,5352	4,9906	4,7917	5,3977	4,9079	4,7703
7200	5,5349	4,9905	4,7916	5,3975	4,9079	4,77
12000	5,5347	4,9906	4,7915	5,3971	4,9075	4,7695

97200	5,5311	4,9884	4,7895	5,395	4,9065	4,7686
183600	5,5244	4,985	4,7854	5,3907	4,9022	4,766
529200	5,4895	4,9502	4,7551	5,3605	4,8758	4,7497
788400	5,4493	4,9139	4,7218	5,3288	4,8443	4,7312
1134000	5,3833	4,8463	4,6584	5,2716	4,7933	4,6987
1306800	5,3322	4,798	4,6139	5,2382	4,7632	4,674
1389600	5,3086	4,7936	4,6049	5,2263	4,751	4,669
1652400	5,1823	4,6875	4,5071	5,1396	4,6733	4,623
2257200	4,6937	4,2697	4,1532	4,908	4,4378	4,4416
2862000	4,6728	4,1971	4,0652	4,8294	4,3913	4,3535
3121200	4,6234	4,1662	4,0024	4,7432	4,3162	4,2541
3639600	4,6455	4,177	4,006	4,722	4,304	4,2376
3726000	4,6434	4,1829	4,0074	4,7116	4,298	4,2162
3812400	4,6105	4,1552	3,9851	4,6606	4,2599	4,1244
4417200	4,5892	4,149	3,9851	4,6605	4,2542	4,118
5108400	4,5595	4,116	3,9567	4,637	4,237	4,1157

**Tableau IV.6 :** la perte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur vert

T(s)	$\Delta_1$ (g)	$\Delta_2$ (g)	$\Delta_3$ (g)	$\Delta_4$ (g)	$\Delta_5$ (g)	$\Delta_6$ (g)
1200	0,001	0,0009	0,001	0,0004	0,001	1E-04
3000	0,0012	0,0012	0,0015	0,0004	0,0017	0,0003
3600	0,0015	0,0016	0,0015	0,0008	0,0018	0,0004
7200	0,0018	0,0017	0,0016	0,001	0,0018	0,0007

12000	0,002	0,0016	0,0017	0,0014	0,0022	0,0012
97200	0,0056	0,0038	0,0037	0,0035	0,0032	0,0021
183600	0,0123	0,0072	0,0078	0,0078	0,0075	0,0047
529200	0,0472	0,042	0,0381	0,038	0,0339	0,021
788400	0,0874	0,0783	0,0714	0,0697	0,0654	0,0395
1134000	0,1534	0,1459	0,1348	0,1269	0,1164	0,072
1306800	0,2045	0,1942	0,1793	0,1603	0,1465	0,0967
1389600	0,2281	0,1986	0,1883	0,1722	0,1587	0,1017
1652400	0,3544	0,3047	0,2861	0,2589	0,2364	0,1477
2257200	0,843	0,7225	0,64	0,4905	0,4719	0,3291
2862000	0,8639	0,7951	0,728	0,5691	0,5184	0,4172
3121200	0,9133	0,826	0,7908	0,6553	0,5935	0,5166

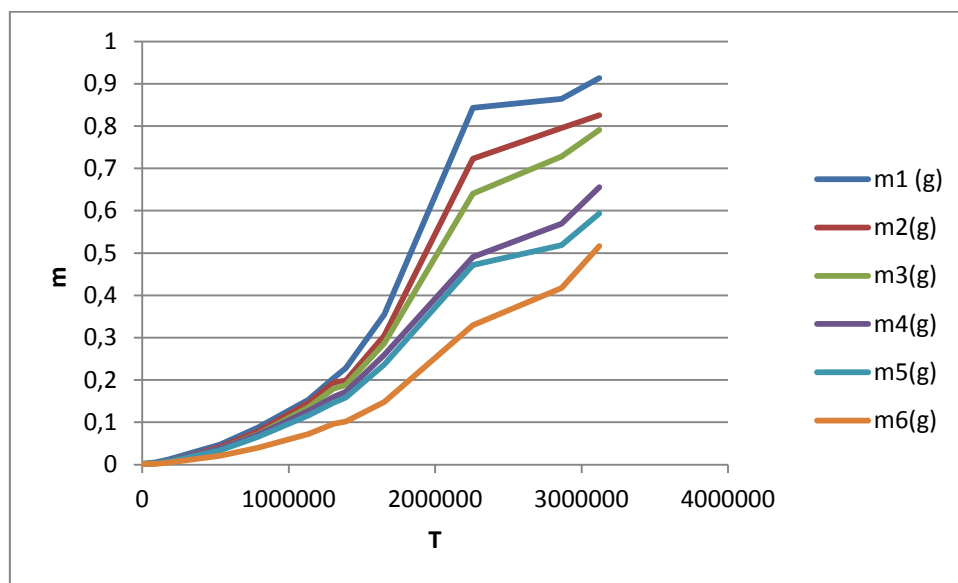


Figure IV.47 : Courbe de la perte de masse de l’acier dans l’expérience de l’inhibiteur ver

- la courbe montrant la variation de la perte de masse en fonction du temps est presque identique pour les deux inhibiteurs , l’allure avec l’addition de l’inhibiteur diminue par

rapport à la référence c'`à`d le blanc , cette diminution traduite par la formation d'un film qui bloque la surface de l'acier

la perte de la masse de l'inhibiteur industriel est plus grande que celle de l'acier sans inhibiteur , une différence de presque de 0.6 et cette diminution par rapport à celui de l'inhibiteur vert

**IV.2.2. la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps**

**IV.2.2.1. l'expérience de l'inhibiteur chimique**

**Tableau IV.7 :** la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps de l'expérience de l'inhibiteur chimique

T (s)	V <sub>1(g)</sub>	V <sub>2(g)</sub>	V <sub>3(g)</sub>	V <sub>4(g)</sub>	V <sub>5(g)</sub>	V <sub>6(g)</sub>
1200	2,66667E-07	6,66667E-08	3,33333E-08	3,33333E-08	2,66667E-07	3,33333E-07
3000	1,94444E-07	1,66667E-07	5,55556E-08	5,55556E-08	2,5E-07	1,94444E-07
3600	9,72222E-08	9,72222E-08	4,16667E-08	9,72222E-08	1,66667E-07	1,66667E-07
7200	3,94737E-08	3,50877E-08	2,19298E-08	3,50877E-08	8,33333E-08	9,64912E-08
22800	1,01626E-08	1,52439E-08	1,72764E-08	1,01626E-08	2,23577E-08	1,93089E-08
98400	2,32684E-08	1,13636E-08	1,02814E-08	8,11688E-09	1,51515E-08	1,40693E-08
184800	4,29864E-08	7,54148E-09	8,10709E-09	7,1644E-09	9,42685E-09	9,61538E-09
530400	5,42872E-08	8,24455E-09	7,22983E-09	6,34196E-09	7,61035E-09	8,87874E-09
788400	7,58377E-08	7,67196E-09	8,55379E-09	6,87831E-09	7,58377E-09	8,64198E-09
1134000	9,02204E-08	6,12182E-09	7,65228E-09	8,49403E-09	6,88705E-09	7,34619E-09
1306800	1,00533E-07	7,34024E-09	7,4122E-09	8,41969E-09	1,65515E-09	8,92343E-09
1389600	1,34411E-07	9,31978E-09	9,68289E-09	7,68579E-09	8,65408E-09	9,31978E-09
1652400	2,43344E-07	1,10514E-08	1,20754E-08	8,87523E-09	9,08858E-09	1,25448E-08
2343600	2,6191E-07	1,40618E-08	1,52912E-08	1,14492E-08	1,1795E-08	1,24866E-08
2602800	2,40978E-07	1,74671E-08	1,79419E-08	1,25492E-08	1,37023E-08	1,42789E-08

2948400	2,35996E-07	1,82879E-08	1,84856E-08	1,2785E-08	1,38395E-08	1,47621E-08
3034800	2,09502E-07	2,23549E-08	1,95569E-08	1,34995E-08	1,39033E-08	1,58648E-08
3466800	1,95115E-07	2,46914E-08	2,05582E-08	1,40097E-08	1,3795E-08	1,60225E-08
3726000	1,79929E-07	2,67217E-08	2,24973E-08	1,43924E-08	1,41713E-08	1,62344E-08
4071600	1,70477E-07	2,9879E-08	2,39217E-08	1,44777E-08	1,45931E-08	1,63942E-08
5108400	1,38365E-07	2,8951E-08	2,4547E-08	1,49448E-08	1,53419E-08	1,82297E-08

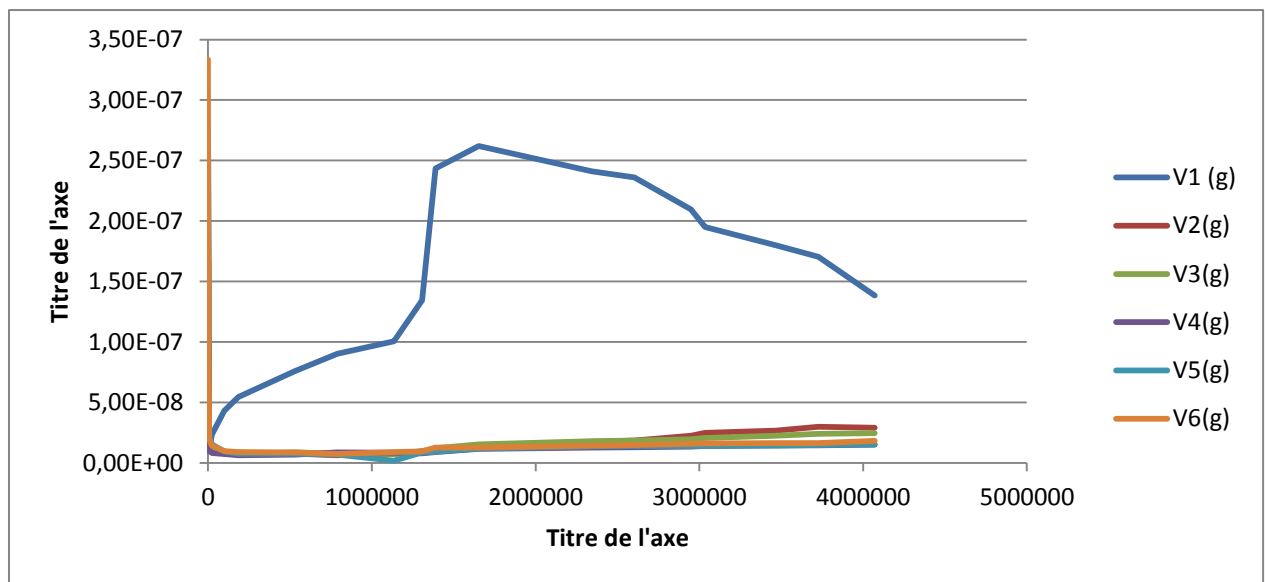


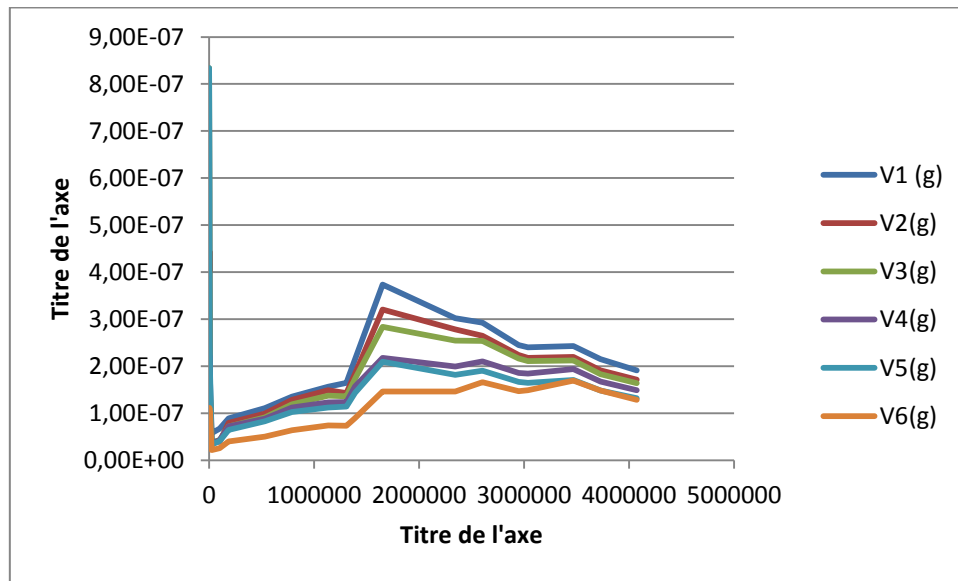
Figure 56: la vitesse de corrosion en fonction de temps dans l’expérience de l’inhibiteur chimique

IV.2.2.2. L’expérience de l’inhibiteur vert

Tableau IV.8 : la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps de l’inhibiteur de l’inhibiteur vert

T (s)	V <sub>1</sub> (g)	V <sub>2(g)</sub>	V <sub>3(g)</sub>	V <sub>4(g)</sub>	V <sub>5(g)</sub>	V <sub>6(g)</sub>
1200	8,33333E-07	7,5E-07	8,33333E-07	3,33333E-07	8,33333E-07	8,33333E-08
3000	4E-07	4E-07	5E-07	1,33333E-07	5,66667E-07	1E-07

3600	4,16667E-07	4,44444E-07	4,16667E-07	2,22222E-07	5E-07	1,11111E-07
7200	2,5E-07	2,36111E-07	2,22222E-07	1,38889E-07	2,5E-07	9,72222E-08
22800	1,66667E-07	1,33333E-07	1,41667E-07	1,16667E-07	1,83333E-07	1E-07
98400	5,76132E-08	3,90947E-08	3,80658E-08	3,60082E-08	3,29218E-08	2,16049E-08
184800	6,69935E-08	3,92157E-08	4,24837E-08	4,24837E-08	4,08497E-08	2,55991E-08
530400	8,91912E-08	7,93651E-08	7,19955E-08	7,18065E-08	6,4059E-08	3,96825E-08
788400	1,10857E-07	9,93151E-08	9,05632E-08	8,84069E-08	8,29528E-08	5,01015E-08
1134000	1,35273E-07	1,2866E-07	1,18871E-07	1,11905E-07	1,02646E-07	6,34921E-08
1306800	1,56489E-07	1,48607E-07	1,37205E-07	1,22666E-07	1,12106E-07	7,39976E-08
1389600	1,64148E-07	1,42919E-07	1,35507E-07	1,23921E-07	1,14206E-07	7,31865E-08
1652400	2,14476E-07	1,84398E-07	1,73142E-07	1,56681E-07	1,43065E-07	8,93851E-08
2343600	3,73472E-07	3,20087E-07	2,83537E-07	2,17305E-07	2,09064E-07	1,458E-07
2602800	3,01852E-07	2,77813E-07	2,54368E-07	1,98847E-07	1,81132E-07	1,45772E-07
2948400	2,92612E-07	2,64642E-07	2,53364E-07	2,09951E-07	1,90151E-07	1,65513E-07
3034800	2,44862E-07	2,23981E-07	2,16288E-07	1,85872E-07	1,66419E-07	1,46472E-07
3466800	2,39748E-07	2,17203E-07	2,10896E-07	1,84353E-07	1,64171E-07	1,48819E-07
3726000	2,42944E-07	2,19547E-07	2,11966E-07	1,93553E-07	1,70444E-07	1,69526E-07
4071600	2,14502E-07	1,9089E-07	1,82944E-07	1,67074E-07	1,48397E-07	1,47763E-07
5108400	1,91293E-07	1,71521E-07	1,6375E-07	1,49068E-07	1,31685E-07	1,2822E-07



**Figure IV.48** : Courbe de la vitesse de corrosion en fonction de temps dans l’expérience de l’inhibiteur vert

Les vitesses de corrosion diminuent avec l’augmentation de la concentration de l’inhibiteur dans les deux cas, et elles sont moins faibles que celle sans inhibiteur

Nous remarquons qu’un pic correspond aux vitesses les plus élevées et puis une diminution vers des petites valeurs. Ce qui confirme la couche formée sur l’acier.

**IV.2.3. la variation de l’efficacité de l’inhibiteur en fonction de temps**

**IV.2.3.1. l’inhibiteur chimique**

*Tableau IV.9 : la variation de l’efficacité de l’inhibiteur chimique en fonction de temps*

T (s)	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
1200	50	75	/	/	25
3000	75	87,5	87,5	0	/
3600	14,2857143	71,4285714	71,4285714	/	/
7200		57,1428571		/	/
22800	11,1111111	44,4444444	11,1111111	/	/
98400	51,1627907	55,8139535	65,1162791	34,88372093	39,5348837
184800	82,4561404	81,1403509	83,3333333	78,07017544	77,6315789

530400	84,8130841	86,682243	88,317757	85,98130841	83,6448598
788400	89,8837209	88,7209302	90,9302326	90	88,6046512
1134000	93,2145886	91,5182358	90,5852417	92,36641221	91,8575064
1306800	92,6986399	92,627058	91,6249105	98,35361489	91,1238368
1389600	93,0661864	92,7960378	94,281855	93,5614588	93,0661864
1652400	95,4585306	95,0376995	96,3527968	96,26512362	94,8448185
2343600	94,6310694	94,1616547	95,6285756	95,49655274	95,232507
2602800	92,7515834	92,5545391	94,7923997	94,31386348	94,0745954
2948400	92,2507679	92,1669925	94,5825188	94,13571628	93,744764
3034800	89,3294782	90,6650145	93,5563817	93,36362385	92,4273716
3466800	87,3452545	89,4635488	92,8198074	92,92984869	91,7881706
3726000	85,1487851	87,4965875	92,001092	92,12394212	90,977341
4071600	82,4732494	85,9677638	91,5075173	91,43979412	90,383313
5108400	79,0764414	82,2593269	89,1990608	88,91207931	86,8249413

Meilleur efficacité de chaque concentration d'inhibiteur chimique

Tableau IV. 10: Meilleure efficacité de chaque concentration d'inhibiteur chimique

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
efficacité	95,4585306	95,0376995	96,3527968	96,26512362	95,232507

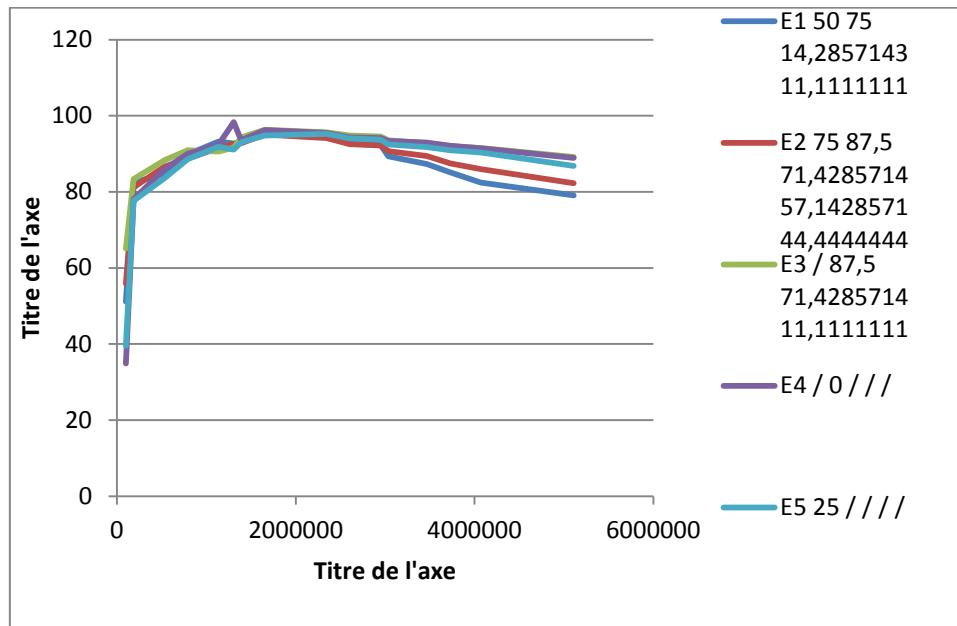


Figure IV.49 courbe d'efficacité d'inhibiteur chimique

IV .2.3.2. l'inhibiteur vert

Tableau IV. 11: la variation de l'efficacité de l'inhibiteur vert

T (s)	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
1200	10	/	/	1	90
3000	/	/	66,6666667	/	75
3600	/	0	46,6666667	/	73,3333333
7200	5,55555556	11,1111111	44,4444444	/	61,1111111
22800	20	15	30	/	40
98400	32,1428571	33,9285714	37,5	42,85714286	62,5

184800	41,4634146	36,5853659	36,5853659	39,02439024	61,7886179
530400	11,0169492	19,279661	19,4915254	28,1779661	55,5084746
788400	10,4118993	18,3066362	20,2517162	25,17162471	54,805492
1134000	4,88917862	12,125163	17,2750978	24,11994785	53,0638853
1306800	5,03667482	12,3227384	21,6136919	28,36185819	52,7139364
1389600	12,9329242	17,4484875	24,5067953	30,42525208	55,414292
1652400	14,023702	19,272009	26,9469526	33,29571106	58,3239278
2343600	14,2941874	24,0806643	41,8149466	44,02135231	60,9608541
2602800	7,96388471	15,7309874	34,1243199	39,99305475	51,7073735
2948400	9,55874302	13,4128983	28,2492062	35,01587649	43,4358918
3034800	8,52782765	11,6696589	24,0911131	32,03545781	40,1817774
3466800	9,40333595	12,0340311	23,1053398	31,52356431	37,9267883
3726000	9,6307493	12,7510257	20,3303822	29,84236666	30,2202548
4071600	11,0079156	14,7124011	22,1108179	30,81794195	31,1134565
5108400	10,3356529	14,3982808	22,0732706	31,16045845	32,971756

**Meilleur efficacité de chaque concentration d'inhibiteur vert**

**Tableau IV. 12:** *Meilleur efficacité de chaque concentration d'inhibiteur vert*

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
efficacité	41,4634146	36,5853659	66,6666667	44,02135231	90

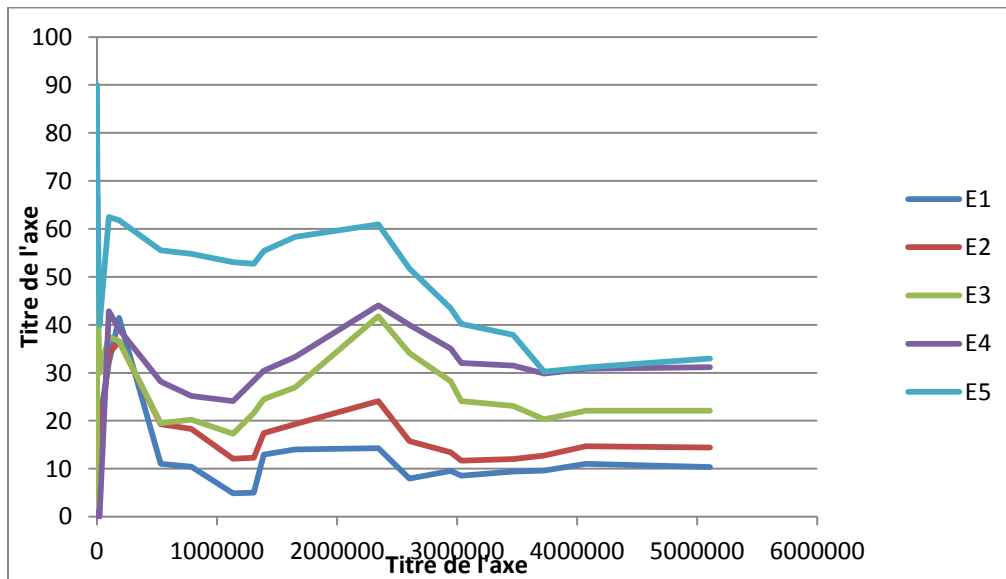


Figure IV.50 Courbe efficacité d'inhibiteur vert

Le rendement de l'efficacité inhibitrice est élevée par port de temps

L'extrait de deux les inhibiteurs donneront une efficacité de plus de 94% par macération, ce qui confirme une fois de plus qu'elle possède des bonnes propriétés inhibitrices.

IV .2.4. Les analyses de concentrions du fer

IV.2.4.1. L'expérience de l'inhibiteur chimique

Tableau IV. 13 : Le taux du fer total en (ppm)

Concentration de l'inhibiteur	0 %	15 %
Le taux du fer total en (ppm)	5.98	2.20

IV.2.4.2. L'expérience de l'inhibiteur vert

Tableau IV. 14 : Le taux du fer total en (ppm)

Concentration de l'inhibiteur	0 %	15 %
Le taux du fer total en (ppm)	6.11	4.63

IV.2.5. la méthode d'observations visuelles

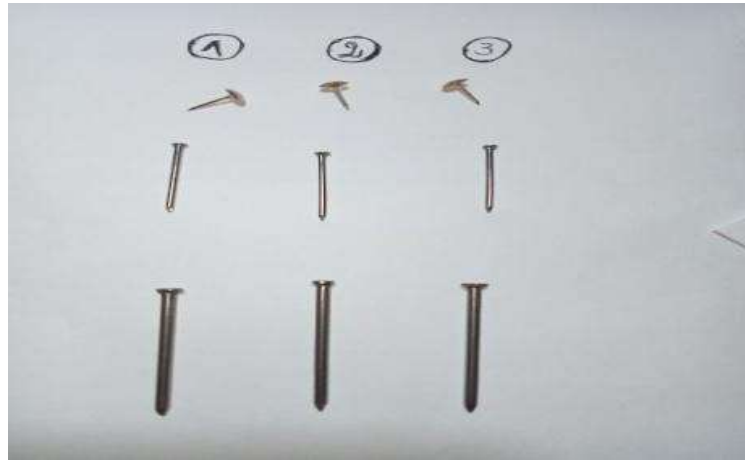
IV.2.5.1. les images photographiés

IV.2.5.1.1. expérience de HCL

Nous avons filmé des photos aux durées de temps variés

Sachant que

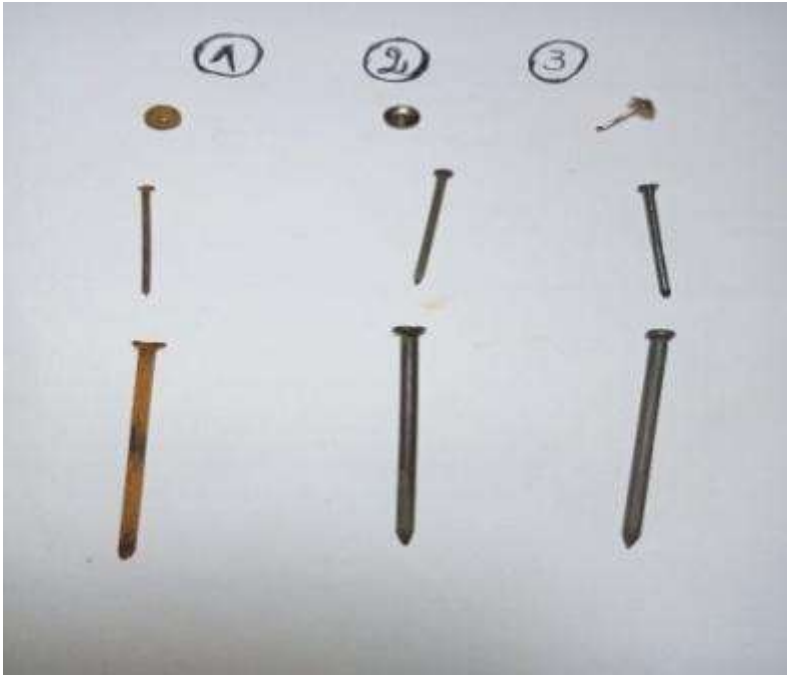
- 1- La solution qui contiennent : HCl sans inhibition
- 2- La solution qui contiennent : HCl avec 5g de l'inhibiteur vert
- 3- La solution qui contiennent : HCl avec 5ml de l'inhibiteur chimique



12 avril 2023.



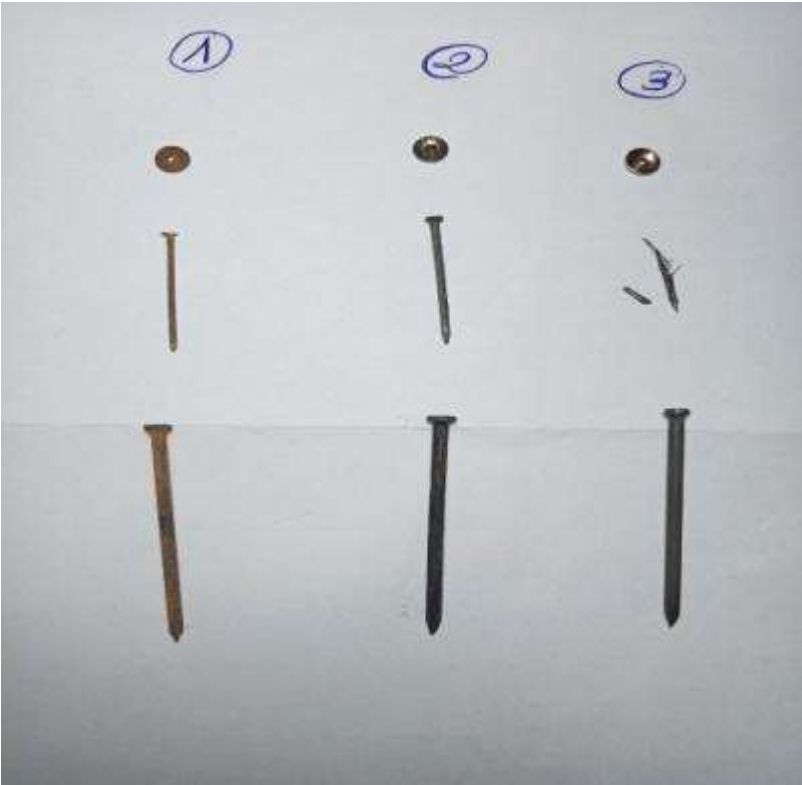
16 avril 2023



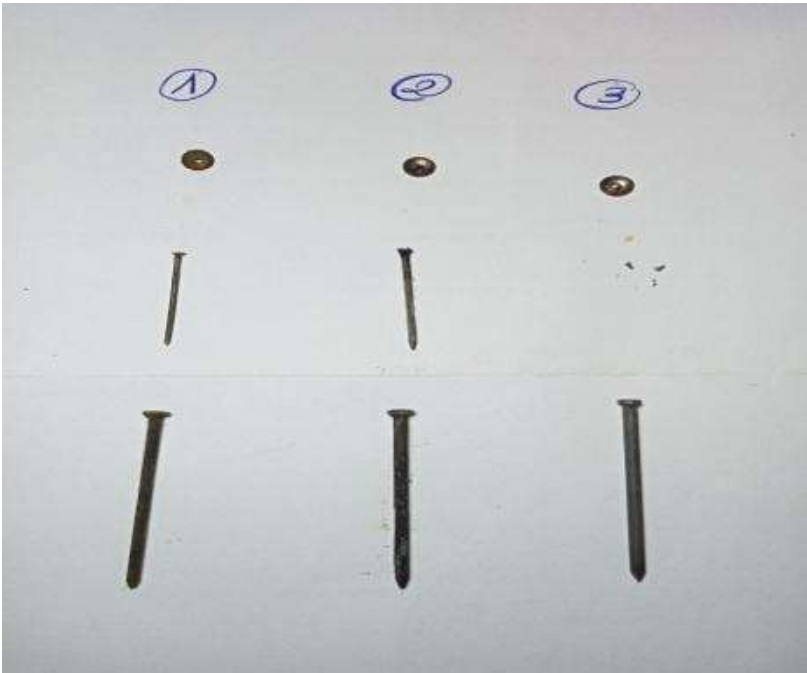
28 avril 2023



3 mai 2023



12 mai 2023.



14 mai 2023

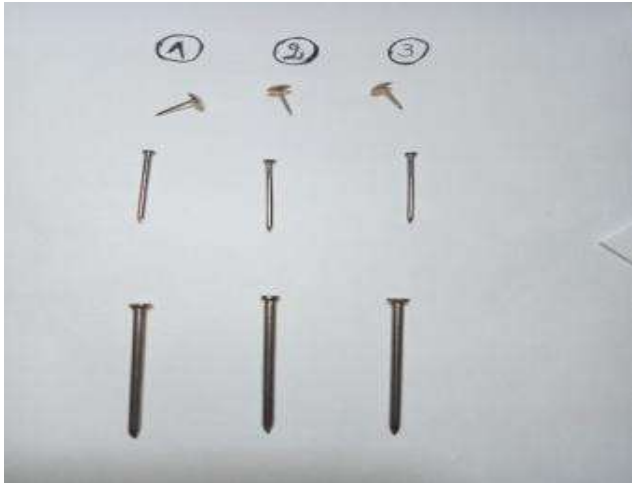
Figure IV.51 : les images photographiés de expérience de HCL

- Chaque image montre que les clous dans les trois solutions ( HCl, HCl+inhibiteur industriel, et HCl +inhibiteur vert ) :
- Dès la 1<sup>ère</sup> seconde l'état des clous est normale après 4jours , une dégradation des clous de la 1ère ( HCL sans inhibition ) et les clous des deux autres sont intactes
- Après 16 jours, dégradation visible des clous de la 1ere solution .et les clous des deux restantes ont commencé à changer de couleur
- Après 23 jours , même remarque que la précédente avec une accélération de la dégradation
- Après 30 jours , par étonnement une dégradation totale des clous immergés dans la solution HCl +Inhibiteur industriel et en le comparant avec les premiers clous (dans la solution HCl sans inhibition) sa dégradation est moins observée que ces derniers, et les clous immergés dans la solution HCl +Inhibiteur vert résistent encore.
- Après 32 jours une disparition complète d'un des trois clous ce qui traduit l'instabilité de l'inhibiteur industriel par rapport au temps d'immersion

### IV.2.5.1.2. Expériences de L'eau de refroidissement

Sachant que

- 1- La solution qui contient : eau de la tour de refroidissement sans inhibition
- 2- La solution qui contient : eau de la tour de refroidissement avec 5g de l'inhibiteur vert
- 3- La solution qui contient : eau de la tour de refroidissement avec 5ml de l'inhibiteur chimique



14 mai 2023.



18 mai 2023.



30 mai 2023



6 juin 2023.



15 juin2023

**Figure IV.52** : les images photographiés de expérience de l'eau de refroidissement

La même expérience est réalisée en utilisant les eaux de refroidissement ramène de la RA2K

- L'observation est telle que après 4 jours , les clous des trois solutions sont noirci et une couche de rouille commence à se formé légèrement sur les clous de la 1ere solution .
- après 16 jours , la corrosion est bien détectée sur la surface des 3 clous de la première solution et toujours une coloration noir pour les clous avec les inhibiteurs
- Après 23 jours même remarque
- Idem pour 32 jours la dégradation est accéléré mais modérément. les clous immergées dans les solutions avec inhibiteurs , ils résistent plus par rapporte aux clous de la 1 ere solution.

**IV.2.5.2. Les analyses de concentration du fer**

**IV.2.5.2.1. L'expérience de l'Hcl**

**Tableau IV. 15** : Le taux du fer total

La solution	Solution Hcl sans inhibition	Solution Hcl avec l'inhibiteur vert	Solution Hcl avec l'inhibiteur chimique
Le taux du fer total	5.10	4.26	6.49

**IV.2.5.2.2. L'expérience de l'eau de la tour de refroidissement**

**Tableau IV. 16** : Le taux du fer total

La solution	Solution de l'eau de refroidissement sans inhibition	Solution de l'eau de refroidissement avec l'inhibiteur vert	Solution de l'eau de refroidissement avec l'inhibiteur chimique
Le taux du fer total	3.73	1.29	1.20

Le test du fer total analysé au niveau de laboratoire à la RAK , nous ont donné que les taux du fer total dans les solutions HCL préparés avec l'eau distillée et ceux de l'eau de refroidissement sont variable et il confirme l'observation visuelle détaillée précédemment.

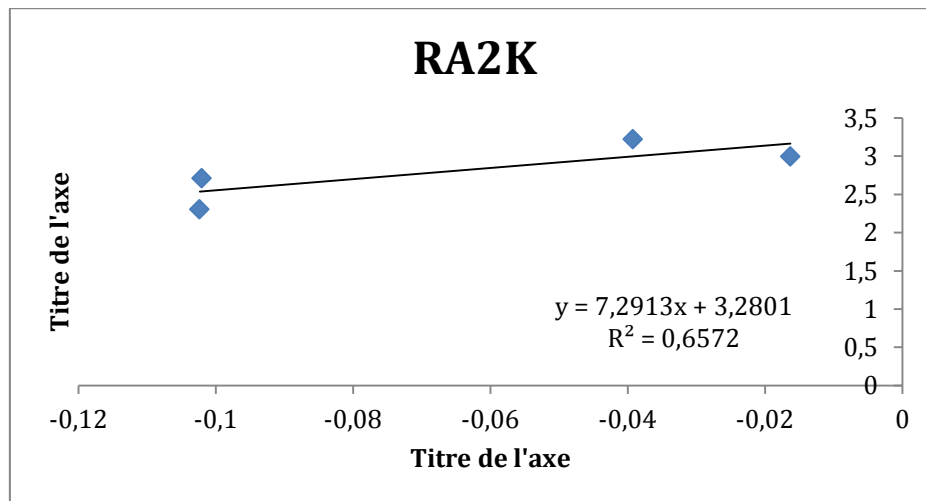
**IV.3. isotherme d'adsorption et paramètres thermodynamique**

**IV.3.1. Les courbes d'isothermes d'adsorption**

**IV.3.1.1. Isotherme d'adsorption inhibiteur chimique**

**Tableau IV. 17 : Isotherme d'adsorption chimique**

Temkin			Freundlich			langmuir		
C inh	ln C inh	Ln $\theta$	C inh	ln C inh	Ln $\theta$	C inh	C inh/ $\theta$	$\theta$
0	.....	.....	0	.....	.....	0	.....	.....
5	1,60943791	-0,04630449	5	1,60943791	-0,04630449	5	5,24E+00	9,55E-01
10	2,30258509	-0,10234852	10	2,30258509	-0,10234852	10	1,11E+01	9,03E-01
15	2,7080502	-0,07	15	2,7080502	-0,01	15	1,60E+01	
20	2,99573227	-0,01629233	20	2,99573227	-0,01629233	20	2,03E+01	9,84E-01
25	3,21887582	-0,03922069	25	3,21887582	-0,03922069	25	2,60E+01	9,62E-01



**Figure IV.53 : Courbe de Freundlich**

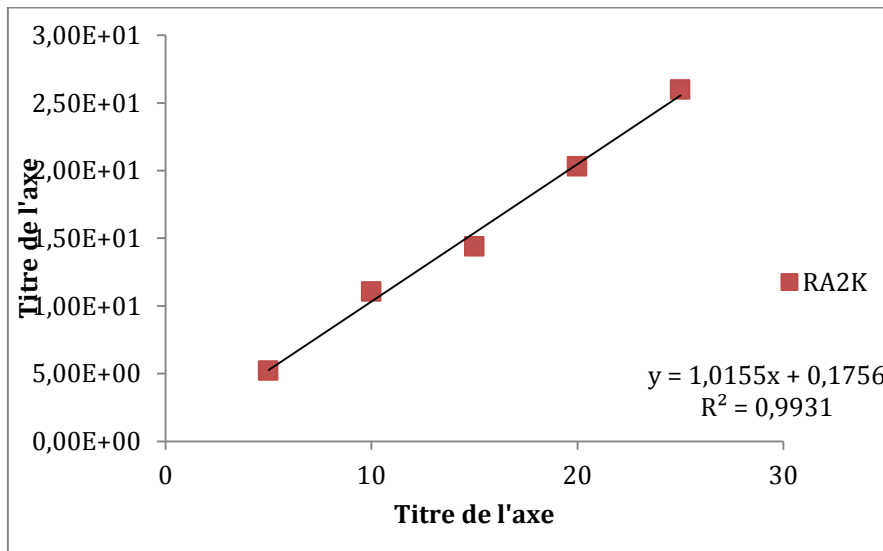


Figure IV.54: Courbe de langmuir

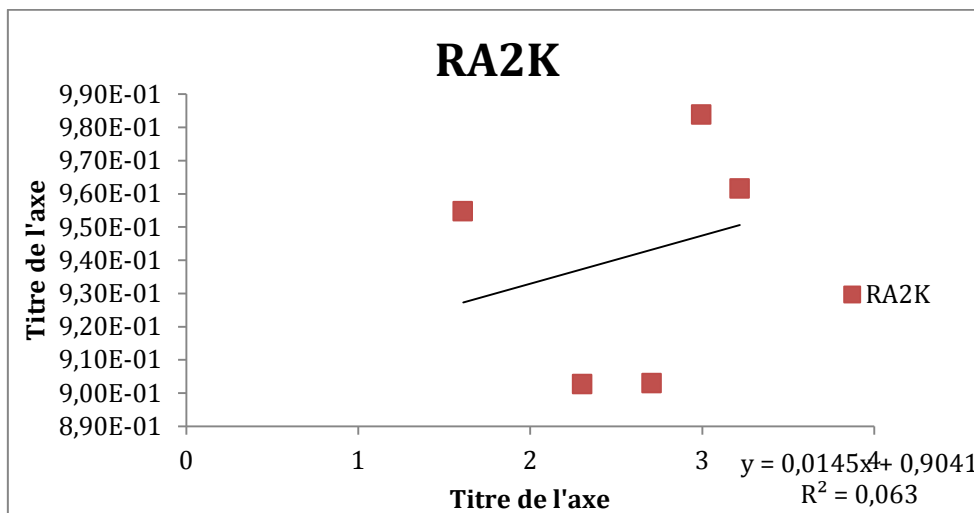


Figure IV.55 : Courbe Temkin

Tableau IV. 18 : Les calculs des isotherme d'adsorption

Temkin		langmuir		Freundlich	
R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K
0,063	0,904	0,993	0.1758	3.2801	0.6575

Tableau IV. 19 : Les calculs de l'enthalpie ΔG et ΔH

l'enthalpie	Temkin	langmuir	Freundlich
$\Delta G$	<b>-25</b>	<b>-40</b>	<b>-0</b>
$\Delta H$	<b>0.94</b>	<b>0.24</b>	<b>0.56</b>

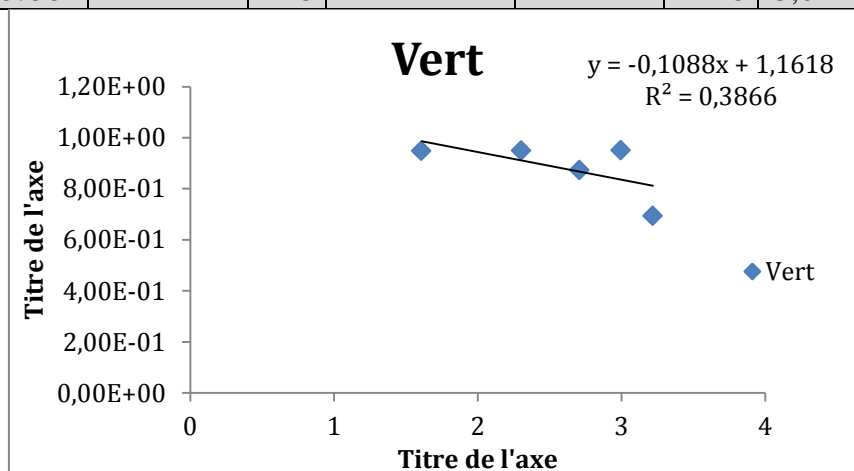
les résultats thermodynamiques de l'adsorption montre que les tracés de courbes d'adsorption selon les équations de temkin , langmuir et freundlich que nos résultats de l'inhibiteur industriel donne une meilleur adsorption selon langmuir selon les valeurs de régression qui donnera une constante K

le calcule de l'enthalpie libre donne un valus de qui traduit la formation d'une couche avec des faibles liaisons électrochimique de type physique

**IV.3.1.2. les isothermes d'adsorption vert**

**Tableau IV.20** : Isotherme d'adsorption chimique

Freundlich			Temkin			langmuir		
C inh	ln C inh	Ln $\theta$	C inh	ln C inh	Ln $\theta$	C inh	C inh/ $\theta$	$\theta$
0		-8,38E-02	0	.....	.....	0	0,00E+00	9,20E-01
5	1,60943791	-5,37E-02	5	1,60943791	-5,37E-02	5	5,28E+00	9,48E-01
10	2,30258509	-5,23E-02	10	2,30258509	-5,23E-02	10	1,05E+01	9,49E-01
15	2,7080502	-1,36E-01	15	2,7080502	-1,36E-01	15	1,72E+01	8,73E-01
20	2,99573227	-5,03E-02	20	2,99573227	-5,03E-02	20	2,10E+01	9,51E-01
25	3,21887582	-3,67E-01	25	3,21887582	-3,67E-01	25	3,61E+01	6,93E-01



**Figure IV.56** : Courbe Temkin

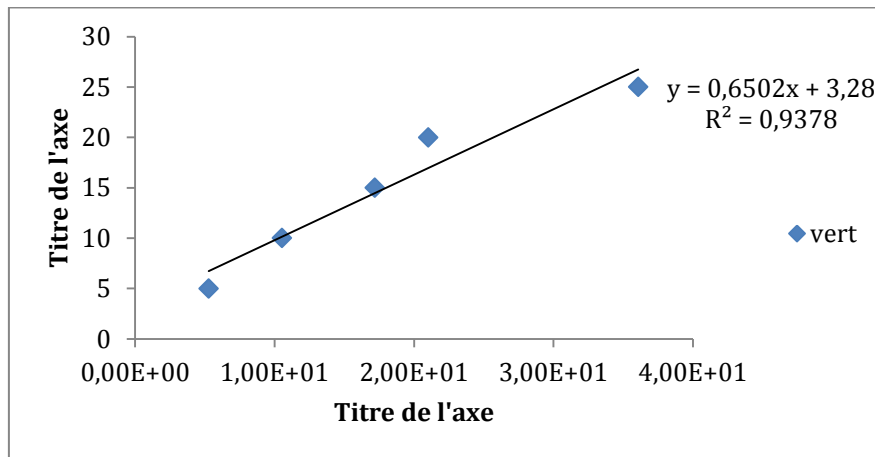


Figure IV.57 : Courbe de langmuir

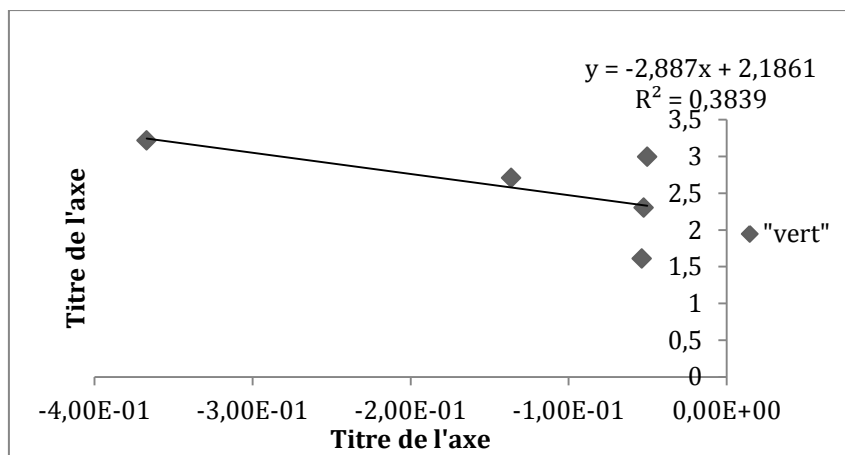


Figure IV.58 : Courbe Freundlich

Tableau IV.21 : Les calculs des isotherme d'adsorptio

Temkin		Langmuir		Freundlich	
R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K
0,38866	1.1618	0,9378	3.28	0.3839	2.1861

Tableau IV.22 : Les calculs de l'enthalpie ΔG et ΔH

ΔG	-1.156	-20	-40
ΔH	0.14	0.12	0.13

IV.4. méthode électrochimique et paramètre thermodynamique

IV.4.1. les mesures de la polarisation

IV.4.1.1. L'influence du temps

IV.4.1.1.1. Inhibiteur chimique

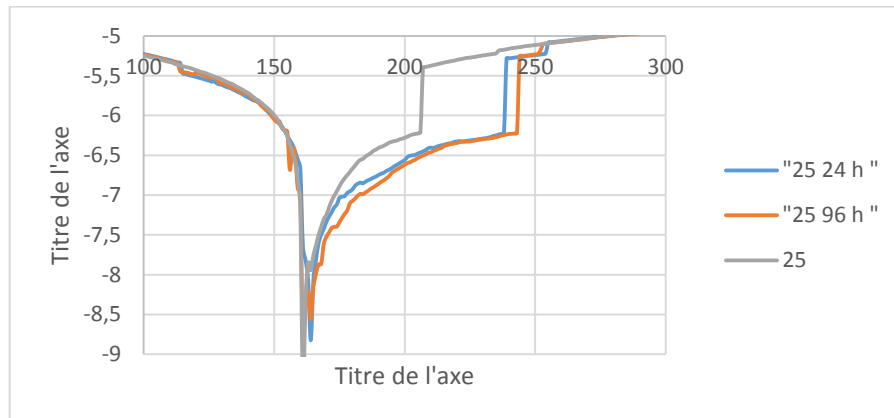


Figure IV.59 : Courbe de polarisation l'inhibiteur chimique

L'allure des courbes du temps d'immersion sont presque identiques par rapport à l'inhibiteur industriel, léger déplacement vers la zone anodique et une densité du courant plus faible.

IV.4.1.1.2. inhibiteur vert

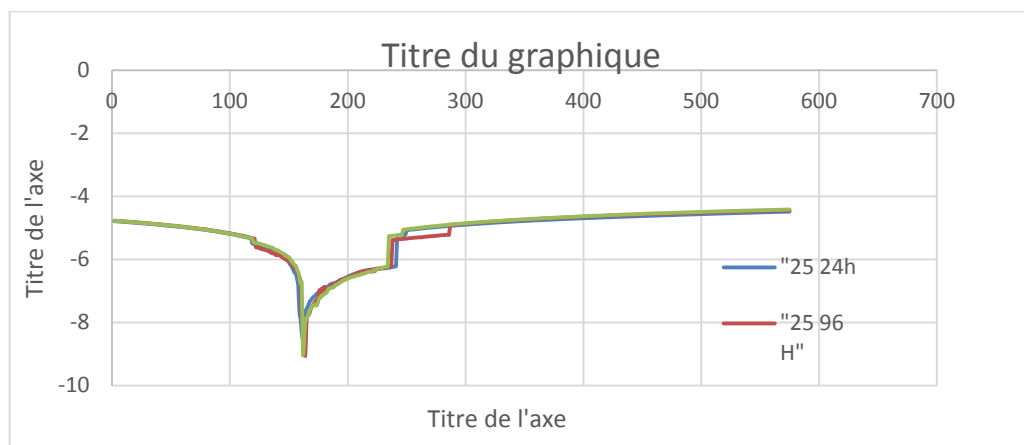


Figure IV.60 : Courbe de polarisation de la plante

L'allure des courbes du temps d'immersion sont presque identiques ce qui traduit une stabilité du film passif, léger déplacement vers la zone anodique et une densité du courant plus faible .ce qui traduit la formation du film passif blouant la dissolution de l'acier

IV.4.1.2. L'influence du température

IV.4.1.2.1. Inhibiteur chimique

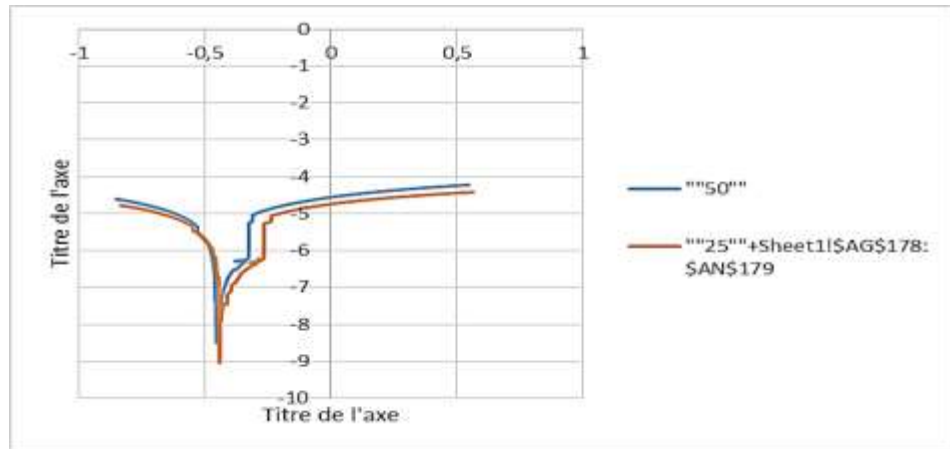


Figure IV.61 : Courbe Polarisation chimique

IV.4.1.2.2. inhibiteur vert

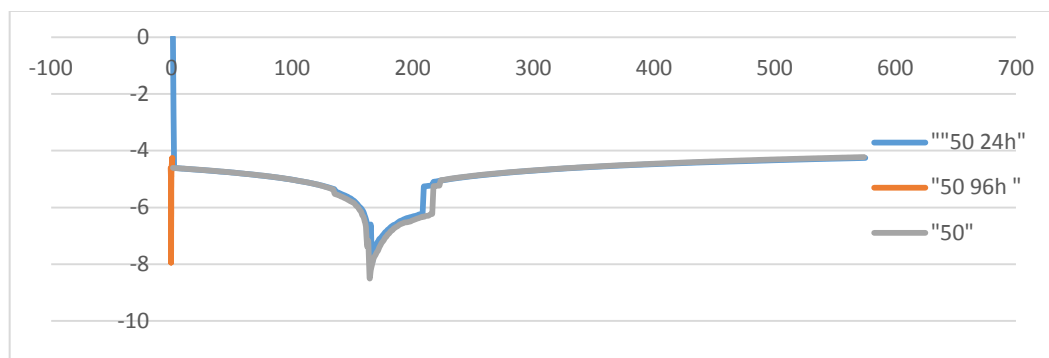


Figure IV.62 : Courbe polarisation vert

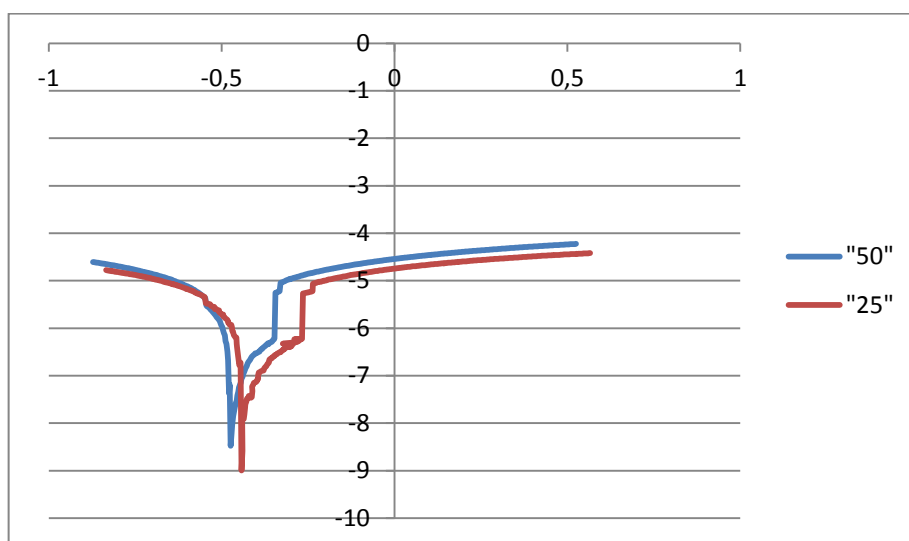


Figure IV.63 : Courbe Polarisation vert

Les deux droites de tafel en fonction des températures inhibiteur avec inhibiteur chimique et vert traduit que la température n'influent pas sur le comportement de l'acier en présence de l'inhibiteur

IV.4.2. les mesures de l'impédance

IV.4.2.1. L'influence du temps

IV.4.2.1.1. Inhibiteur chimique

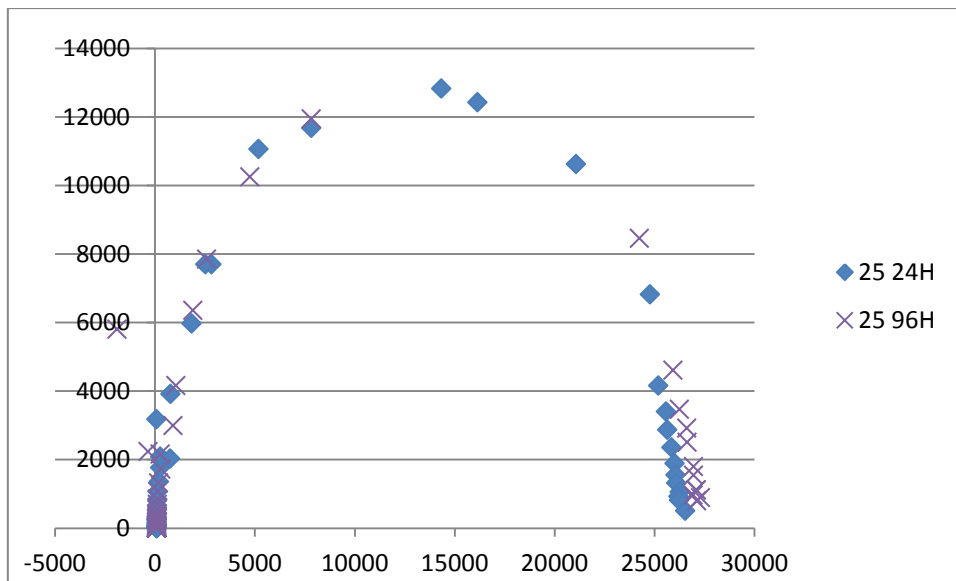


Figure IV.64 : Courbe de l'impédance à températures 25 °c de l'inhibiteur chimique

IV.4.2.1.2. Inhibiteur vert

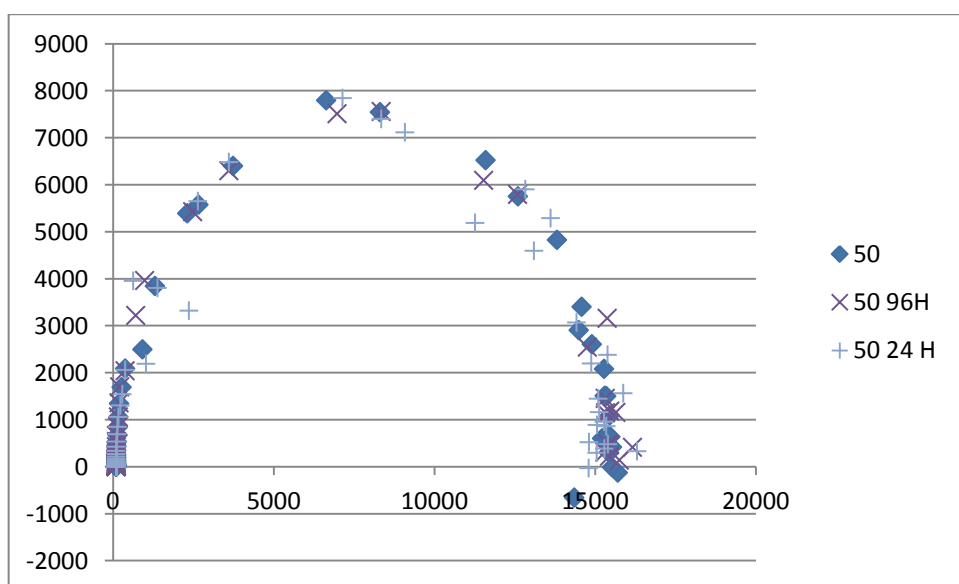
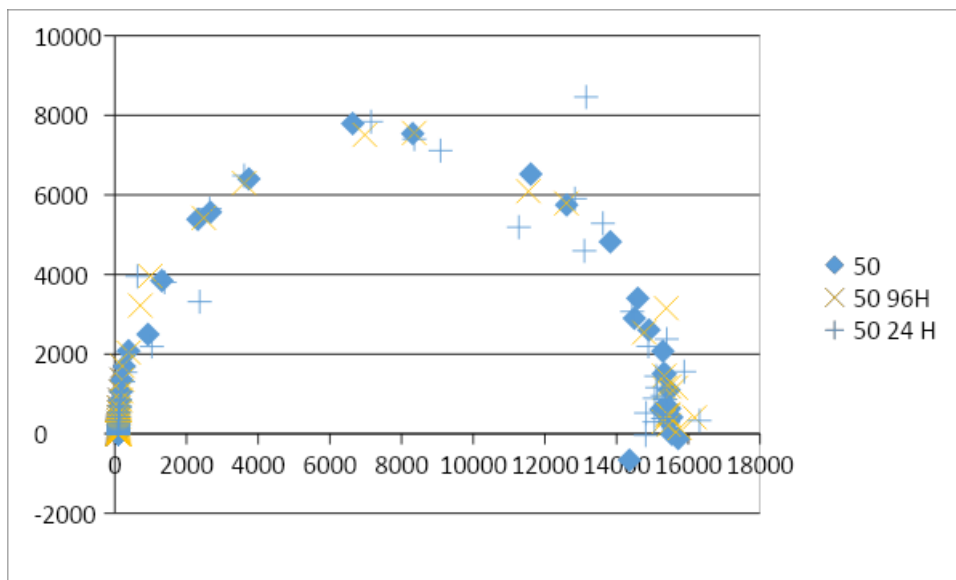


Figure IV.65 : Courbe de l'impédance à températures 25 °c de l'inhibiteur vert

Les impédances montrent des boucles capacitives presque demi-cercle l'augmentation de diamètre augmente légèrement avec la durée d'immersion traduisant une forme de stabilité de la résistance de polarisation qui va induire

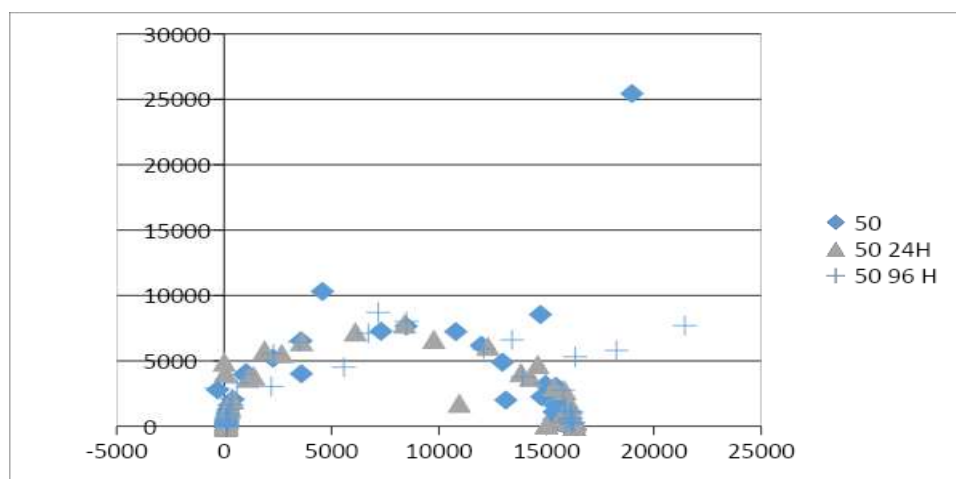
**IV.4.2.2. influence de la température**

**IV.4.2.2.1. Inhibiteur chimique**



**Figure IV.66 :** Courbe de l'impédance à températures 50 c° de l'inhibiteur chimique

**IV.4.2.2.2. Inhibiteur vert**



**Figure IV.67 :** Courbe de l'impédance à températures 50 c° de l'inhibiteur vert

L'impédance électrochimique à T = 50 c en fonction de la durée de immersion d'inhibiteur n'est pas clair donc avec l'accord de notre encadreur on a enlevée.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

---

L'étude est consacrée essentiellement à vérifier l'effet inhibiteur de corrosion de deux inhibiteurs ( inhibiteur du plante *Carpobrotus edulis* et L'ibhiteur chimique est ramené de la zone de SONTRACH de SKIKDA Destiné à protéger les aciers des carbone

L'inhibiteur vert a donné des résultats satisfaisants. Pour sa disponibilité et sa biodégradable et moins couteuse.

Nous constatons Que

-La vitesse de la corrosion diminue en fonction de la concentration des deux inhibiteurs

-L'efficacité inhibitrice de l'inhibiteur augmente avec l'accroissement de sa concentration , et atteindre une valeur maximale de 96. % dans le cas de l'inhibiteur chimique , et une valeur maximale de 95 % dans le cas de l'inhibiteur vert

-Cette augmentation de l'efficacité d'inhibition est expliquée par l'adsorption des molécules inhibitrices sur la surface de l'acier en formant une couche protectrice, ce qui empêche la dégradation de l'acier.

-La technique de polarisation de Tafel obtenue montre que l'inhibiteur vert est de type Mixte , et l'inhibiteur chimique est de type Mixte

-L'étude des isothermes d'adsorption montre que l'adsorption résultantes est de modèle Longmir pour les deux inhibiteurs

-Les diagrammes d'impédance électrochimiques généralement ont montré qu'il s'agit D'un processus de transfert de charges sur une surface hétérogène pour toutes les concentrations des deux inhibiteurs, ces diagrammes sont constitués d'une boucle capacitive, en effet, sa taille augmente avec l'augmentation de la concentration ce qui explique l'augmentation de la résistance de transfert de charge

En fin nous souhaitons que cette étude contribue d'une manière ou d'une autre à la valorisation de ce produit naturel en tant qu'inhibiteur de corrosion capable de donner une bonne efficacité pour la protection des métaux principalement les équipements de l'industrie pétrochimique pour sa disponibilité, sa biodégradabilité, ainsi que son cout .... , et de remplacer des inhibiteurs chimiques déjà commercialisés.

## Conclusion générale

---

Ces derniers sont toxiques, très couteux et nuisible pour l'environnement.

# Référence

[1] BOUCHA KHALED mémoire de master améloiration d l'indice d'octane par reformage catalutique (2018) univ adrar

[2] ABDELI FIALA mémoire de master Application à la protection du cuivre en milieu acide (2007) université mentouri constantine

[3] <https://dspace.univbba.dz/bitstream/handle/123456789/711/etude%20des%20inhibiteurs%20de%20corrosion%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[4] <https://dspace.univbba.dz/bitstream/handle/123456789/711/etude%20des%20inhibiteurs%20de%20corrosion%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[5] <https://www.univ-chlef.dz/ft/wp-content/uploads/2020/04/cours-de-corrosion-2020-1.pdf>

[6] <https://dspace.univbba.dz/bitstream/handle/123456789/1182/final%20%20Copie.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2mIkmUY8npPelkaj3zD2hHcyfDc1iFIPjFwlkkm3TfbRSKgynbwiPgH4>

[7] <https://biblio.univannaba.dz/ingeniorat/wpcontent/uploads/2018/09/ChinogureiClinton.pdf?fbclid=IwAR3Uuy-qy2Au5II5L2p-hX14dAwHI2k0mYRrpvv4lXoPYKnHtu919nkPJ1I>

[8] <https://www.swagelok.com/fr/toolbox/materialselectionguide/corrosiontypes?fbclid=IwAR2bWLH5WY0uOH0u2JgyfCrD9IxHtH41pW02CHGMcwnf5csCu7qEZhGjyA8>

[9] <https://di.univblida.dz/jspui/bitstream/123456789/10756/1/PFE%20finalis%C3%A9%20281%29.pdf>

[10] <https://dspace.univbba.dz/bitstream/handle/123456789/711/etude%20des%20inhibiteurs%20de%20corrosion%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2CgkrsKFGYD8a5efcIotc43Q9TDaBo5-EzFQforoM6DXOjsH84kCEQIE> / <https://biblio.univ-annaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2022/03/LABBACI-Nour-el-Houda.pdf>

[11] <https://biblio.univannaba.dz/ingeniorat/wpcontent/uploads/2018/09/ChinogureiClinton.pdf?fbclid=IwAR3Uuyqy2Au5II5L2phX14dAwHI2k0mYRrpvv4lXoPYKnHtu919nk>

[12] <http://processs.free.fr/Pages/VersionWeb.php?page=9126PJ1I>

[13] <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/methodes-de-prevention-et-lutte-contre-la-corrosion-42374210/inhibiteurs-de-corrosion-cor1005/generalites-sur-l-utilisation-des-inhibiteurs-de-corrosion-cor1005niv10001.html>

[14]<https://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2020/02/These-Oulabbas-Amel.pdf?fbclid=IwAR2bWLH5WY0uOH0u2JgyfCrD9IxHtH41pW02CHGMcwnf5csCu7qEZhgjyA8>

[15]<http://www.univ-bejaia.dz/xmlui/handle/123456789/14565>

[16][https://www.fcbn.fr/sites/fcbn.fr/files/ressource\\_telechargeable/fiche\\_carpobrotus\\_edulis\\_sr.pdf?fbclid=IwAR3ON2FiT1o3Bi3RE7wr51ABeZcJEpsa898Oq4HbeVSnj4LLWw6G7Z1OsVg](https://www.fcbn.fr/sites/fcbn.fr/files/ressource_telechargeable/fiche_carpobrotus_edulis_sr.pdf?fbclid=IwAR3ON2FiT1o3Bi3RE7wr51ABeZcJEpsa898Oq4HbeVSnj4LLWw6G7Z1OsVg)

[17]<https://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-14650-description>

[18] <https://www.google.com/amp/s/nutrixeal-info.fr/index/extraction-vegetale/amp/>

[19] <https://www.techniques-ingenieur.fr/glossaire/extraction>

[20]<https://mathrix.fr/physique-chimie/techniques-dextraction-et-de-separation/extraction-despeces-chimiques-2952>.

[21]<https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/physique-chimie/seconde/corps-naturels-aromes.html>

[22] [https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fjeulin.com%2Flelaborantin\\_fr%2Flelaborantin%2Fequipementdelaboratoire%2Fspectrophotometres.html&h=AT2uCPX\\_vMyoEjZsHz9SUFspR87-WBW8j2zQRu3DUnt6Tvw47ybbhVGtK2K2UWY0LxgH\\_1-\\_cxFVkjP-t5hGuoj8\\_EuAI7P7VOcc\\_rs3h9h8RfpEguiPOIQRwHWmpi7uNZZ\\_59LySmk](https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fjeulin.com%2Flelaborantin_fr%2Flelaborantin%2Fequipementdelaboratoire%2Fspectrophotometres.html&h=AT2uCPX_vMyoEjZsHz9SUFspR87-WBW8j2zQRu3DUnt6Tvw47ybbhVGtK2K2UWY0LxgH_1-_cxFVkjP-t5hGuoj8_EuAI7P7VOcc_rs3h9h8RfpEguiPOIQRwHWmpi7uNZZ_59LySmk)

[23]Fiche technique de laboratoire de complexe RA2K

[24] Yousfi Hanane et Bourahla Souaad Mémoire de master Etude des inhibiteurs de corrosion pour protéger l'acier ordinaire en milieu agressif.( 2019/2020 )

UniversitéMouhamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj

[25] NAILI DOUAOUDA malha Mémoire MASTER Etude des performances de l'Extrait de la Sabline Rouge « Spergularia Rubra » comme inhibiteur vert de corrosion de l'acier ordinaire en environnements sévères UNIVERSITÉ de BLIDA 1

# Annexes



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**Université 20 août 1955 -SKIKDA**

Faculté de  
Technologie  
Département de  
Pétrochimie

**Mémoire**

**En vue de l'obtention du diplôme de**

**Master**

**Filière: Génie Pétrochimique**

**Spécialité: Génie Pétrochimique**

**Thème:**

**Etude de l'effet inhibiteur de la griffe de sorcière vérification  
d'inhibiteurs chimiques contre la corrosion de l'acier au carbone**

**Réalisé par:**

- Sadaoui norhane
- Soltane Rania amani

**Encadré par:**

**Chahrazed Saadi**

**Année Universitaire 2022/2023**

## **Remerciements**

**Au terme de ce mémoire je tiens à remercier, en premier lieu le bon Dieu, le tout puissant, qui m'a donné la force, le courage et la patience pour terminer ce modeste travail.**

**Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont aidée lors de la rédaction de ce mémoire.**

**Je voudrais dans un premier temps remercier Mr.Boudis Abd El Djalil Et aussi ma encadreur Mme Chahrazed**

**Je ne trouve certainement pas formule pour exprimer ma reconnaissance et mon entière gratitude pour leur soutien total tout au long de ce travail**

## **Dédicaces**

**A mes très chers parents. Source d'énergie et de ma réussite que dieu les préservent.**

**A mon grand-père Mohamed**

**A ma tante Iman, mes oncles Waheb, Hamza et mes grands-parents, Que Dieu leur fasse  
miséricorde**

**A toute ma famille**

**A monsieur Abd El Djalil Boudis**

**A tous mes amis plus particulièrement : Nardjes et Marwa pour leur contribution et  
encouragement**

**A tous ceux qui m'ont aidé dans la réalisation de mon travail**

**Soltane Rania Amani**

## **Dédicaces**

**A mes très chers parents, Sans eux je n'aurais pas abouti à ce stade d'étude que DIEU  
puisse m'aider À les honneurs les servir et les combler**

**A la famille et mes amis**

**Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux et le fruit de votre soutien infaillible**

**Sadaoui norhane**

## **Résumé**

**Ce travail porte sur l'étude comparative de l'effet de l'inhibiteur de corrosion chimique utilisé dans le complexe RA2K par rapport au inhibiteur de l'extrait de la plante la griffe de la sorcière qui est une source économique , biodégradable et respectueuse à l'environnement.**

**Une aperçu théorique sur les méthodes de détermination de l'efficacité des deux inhibiteurs de corrosion sur l'acier (types A106 , A179 et l'acier ordinaire des clou ) dans une solution (acide HCl 1M et dans l'eau importée de la tour de refroidissement du complexe RA2K ) ainsi que la morphologie de la surface de l'acier a été réalisée. tel que la méthode de gravimétrie, la méthode d'observation visuelle, les isothermes d'adsorption , les courbes de polarisation potentiodynamique, et la spectroscopie d'impédance électrochimique .**

**Mots clé : Acier, inhibiteur de corrosion , griffe de la sorcière**

## ملخص

يركز هذا العمل على الدراسة المقارنة لتأثير مثبت التآكل الكيميائي المستخدم في مركب RA2K مقارنة بـ مثبت مستخلص نبات مخلب الساحرة وهو مصدر اقتصادي وقابل للتحلل البيولوجي ومحترم للبيئة.

تم إجراء دراسة نظرية حول طرق تحديد كفاءة المثبتين ضد تآكل الفولاذ (أنواع A106، A179 و فولاذ مسمار عادي) في محلول (حمض M HCl1 وفي ماء برج التبريد للمركب RA2K) بالإضافة إلى شكل سطح الفولاذ. مثل طريقة الجاذبية ، وطريقة المراقبة البصرية ، وتساوي حرارة الامتزاز ، ومنحنيات الاستقطاب الديناميكي الفعال ، والتحليل الطيفي

الكلمات المفتاحية الفولاذ ، تثبيط التآكل، نبات مخلب الساحرة

## **Abstract**

**This work focuses on the comparative study of the effect of a chemical degradation inhibitor used in the RA2K complex compared to an inhibitor of witch's claw plant extract which is an economical, biodegradable and environmentally respectful source.**

**A theoretical study was conducted on methods to determine the efficiency of the two inhibitors against corrosion of steel (types A106, A179 and common nail steel) in a solution (1M HCl acid and in cooling tower water of RA2K) in addition to the surface shape of the steel. Such as gravity method, optical observation method, adsorption isotherms, dynamic effective polarization curves, and spectroscopy**

**Keywords steel, corrosion inhibition, witch's claw**

## Liste d'abréviation

- RA2K : Raffinerie Algérienne De Skikda

<b>Liste des figures</b>		
<b>Figure</b>	<b>titre</b>	
		23
<b>Figure.I.1</b>	: corrosion métallique	24
<b>Figure.I.2</b>	: corrosion métallique	27
<b>Figure.I.3</b>	: Corrosion généralisée	28
<b>Figure.I.4</b>	: Corrosion localisée par piqûres dans les fluides contenant des ions chlorures	28
<b>Figure.I.5</b>	: Corrosion caverneuse localisée dans les fluides contenant des ions chlorures	29
<b>Figure.I.6</b>	: Corrosion sous contrainte dans les fluides contenant des ions chlorures	29
<b>Figure.I.7</b>	: Corrosion sous contrainte en présence d'une pression partielle de sulfure d'hydrogène (H <sub>2</sub> S) élevée	30
<b>Figure.I.8</b>	: Fragilisation par l'hydrogène	30
<b>Figure.I.9</b>	: Corrosion intercrystalline	31
<b>Figure.I. 10</b>	: ECS signifie électrode au calomel saturé	31
<b>Figure.I.11</b>	: Corrosion galvanique en présence d'un électrolyte	.32
<b>Figure II.12</b>	: plante La Griffes de sorcière (Carpobrotus edulis )	42
<b>Figure II.12</b>	: plante La Griffes de sorcière (Carpobrotus edulis )	42
<b>Figure II.13</b>	: classements de griffe de sorcière	42
<b>Figure II.14</b>	: plante La Griffes de sorcière (Carpobrotus edulis )	43
<b>Figure II.15</b>	: plantes griffe de sorcière	45
<b>Figure II.16</b>	: schéma d'extraction par solide-liquide	46
<b>Figure II.17</b>	: macération	46
<b>Figure II.18</b>	: extraction liquide-liquide	47
<b>Figure II.19</b>	: montage de l'hydrodistillation	48
<b>Figure III 20</b>	: Les pièces de l'acier	51
<b>Figure III.21</b>	: décapage chimique et mécanique de l'acier	52
<b>Figure III.22</b>	: récolte la plante de griffe de sorcière	52
<b>Figure III.23</b>	: séchage de la griffe de sorcière dans l'étuve	53
<b>Figure III.24</b>	: la Griffes de la sorcière avant le séchage	53
<b>Figure III.25</b>	: broyage de la griffe de la sorcière	54
<b>Figure III.26</b>	: le mélange (poudre de la plante, éthanol et eau)	54
<b>Figure III.27</b>	: Macération	55
<b>Figure III.28</b>	: filtration sous vide et filtration normale	55
<b>Figure III.29</b>	: Rotavap	56
<b>Figure III.30</b>	: l'extrait de la griffe de sorcière après le séchage	56
<b>Figure III.31</b>	: fiche technique du l'eau de La tour de refroidissement	58
<b>Figure III.32</b>	: un spectrophotomètre	59
<b>Figure III.33</b>	: 6 solutions à différents concentrations d'inhibiteur chimique	60
<b>Figure III.34</b>	: six solutions de l'extrait de Griffes de la sorcière à différentes concentrations	61

<b>Figure III.35</b> : Les trois bocal qui contiennent trois clous de forme différente	63
<b>Figure III.36</b> : la formation des moisissures dans la solution	64
<b>Figure III.37</b> : Les deux biocides importés de la zone industrielle RA2K	64
<b>Figure III.38</b> : L'échantillon dans une moule en plastique	67
<b>Figure III.39</b> : électrode de travail	68
<b>Figure III.40</b> : dispositif expérimental utilisé	69
<b>Figure III.41</b> : courbe de polarisation	70
<b>Figure III.42</b> : Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel	72
<b>Figure III.43</b> : courbe de résistance de polarisation	72
<b>Figure III.44</b> : diagramme de Nyquist de l'impédance d'un circuit électrique	73
<b>Figure III. 45</b> : Diagramme de Bode d'une réaction sous contrôle d'activation	74
<b>Figure IV.46</b> : Courbe de la perte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur chimique	78
<b>Figure IV.47</b> : Courbe de la perte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur ver	81
<b>Figure IV.48</b> : Courbe de la vitesse de corrosion en fonction de temps dans l'expérience de l'inhibiteur vert	83
<b>Figure IV.49</b> courbe d'efficacité d'inhibiteur chimique	85
<b>Figure IV.50</b> Courbe efficacité d'inhibiteur vert	86
<b>Figure IV.51</b> : les images photographiés de expérience de HCL	90
<b>Figure IV.52</b> : les images photographiés de expérience de l'eau de refroidissement	93
<b>Figure IV.53</b> : Courbe de Freundlich	95
<b>Figure IV.54</b> : Courbe de langmuir	95
<b>Figure IV.55</b> :Courbe Temkin	96
<b>Figure IV.56</b> : Courbe Temkin	97
<b>Figure IV.57</b> : Courbe de langmuir	97
<b>Figure IV .58</b> : Courbe Freundlich	98
<b>Figure IV.59</b> : Courbe de polarisation l'inhibiteur chimique	99
<b>Figure IV.60</b> : Courbe de polarisation de la plante	99
<b>Figure IV.61</b> :Courbe Polarisation chimique	100
<b>Figure IV.62</b> : Courbe polarisation vert	100
<b>Figure IV.63</b> : Courbe polarisation vert	100
<b>Figure IV.64</b> : Courbe de l'impédance à températures 25 c° de l'inhibiteur chimique	101
<b>Figure IV.65</b> : Courbe de l'impédance à températures 25 °c de l'inhibiteur vert	102

<b>Figure IV.66</b> : Courbe de l'impédance à températures 50 c° de l'inhibiteur chimique	102
<b>Figure IV.67</b> : Courbe de l'impédance à températures 50 c° de l'inhibiteur vert	103

<b>Liste des tableaux</b>		
<b>Tableau</b>	<b>Titre</b>	
<b>Tableau III.1</b>	Le pourcentage de l'inhibiteur et l'Hcl dans chaque solution	60
<b>Tableau III.2</b>	Le pourcentage de l'inhibiteur vert et l'Hcl dans chaque solution	60
<b>Tableau IV.3</b>	la variation de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur chimique	76
<b>Tableau IV.4</b>	la parte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur chimique	77
<b>Tableau IV.5</b>	la variation de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur vert	78
<b>Tableau IV.6</b>	la parte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur vert	79
<b>Tableau IV.7</b>	la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps de l'expérience de l'inhibiteur chimique	80
<b>Tableau IV.8</b>	la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps de l'inhibiteur de l'inhibiteur vert	82
<b>Tableau IV.9</b>	la variation de l'efficacité de l'inhibiteur chimique en fonction de temps	83
<b>Tableau IV. 10</b>	Meilleur efficacité de chaque concentration d'inhibiteur chimique	85
<b>Tableau IV. 11</b>	la variation de l'efficacité de l'inhibiteur vert	85
<b>Tableau IV. 12</b>	Meilleur efficacité de chaque concentration d'inhibiteur vert	86
<b>Tableau IV. 13</b>	Le taux du fer total en (ppm)	87
<b>Tableau IV. 14</b>	Le taux du fer total en (ppm)	87
<b>Tableau IV. 15</b>	Le taux du fer total	94
<b>Tableau IV. 16</b>	Le taux du fer total	95
<b>Tableau IV. 17</b>	Isotherme d'adsorption chimique	95
<b>Tableau IV. 18</b>	Les calculs des isotherme d'adsorption	96
<b>Tableau IV. 19</b>	Les calculs de l'enthalpie $\Delta G$ et $\Delta H$	96
<b>Tableau IV. 20</b>	Isotherme d'adsorption chimique	98
<b>Tableau IV. 21</b>	Les calculs des isothermd'adsorption	98
<b>Tableau IV. 22</b>	Les calculs de l'enthalpie $\Delta G$ et $\Delta H$	98

## Sommaire

Remerciements .....	2
Dédicaces .....	4
Dédicaces .....	4
Résumé. ....	6
Liste d'abréviation.....	8
Liste des figures .....	9
Liste des tableaux .....	12
Sommaire.....	13
Introduction générale.....	21
<b>Chapitre 1 : généralité sur corrosion</b>	
I. Introduction .....	24
I.2. Définition de la corrosion .....	24
I.3. Tendance à la corrosion .....	24
I.4. Aspect économique de la corrosion .....	25
I.5. Types de corrosion .....	25
I.5.1. Selon la nature du milieu corrodant .....	26
I.5.1.1 Corrosion humide (corrosion aqueuse) .....	26
I.5.1.2. Corrosion sèche .....	26
I.5.2. Selon le mécanisme réactionnel .....	26
I.5.2.1. Corrosion électrochimique .....	26
I.5.2.2. Corrosion chimique .....	26
I.5.2.3. corrosion bactérienne .....	27
I.5.3. Selon l'aspect du métal corrodé .....	27
I.5.3.. Corrosion généralisée .....	27
I.5.3.2. Corrosion localisée .....	28
I.5.3.2.. Corrosion localisée par piqûres .....	28
I.5.3.2.2. Corrosion caverneuse localisée .....	29
I.5.3.2.3. Corrosion sous contrainte (ions de chlorure) .....	30
I.5.3.2.4. Corrosion sous contrainte (h2s) .....	30

I.5.3.2.5. Fragilisation par l'hydrogène .....	31
I.5.3.2.5. Corrosion intercrystalline .....	31
I.5.3.2.7. Corrosion galvanique en présence d'un électrolyte .....	32
I.5.3.2.8. Érosion-corrosion .....	33
I.6. Facteurs de la corrosion .....	33
I.6.1. Facteurs liés au métal .....	33
I.6.1.1. Facteurs métallurgiques .....	33
I.6.1.2. Effet des impuretés (inclusions) du métal.....	33
I.6.1.3. Effet de l'état de surface .....	34
I.6.1.4. Effet de la soudure .....	34
I.6.2. Facteurs liés à la solution .....	34
I.6.2.1. Influence de l'oxygène dissous .....	35
I.6.2.2. Influence de la température .....	35
I.6.2.3. Influence de PH .....	35
I.6.2.4. Influence de la salinité .....	35
I.6.2.5. Influence des bactéries .....	35
I.7. Conclusion .....	35

## **Chapitre 2 : les inhibiteurs de corrosion et les inhibiteurs verts**

II.1. Introduction ... ..	37
II.2. Les inhibiteurs de corrosion .....	37
II.2.1. Définition des inhibiteurs de corrosion .....	37
II.2.3. la classification des inhibiteurs de corrosion .....	37
II.2.3.1. Selon leur composition chimique .....	38
II.2.3.1.1. Les inhibiteurs organiques .....	38
II.2.3.1.2. Les inhibiteurs inorganiques (minéraux) .....	38
II.2.3.2. Selon leur mecanisme réactionelle .....	38
II.2.3.2.1. Les inhibiteurs passivant .....	39
II.2.3.2.2. Les inhibiteurs d'adsorption .....	39
II.2.3.2.3. Inhibition de corrosion par précipitation.....	39
II.2.3.2.4. Inhibition de corrosion par élimination de l'agent corrosif .....	39

II.2.3.3. Selon la nature électrochimique du processus .....	39
II.2.3.3.1. Les inhibiteurs cathodiques .....	41
II.2.3.3.2. Les inhibiteurs anodiques .....	41
II.2.3.3.3. Les inhibiteurs mixtes .....	41
II.2.4. Conditions d'utilisation.....	41
II.2.5. Mécanismes et principes d'action .....	41
II.2.6 Domaines d'emploi des inhibiteurs .....	41
II.3. les inhibiteurs verts .....	42
II.3.1. Matière végétale étudié La Griffes de sorcière (Carpobrotus edulis ) .....	43
II.3.1.1. Description générale .....	43
II.3.1.2. Nomenclature .....	43
II.3.1.3. Origine géographique .....	44
II.3.1.4. Usages actuels .....	44
II.3.1.5. classification .....	44
II.4. Extractions .....	46
II.4.1. Définition .....	46
II.4.2. Types d'extractions .....	46
II.4.2.1. Extraction solide-liquide .....	46
II.4.2.1.1. La macération .....	47
II.4.2.1.2. L'infusion .....	47
II.4.2.1.3. La décoction .....	47
II.4.2.1.4. La filtration .....	47
II.4.2.2. L'extraction liquide-liquide .....	48
II.4.2.3. L'hydrodistillation .....	49
II.5. Conclusion .....	49
<b>Chapitre 3 : Matériel et méthode</b>	
III.1. Protocole expérimental .....	52
III.1.1. Composition chimique des aciers .....	52
III.1.1.1. Composition de l'acier utilisé dans la méthode gravimétrique .....	52
III.1.1.2. Composition de l'acier utilisé dans la méthode électrochimique .....	52
III.1.2. Préparation de l'acier .....	52
III.1.3. Préparation des inhibiteurs .....	53
III.1.3.1. L' inhibiteur vert de la griffe de socière .....	53

III.1.3.1.1. Récolte .....	53
III.1.3.1.2. Séchage .....	53
III.1.3.1.3. Broyage .....	54
III.1.3.1.4. Protocol de macération .....	55
III.1.3.1.5. Filtration .....	55
III.1.3.1.6. Rotavap .....	56
III.1.3.1.7 Séchage .....	57
III.1.3.2. L'inhibiteur utilisé dans le complexe RA2K .....	57
III.1.4. milieu d'étude .....	57
III.1.4.1. La solution de l'HCl .....	57
III.1.4.2. La solution de l'eau de La tour de refroidissement .....	58
III.1.5. Les analyses de concentration du fer .....	59
III.1.5.1. Spectrophotomètre .....	59
III.1.5.2. Technique des analyses de concentrations du fer (Fiche technique de laboratoire de complexe RA2K) .....	59
III.2. Technique gravimétrique .....	60
III.2.1. Préparation des échantillons .....	60
III.2.1.1. Pour l'inhibiteur chimique .....	60
III.2.1.2. Solution de l'extrait de la griffe de la sorcière .....	61
III.2.2. Mesure gravimétrique .....	61
III.2.2.1 Mesure de la perte de masse .....	61
III.2.2.2. Mesure de la vitesse .....	61
III.2.2.3. Mesure d'efficacité .....	61
III.3. Technique d'observations visuelles des surfaces .....	63
III.3.1. Préparation des échantillons .....	63
III.3.2. Suivi de la dégradation de l'acier .....	64
III.3.3. Les analyses de concentration de fer .....	64
III.4. Technique des isothermes d'adsorption .....	65
III.4.1. Définition d'isothermes d'adsorption .....	66
III.4.2. les types des isothermes d'adsorption .....	66
III.4.2.1. Isotherme de Langmuir .....	66
III.4.2.2. Isotherme de freundlich .....	67
III.4.2.3. Isotherme de Temkin .....	67.
III.5. Tehnique électrochimique .....	68

III.5.1. Cellule électrochimique .....	68
III.5.2. Préparation des électrodes .....	68.
III.5.3. montage électrochimique .....	69
III.5.4. Méthodes des analyses électrochimiques .....	69
III.5.4.1. Méthodes stationnaires .....	69
III.5.4.1.1. Mesure du potentiel de corrosion .....	69
III.5.4.1.2 Courbe de polarisation .....	70
III.5.4.1.3. Courbe de tafel .....	71
III.5.4.1.4. Résistance de polarisation .....	72
III.5.4.2. Méthode transitoire .....	73
III.5.4.2.1. Spectroscopie d'impédance .....	73
III.5.4.2.2.2. Diagrammes d'impédance .....	74
<b>Chapitre 4 : résultats et durcissions</b>	
IV.1. Introduction .....	77.
IV.2.Méthode gravimétrique .....	77
IV.2.1. Perte de masse .....	77
IV.2.1.1.perte de masse de l'inhibiteur chimique .....	77
IV.2.1.2. perte de masse de l'inhibiteur vert .....	79
IV.2.2. la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps .....	81
IV.2.2.1. l'expérience de l'inhibiteur chimique .....	81
IV.2.2.2. L'experience de l'inhibiteur vert .....	81
IV.2.3. la variation de l'efficacité de l'inhibiteur en fonction de temps .....	81
IV.2.3.1. l'inhibiteur chimique .....	82
IV .2.3.2. l'inhibiteur vert .....	83
IV .2.4. Les analyses de concentrions du fer.....	83
IV.2.4.1. L'experience de l'inhibiteur chimique .....	83
IV.2.4.2. L'experience de l'inhibiteur vert .....	83
IV.2.5. la méthode d'observations visuelles .....	85
IV.2.5.1. les images photographiés .....	85
IV.2.5.1.1. expérience de HCL.....	85
IV.2.5.1.2. Expériences de L'eau de refroidissement .....	85

IV.2.5.2. Les analyses de concentration du fer.....	94
IV.2.5.2.1. L'expérience de l'Hcl.....	95
IV.2.5.2.2. L'expérience de l'eau de la tour de refroidissement.....	95
IV.3. isotherme d'adsorption et paramètres thermodynamique.....	95
IV.3.1. Les courbes d'isothermes d'adsorption.....	97
IV.3.1.1. Isotherme d'adsorption inhibiteur chimique .....	98
IV.3.1.2. les isothermes d'adsorption vert .....	98
IV.4. méthode électrochimique et paramètre thermodynamique.....	99
IV.4.1. les mesures de la polarisation .....	99
IV.4.1.1. L'influence du temps.....	99
IV.4.1.1.1. Inhibiteur chimique.....	99
IV.4.1.1.2. inhibiteur vert.....	100
IV.4.1.2. L'influence du température .....	101
IV.4.1.2.1. Inhibiteur chimique.....	101
IV.4.1.2.2. inhibiteur vert .....	101
IV.4.2. les mesures de l'impédance .....	102
IV.4.2.1. L'influence du temps .....	103
IV.4.2.1.1. Inhibiteur chimique .....	103
IV.4.2.1.2. Inhibiteur vert .....	103
IV.4.2.2. influence de la température .....	103
IV.4.2.2.1. Inhibiteur chimique .....	103
IV.4.2.2.2. Inhibiteur vert .....	103
Conclusion générale.....	105
Référence .....	107

# Introduction générale

## Introduction générale

La corrosion des métaux et alliages est un phénomène universellement connu qui entraîne chaque année des pertes matérielles considérables, directes et indirectes, pour l'industrie et la collectivité. Plus grave encore, la corrosion peut causer des dommages irréversibles à l'environnement et même des pertes en vie humaine puisqu'elle est susceptible d'entraîner des problèmes de santé (pollution, contamination...) mais également d'affecter les appareils et les structures en service (matériels de transport par exemple) en provoquant de graves altérations telles que la diminution générale d'épaisseur, la génération de piqûres, mais aussi des fissures de corrosion sous tension dans les zones soudées ou à leur voisinage.[1]

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion métallique. Ils présentent l'originalité d'être le seul moyen d'intervention à partir du milieu corrosif, ce qui en fait une méthode de contrôle de la corrosion facile à mettre en oeuvre et peu onéreuse, pour peu que le ou les produits utilisés soient d'un coût modéré. Les nombreuses études consacrées, depuis une cinquantaine d'années, à ces composés, ont abouti à proposer des produits ou des mélanges de produits précis correspondant à des systèmes de corrosion (couples métal/milieu corrosif) donnés. Chaque cas de corrosion reste cependant un cas particulier, et il est nécessaire de connaître les données de base de fonctionnement de ces inhibiteurs, leurs limites d'utilisation, leur toxicité particulière, pour pouvoir les utiliser avec une marge suffisante de sécurité.[2]

FIA4975\_Old1importnt

Les extraits de plantes se sont avérés comme une source véritable inépuisable pour les inhibiteurs verts de corrosion, écologiquement acceptables, abondamment disponibles et utilisables pour une vaste gamme de préventions contre la corrosion. Les constituants phytochimiques abondants dans les extraits de plantes comme les flavonoïdes, les phénols, les alcaloïdes, les tannins, etc., possèdent un potentiel considérable d'intérêt industriel incontestable. Le rendement de ces produits naturels, ainsi que les capacités d'inhibition de la corrosion des extraits de plantes varient largement en fonction de la partie sélectionnée de la plante et son emplacement. L'extrait de parties diverses de la plante, racines, graines, feuilles, tige, fleur et fruits pourrait être utilisé comme inhibiteur de corrosion.

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'étude du pouvoir inhibiteur de L'extrait de la plante Griffes de sorcière luxuriante dans la région de Skikda contre la corrosion d'un acier au Carbone en milieu d'acide chlorhydrique (HCL 1 M)

Ce manuscrit est constitué de trois chapitres :

- Chapitre 1 est consacré à une étude bibliographique sur la corrosion en générale et les types et les facteurs de corrosion
- Chapitre 2 présente la protection contre la corrosion par les inhibiteurs et principalement les inhibiteurs verts suivie par une description de plante de griffe de sorcière et leur extraction
- Chapitre 3 est dédié à la description et les méthodes expérimental et les différentes méthodes électrochimique et technique d'analyse utilisée
- Chapitre 4 rassemble les résultats électrochimique et théorique obtenus et leurs interprétations et discussions

Nous terminons ce travail par une conclusion générale qui résume nos principaux résultats

# Chapitre I :

## Généralité sur la corrosion

## I. Introduction

Le phénomène de corrosion est connu depuis longtemps, mais son étude scientifique a dû attendre les essais de De La Rive, à l'université de Grenoble, et ceux de Faraday (1791- 1867) sur l'électricité et la pile de courant en 1830. Ces chercheurs ont découvert que la corrosion des métaux était un phénomène électrochimique. Cependant, cette explication ne s'applique pas à toutes les formes de corrosion, ni à la compréhension de la corrosion humide. Par exemple, la corrosion sèche fait intervenir la réaction chimique du milieu extérieur directement sur le matériau [3]

### I.2. Définition de la corrosion

On appelle corrosion métallique tout processus de dégradation des métaux et alliages faisant intervenir, au moins partiellement, la composition chimique de leur environnement. En d'autres termes on peut dire que la corrosion d'un métal est la destruction de celui-ci sous l'effet de réactions chimiques ou électrochimiques, lorsqu'il est en contact avec un électrolyte. Elle correspond donc au retour de la matière à son état le plus stable. Dans le cas du fer, par exemple, la forme stable dans la nature n'est pas le métal mais l'oxyde, c'est pourquoi une pièce en acier exposée sans protection à une atmosphère humide tend à se transformer en rouille (oxyde de fer hydraté). Or, la corrosion ne se limite pas à l'acier, mais affecte tous les matériaux ainsi que les polymères et céramiques.[4]



**Figure.I.1** : corrosion métallique

### I.3. Tendances à la corrosion

L'histoire de la corrosion accompagne celle de la métallurgie. Au cours de l'histoire de l'humanité, les premiers matériaux métalliques utilisés ont été, dans un premier temps, ceux

directement disponibles dans la nature à l'état natif (métaux nobles : or, argent, cuivre), puis des alliages facilement réalisables (bronze). Les perfectionnements dans les processus d'élaboration métallurgiques impliquent une énergie de transformation de l'oxyde (minerai) en métal pur utilisable industriellement toujours plus importante. Le prix de revient d'un métal est ainsi plus lié au coût de ces processus d'élaboration qu'à son abondance dans la croûte terrestre.

Les métaux se corrodent car c'est leur tendance naturelle à revenir à la forme oxydée qu'ils ont dans les minerais d'où ils sont extraits. Cette forme oxydée est celle qui est thermodynamiquement stable, c'est-à-dire qui correspond à un état énergétique minimal. Tous les métaux, sauf les métaux nobles (or, platine) qui existent à l'état natif, sont dans la nature sous forme de minerais (oxydes, sulfures, carbonates,...). Ils sont alors plus stables d'un point de vue énergétique qu'à l'état de métal. La corrosion est donc un processus naturel qui fait retourner tout métal non noble à un niveau énergétique comparable à celui qu'il possède sous forme de minerai.[5]



**Figure.I.2:** corrosion métallique

#### **I.4. Aspect économique de la corrosion**

La corrosion entraîne des pertes économiques très importantes mais difficiles à évaluer. On distingue les pertes directes, facilement évaluables (dépenses dues à la détérioration du matériel et à son remplacement) et les pertes indirectes, plus difficilement évaluables : - pertes d'exploitation conséquentes aux arrêts d'installations pour réparation, - pertes de production, - accidents, - surdimensionnement des pièces qui entraîne des surcoûts de fabrication des structures, - lutte contre la corrosion (revêtements, traitements de surfaces, protection cathodique, ...)

## **I.5. Types de corrosion**

### **I.5.1. Selon la nature du milieu corrodant**

#### **I.5.1.1. Corrosion humide (corrosion aqueuse)**

Le terme « corrosion humide » couvre tous les cas de corrosion par un milieu liquide conducteur. Cela peut être de l'eau, toute solution acide, basique ou d'autres[6]

#### **I.5.1.2. Corrosion sèche**

La corrosion sèche est l'attaque d'un métal par un gaz, conduisant à la formation d'un troisième composé. La plus connue est celle qui est provoquée par l'attaque des métaux ou des alliages par l'oxygène. C'est un processus d'oxydation très complexe.

Lorsque le métal est placé dans une atmosphère gazeuse, sa surface adsorbe les particules de gaz par un processus physique ou chimique selon la température. La vitesse de corrosion dépend ainsi de la température du métal. [6]

### **I.5.2. Selon le mécanisme réactionnel**

#### **I.5.2.1. Corrosion électrochimique**

La corrosion électrochimique est essentiellement l'oxydation d'un métal sous forme d'ions ou d'oxydes. Elle se produit par des transferts électroniques entre un métal et une solution électrolytique à son contact (circulation d'un courant électrique). Elle nécessite la présence d'un réducteur H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>... Sans celui-ci, la corrosion du métal (réaction anodique) ne peut se produire. Dans la corrosion électrochimique, la réaction cathodique et la réaction anodique sont indissociables, Elles se produisent simultanément. [7]

#### **I.5.2.2. Corrosion chimique**

C'est une réaction hétérogène entre une phase solide (le métal) et une phase liquide ou gazeuse. Lorsque le réactif est gazeux, la corrosion est dite sèche. Si le réactif est liquide, il est en général accompagné d'une corrosion électrochimique. L'attaque d'un métal par un autre métal liquide, par un sel fondu ou par une solution non aqueuse peut être considérée comme une corrosion chimique. Donc on peut dire que la corrosion chimique est l'attaque du métal par son environnement. Elle est généralement rencontrée dans les industries produisant ou utilisant les acides[7]

### **I.5.2.3. corrosion bactérienne**

La corrosion bactérienne est due à la présence de colonies importantes de bactéries dites anaérobiques qui se développent dans les eaux contenant des sulfates. Elles consomment donc ces sulfates et les rejettent sous la forme réduite de sulfure H<sub>2</sub>S. La pollution locale du milieu corrosif en H<sub>2</sub>S et son effet connu sur la corrosion, suffisent à expliquer les dommages provoqués par les bactéries [10]. La lutte contre cette forme de corrosion est à l'heure actuelle essentiellement d'ordre biologique, elle est réalisée par injection de produits bactéricides dans les milieux corrosifs [7]

### **I.5.3. Selon l'aspect du métal corrodé**

#### **I.5.3.1. Corrosion généralisée**

Ce type de corrosion, qui est le plus connu, est également le plus facile à repérer et à prévoir. Il est peu courant – mais pas impossible – que la corrosion généralisée entraîne des défaillances catastrophiques. Pour cette raison, la corrosion généralisée est souvent davantage perçue comme une pollution visuelle que comme un problème grave. La corrosion généralisée attaque une surface métallique d'une manière relativement uniforme. La diminution progressive de l'épaisseur de paroi d'un composant doit être prise en compte dans le calcul des pressions nominales.

- Comment se forme-t-elle

Dans un milieu marin ou tout autre environnement corrosif, la surface d'un composant fabriqué en acier au carbone ou dans un acier faiblement allié commence à se dégrader. Il se forme alors une écaille d'oxyde de fer qui va s'épaissir jusqu'à ce qu'elle se détache, entraînant la formation d'une nouvelle écaille.

- On peut la mesurer de la manière suivante :
- En mesurant la perte d'épaisseur du matériau en un an. Par exemple, un acier au carbone non protégé peut se dégrader à raison d'un millimètre par an dans un environnement marin.
- En mesurant la perte de masse – généralement en milligrammes par centimètre carré de matériau exposé par jour – d'un alliage en contact avec un fluide corrosif.[8]



**Figure.I.3** : Corrosion généralisée

### **I.5.3.2. Corrosion localisée**

- Ce mode d'attaque n'affecte que certaines zones spécifiques du métal
- se produit dans des milieux quelquefois peu agressifs en apparence
- pertes de masse très faibles mais pouvant entraîner la ruine du matériau
- difficile à détecter
- nécessite la mise en place de techniques de CND (contrôles non-destructifs)

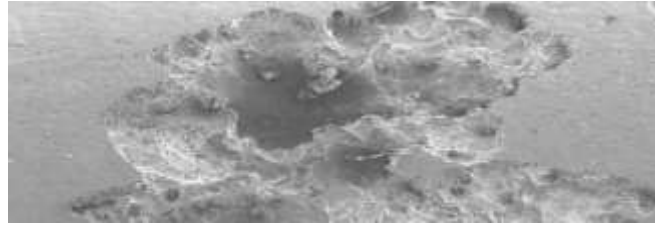
#### **I.5.3.2.. Corrosion localisée par piqûres**

La corrosion par piqûres engendre la formation de petites cavités à la surface d'un matériau. Ces piqûres, bien que généralement décelables en procédant à un examen visuel approfondi, peuvent devenir suffisamment profondes pour perforer la paroi d'un tube. La corrosion par piqûres s'observe le plus souvent à des températures élevées dans des milieux à forte teneur en ions chlorure.

- Comment se forme-t-elle

Lorsque la couche protectrice d'oxyde (ou couche d'oxyde inerte) présente sur la surface du métal se dégrade, celui-ci peut alors céder des électrons. Le fer de l'alliage se dissout au niveau du fond de la cavité (réaction anodique). Les ions fer se diffusent ensuite vers le haut de la cavité où ils forment de la rouille par oxydation. La solution de chlorure de fer voit sa concentration augmenter et gagne en acidité au fur et à mesure que la cavité se creuse. Il en résulte une accélération du phénomène qui aboutit à la perforation de la paroi du tube et à l'apparition de fuites.

Le meilleur moyen pour éviter la corrosion par piqûres consiste à choisir un alliage adapté. L'indice de résistance à la corrosion par piqûres (PREN), qui est calculé à partir de la composition chimique du matériau, permet de comparer les différents métaux et alliages. Le PREN augmente lorsque les teneurs en chrome, molybdène et azote sont plus élevées.



**Figure.I.4** : Corrosion localisée par piqûres dans les fluides contenant des ions chlorures

#### **I.5.3.2.2. Corrosion caverneuse localisée**

Dans un système fluide, des anfractuosités sont généralement présentes entre les tubes et les supports ou les colliers qui les soutiennent, entre deux tronçons de tube adjacents ou sous la boue ou les dépôts qui ont pu s'accumuler sur des surfaces. Il est pratiquement impossible de l'éviter, mais lorsque ces anfractuosités sont de petite taille, le risque de corrosion devient très important.

- Comment se forme-t-elle

Comme la corrosion par piqûres, la corrosion caverneuse commence par une dégradation de la couche d'oxyde inerte qui protège le métal. Cette dégradation entraîne la formation de petites cavités. Les cavités gagnent en largeur et en profondeur et finissent par recouvrir entièrement l'anfruosité. À certains endroits, cela peut aller jusqu'à perforer le tube. La corrosion caverneuse se produit à des températures beaucoup plus basses que la corrosion par piqûres

- Solutions possible
- Alliages 6-moly
- Alliage 2507
- Alliage 825
- Alliage 625
- Alliage C-276
- Alliage 400 [8]



**Figure.I.5** : Corrosion caverneuse localisée dans les fluides contenant des ions chlorures

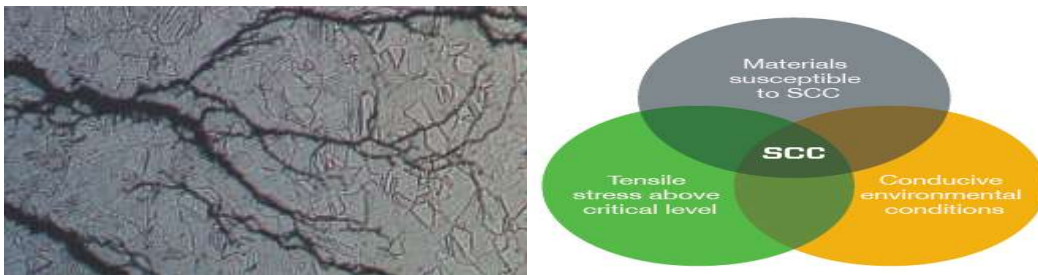
### I.5.3.2.3. Corrosion sous contrainte (ions de chlorure)

La corrosion sous contrainte (SCC) est dangereuse, car elle peut entraîner la destruction d'un composant à des niveaux de contraintes très inférieurs à la limite d'élasticité d'un alliage. En présence d'ions chlorure, les aciers inoxydables austénitiques sont sujets à ce type de corrosion. Les ions réagissent avec le matériau au fond d'une fissure – là où les contraintes de traction sont les plus fortes – ce qui favorise l'élargissement la fissure. Une fois amorcée, la corrosion sous contrainte peut s'avérer difficile à déceler : une défaillance définitive du composant concerné peut alors survenir soudainement.

- Comment se forme-t-elle

Pour que le phénomène se produise, trois conditions doivent être remplies simultanément :

- Le métal doit être sensible à la corrosion sous contrainte
- Des conditions ambiantes (température, type de fluide) propices à ce type de corrosion doivent être réunies
- Les contraintes de traction (appliquées + résiduelles) doivent être supérieures au niveau critique



**Figure.I.6:** Corrosion sous contrainte dans les fluides contenant des ions chlorures

### I.5.3.2.4. Corrosion sous contrainte (h<sub>2</sub>s)

La corrosion sous contrainte due aux gaz sulfureux a pour effet de dégrader un métal en contact avec de l'hydrogène sulfuré (H<sub>2</sub>S) dans une atmosphère humide. En présence d'eau, l'hydrogène sulfuré (ou sulfure d'hydrogène - H<sub>2</sub>S) devient extrêmement corrosif. Cette situation peut conduire à une fragilisation du matériau et aboutir à une fissuration sous l'action conjuguée de contraintes de traction et de la corrosion.

- Comment se forme-t-elle

Le risque de corrosion sous contrainte due aux gaz sulfureux augmente avec les facteurs suivants :

- Le métal doit être sensible à la corrosion sous contrainte
- Le milieu doit être suffisamment acide (riche en sulfure d'hydrogène H<sub>2</sub>S)
- Les contraintes de traction (appliquées + résiduelles) doivent être supérieures au niveau critique

Le risque de corrosion sous contrainte due aux gaz sulfureux augmente à des températures plus basses lorsque la ductilité des matériaux tend à diminuer [8]



**Figure.I.7:** Corrosion sous contrainte en présence d'une pression partielle de sulfure d'hydrogène (H<sub>2</sub>S) élevée

#### I.5.3.2.5. Fragilisation par l'hydrogène

Les atomes d'hydrogène ont la capacité de diffuser dans les métaux, ce qui tend à fragiliser ces derniers. Tous les matériaux sujets à cette fragilisation par l'hydrogène sont également très sensibles à la corrosion sous contrainte.

- Comment se forme-t-elle

Une fissuration par l'hydrogène peut se produire si le métal est soumis à des contraintes de traction statiques ou cycliques. L'hydrogène peut modifier les propriétés mécaniques et le comportement du métal .



**Figure.I.8 :** Fragilisation par l'hydrogène

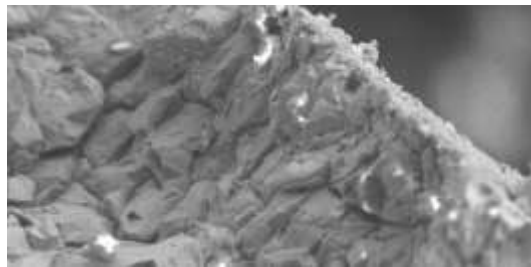
#### I.5.3.2.5. Corrosion intercrystalline

Pour comprendre la corrosion intercrystalline (IGC), imaginez que tous les métaux sont constitués de « grains ». À l'intérieur de chaque grain, les atomes sont disposés régulièrement de manière à former un réseau cristallin tridimensionnel. La corrosion intercrystalline attaque

le matériau au niveau des limites intergranulaires (là où s'assemblent les grains qui constituent le métal).

- Comment se forme-t-elle

Au cours d'une opération de soudage, d'un traitement thermique ou d'une exposition à des températures élevées, des carbures peuvent commencer à se former au niveau des limites intergranulaires. Avec le temps, la taille de ces précipités de carbure peut augmenter. Cette formation de carbure nuit à l'uniformité de la répartition des éléments au sein du métal, dans la mesure où la précipitation capte des éléments importants comme le chrome dans le matériau au voisinage des limites intergranulaires. Lorsque des fluides corrosifs (comme les acides) attaquent les zones où le chrome a disparu, des fissures intergranulaires peuvent se former. Ces fissures peuvent ensuite se propager dans l'ensemble du matériau sans être détectées, ce qui fait de corrosion intergranulaire une forme dangereuse de corrosion.



**Figure.I.9** : Corrosion intergranulaire

### I.5.3.2.7. Corrosion galvanique en présence d'un électrolyte

La corrosion galvanique se produit quand deux matériaux aux potentiels d'électrode différents entrent en contact l'un avec l'autre en présence d'un électrolyte.



**Figure.I. 10:** ECS signifie électrode au calomel saturé

Potentiel anodique : Des matériaux très nobles aux « surfaces passives » sont moins sensibles à la corrosion galvanique que des matériaux moins nobles ou des matériaux nobles aux «

surfaces actives ». Sur ce graphique, le magnésium est le matériau le moins noble, tandis que le graphite est le matériau le plus noble.

La très fine couche inerte présente sur un acier inoxydable est constituée d'un oxyde riche en chrome qui se forme automatiquement dans l'air ambiant et protège le matériau contre la corrosion. Cette couche inerte rend un matériau plus noble et moins sensible à la corrosion. La compatibilité des métaux peut être déterminée par leur potentiel anodique, c'est-à-dire la différence de potentiel de chaque métal mesurée dans l'eau de mer par rapport à une électrode normale.

- Comment se forme-t-elle

Lorsque la différence de potentiel entre deux métaux différents en présence d'un électrolyte est trop grande, la couche inerte qui recouvre le matériau commence à se décomposer.



**Figure.I.11** : Corrosion galvanique en présence d'un électrolyte

#### **I.5.3.2.8. Érosion-corrosion**

Corrosion dans une canalisation due à la vitesse élevée du fluide :

- par impact de particules solides
- par impact de gouttes liquides dans la vapeur (séchage de la vapeur en aval des turbines)
- par une vitesse excessive du fluide
  - exemple :
- les alliages cuivreux dans l'eau de mer (ils sont sensibles à des vitesses de quelques m/s)
- les aciers faiblement alliés : pompes alimentaires, tuyauteries de sècheurs-surchauffeurs...

#### **I.6. Facteurs de la corrosion**

Le fer est toujours allié au carbone, Le pourcentage de carbone utilisé permet de

distinguer les aciers (jusqu'à 1% de carbone) et les fontes (entre 1 % et 5 % de carbone).

Les nuances d'acier, fontes sont très nombreuses, et sont fonctions des métaux additifs supplémentaires tels le chrome, nickel, molybdène, ... ou des métalloïdes tels le bore, silicium, ... qui confèrent à l'alliage, les propriétés mécaniques souhaitées et une meilleure tenue aux agressions chimiques.

L'acier « noir » et l'acier « galvanisé » sont utilisés pour la fabrication des tubes, de tôles : chaudronnerie, la robinetterie.

L'acier inoxydable (concentration de chrome dépasse 7%) est utilisé pour la confection de tubes, éléments de robinetterie, chaudronnerie, ... il est utilisé chaque fois que l'on veut limiter au maximum la corrosion et leurs effets sur l'eau véhiculée ; mais l'acier inoxydable est tout de même sujet à certains types de corrosion qui dépendent de la nuance utilisée.

La fonte la fabrication de robinetterie, émetteurs... Sa résistance à la corrosion est très moyenne, mais généralement peu gênante du fait de l'épaisseur des pièces et des températures d'utilisation moins de 70°C. Dans tous les cas de corrosion d'un acier ou d'une fonte c'est le fer qui est attaqué.

### **I.6.1. Facteurs liés au métal**

#### **I.6.1.1. Facteurs métallurgiques**

1. les joints de grains constituent une région où la corrosion peut se développer de façon préférentielle.
2. Dans le cas d'un métal polyphasique, on observe une sensibilité plus grande à la corrosion pour l'une des structures (phases) .
3. La corrosion est d'autant plus faible que la structure est plus fine. Elle est augmentée par les hétérogénéité engendrée par l'écrouissage.

#### **I.6.1.2. Effet des impuretés (inclusions) du métal**

Un métal contenant des atomes étrangers s'attaque plus rapidement dans un réactif chimique donné que le même métal pris à un degré de pureté élevé.

### **I.6.1.3. Effet de l'état de surface**

La présence des dépôts, des trous, des rayures sur la surface du métal conduit à la corrosion localisée.

### **I.6.1.4. Effet de la soudure**

La présence d'une soudure favorise également l'attaque du métal.

## **I.6.2. Facteurs liés à la solution**

### **I.6.2.1. Influence de l'oxygène dissous**

Son rôle est double : il agit comme dépolarisant ou comme transformateur des produits de corrosion (transformation de  $Fe^{+2}$  en  $Fe^{+3}$ ).

### **I.6.2.2. Influence de la température**

Généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de corrosion, car elle diminue les domaines de stabilité des métaux et accélère les cinétiques de réactions et de transport. L'importance de son influence diffère cependant en fonction du milieu corrosif dans lequel se trouve le matériau

### **I.6.2.3. Influence de pH**

La susceptibilité du matériau à la corrosion est fonction du pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifie les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques, donc La corrosion augmente avec la diminution du pH du milieu

### **I.6.2.4. Influence de la salinité**

La présence des ions chlorures en solution provoque une agressivité du milieu électrolytique qui peut être l'origine de la corrosion localisée

### **I.6.2.5. Influence des bactéries**

Les bactéries entraînent la formation des biofilm et provoquent par conséquent la corrosion par aération différentielles.

## **I.7. Conclusion**

Nous avons présenté dans ce chapitre les différents types de corrosion, son mécanisme ainsi que les facteurs et les influences de la corrosion

# Chapitre II : les inhibiteurs de co: et

## **II.1. Introduction**

La prévention de la corrosion doit être envisagée dès la phase de conception d'une installation. En effet, des mesures préventives prises au bon moment permettent d'éviter de nombreux problèmes lorsqu'il s'agit de garantir une certaine durée de vie à un objet, notamment pour des industries telles que le nucléaire, l'industrie chimique ou l'aéronautique, où les risques d'accident peuvent avoir des conséquences particulièrement graves pour les personnes et l'environnement.

La protection contre la corrosion comprend les méthodes suivantes :

- Choix judicieux des matériaux;
- Forme adaptée des pièces;
- Ajout d'inhibiteurs aux circuits;
- Utilisation de revêtements;
- Protection électrochimique.

## **II.2. Les inhibiteurs de corrosion**

### **II.2.1. Définition des inhibiteurs de corrosion**

D'après National Association of Corrosion Engineers (NACE), un inhibiteur est une substance chimique qui retarde la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement agressif en faible concentration . 8 Un inhibiteur est efficace s'il satisfait un certain nombre de critères :

- Réduire la vitesse de corrosion du métal sans affecter les propriétés physicochimiques du milieu ou du métal.
- Être stable aux températures d'utilisation et en présence des autres constituants du milieu, en particulier avec les oxydants.
- Être soluble et disperser dans le milieu.
- Être efficace à faible concentration.
- Respecter les normes de non-toxicité.
- Peu onéreux.[9]

### **II.2.3. la classification des inhibiteurs de corrosion**

Il existe plusieurs façons de classer les inhibiteurs de corrosion :

### **II.2.3.1. Selon leur composition chimique**

#### **II.2.3.1.1. Les inhibiteurs organiques**

représentent un groupe très important d'inhibiteurs de corrosion, ils sont généralement utilisés en milieu acide ; cependant, en raison de leur écotoxicité, ils sont de plus en plus utilisés en milieu neutre/alcalin. Leur efficacité est liée à :

-Sa structure ; ils comportent une partie non polaire, hydrophobe, constituée d'une ou plusieurs chaînes hydrocarbonées et une partie polaire, hydrophile, constituée d'un ou plusieurs groupes fonctionnels : amine (-NH<sub>2</sub>), hydroxyle (-OH), mercapto (-SH), phosphonate (-PO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>), sulfonate (-SO<sub>3</sub>H), carboxyle (-COOH) et leurs dérivés (les groupes fonctionnels usuels, permettant de se fixer sur la surface du métal,

-Sa concentration dans le milieu

-Et aux propriétés chimiques de la couche formée, leur action réside dans le résultat de leur adsorption à la surface du matériau. Après cette adsorption, ils ont une double action ralentissant simultanément les processus anodique et cathodique.

-Son poids moléculaire et leur utilisation est préférés pour des raisons d'écotoxicité.

#### **II.2.3.1.2. Les inhibiteurs inorganiques (minéraux)**

sont utilisés en milieux neutre/alcalin mais rarement en milieu acide. Les molécules minérales se dissocient en solution et les anions et cations assurent en fait une inhibition efficace.

-Parmi les anions inhibiteurs, on trouve les chromates, les phosphates, les molybdates, les nitrates, les nitrites, les silicates, etc.,

-Et parmi, les cations inhibiteurs on trouve essentiellement les ions Ca<sup>2+</sup> et Zn<sup>2+</sup>. Les inhibiteurs minéraux sont de moins en moins utilisés en raison de leur toxicité. Leur emploi se limite à certains systèmes en circuit fermé[10]

### **II.2.3.2. Selon leur mécanisme réactionnelle**

#### **II.2.3.2.1. Les inhibiteurs passivant**

La passivation est le fait de rendre un métal non-réactif suite à l'application d'un revêtement ou au moyen d'une modification plus spécialisée de sa surface. Certains inhibiteurs oxydants agissent en provoquant une passivation spontanée du métal, ce qui diminue la vitesse de corrosion. La passivation peut être favorisée également par des agents tampons qui augmentent le pH près de la surface métallique . Ce sont les inhibiteurs minéraux en générale qui agissent par passivation. Ils provoquent la passivation spontanée du substrat métallique en

renforçant la couche protectrice d'oxyde formée naturellement sur la surface du métal. Ils se réduisent sur les pores de la couche d'oxyde/hydroxyde plus ou moins protectrice qui se forme naturellement sur la surface du métal. L'ion chromate est l'un des inhibiteurs passivant par excellence mais son usage est limité à cause de son caractère cancérigène et sa forte toxicité. [11]

#### **II.2.3.2.2. Les inhibiteurs d'adsorption**

Suite à l'adsorption d'une espèce inhibitrice à la surface du métal, la corrosion peut ralentir. En général, ce sont les inhibiteurs organiques qui agissent par adsorption. Cela empêche l'action du milieu agressif par la fixation de ces espèces sur la surface métallique. Cette fixation s'effectue principalement par la fonction active de l'inhibiteur; mais d'autres parties polaires peuvent aussi être adsorbées. Les inhibiteurs agissant par la chimisorption s'avèrent souvent plus efficaces que ceux agissant par la physisorption, car le partage des électrons renforce la liaison entre le substrat métallique et l'espèce inhibitrice. Pour la chimisorption, la molécule inhibitrice se comporte comme donneur d'électrons et le métal se comporte comme un récepteur de ces mêmes.[11]

#### **II.2.3.2.3. Inhibition de corrosion par précipitation**

Certains inhibiteurs provoquent la formation de films superficiels par précipitation de sels minéraux ou de complexes organiques peu solubles. Ces films réduisent l'accessibilité de l'oxygène à la surface et, en plus, ils bloquent partiellement la dissolution anodique [35]. Les inhibiteurs agissant par précipitation provoquent la formation d'un film superficiel constitué de sels minéraux ou de complexes organiques peu solubles formés lors de la précipitation des produits de réaction cathodique tout en bloquant la dissolution anodique. Il s'agit généralement de sels d'acide faible et de base forte comme les borates, les silicates, les phosphates, les poly-phosphates et les sels de zinc[11]

#### **II.2.3.2.4. Inhibition de corrosion par élimination de l'agent corrosif**

Ce type d'inhibition n'est applicable que dans les systèmes fermés. Il se pratique notamment dans les circuits d'eau chaude des centrales thermiques. Une faible quantité de sulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) ou d'hydrazine ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) ajoutée à l'eau, préalablement dégazée et dé-ionisée, supprime les dernières traces d'oxygène et élimine ainsi la corrosion[11]

#### **II.2.3.3. Selon la nature électrochimique du processus**

On distingue trois types d'inhibiteurs

#### **II.2.3.3.1. Les inhibiteurs cathodiques**

Ils sont nommés ainsi car ils s'opposent à la réduction de l'oxygène dissous ou des ions H<sup>+</sup> qui est la *réaction cathodique*.

La réaction cathodique tend à élever le pH du milieu. Les inhibiteurs cathodiques (sels de zinc, polyphosphates, phosphonates) forment, à pH élevé, un film insoluble et non conducteur de l'électricité qui protège le métal.

Ils sont rarement utilisés seuls, mais renforcent l'action des inhibiteurs anodiques. Quelques exemples:

- zinc + chromate
- zinc + phosphate
- zinc + phosphonate
- phosphate + phosphonate
- phosphate + polyphosphate[12]

#### **II.2.3.3.2. Les inhibiteurs anodiques**

Ils sont nommés ainsi car ils s'opposent à la dissolution du métal qui est la *réaction anodique*.

Leur rôle est de favoriser la formation d'un film protecteur d'oxyde ferrique "gamma" ( $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Ils peuvent être de type:

- "oxydant" (chromates, nitrites) ne nécessitant pas de présence d'oxygène dissous,
- "non-oxydant" (phosphates, benzoates, molybdates) mais ayant besoin d'oxygène dissous pour agir.[12]

#### **II.2.3.3.3. Les inhibiteurs mixtes**

Ces inhibiteurs diminuent la vitesse des deux réactions partielles, mais modifient peu le potentiel de corrosion.[12]

#### **II.2.4. Conditions d'utilisation**

Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être utilisé comme unique moyen de protection :

- soit comme protection permanente ; l'inhibiteur permet alors l'utilisation de matériaux métalliques (ferreux non alliés, par exemple) dans des conditions satisfaisantes de résistance à la corrosion ; une surveillance de l'installation s'impose ;
- soit comme protection temporaire pendant une période où la pièce ou l'installation est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage) ; dans ce cas, le contrôle du système est *a priori* plus simple, la prévision du comportement de l'inhibiteur dans le temps étant plus facile à faire.

Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être combiné à un autre moyen de protection : protection supplémentaire d'un alliage à haute résistance à la corrosion, addition à un revêtement de surface tel que peinture, graisse, huile, etc [13]

### **II.2.5. Mécanismes et principes d'action**

Les inhibiteurs de corrosion n'ont pas un mode d'action propre, unique, mais ils sont liés au système de corrosion. Un inhibiteur peut agir comme une barrière entre le métal et le milieu corrosif, et celle-ci peut être préexistante (couche d'oxyde ou d'hydroxyde déjà formée). Dans ce cas les mécanismes font intervenir le plus souvent des processus d'adsorption et de blocage de surface (Figure I.10). Le mode d'action peut aussi être de nature cinétique, l'inhibiteur peut alors ralentir la vitesse de la réaction cathodique ou de la réaction anodique ou agir simultanément sur les deux. L'inhibition peut aussi résulter de la formation d'un composé insoluble qui colmate les zones sensibles et la vitesse de corrosion diminue alors avec le temps. [14]

### **II.2.6 Domaines d'emploi des inhibiteurs**

Leur domaine d'utilisation couvre les milieux acides, la vapeur, et les eaux de refroidissement. Il n'existe pas de système inhibiteur universel et chaque situation doit faire l'objet d'une analyse englobant l'ensemble des matériaux présents, la teneur en sels, le pH et la concentration en oxygène. Nous allons dans ce paragraphe passer en revue quelques situations courantes en citant les types d'inhibiteurs classiquement utilisés. Dans le cas d'un circuit véhiculant de l'eau déminéralisée (peu corrosive compte tenu de sa résistivité élevée), des concentrations minimales d'inhibiteurs minéraux comme les chromates, nitrites, polyphosphates, benzoates ou borax permettent d'obtenir une bonne protection. En présence

d'oxygène, il suffit généralement d'abaisser sa teneur à moins de 0,1 ppm par dégazage ou par ajout d'un désoxygénant. On peut également, suivant les matériaux, utiliser un inhibiteur passivant. Toutefois, lorsque le circuit contient des chlorures, l'acier peut se révéler difficile à passiver. Pour de fortes concentrations de chlorures (ainsi qu'en présence de sulfates), nous ferons donc plutôt appel à des inhibiteurs non passivant. Dans les systèmes de réfrigération en circuit fermé, en éliminant l'oxygène, la corrosion est alors contrôlée par un simple ajustement du pH à une valeur suffisamment élevée. Les chromates et les nitrites sont efficaces dans ce cas. Il faut toutefois s'abstenir d'employer les nitrites, si les canalisations sont à base de cuivre (ou alliage) car la formation d'ammoniaque est incompatible avec ces matériaux. [14]

### **II.3. les inhibiteurs verts**

Un inhibiteur de corrosion doit abaisser la vitesse de corrosion du métal tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques de ce dernier. Mais l'inconvénient principal, est que la plupart de ces inhibiteurs sont toxiques ou cancérigènes et nuisibles à l'environnement même si leur efficacité inhibitrice est bonne. Pour cela, des recherches ont été récemment menées vers l'utilisation des huiles essentielles d'origine naturelle comme inhibiteurs de corrosion, car ces substances n'agressent pas l'environnement et sont écologiquement satisfaisantes. En raison de la crise sanitaire causée par le covid-19, ce mémoire de master est dédié à une étude bibliographique sur les travaux de recherche de la littérature lié à l'application des huiles essentielles des plantes utilisées comme des inhibiteurs de corrosion en milieu acide. Nous nous sommes plus basés sur l'étude de l'huile essentielle de la griffe de la sorcière en tant qu'inhibiteur de corrosion de l'acier doux dans HCl 1M ..par rapport à ce qui est utilisé dans la zone industrielle de skikda (topping de condensat) Ra2k. [15]

#### **II.3.1. Matière végétale étudié La Griffes de sorcière (Carpobrotus edulis )**



**Figure II.12:** plante La Griffe de sorcière (*Carpobrotus edulis* )

### II.3.1.1. Description générale

Plante grasse herbacée vivace, rampante ou pendante, pouvant atteindre plusieurs mètres de long et formant de grands “tapis”. Subligneeuse à sa base, le système racinaire fibreux est très dense et se concentre dans la partie supérieure du sol. A chaque nœud de la tige, de nouvelles racines peuvent se former. Les feuilles, longues de 8 à 11 cm, sont disposées de manière opposées sur la tige et séparées par des entre nœuds de plusieurs centimètres. Le limbe des feuilles est charnu à 3 angles, plus ou moins recourbé au sommet en forme de griffe. Sa section transversale est en forme de triangle équilatéral. Sa couleur généralement verte peut virer au rouge selon la température et le taux d’humidité. Les grandes fleurs de couleur jaune clair (5 à 12 cm de diamètre) sont des fleurs solitaires à nombreux pétales linéaires et sépales inégaux, en position terminale. Les fruits formés sont charnus, en forme de figue, appelés “Figues des Hottentots”. Ils contiennent de nombreuses petites graines (1000 à 1800 graines par fruit, graine de 1mm de long) engluées dans un mucilage très collant [16]



C. Edulis.



C. acinaciformis

**Figure II.13 :** classements de griffe de sorcière

### II.3.1.2. Nomenclature

- Doigt-de-sorcière
- Ficoïde à feuilles en sabre
- Bâlsam menut
- Hottentot Fig
- Red Hottentot-fig
- Rode Hottentotvijg
- Rote Mittagsblume
- Sally-my-handsome [17]



**Figure II.14:** plante La Griffe de sorcière (*Carpobrotus edulis* )

### II.3.1.3. Origine géographique

Cette plante pousse sur les sols sableux, souvent sur les dunes littorales ou dans l'arrière-dune, mais on peut aussi la trouver sur les falaises ou rochers du littoral. Elle forme souvent de grands tapis végétaux pouvant couvrir plusieurs mètres carrés<sup>1</sup>.

En Afrique du Sud.[18]

### II.3.1.4. Usages actuels

- Ornement

Espèce commercialisée (site internet, jardinerie) à destination des jardiniers pour ses qualités ornementales (couvresol ou en “cascades”).

- Aménagement

Espèce plantée pour orner les talus routiers et les ronds-points. Elle est aussi utilisée pour stabiliser les

dunes, les talus et les remblais face à l'érosion et couvrir des surfaces stériles (constructions,

- Médical

Le jus des feuilles de *Carpobrotus* est un astringent doux. Dilué dans de l'eau, il peut être utilisé pour traiter la diarrhée, la dysenterie et des crampes d'estomac. Ou encore comme un gargarisme pour les maux de gorge et la laryngite, ainsi que pour les infections bactériennes légères de la bouche

Le jus de feuilles peut également être utilisé en externe, tout comme celui d'Aloe Vera contre les brûlures, écorchures, coupures, égratignures et les coups de soleil. Ainsi que contre la teigne, l'eczéma, la dermatite, l'herpès, le muguet, les boutons de fièvre, les gerçures des lèvres, les allergies cutanées.

Un ancien remède à la constipation est de manger le fruit avec de l'eau salée. Un sirop fait à partir du fruit a des propriétés laxatives

### II.3.1.5. classification

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Caryophyllidae
Ordre.	Caryophyllales
Famille	Aizoaceae
Genre	Carpobrotus
Classification	phylogénétique
Ordre.	Caryophyllales
Famille	Aizoaceae



**Figure II.15** : plantes griffe de sorcière

## **II.4. Extractions**

De nos jours, l'extraction végétale est devenue un véritable savoir-faire. Des protocoles précis s'adaptent aux matières premières et aux actifs recherchés afin de respecter l'intégrité des composants végétaux et d'obtenir des extraits ultra purs et concentrés en molécules actives

Depuis plusieurs millénaires, l'Homme a développé des méthodes d'extraction à partir de plantes. Les procédés les plus ancestraux permettaient par exemple d'obtenir des arômes, des parfums ou encore des pigments. Décoction, macération et hydrodistillation sont en effet des exemples de techniques d'extraction qui existent depuis des millénaires.

Les méthodes sont cependant très variées et ne sont pas équivalentes, notamment du point de vue de la pureté de l'extrait obtenu et de sa sécurité d'emploi.[18]

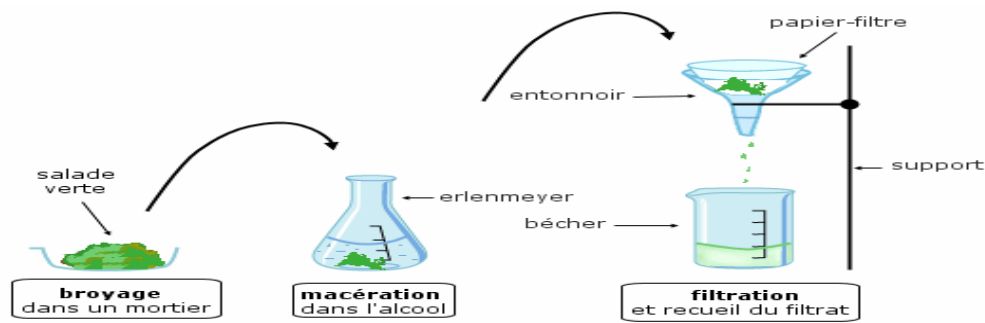
### **II.4.1. Définition**

Opération qui consiste à récupérer une substance d'intérêt contenue dans une matière première alimentaire, soit parce qu'elle est recherchée (arôme végétal comme le saffrole dans la cannelle), soit parce qu'elle est indésirable (alcaloïde comme la caféine dans le café). Cette opération peut se réaliser mécaniquement (extraction par pression) ou chimiquement (extraction par solvant).[19]

### **II.4.2. Types d'extractions**

#### **II.4.2.1. Extraction solide-liquide**

La technique d'extraction par solide-liquide consiste à mettre en contact une matière première solide et broyée et un solvant liquide. Le solvant est sélectionné de sorte que toutes les espèces à extraire du solide soient solubles dans ce solvant



**Figure II.16 :** schéma d'extraction par solide-liquide

Déroulé d'une extraction solide-liquide: Dans un premier temps, on peut avoir recours à l'une des techniques suivantes :

#### **II.4.2.1.1. La macération**

a matière première solide est mise en contact avec un solvant froid [20]



**Figure II.17:** macération

#### **II.4.2.1.2. L'infusion**

la matière première solide est mise en contact avec un solvant chaud[20]

#### **II.4.2.1.3. La décoction**

la matière solide est chauffée avec le solvant jusqu'à ébullition [20]

#### **II.4.2.1.4. La filtration**

La filtration est probablement la méthode de séparation la plus facile à mettre en oeuvre. On peut observer cette technique quotidiennement.

La filtration est un procédé de séparation qui permet de séparer des constituants liquides et solides d'un mélange hétérogène. Elle consiste à faire passer à travers un filtre un mélange

hétérogène contenant des particules en suspension. Ces particules sont alors retenues par le filtre. On recueille après filtration un mélange homogène appelé filtrat ainsi que dans le filtre des particules appelées résidus. Il existe deux types de filtration : la filtration frontale et la filtration tangentielle.

- Filtration frontale

La filtration frontale est la méthode de filtration la plus utilisée. C'est par exemple celle que l'on utilise dans une cafetière à filtre. On y insère le mélange à filtrer perpendiculairement au filtre. Il retient alors toutes les particules en laissant passer le liquide. L'inconvénient de ce système est que si trop de particules sont présentes dans le filtre il est possible que le filtre soit saturé et ne fonctionne plus.

- Filtration tangentielle

Cette filtration permet de faire passer un fluide à la surface du filtre. Dans ce cas de figure, il s'agit de la pression du liquide qui lui permet de traverser le filtre. Les particules restent alors dans le flux, ce qui diminue le risque de colmatage du filtre. On utilise cette méthode pour filtrer des particules de petite taille, comprenant des tailles du micromètre jusqu'au nanomètre.[21]

#### **II.4.2.2. L'extraction liquide-liquide**

est un procédé de chimie séparative. Elle permet de récupérer, avec une grande sélectivité, un élément chimique présent dans un mélange complexe ou un matériau, afin de le recycler. Après une dissolution préalable du matériau, elle consiste à séparer l'élément d'intérêt en le mettant en contact avec une molécule extractante spécifique. Exemple avec le dysprosium (famille des terres rares) qui entre dans la composition des aimants permanents des moteurs d'éoliennes



**Figure II.18** : extraction liquide-liquide

### **II.4.2.3. L'hydrodistillation**

est une technique d'extraction qui consiste à extraire des molécules contenues dans un mélange grâce à la vapeur d'eau qui est ensuite recondensée. On dit aussi que c'est un entraînement à la vapeur.

En effet, sous l'effet de la chaleur, les espèces volatiles à extraire sont entraînées par les vapeurs d'eau, puis le passage de ces espèces dans une colonne réfrigérée permet de les refroidir et les récupérer sous forme liquide : c'est le phénomène de condensation.

Les espèces présentes dans les fleurs, les écorces ou encore les fruits peuvent être extraites grâce à cette technique pour obtenir des huiles essentielles.[20]



**Figure II.19** : montage de l'hydrodistillation

## **II.5. Conclusion**

Nous avons présenté dans ce chapitre les inhibiteurs de corrosion et leurs types, suivis par description de la plante de griffe de sorcière et comment nous avons fait l'extraction de la plante.

# Chapitre III :

# Matériels et Méthodes

## **III.1. Protocol expérimental**

### **III.1.1. Composition chimique des aciers**



**Figure III 20** : Les pièces de l'acier

#### **III.1.1.1. Composition de l'acier utilisé dans la méthode gravimétrique**

Nous avons importé l'acier utilisé dans l'expérience de la perte de masse de la zone industrielle de skikda , complexe topping de condensat , unité 500 (tuyauterie de l'eau de refroidissement)

-La fiche technique de l'acier utilisé : annexe 1

-La description de l'unité 500 : annexe 2

#### **III.1.1.2. Composition de l'acier utilisé dans la méthode électrochimique**

Nous avons importé l'acier utilisé dans l'expérience de la méthode électrochimique de la zone industrielle de Skikda, complexe topping de condensat , unité 200 ( tuyauterie d'un échangeur)

-La fiche technique de l'acier utilisé : annexe 3

- La description de l'unité ..... : annexe 4

### **III.1.2. Préparation de l'acier**

- Nous avons coupé l'acier en petits carrées de surface  $1\text{cm}^2$
- Nous avons dressé la surface que nous voulons observer à la meule en conférant une planéité aussi parfaite que possible
- Nous avons subi les pièces à un décapage chimique (en utilisant une solution d'HCL concentrée pendant 4 h.)
- Nous avons utilisé des papiers abrasif de carbure de silicium de plus en plus fins allant du 100  $\mu\text{m}$  jusqu'au 2000  $\mu\text{m}$ . Les échantillons sont ensuite rincés soigneusement à l'eau déminéralisée puis séchés à l'air comprimé



décapage mécanique



décapage chimique

**Figure III.21** : décapage chimique et mécanique de l'acier

### III.1.3. Préparation des inhibiteurs

#### III.1.3.1. L' inhibiteur vert de la griffe de sorcière

##### III.1.3.1.1. Récolte

Nous avons cueilli la griffe de sorcière de la plage Jeanne d'arc SKIKDA



**Figure III.22** : récolte la plante de griffe de sorcière

##### III.1.3.1.2. Séchage

-Nous avons désépiné et lavée la griffe de sorcière à l'eau soigneusement pour enlever toute trace de saleté ou de contaminants. Puis, la coupé en petits morceaux

-Nous avons séché la plante à une étuve pendant 24 à 48 heures ou jusqu'à ce qu'elle soit complètement sèche



**Figure III.23** : séchage de la griffe de sorcière dans l'étuve



**Figure III.24** : la Griffe de la sorcière avant le séchage

#### **III.1.3.1.3. Broyage**

Nous avons broyé les plantes en poudre fine à l'aide d'un broyeur électrique



**Figure III.25** : broyage de la griffe de la sorcière

#### III.1.3.1.4. Protocol de macération

-Nous avons mis 830 g de poudre des plantes dans un bécher.

-Puis nous avons ajouté 1551 ml de mélange d'éthanol et d'eau pour couvrir la poudre de plante



**Figure III.27** : le mélange (poudre de la plante, éthanol et eau)

- Nous avons effectué une macération à 150-200 rpm pendant 24 heures à la température ambiante pour permettre à la plante de libérer ses composés dans le solvant organique.



**Figure III.27** : Macération

#### III.1.3.1.5. Filtration

- Nous avons filtré le mélange à travers un papier filtre Whatman pour éliminer les débris de la plante. La procédure de la filtration a été répétée à travers un bécher et un entonnoir de filtration sous vide pour améliorer l'efficacité de la filtration

- Nous avons récupéré le filtrat dans un flacon



**Figure III.28** : filtration sous vide et filtration normale

#### **III.1.3.1.6. Rotavap**

-Nous avons transféré le filtrat dans un Rotavap préchauffé à 70°C pour éliminer l'éthanol et concentrer le composé d'intérêt en contrôlant la température de Rotavap pour éviter une surchauffe du composé d'intérêt et préserver sa stabilité.

( Dans le Rotavap, on réalise une évaporation sous vide en utilisant une pompe à vide avec une vanne de contrôle. Pendant l'évaporation le ballon est mis en rotation et plongé dans un bain liquide chauffé. L'appareil est muni d'un réfrigérant avec un ballon-collecteur de condensat. La rotation du ballon crée une surface d'échange plus grande et renouvelée permettant donc d'effectuer une évaporation rapide. L'abaissement de la pression permet d'évaporer le solvant à température réduite, évitant ainsi la dégradation thermique éventuelle des composés. C'est une méthode d'évaporation simple, utile, douce et rapide.)



**Figure III.29** : Rotavap

#### **III.1.3.1.7 Séchage**

-Nous avons séché l'extrait de plante dans une étuve à température 70 c° pendant 24 h



**Figure III.30** : l'extrait de la griffe de sorcière après le séchage

#### **III.1.3.2. L'inhibiteur utilisé dans le complexe RA2K**

Annexe 5

#### **III.1.4. milieu d'étude**

##### **III.1.4.1. La solution de l'HCl**

A partir d'une solution concentrée d'acide chlorhydrique nous avons préparé des solutions de (50 mL) de concentration 1 mol/l

La concentration de l'acide chlorhydrique utilisée est calculée selon les relations comme suit :

$$C_0 = \frac{10 \cdot P \cdot d}{M}$$

Avec :

P : pureté

D : la densité

M : la masse molaire de la solution en g/mol

$$C_0 = \frac{10 \times 36.5 \times 1.18}{36.458}$$

$$C_0 = 11.81 \text{ mol/l}$$

Le volume d'HCl utilisé pour préparer une solution de concentration 1 mol/l est déterminé  
comme suit

$$C_0 V_0 = CV \quad \rightarrow \quad V_0 = \frac{CV}{C_0} = \frac{1.50 \times 10^{-3}}{11.81}$$

$$V_0 = 4.23 \text{ ml}$$

#### **III.1.4.2. La solution de l'eau de La tour de refroidissement**

Nous avons utilisé l'eau importée de la tour de refroidissement du complexe RA2K unité 500  
et voici le rapport d'essais effectuée





**Figure III.32** : un spectrophotomètre

### **III.1.5.2. Technique des analyses de concentrations du fer**

- Prendre 100 ml d'échantillon dans une fiole jaugé
- Ajouter 2 ml HCL (1/1)
- Faire bouillir jusqu'au volume de 40 à 50 ml
- Ajouter 2 ml CHLORYDRATE D'HYDROXILAMINE
- Ajouter 5 ml D'ACTETAE D'AMMONIUM et mélanger
- Ajouter 5 ml de TPTZ et mélanger
- Compléter avec l'eau distillée à 100 ml
- Allumer le spectrophotomètre DR2800 après l'initialisation choisir la méthode Fer TPTZ (270) dans le programme favori
- Attendre 10 min (on utilisant la minuterie du spectrophotomètre
- Introduire la blanc (eau distillé) en utilisant la cellule de 10 ml dans le spectrophotomètre at appuyer sur ZERO
- Noter le résultat en mg/l fer total [23]

Après avoir terminé l'expérience, faire les analyses de concentration du fer

## **III.2. Technique gravimétrique**

### **III.2.1. Préparation des échantillons**

#### **III.2.1.1. Pour l'inhibiteur chimique**

- Nous avons préparé six solution à différents concentrations d'inhibiteur chimique et d'HCl avec un volume total égale à 50 ml .puis nous avons immergé une pièce d'acier dans chaque solution

- Les proportions utilisées sont présentées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.1 :** Le pourcentage de l'inhibiteur et l'Hcl dans chaque solution

Echantillon Composition	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	Echantillon 5	Echantillon 6
Volume (ml ) d'HCL ajoutés	50	47.5	45	42.5	40	37.5
Volume (ml) d'inhibiteurs chimiques ajoutés	0	2.5	5	7.5	10	12.5



**Figure III.33 :** 6 solutions à différents concentrations d'inhibiteur chimique

### III.2.1.2. Solution de l'extrait de la griffe de la sorcière

-Après avoir pesé l'extrait de griffe de sorcière puis nous avons préparé six solutions à différentes concentrations de volume égal à 50 ml

**Tableau III.2 :** Le pourcentage de l'inhibiteur vert et l'Hcl dans chaque solution

Echantillon Composition	Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4	Echantillon 5	Echantillon 6
Volume (ml ) d'HCL ajouté	50	47.5	45	42.5	40	37.5
Volume(g) d'inhibiteur vert ajouté	0	2.5	5	7.5	10	12.5



**Figure III.34** : six solutions de l'extrait de Griffé de la sorcière à différentes concentrations

### III.2.2. Mesure gravimétrique

#### III.2.2.1 Mesure de la perte de masse

La perte de masse est la méthode la plus ancienne de mesure de la corrosion, et qui se base sur la détermination de la vitesse de corrosion. C'est une méthode simple, elle donne des informations très utiles à des prix relativement bas et sans perturbation des systèmes. Son principe est l'immersion de l'échantillon, de surface (S), à étudier dans le milieu corrosif considéré (après sa pesée) pendant une durée (t) bien définie. Ensuite, l'évaluation se fait visuellement. L'inspection visuelle de la morphologie de la corrosion, puis, après lavage, l'échantillon est de nouveau repesé pour déterminer la perte de masse ( $\Delta m$ ).[25]

$$\Delta m = m_0 - m_1$$

$m_0$  : La masse de l'échantillon initiale (g)

$m_1$  : La masse de l'échantillon finale (g)

$\Delta$  : Le taux de corrosion de l'échantillon (g) [24]

Nous avons pesé les échantillons immergés dans les milieux corrosifs pendant 41 jours

#### III.2.2.2. Mesure de la vitesse

La vitesse de corrosion est donnée par la relation suivante :

$$V_{corr} = \frac{\Delta m}{S \cdot t}$$

### III.2.2.3. Mesure d'efficacité

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

$$E (\%) = \frac{V_{corr} - V_{inh}}{V_{corr}} \times 100$$

Où  $V_{corr}$  et  $V_{inh}$  représentent respectivement les vitesses de corrosion sans inhibiteur et en présence d'inhibiteur[25]

### III.3. Technique d'observations visuelles des surfaces

L'observation des surfaces des échantillons, est une méthode qualitative qui se fait à l'oeil nu ou par microscopie. Elle permet de mettre en évidence, soit un ternissement, soit des formes de corrosion telles que : les crevasses ou les piqûres, c'est-à-dire la morphologie de corrosion.

#### III.3.1. Préparation des échantillons

- Nous avons préparé trois bocaux en verre
- Nous avons rempli chacune de 50 ml de HCL (1mol/l)
- Nous avons laissé une des trois bocaux comme témoin (sans rajout)
- Nous avons rajouté cinq ml de l'inhibiteur utilisé dans le complexe topping de condensat dans l'une des deux bocaux restants
- Nous avons rajouté cinq grammes de l'inhibiteur vert qu'on a préparés dans le deuxième bocal
- Nous avons mis dans chacune des trois bocaux, trois clous de forme différente



**Figure III.35** : Les trois bocaux qui contiennent trois clous de forme différente

**remarque :**

au cours de l'expérience nous avons remarqué l'apparition des moisissures dans la solution composée de l'eau de refroidissement et l'inhibiteur vert donc nous avons refait l'expérience en ajoutant 1 ml des deux biocides importés de la zone industrielle RA2K dans les trois solutions pour éviter la formation des moisissures



**Figure III.36 :** la formation des moisissures dans la solution



**Figure III.37:** Les deux biocides importés de la zone industrielle RA2K

- La fiche technique du biocide : annexe 6
- La fiche technique du bio-dispersant : annexe 7

### **III.3.2. Suivi de la dégradation de l'acier**

- Nous avons pris des photos pendant des durées différentes

### **III.3.3. Les analyses de concentration de fer**

Après avoir terminé l'expérience, nous avons effectué les analyses de l'évaluation de la concentration du fer suivant le protocole déjà cité.

## **III.4. Technique des isothermes d'adsorption**

### **III.4.1. Définition d'isothermes d'adsorption**

Les isothermes d'adsorption sont des courbes expérimentales qui représentent les variations (masse ou volume) du substrat adsorbé (gaz ou liquide) par poids d'adsorbant en fonction de la concentration (en phase liquide) ou de la pression (en phase gazeuse).

Elles sont exprimées généralement sous formes d'équations mathématiques, lesquelles sont obtenues à partir d'expériences réalisées

en réacteur statique. Elles permettent essentiellement :

- de déterminer le taux de recouvrement de la surface d'un support par un substrat,
- d'identifier le type d'adsorption pouvant se produire,
- de choisir l'adsorbant qui conviendrait le mieux à la rétention de l'adsorbat.
- les isothermes d'adsorption n'expliquent pas les mécanismes d'adsorption. Ils conduisent seulement à une comparaison de différents systèmes entre eux

### **III.4.2. les types des isothermes d'adsorption**

#### **III.4.2.1. Isotherme de Langmuir**

La théorie de Langmuir (1918) a permis l'étude de l'adsorption de molécules de gaz sur des surfaces solides. Elle repose sur les hypothèses suivantes :

- l'adsorption se produit sur des sites localisés d'égale énergie;
- l'adsorption se produit en monocouche;
- Il n'y a pas d'interaction latérale entre les molécules adsorbées à la surface;
- La réaction est réversible (c'est-à-dire qu'il y a équilibre entre l'adsorption et la désorption);
- le nombre de sites d'adsorption sur la surface est limité.

L'isotherme de Langmuir est difficilement utilisable pour des systèmes naturels où l'adsorption en couche simple sur un seul type de site est rarement rencontrée. L'isotherme est représentée par l'équation suivante

$$Q_e = \frac{a \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e}$$

Q : Quantité de substance adsorbée à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg.g<sup>-1</sup>) ;

C<sub>e</sub> : Concentration du substrat en adsorbat à l'équilibre (mg.L<sup>-1</sup>) ;

a : Capacité d'adsorption à la saturation (mg.g<sup>-1</sup>)

b : coefficient d'adsorption (L.mg<sup>-1</sup>), c'est également la constante d'adsorption

spécifique de l'adsorbat sur l'adsorbant. Cette constante est liée à la température et au système adsorbant adsorbat.

a . b = KL : constante d'équilibre de Langmuir (L.g<sup>-1</sup>) ;[25]

La linéarisation de l'équation (I.2) conduit à l'équation suivante

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{a \cdot b \cdot C_e} + \frac{1}{a}$$

### III.4.2.2. Isotherme de Freundlich

En 1962, Freundlich a proposé un autre modèle pour décrire l'adsorption en milieu gazeux ou liquide. Ce modèle est représenté par une équation à deux paramètres ( $K_f$  et  $n$ ) et consiste en une distribution exponentielle des énergies des sites d'adsorption à la surface du support et se caractérise par une adsorption en sites localisés.

Il convient de mentionner aussi, que celui-ci s'applique dans le cas des solutions diluées. Il peut être décrit par l'équation suivante

$$Q_e = K_f \cdot C_e^{\frac{1}{n}}$$

$Q_e$  et  $C_e$  étant la capacité d'adsorption en mg. g<sup>-1</sup>

et la concentration du substrat en adsorbat à l'équilibre (L<sup>-1</sup>.mg) respectivement.

$K_f$  et  $n$ , constantes de Freundlich, sont indicatives de l'intensité et de la capacité d'adsorption.[25]

Les deux paramètres de Freundlich  $K_f$  et  $n$  peuvent être déterminés expérimentalement par le passage au logarithmique de l'expression (I-4) pour donner :

$$\ln Q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e$$

### III.4.2.3. Isotherme de Temkin

L'énergie libre d'adsorption de l'adsorbat est une fonction linéaire du taux de recouvrement

$\theta$ , les constantes de vitesse chimiques sont fonction de  $\theta$ . Il y a attraction ou répulsion entre espèces adsorbées à la surface. L'équation de l'isotherme de Temkin est :

$$KC_{inh} = \frac{\exp(a\theta) - 1}{1 - \exp[-a(1 - \theta)]}$$

Où  $a$  est une constante d'interaction entre particules adsorbées,  $K$  désigne le coefficient d'adsorption et  $C_{inh}$  la concentration de l'inhibiteur dans l'électrolyte [25]

### III.5. Tehnique électrochimique

#### III.5.1. Cellule électrochimique

Dans la présente étude on utilise un montage classique à trois électrode le dispositif expérimental utilisé pour trace des courbe de polarisation et la réalisation des mesure d'impédances électrochimique est un voltalab 1 h de l'ensemble potentiostat (PGZ 301) piloté par un ordinateur qui permet l'acquisition des donnée ces donnée sont traitée et enregistrées automatiquement grâce au logiciel VoltaMaster 4

#### III.5.2. Préparation des électrodes

- Les échantillons utilisés sont des plaques de 1 cm<sup>2</sup> de surface, Sur lesquelles un fil de cuivre a été soudé pour assurer un contact électrique. Le tout a été enrobé dans une résine synthétique non attaquable par les solutions étudiées qui permet de délimiter une section circulaire libre et qui évite toute infiltration d'électrolyte. Seule la face +de travail est en contact avec l'électrolyte.
- L'électrode de travail est reliée (soudée) à un fil conducteur au cuivre
- L'échantillon a été couvert dans une résine thermodurcissable isolante effectuer a l'aide d'une moule en plastique et exposé à l'air ambiante pendant un certain temps pour que le résine se solidifie



**Figure III.38** : L'échantillon dans une moule en plastique



**Figure III.39** : électrode de travail

➤ Afin d'obtenir des résultats fiables, l'électrode de travail subit avant chaque essai un prétraitement qui consiste à :

- Un polissage de la surface de l'électrode au papier abrasif de granulométrie

croissance allant de 100  $\mu\text{m}$  jusqu'au 2000  $\mu\text{m}$  pour rendre la surface plate et lisse

- Un rinçage à l'eau distillée puis un séchage sous un flux d'air

### **III.5.3. montage électrochimique**

3 solutions ont été préparées :

- une solution contenant 100 ml de HCL
- une solution contenant 85 ml de HCL et 15 ml de inhibiteur de chimec
- une solution contenant 85 ml de HCL et 15 ml de inhibiteur de Griffe de Socière

l'électrode de travail est immergée dans chacune des trois solutions en utilisant un bécher d'une capacité de 250 ml

l'analyse électrochimie été effectuée en utilisant un Potentiostat /galvanostat de type PGZ 301 ce qui permet d'imposer ou varier un potentiel sur l'électrode de travail et donc la mesure du courant circulant entre l'électrode de travail et le contre courant associé avec un micro ordinateur et piloter par le logiciel Voltalab 4 permettent le tracé des courbes :  $I = f(E)$  et  $E = f(\log I)$



**Figure III.40:** dispositif expérimental utilisé

### **III.5.4. Méthodes des analyses électrochimiques**

L'évaluation de l'efficacité des inhibiteurs de corrosion et la caractérisation du comportement électrochimique des matériaux ont été réalisées par les méthodes électrochimiques stationnaires et transitoires.

#### **III.5.4.1. Méthodes stationnaires**

##### **III.5.4.1.1. Mesure du potentiel de corrosion**

Lorsqu'un matériau métallique est immergé dans un milieu électrolytique il tend à se dissoudre et à se charger électriquement avec création d'une double couche électrochimique assimilable à un condensateur électrique. Au bout d'un temps l'électrode métallique prend un potentiel appelé potentiel libre, potentiel d'abandon ou potentiel de corrosion, mesuré par rapport à un potentiel de référence. Le suivi de ce potentiel est indispensable avant chaque mesure électrochimique, son évolution dans le temps fournit des indications sur les aptitudes de l'échantillon à la réactivité ou à la passivité et traduit la cinétique d'évolution du matériau vers un état stationnaire aux mesures potentiodynamiques ou d'impédance électrochimique

##### **III.5.4.1.2 Courbe de polarisation**

Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact d'un électrolyte, elle consiste à faire varier de façon continue le potentiel appliqué à l'électrode de travail depuis le domaine cathodique jusqu'au domaine anodique en enregistrant pour chaque valeur de potentiel et la valeur de la densité de courant correspondante

Les courbes  $E=f(I)$  ou  $I=f(E)$  constituent les courbes de polarisation. 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... 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 [24]

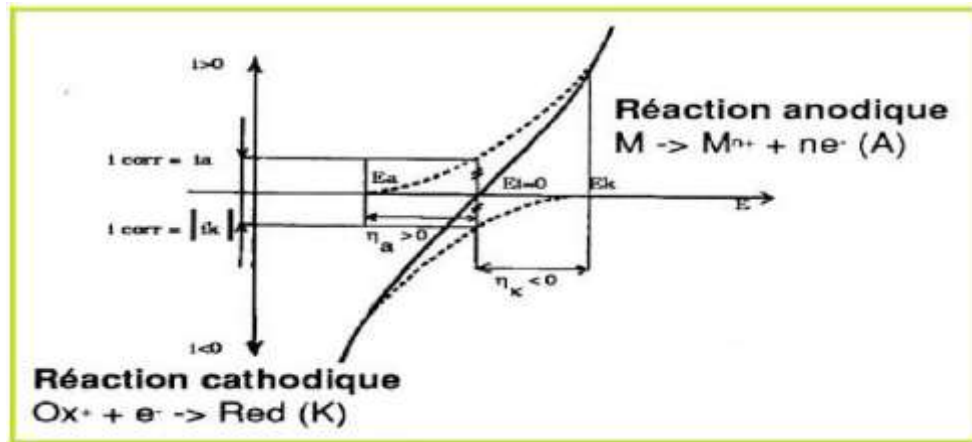


Figure III.41 : courbe de polarisation

### III.5.4.1.3. Courbe de tafel

Cette méthode permet de déterminer expérimentalement les paramètres électrochimiques d'un métal au contact d'un électrolyte. Elle utilise les portions de la courbe [ $\log i = f(E)$ ], la relation entre le courant de corrosion et la surtension d'électrode  $\eta$  ( $\eta = E - E_{eq}$ ), est donnée par la formule simplifiée de l'équation fondamentale de Butler-Volmer :

$$I = I_a + I_c = I_{corr} \left( e^{\frac{\alpha n F}{RT} \eta} - e^{-\frac{(1-\alpha) n F}{RT} \eta} \right)$$

Après simplification de la relation de Butler-Volmer, on obtient une relation entre la surtension d'électrode et le logarithme de la densité du courant mesuré nommée par la loi de Tafel :

$$\log I = a + \frac{\eta_a}{b_a}$$

Pour la branche anodique

$$\log I = a + \frac{\eta_c}{b_c}$$

Pour la branche cathodique

$$b_a \text{ et } b_c$$

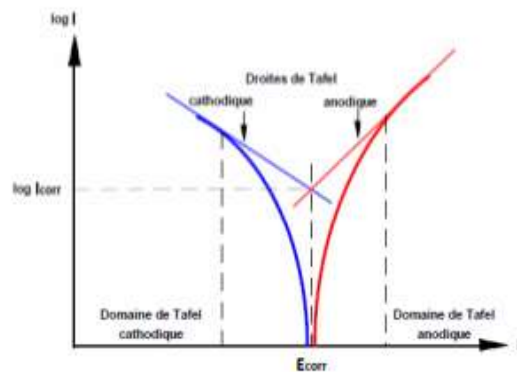
les pentes de Tafel des réac

tions anodique et cathodique telles que

$$b_a = \frac{2.303 RT}{\alpha nF}$$

$$b_c = \frac{2.303 RT}{(1 - \alpha) nF}$$

Les équations (II.4) et (II.5) représentent la loi de Tafel et indiquent que la courbe [ $\log(i) = f(E)$ ] présente une partie linéaire qui est la droite de Tafel [25]



**Figure III.42** : Détermination des paramètres électrochimiques à partir des droites de Tafel

Au potentiel de corrosion  $E = E_{eq}$  ( $\eta = 0$ ), le courant  $I = I_{corr}$  et la vitesse de corrosion :

$$v_{corr} = \frac{I_{corr}}{nFA}$$

A : la surface de l'échantillon.

#### III.5.4.1.4. Résistance de polarisation

La résistance de polarisation est déterminée à partir de la courbe  $E=f(I)$  au voisinage immédiat du potentiel de corrosion du métal dans la région où cette courbe est linéaire (figure III.2). La résistance de polarisation est donc la pente ( $\Delta E/\Delta I$ ) de la courbe de polarisation. Elle est définie par la formule suivante :

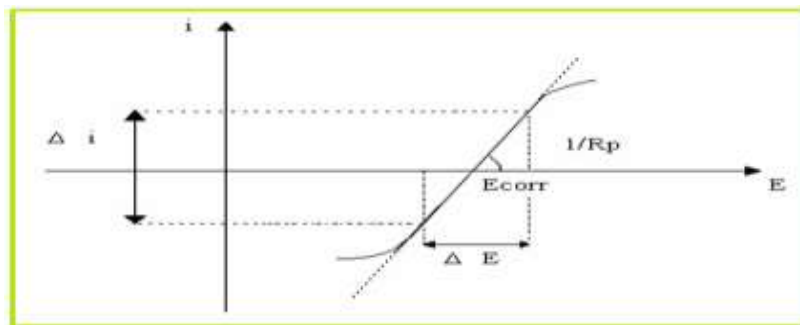
$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta I} = \frac{b_a \cdot b_c}{2.303 (b_a + b_c)} \cdot \frac{1}{I_{corr}}$$

En posant :

$$B = \frac{b_a \cdot b_c}{2.303(b_a + b_c)}$$

On obtient l'expression : 
$$I_{corr} = \frac{B}{R_p}$$

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  $E_{corr}$ . [25]



**Figure III.43** : courbe de résistance de polarisation

### III.5.4.2. Méthode transitoire

Les techniques dites non-stationnaires ou transitoires sont basées sur la perturbation des grandeurs physiques du système électrochimique de sorte que la réponse du système puisse être analysée dans un domaine linéaire invariant dans le temps.[24]

#### III.5.4.2.1. Spectroscopie d'impédance

La mesure de l'impédance électrochimique consiste à étudier la réponse du système électrochimique, suite à une perturbation qui est le plus souvent un signal alternatif, de faible amplitude sur une large gamme de fréquences, à un point de la courbe de polarisation stationnaire. L'impédance électrochimique se définit comme étant le nombre complexe  $Z(\omega)$  résultant du rapport :

$$Z(\omega) = \frac{\Delta E(\omega)}{\Delta I(\omega)}$$

En mode potentiostatique, un signal perturbateur, de type sinusoïdal  $\Delta E$ , donnera une réponse en courant  $\Delta I$ , de forme sinusoïdale, mais qui sera déphasé d'un angle  $\phi$  par rapport au potentiel selon les équations suivantes :

$$E = E^{\circ} \sin(\omega t)$$

$$I = I^{\circ} \sin (\omega t + \varphi)$$

Dans le domaine de la corrosion, l'impédance permet la détermination précise de la vitesse de corrosion même dans le cas où le métal est recouvert d'une couche protectrice.

Elle permet aussi l'évaluation de l'efficacité de d'inhibiteur, la caractérisation des différents phénomènes de corrosion et l'étude des mécanismes réactionnels à l'interface électrochimique [24]

### III.5.4.2.2. Diagrammes d'impédance

L'impédance peut être représentée par deux représentations La première qui est représentation de Nyquist, consiste à porter sur un repère orthonormé la partie imaginaire  $-Z_{im}$  de l'impédance en fonction de la partie réelle  $Z_{Re}$  pour les différentes fréquences Le diagramme de Nyquist indique un ou plusieurs demi-cercles (figure II.4) dont l'écart à l'origine indique la résistance de l'électrolyte  $R_S$  et l'amplitude indique la résistance de transfert de charge  $R_t$ , La capacité double couche  $C_{dc}$  est déterminé à partir de la relation suivante :

$$C_{dc} = \frac{1}{R_t 2\pi f}$$

$f$ : La fréquence correspondant au sommet de la demi-boucle

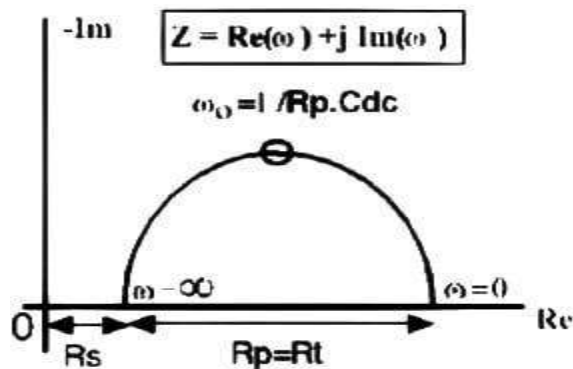
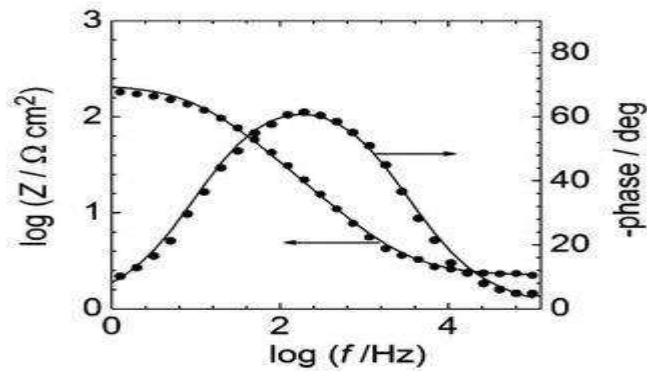


Figure III.44: diagramme de Nyquist de l'impédance d'un circuit électrique

La deuxième représentation est la représentation de Bode, En abscisses est porté le logarithme de la fréquence et en ordonnées le logarithme décimal du module de L'impédance, d'une part, et le déphasage, d'autre part. [24]



**Figure III. 45:** Diagramme de Bode d'une réaction sous contrôle d'activation

Ces deux modes de représentation donnent de différents résultats mais ils sont complémentaires. La représentation de Nyquist permet l'identification de certains phénomènes caractéristiques qui se déroulent à l'interface électrode/électrolyte, mais masque souvent les résultats à haute fréquence qui seront donc observés par la représentation de Bode.[25]

# Chapitre VI: résultats et discussion

## IV.1. Introduction

## IV.2.Méthode gravimétrique

### IV.2.1. Perte de masse

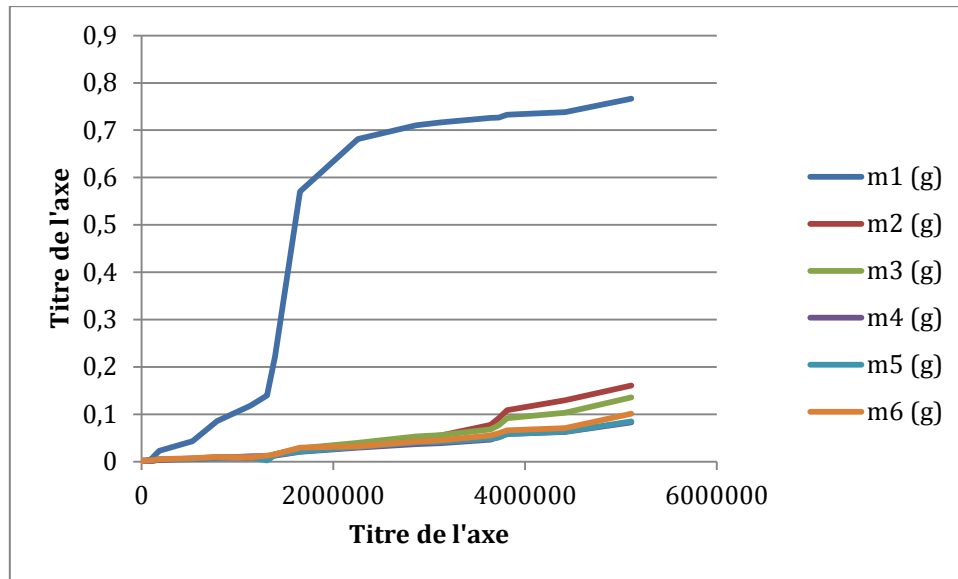
#### IV.2.1.1.perte de masse de l'inhibiteur chimique

**Tableau IV.3** : la variation de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur chimique

T (s)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	m <sub>3</sub> (g)	m <sub>4</sub> (g)	m <sub>5</sub> (g)	m <sub>6</sub> (g)
0	4,1316	3,9587	4,3922	4,5277	3,9442	4,2
1200	4,1312	3,9587	4,3922	4,5276	3,9441	4,1993
3000	4,1313	3,9583	4,3921	4,5275	3,944	4,1996
3600	4,1313	3,9582	4,392	4,527	3,9437	4,1991
7200	4,1311	3,9581	4,3918	4,5269	3,943	4,1981
22800	4,131	3,9574	4,3906	4,5267	3,9427	4,1984
98400	4,1277	3,9568	4,3904	4,5262	3,9421	4,1977
184800	4,1092	3,9549	4,388	4,5239	3,9399	4,1952
530400	4,0892	3,9524	4,3866	4,5227	3,9389	4,1933
788400	4,046	3,9502	4,3826	4,5199	3,9363	4,1905
1134000	4,0141	3,9509	4,3823	4,5166	3,9359	4,1907
1306800	3,9923	3,9487	4,382	4,516	3,9426	4,1879
1389600	3,9099	3,9435	4,3763	4,515	3,9306	4,1849
1652400	3,5617	3,933	4,364	4,5069	3,9236	4,1709
2343600	3,4503	3,9223	4,3525	4,4979	3,9142	4,1678
2602800	3,4215	3,9074	4,3394	4,4907	3,9045	4,1582
2948400	3,4158	3,9034	4,3362	4,4889	3,9029	4,1555
3034800	3,4057	3,8814	4,3245	4,4809	3,8967	4,1453
3466800	3,405	3,8669	4,3157	4,4755	3,8935	4,1406
3726000	3,3994	3,8501	4,3007	4,4691	3,8872	4,1342
4071600	3,3937	3,8295	4,2887	4,465	3,8817	4,1293
4330800	3,3654	3,7985	4,2563	4,4449	3,8599	4,0993

**Tableau IV.4 :** la perte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur chimique

T (s)	$\Delta m$ (g)	$\Delta m_2$ (g)	$\Delta m_3$ (g)	$\Delta m_4$ (g)	$\Delta m_5$ (g)	$\Delta m_6$ (g)
1200	0,0004	0,0002	1E-04	0	0,0007	0,0003
3000	0,0008	0,0002	1E-04	0,0001	0,0008	0,001
3600	0,0007	0,0006	0,0002	0,0002	0,0009	0,0007
7200	0,0007	0,0007	0,0003	0,0007	0,0012	0,0012
12000	0,0009	0,0008	0,0005	0,0008	0,0019	0,0022
97200	0,001	0,0015	0,0017	0,001	0,0022	0,0019
183600	0,0043	0,0021	0,0019	0,0015	0,0028	0,0026
529200	0,0228	0,004	0,0043	0,0038	0,005	0,0051
788400	0,0428	0,0065	0,0057	0,005	0,006	0,007
1134000	0,086	0,0087	0,0097	0,0078	0,0086	0,0098
1306800	0,1179	0,008	0,01	0,0111	0,009	0,0096
1389600	0,1397	0,0102	0,0103	0,0117	0,0023	0,0124
1652400	0,2221	0,0154	0,016	0,0127	0,0143	0,0154
2257200	0,5703	0,0259	0,0283	0,0208	0,0213	0,0294
2862000	0,6817	0,0366	0,0398	0,0298	0,0307	0,0325
3121200	0,7105	0,0515	0,0529	0,037	0,0404	0,0421
3639600	0,7162	0,0555	0,0561	0,0388	0,042	0,0448
3726000	0,7263	0,0775	0,0678	0,0468	0,0482	0,055
3812400	0,727	0,092	0,0766	0,0522	0,0514	0,0597
4417200	0,7326	0,1088	0,0916	0,0586	0,0577	0,0661
5108400	0,7383	0,1294	0,1036	0,0627	0,0632	0,071
5540400	0,7666	0,1604	0,136	0,0828	0,085	0,101



**Figure IV.46 :** Courbe de la perte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur chimique

#### IV.2.1.2. perte de masse de l'inhibiteur vert

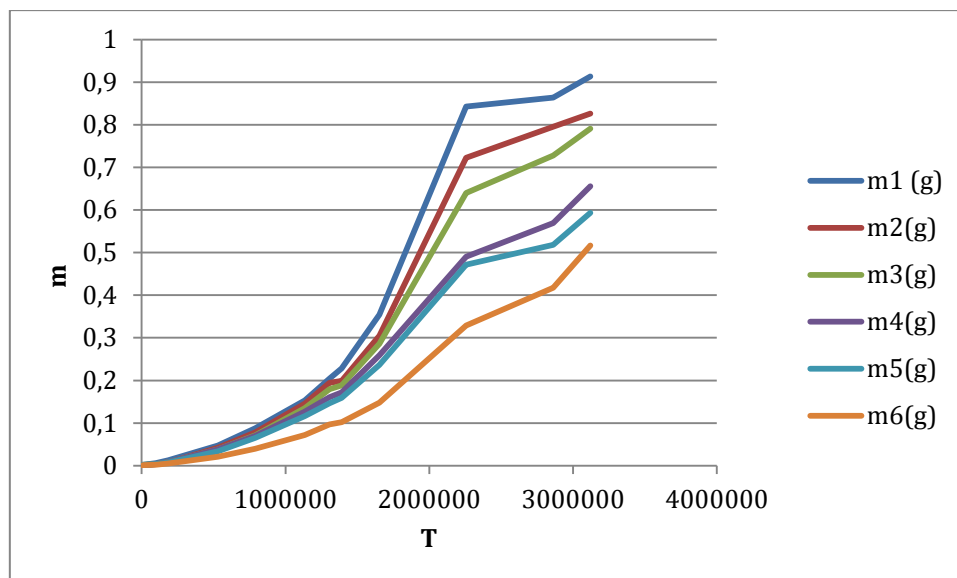
**Tableau IV.5 :** la variation de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur vert

T(s)	m <sub>1</sub> (g)	m <sub>2</sub> (g)	m <sub>3</sub> (g)	m <sub>4</sub> (g)	m <sub>5</sub> (g)	m <sub>6</sub> (g)
0	5,5367	4,9922	4,7932	5,3985	4,9097	4,7707
1200	5,5357	4,9913	4,7922	5,3981	4,9087	4,7706
3000	5,5355	4,991	4,7917	5,3981	4,908	4,7704
3600	5,5352	4,9906	4,7917	5,3977	4,9079	4,7703
7200	5,5349	4,9905	4,7916	5,3975	4,9079	4,77
12000	5,5347	4,9906	4,7915	5,3971	4,9075	4,7695
97200	5,5311	4,9884	4,7895	5,395	4,9065	4,7686
183600	5,5244	4,985	4,7854	5,3907	4,9022	4,766
529200	5,4895	4,9502	4,7551	5,3605	4,8758	4,7497
788400	5,4493	4,9139	4,7218	5,3288	4,8443	4,7312
1134000	5,3833	4,8463	4,6584	5,2716	4,7933	4,6987
1306800	5,3322	4,798	4,6139	5,2382	4,7632	4,674
1389600	5,3086	4,7936	4,6049	5,2263	4,751	4,669
1652400	5,1823	4,6875	4,5071	5,1396	4,6733	4,623
2257200	4,6937	4,2697	4,1532	4,908	4,4378	4,4416
2862000	4,6728	4,1971	4,0652	4,8294	4,3913	4,3535

3121200	4,6234	4,1662	4,0024	4,7432	4,3162	4,2541
3639600	4,6455	4,177	4,006	4,722	4,304	4,2376
3726000	4,6434	4,1829	4,0074	4,7116	4,298	4,2162
3812400	4,6105	4,1552	3,9851	4,6606	4,2599	4,1244
4417200	4,5892	4,149	3,9851	4,6605	4,2542	4,118
5108400	4,5595	4,116	3,9567	4,637	4,237	4,1157

**Tableau IV.6 :** la perte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur vert

T(s)	$\Delta_1$ (g)	$\Delta_2$ (g)	$\Delta_3$ (g)	$\Delta_4$ (g)	$\Delta_5$ (g)	$\Delta_6$ (g)
1200	0,001	0,0009	0,001	0,0004	0,001	1E-04
3000	0,0012	0,0012	0,0015	0,0004	0,0017	0,0003
3600	0,0015	0,0016	0,0015	0,0008	0,0018	0,0004
7200	0,0018	0,0017	0,0016	0,001	0,0018	0,0007
12000	0,002	0,0016	0,0017	0,0014	0,0022	0,0012
97200	0,0056	0,0038	0,0037	0,0035	0,0032	0,0021
183600	0,0123	0,0072	0,0078	0,0078	0,0075	0,0047
529200	0,0472	0,042	0,0381	0,038	0,0339	0,021
788400	0,0874	0,0783	0,0714	0,0697	0,0654	0,0395
1134000	0,1534	0,1459	0,1348	0,1269	0,1164	0,072
1306800	0,2045	0,1942	0,1793	0,1603	0,1465	0,0967
1389600	0,2281	0,1986	0,1883	0,1722	0,1587	0,1017
1652400	0,3544	0,3047	0,2861	0,2589	0,2364	0,1477
2257200	0,843	0,7225	0,64	0,4905	0,4719	0,3291
2862000	0,8639	0,7951	0,728	0,5691	0,5184	0,4172
3121200	0,9133	0,826	0,7908	0,6553	0,5935	0,5166



**Figure IV.47 :** Courbe de la perte de masse de l'acier dans l'expérience de l'inhibiteur ver

- la courbe montrant la variation de la perte de masse en fonction du temps est presque identique pour les deux inhibiteurs, l'allure avec l'addition de l'inhibiteur diminue par rapport à la référence c'est à dire le blanc, cette diminution traduite par la formation d'un film qui bloque la surface de l'acier

la perte de la masse de l'inhibiteur industriel est plus grande que celle de l'acier sans inhibiteur, une différence de presque de 0.6 et cette diminution par rapport à celui de l'inhibiteur vert

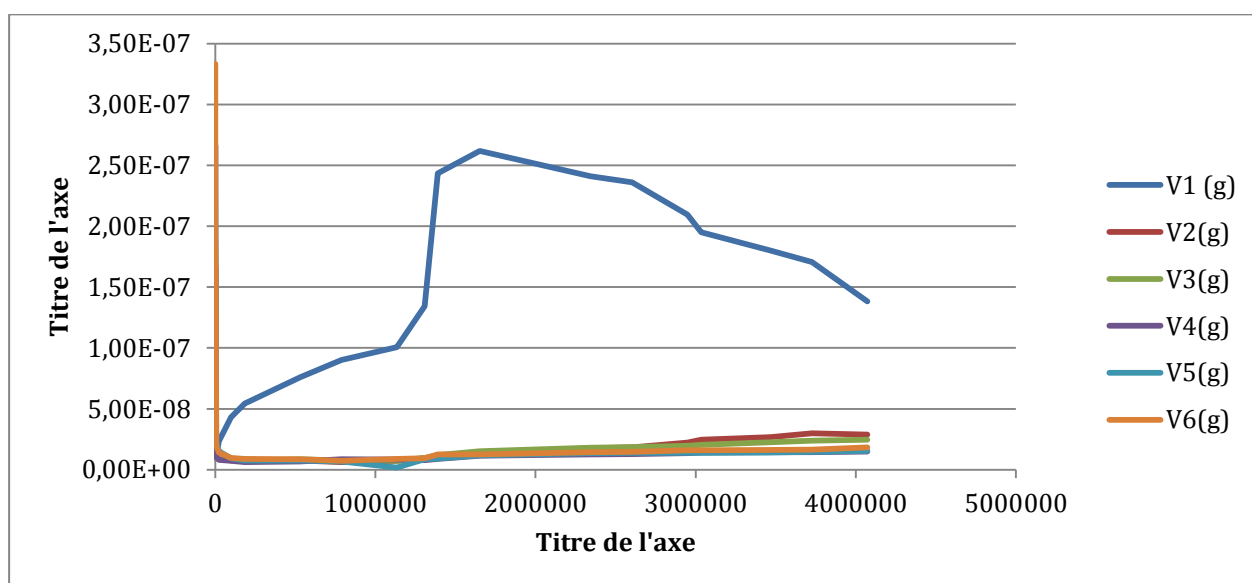
#### IV.2.2. la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps

##### IV.2.2.1. l'expérience de l'inhibiteur chimique

**Tableau IV.7 :** la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps de l'expérience de l'inhibiteur chimique

T (s)	V <sub>1(g)</sub>	V <sub>2(g)</sub>	V <sub>3(g)</sub>	V <sub>4(g)</sub>	V <sub>5(g)</sub>	V <sub>6(g)</sub>
1200	2,66667E-07	6,66667E-08	3,33333E-08	3,33333E-08	2,66667E-07	3,33333E-07
3000	1,94444E-07	1,66667E-07	5,55556E-08	5,55556E-08	2,5E-07	1,94444E-07
3600	9,72222E-08	9,72222E-08	4,16667E-08	9,72222E-08	1,66667E-07	1,66667E-07
7200	3,94737E-08	3,50877E-08	2,19298E-08	3,50877E-08	8,33333E-08	9,64912E-08
22800	1,01626E-08	1,52439E-08	1,72764E-08	1,01626E-08	2,23577E-08	1,93089E-08
98400	2,32684E-08	1,13636E-08	1,02814E-08	8,11688E-09	1,51515E-08	1,40693E-08
184800	4,29864E-08	7,54148E-09	8,10709E-09	7,1644E-09	9,42685E-09	9,61538E-09
530400	5,42872E-08	8,24455E-09	7,22983E-09	6,34196E-09	7,61035E-09	8,87874E-09

788400	7,58377E-08	7,67196E-09	8,55379E-09	6,87831E-09	7,58377E-09	8,64198E-09
1134000	9,02204E-08	6,12182E-09	7,65228E-09	8,49403E-09	6,88705E-09	7,34619E-09
1306800	1,00533E-07	7,34024E-09	7,4122E-09	8,41969E-09	1,65515E-09	8,92343E-09
1389600	1,34411E-07	9,31978E-09	9,68289E-09	7,68579E-09	8,65408E-09	9,31978E-09
1652400	2,43344E-07	1,10514E-08	1,20754E-08	8,87523E-09	9,08858E-09	1,25448E-08
2343600	2,6191E-07	1,40618E-08	1,52912E-08	1,14492E-08	1,1795E-08	1,24866E-08
2602800	2,40978E-07	1,74671E-08	1,79419E-08	1,25492E-08	1,37023E-08	1,42789E-08
2948400	2,35996E-07	1,82879E-08	1,84856E-08	1,2785E-08	1,38395E-08	1,47621E-08
3034800	2,09502E-07	2,23549E-08	1,95569E-08	1,34995E-08	1,39033E-08	1,58648E-08
3466800	1,95115E-07	2,46914E-08	2,05582E-08	1,40097E-08	1,3795E-08	1,60225E-08
3726000	1,79929E-07	2,67217E-08	2,24973E-08	1,43924E-08	1,41713E-08	1,62344E-08
4071600	1,70477E-07	2,9879E-08	2,39217E-08	1,44777E-08	1,45931E-08	1,63942E-08
5108400	1,38365E-07	2,8951E-08	2,4547E-08	1,49448E-08	1,53419E-08	1,82297E-08



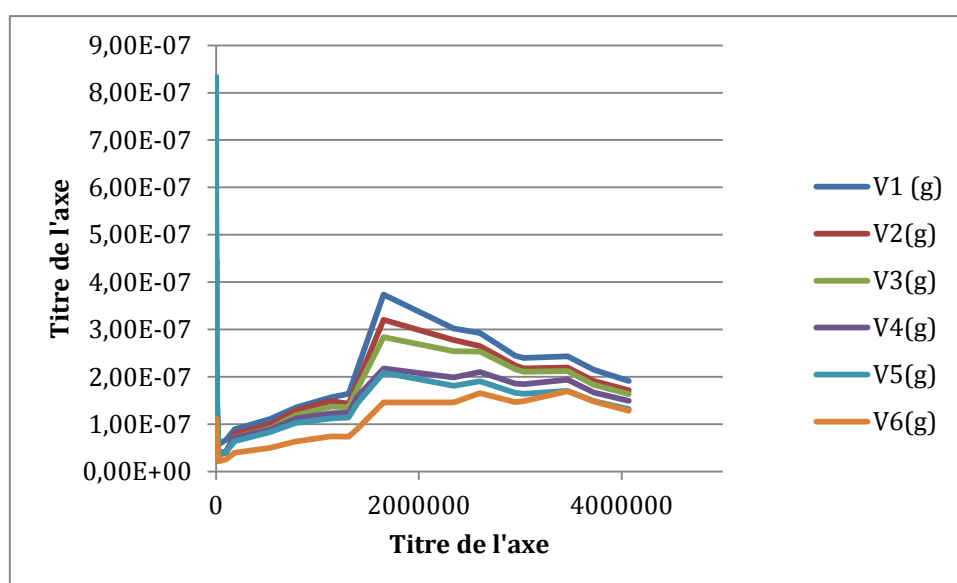
**Figure 56:** la vitesse de corrosion en fonction de temps dans l'expérience de l'inhibiteur chimique

#### IV.2.2.2. L'expérience de l'inhibiteur vert

**Tableau IV.8 :** la variation de la vitesse de corrosion en fonction de temps de l'inhibiteur de l'inhibiteur vert

T (s)	V <sub>1(g)</sub>	V <sub>2(g)</sub>	V <sub>3(g)</sub>	V <sub>4(g)</sub>	V <sub>5(g)</sub>	V <sub>6(g)</sub>
1200	8,33333E-07	7,5E-07	8,33333E-07	3,33333E-07	8,33333E-07	8,33333E-08
3000	4E-07	4E-07	5E-07	1,33333E-07	5,66667E-07	1E-07
3600	4,16667E-07	4,44444E-07	4,16667E-07	2,22222E-07	5E-07	1,11111E-07
7200	2,5E-07	2,36111E-07	2,22222E-07	1,38889E-07	2,5E-07	9,72222E-08
22800	1,66667E-07	1,33333E-07	1,41667E-07	1,16667E-07	1,83333E-07	1E-07
98400	5,76132E-08	3,90947E-08	3,80658E-08	3,60082E-08	3,29218E-08	2,16049E-08
184800	6,69935E-08	3,92157E-08	4,24837E-08	4,24837E-08	4,08497E-08	2,55991E-08
530400	8,91912E-08	7,93651E-08	7,19955E-08	7,18065E-08	6,4059E-08	3,96825E-08
788400	1,10857E-07	9,93151E-08	9,05632E-08	8,84069E-08	8,29528E-08	5,01015E-08
1134000	1,35273E-07	1,2866E-07	1,18871E-07	1,11905E-07	1,02646E-07	6,34921E-08
1306800	1,56489E-07	1,48607E-07	1,37205E-07	1,22666E-07	1,12106E-07	7,39976E-08
1389600	1,64148E-07	1,42919E-07	1,35507E-07	1,23921E-07	1,14206E-07	7,31865E-08

1652400	2,14476E-07	1,84398E-07	1,73142E-07	1,56681E-07	1,43065E-07	8,93851E-08
2343600	3,73472E-07	3,20087E-07	2,83537E-07	2,17305E-07	2,09064E-07	1,458E-07
2602800	3,01852E-07	2,77813E-07	2,54368E-07	1,98847E-07	1,81132E-07	1,45772E-07
2948400	2,92612E-07	2,64642E-07	2,53364E-07	2,09951E-07	1,90151E-07	1,65513E-07
3034800	2,44862E-07	2,23981E-07	2,16288E-07	1,85872E-07	1,66419E-07	1,46472E-07
3466800	2,39748E-07	2,17203E-07	2,10896E-07	1,84353E-07	1,64171E-07	1,48819E-07
3726000	2,42944E-07	2,19547E-07	2,11966E-07	1,93553E-07	1,70444E-07	1,69526E-07
4071600	2,14502E-07	1,9089E-07	1,82944E-07	1,67074E-07	1,48397E-07	1,47763E-07
5108400	1,91293E-07	1,71521E-07	1,6375E-07	1,49068E-07	1,31685E-07	1,2822E-07



**Figure IV.48** : Courbe de la vitesse de corrosion en fonction de temps dans l'expérience de l'inhibiteur vert

Les vitesses de corrosion diminuent avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur dans les deux cas, et elles sont moins faibles que celle sans inhibiteur.

Nous remarquons qu'un pic correspond aux vitesses les plus élevées et puis une diminution vers de petites valeurs. Ce qui confirme la couche formée sur l'acier.

#### IV.2.3. la variation de l'efficacité de l'inhibiteur en fonction de temps

##### IV.2.3.1. l'inhibiteur chimique

**Tableau IV.9** : la variation de l'efficacité de l'inhibiteur chimique en fonction de temps

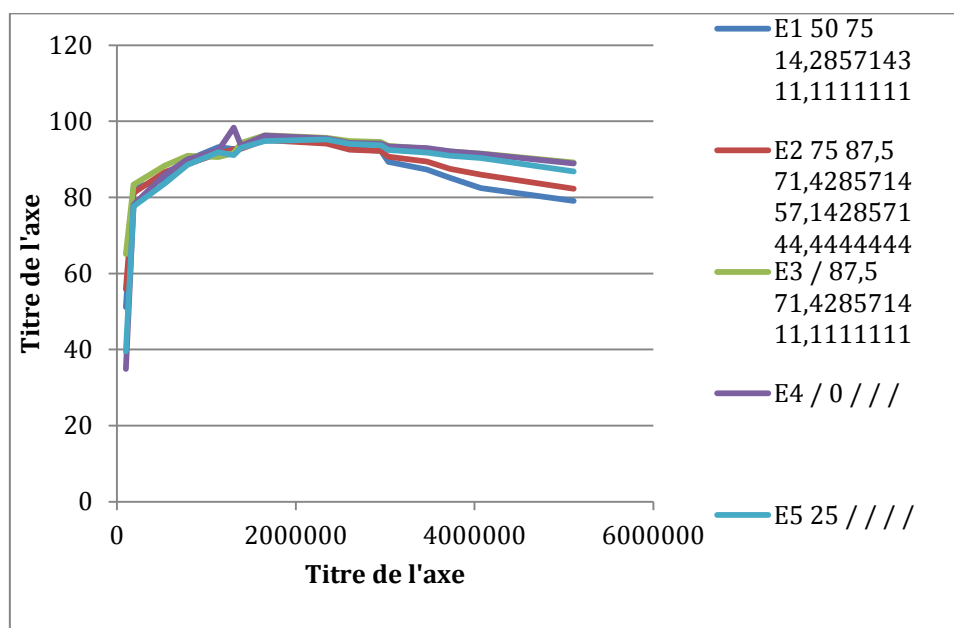
T (s)	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
1200	50	75	/	/	25

3000	75	87,5	87,5	0	/
3600	14,2857143	71,4285714	71,4285714	/	/
7200		57,1428571		/	/
22800	11,1111111	44,4444444	11,1111111	/	/
98400	51,1627907	55,8139535	65,1162791	34,88372093	39,5348837
184800	82,4561404	81,1403509	83,3333333	78,07017544	77,6315789
530400	84,8130841	86,682243	88,317757	85,98130841	83,6448598
788400	89,8837209	88,7209302	90,9302326	90	88,6046512
1134000	93,2145886	91,5182358	90,5852417	92,36641221	91,8575064
1306800	92,6986399	92,627058	91,6249105	98,35361489	91,1238368
1389600	93,0661864	92,7960378	94,281855	93,5614588	93,0661864
1652400	95,4585306	95,0376995	96,3527968	96,26512362	94,8448185
2343600	94,6310694	94,1616547	95,6285756	95,49655274	95,232507
2602800	92,7515834	92,5545391	94,7923997	94,31386348	94,0745954
2948400	92,2507679	92,1669925	94,5825188	94,13571628	93,744764
3034800	89,3294782	90,6650145	93,5563817	93,36362385	92,4273716
3466800	87,3452545	89,4635488	92,8198074	92,92984869	91,7881706
3726000	85,1487851	87,4965875	92,001092	92,12394212	90,977341
4071600	82,4732494	85,9677638	91,5075173	91,43979412	90,383313
5108400	79,0764414	82,2593269	89,1990608	88,91207931	86,8249413

### Meilleur efficacité de chaque concentration d'inhibiteur chimique

**Tableau IV. 10:** Meilleure efficacité de chaque concentration d'inhibiteur chimique

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
efficacité	95,4585306	95,0376995	96,3527968	96,26512362	95,232507



**Figure IV.49** courbe d'efficacité d'inhibiteur chimique

#### IV .2.3.2. l'inhibiteur vert

**Tableau IV. 11:** la variation de l'efficacité de l'inhibiteur vert

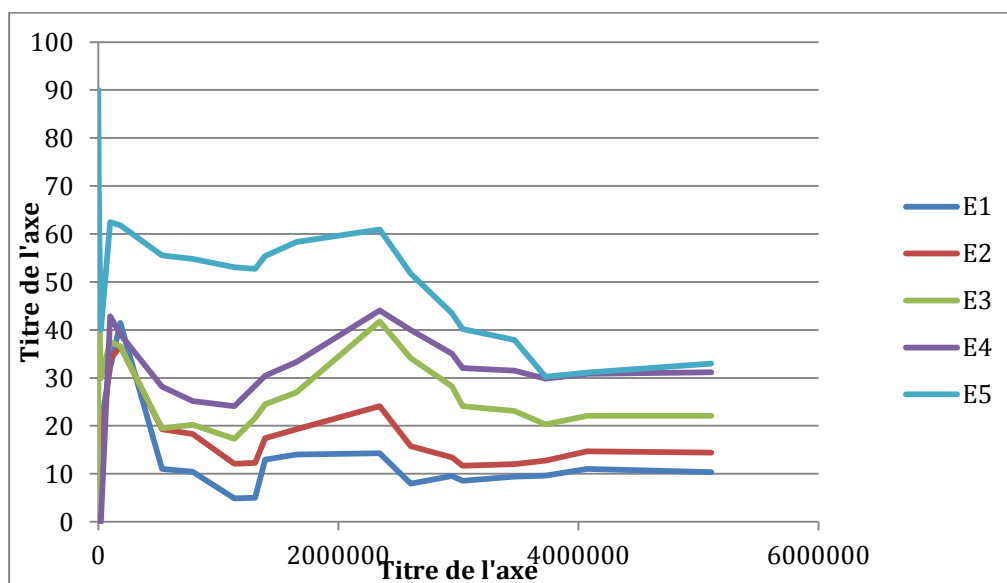
T (s)	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
1200	10	/	/	1	90
3000	/	/	66,6666667	/	75
3600	/	0	46,6666667	/	73,3333333
7200	5,55555556	11,1111111	44,4444444	/	61,1111111
22800	20	15	30	/	40
98400	32,1428571	33,9285714	37,5	42,85714286	62,5
184800	41,4634146	36,5853659	36,5853659	39,02439024	61,7886179
530400	11,0169492	19,279661	19,4915254	28,1779661	55,5084746
788400	10,4118993	18,3066362	20,2517162	25,17162471	54,805492

1134000	4,88917862	12,125163	17,2750978	24,11994785	53,0638853
1306800	5,03667482	12,3227384	21,6136919	28,36185819	52,7139364
1389600	12,9329242	17,4484875	24,5067953	30,42525208	55,414292
1652400	14,023702	19,272009	26,9469526	33,29571106	58,3239278
2343600	14,2941874	24,0806643	41,8149466	44,02135231	60,9608541
2602800	7,96388471	15,7309874	34,1243199	39,99305475	51,7073735
2948400	9,55874302	13,4128983	28,2492062	35,01587649	43,4358918
3034800	8,52782765	11,6696589	24,0911131	32,03545781	40,1817774
3466800	9,40333595	12,0340311	23,1053398	31,52356431	37,9267883
3726000	9,6307493	12,7510257	20,3303822	29,84236666	30,2202548
4071600	11,0079156	14,7124011	22,1108179	30,81794195	31,1134565
5108400	10,3356529	14,3982808	22,0732706	31,16045845	32,971756

**Meilleur efficacité de chaque concentration d'inhibiteur vert**

*Tableau IV. 12: Meilleur efficacité de chaque concentration d'inhibiteur vert*

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>	E <sub>5</sub>
efficacité	41,4634146	36,5853659	66,6666667	44,02135231	90



**Figure IV.50** Courbe efficacité d'inhibiteur vert

Le rendement de l'efficacité inhibitrice est élevée par port de temps

L'extrait de deux les inhibiteurs donneront une efficacité de plus de 94% par macération, ce qui confirme une fois de plus qu'elle possède des bonnes propriétés inhibitrices.

#### **IV .2.4. Les analyses de concentrations du fer**

##### **IV.2.4.1. L'expérience de l'inhibiteur chimique**

*Tableau IV. 13 : Le taux du fer total en (ppm)*

Concentration de l'inhibiteur	0 %	15 %
Le taux du fer total en (ppm)	5.98	2.20

##### **IV.2.4.2. L'expérience de l'inhibiteur vert**

*Tableau IV. 14 : Le taux du fer total en (ppm)*

Concentration de l'inhibiteur	0 %	15 %
Le taux du fer total en (ppm)	6.11	4.63

#### **IV.2.5. la méthode d'observations visuelles**

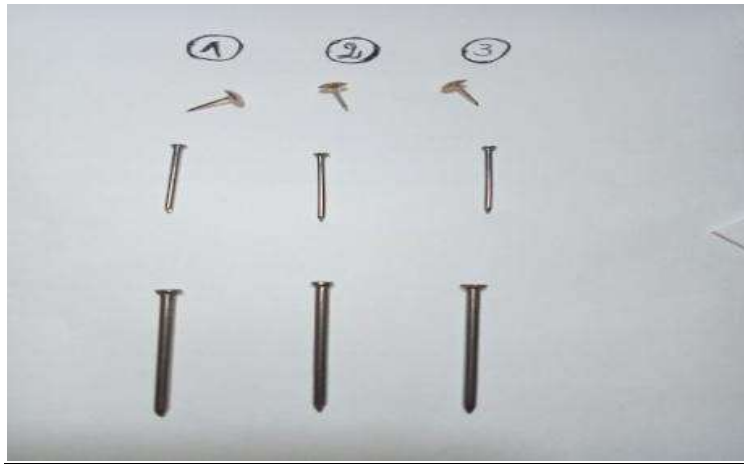
##### **IV.2.5.1. les images photographiés**

###### **IV.2.5.1.1. expérience de HCL**

Nous avons filmé des photos aux durées de temps variés

Sachant que

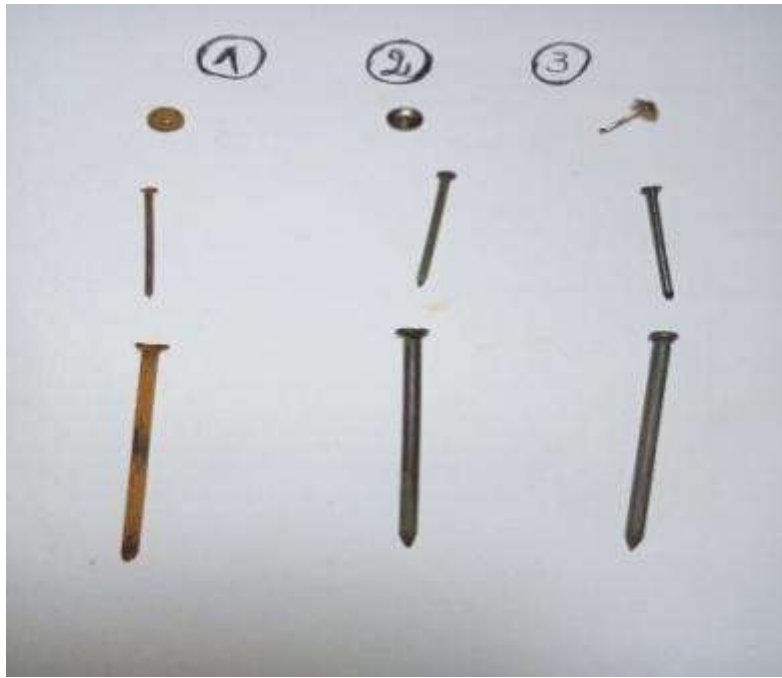
- 1- La solution qui contiennent : HCl sans inhibition
- 2- La solution qui contiennent : HCl avec 5g de l'inhibiteur vert
- 3- La solution qui contiennent : HCl avec 5ml de l'inhibiteur chimique



12 avril 2023.



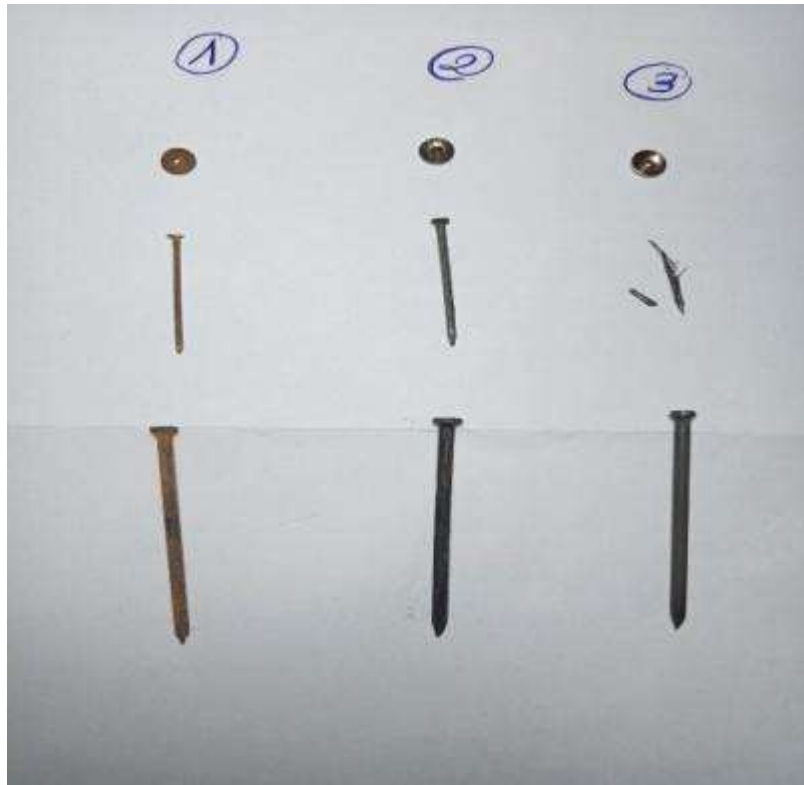
16 avril 2023



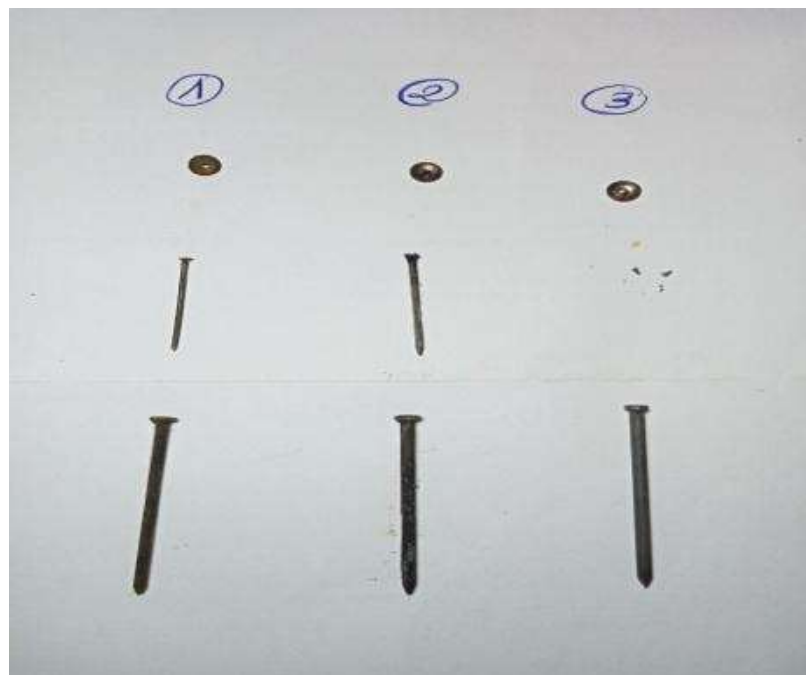
28 avril 2023



4 mai 2023



12 mai 2023.



14 mai 2023

**Figure IV.51** : les images photographiés de expérience de HCL

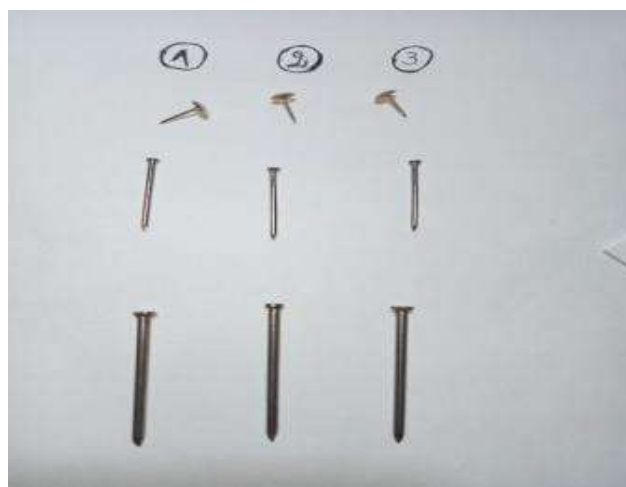
- Chaque image montre que les clous dans les trois solutions ( HCl, HCl+inhibiteur industriel, et HCl +inhibiteur vert ) :

- Dès la 1<sup>ère</sup> seconde l'état des clous est normale après 4 jours , une dégradation des clous de la 1<sup>ère</sup> ( HCl sans inhibition ) et les clous des deux autres sont intacts
- Après 16 jours, dégradation visible des clous de la 1<sup>ère</sup> solution .et les clous des deux restantes ont commencé à changer de couleur
- Après 23 jours , même remarque que la précédente avec une accélération de la dégradation
- Après 30 jours , par étonnement une dégradation totale des clous immergés dans la solution HCl +Inhibiteur industriel et en le comparant avec les premiers clous (dans la solution HCl sans inhibition) sa dégradation est moins observée que ces derniers, et les clous immergés dans la solution HCl +Inhibiteur vert résistent encore.
- Après 32 jours une disparition complète d'un des trois clous ce qui traduit l'instabilité de l'inhibiteur industriel par rapport au temps d'immersion

#### IV.2.5.1.2. Expériences de L'eau de refroidissement

Sachant que

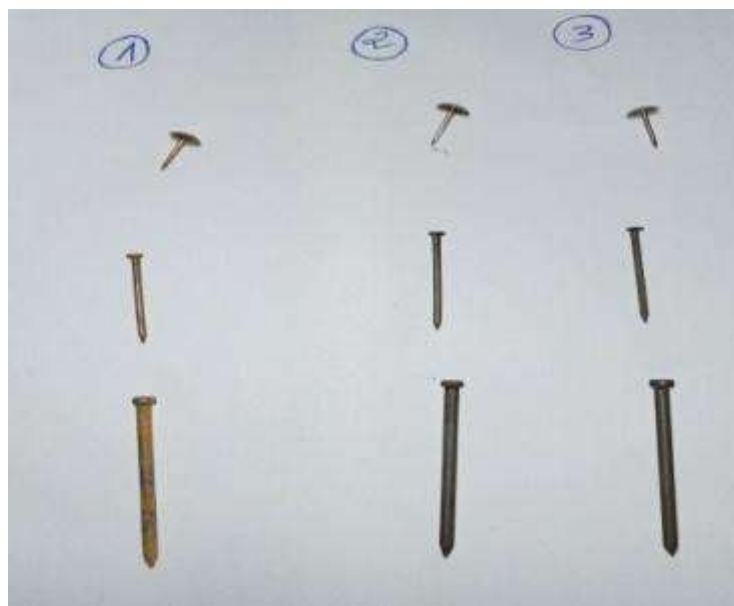
- 1- La solution qui contient : eau de la tour de refroidissement sans inhibition
- 2- La solution qui contient : eau de la tour de refroidissement avec 5g de l'inhibiteur vert
- 3- La solution qui contient : eau de la tour de refroidissement avec 5ml de l'inhibiteur chimique



14 mai 2023.



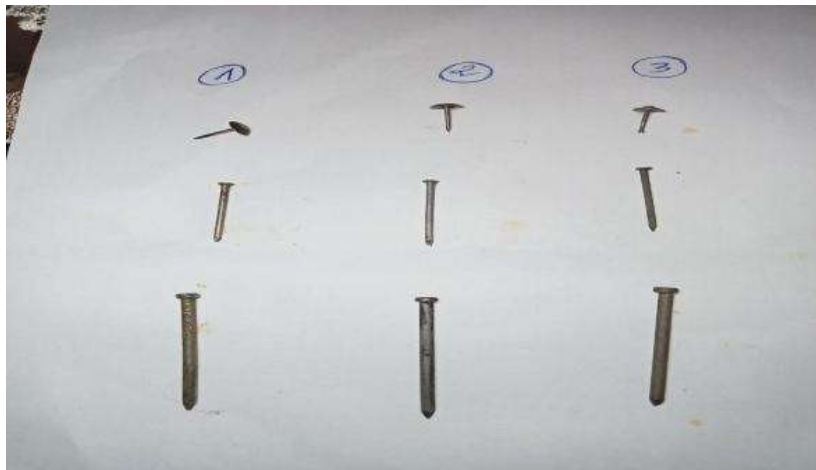
18 mai 2023.



30 mai 2023



6 juin 2023.



15 juin 2023

**Figure IV.52** : les images photographiés de expérience de l'eau de refroidissement

La même expérience est réalisée en utilisant les eaux de refroidissement ramène de la RA2K

- L'observation est telle que après 4 jours , les clous des trois solutions sont noirci et une couche de rouille commence à se formé légèrement sur les clous de la 1ere solution .
- après 16 jours , la corrosion est bien détectée sur la surface des 3 clous de la première solution et toujours une coloration noir pour les clous avec les inhibiteurs
- Après 23 jours même remarque

- Idem pour 32 jours la dégradation est accéléré mais modérément. les clous immergées dans les solutions avec inhibiteurs , ils résistent plus par rapporte aux clous de la 1 ere solution.

#### IV.2.5.2. Les analyses de concentration du fer

##### IV.2.5.2.1. L'expérience de l'Hcl

**Tableau IV. 15 : Le taux du fer total**

La solution	Solution Hcl sans inhibition	Solution Hcl avec l'inhibiteur vert	Solution Hcl avec l'inhibiteur chimique
Le taux du fer total	5.10	4.26	6.49

##### IV.2.5.2.2. L'expérience de l'eau de la tour de refroidissement

**Tableau IV. 16 : Le taux du fer total**

La solution	Solution de l'eau de refroidissement sans inhibition	Solution de l'eau de refroidissement avec l'inhibiteur vert	Solution de l'eau de refroidissement avec l'inhibiteur chimique
Le taux du fer total	3.73	1.29	1.20

Le test du fer total analysé au niveau de laboratoire à la RAK , nous ont donné que les taux du fer total dans les solutions HCL préparés avec l'eau distillée et ceux de l'eau de refroidissement sont variable et il confirme l'observation visuelle détaillée précédemment.

### IV.3. isotherme d'adsorption et paramètres thermodynamique

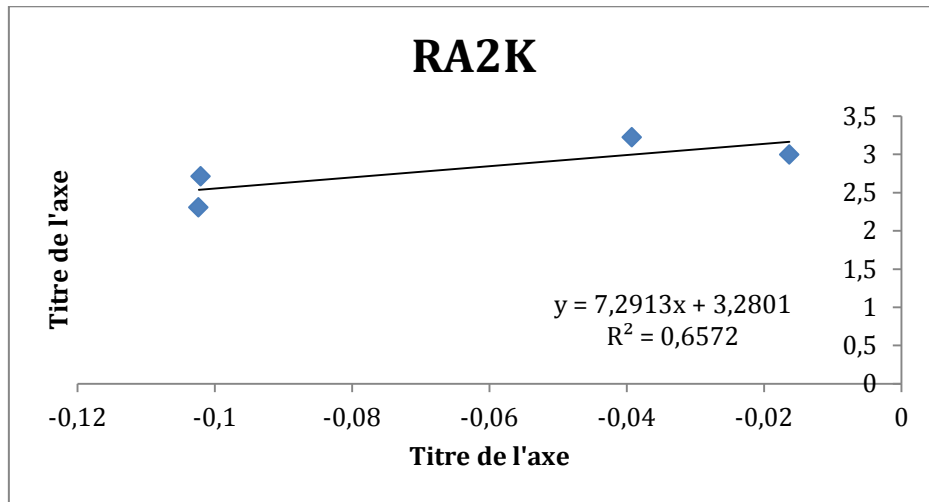
#### IV.3.1. Les courbes d'isothermes d'adsorption

##### IV.3.1.1. Isotherme d'adsorption inhibiteur chimique

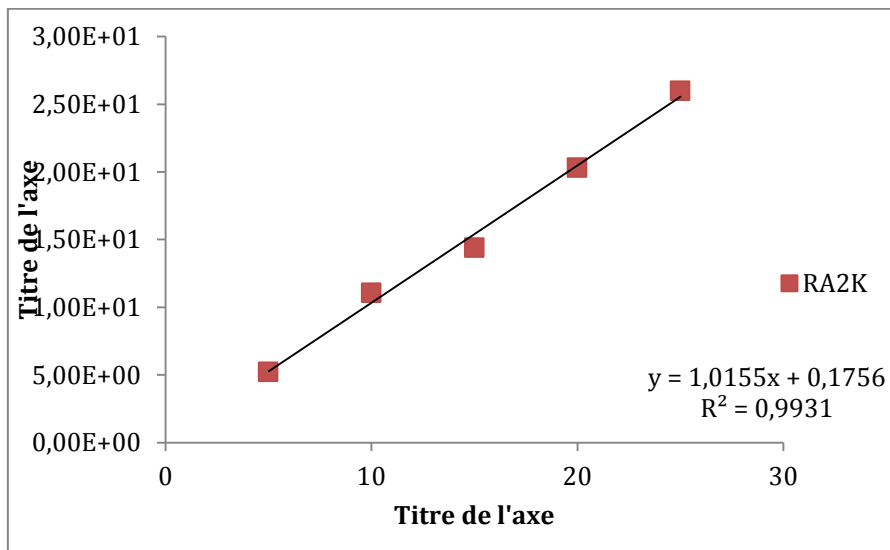
**Tableau IV. 17 : Isotherme d'adsorption chimique**

Temkin			Freundlich			langmuir		
C inh	ln C inh	Ln $\theta$	C inh	ln C inh	Ln $\theta$	C inh	C inh/ $\theta$	$\theta$
0	.....	.....	0	.....	.....	0	.....	.....
5	1,60943791	-0,04630449	5	1,60943791	-0,04630449	5	5,24E+00	9,55E-01

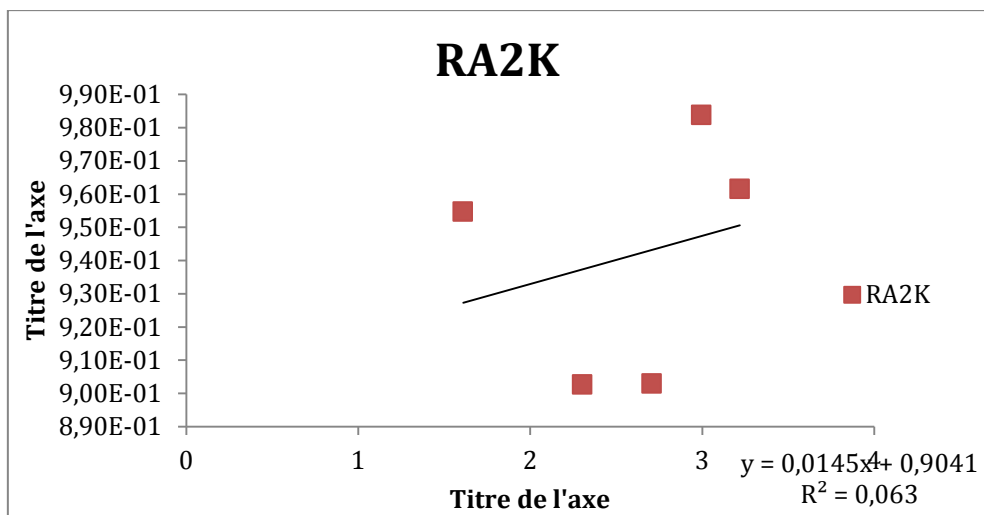
10	2,30258509	-0,10234852	10	2,30258509	-0,10234852	10	1,11E+01	9,03E-01
15	2,7080502	-0,07	15	2,7080502	-0,01	15	1,60E+01	
20	2,99573227	-0,01629233	20	2,99573227	-0,01629233	20	2,03E+01	9,84E-01
25	3,21887582	-0,03922069	25	3,21887582	-0,03922069	25	2,60E+01	9,62E-01



**Figure IV.53 :** Courbe de Freundlich



**Figure IV.54:** Courbe de langmuir



**Figure IV.55 :** Courbe Temkin

**Tableau IV. 18 :** Les calculs des isotherme d'adsorption

Temkin		langmuir		Freundlich	
R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K
0,063	0,904	0,993	0.1758	3.2801	0.6575

**Tableau IV. 19 :** Les calculs de l'enthalpie  $\Delta G$  et  $\Delta H$

l'enthalpie	Temkin	langmuir	Freundlich
$\Delta G$	<b>-25</b>	<b>-40</b>	<b>-0</b>
$\Delta H$	<b>0.94</b>	<b>0.24</b>	<b>0.56</b>

les résultats thermodynamiques de l'adsorption montre que les tracés de courbes d'adsorption selon les équations de temkin , langmuir et freundlich que nos résultats de l'inhibiteur industriel donne une meilleur adsorption selon langmuir selon les valeurs de régression qui donnera une constante K

le calcule de l'enthalpie libre donne un valus de qui traduit la formation d'une couche avec des faibles liaisons électrochimique de type physique

### IV.3.1.2. les isothermes d'adsorption vert

Tableau IV.20 : Isotherme d'adsorption chimique

Freundlich			Temkin			langmuir		
C inh	ln C inh	Ln $\theta$	C inh	ln C inh	Ln $\theta$	C inh	C inh/ $\theta$	$\theta$
0		-8,38E-02	0	.....	.....	0	0,00E+00	9,20E-01
5	1,60943791	-5,37E-02	5	1,60943791	-5,37E-02	5	5,28E+00	9,48E-01
10	2,30258509	-5,23E-02	10	2,30258509	-5,23E-02	10	1,05E+01	9,49E-01
15	2,7080502	-1,36E-01	15	2,7080502	-1,36E-01	15	1,72E+01	8,73E-01
20	2,99573227	-5,03E-02	20	2,99573227	-5,03E-02	20	2,10E+01	9,51E-01
25	3,21887582	-3,67E-01	25	3,21887582	-3,67E-01	25	3,61E+01	6,93E-01

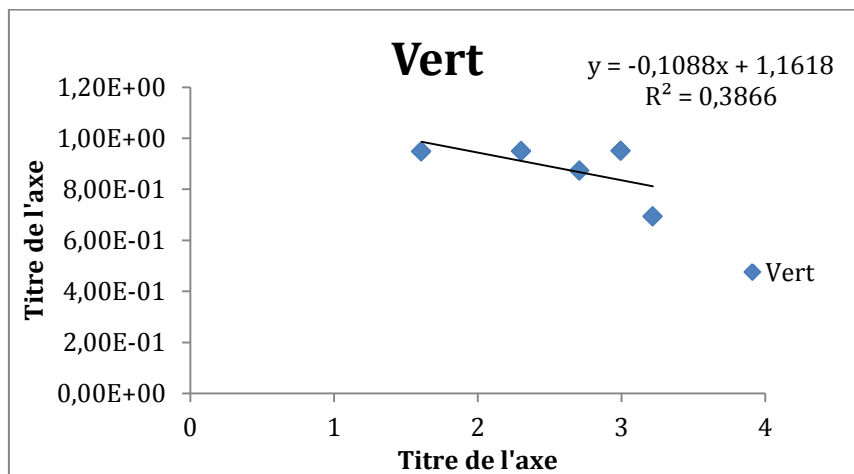


Figure IV.56 : Courbe Temkin

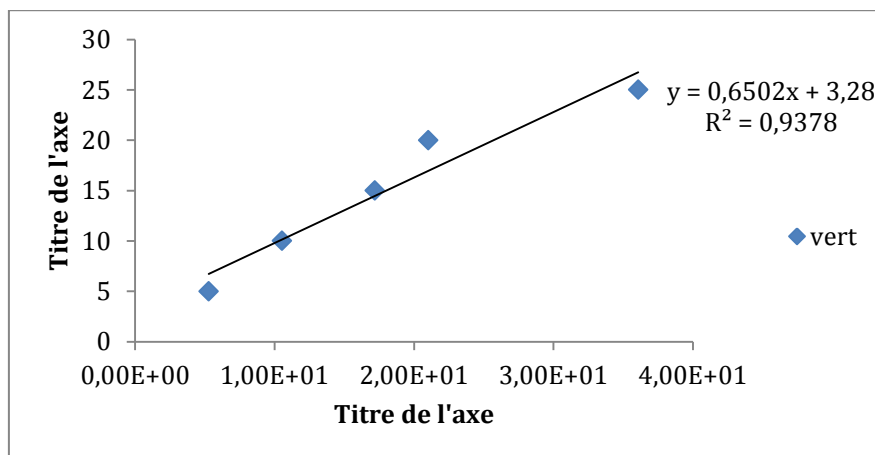
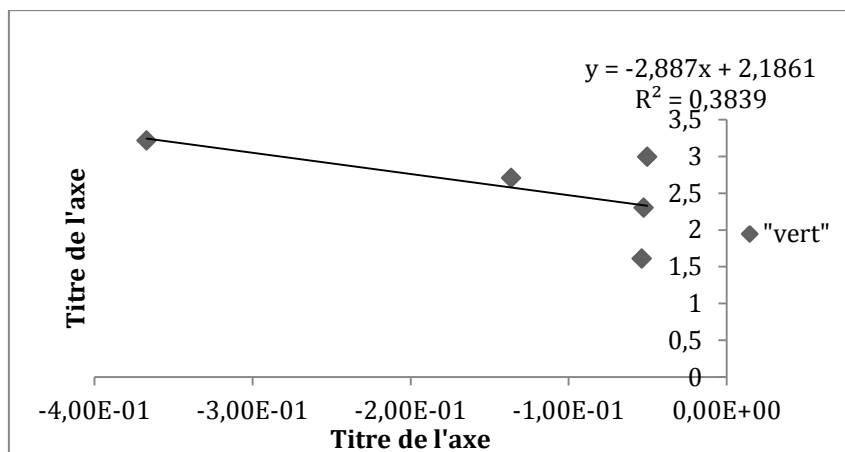


Figure IV.57 : Courbe de langmuir



**Figure IV .58 : Courbe Freundlich**

**Tableau IV. 21 : Les calculs des isotherme d'adsorptio**

Temkin		Langmuir		Freundlich	
R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K	R <sup>2</sup>	K
0,38866	1.1618	0,9378	3.28	0.3839	2.1861

**Tableau IV.22 :Les calculs de l'enthalpie ΔG et ΔH**

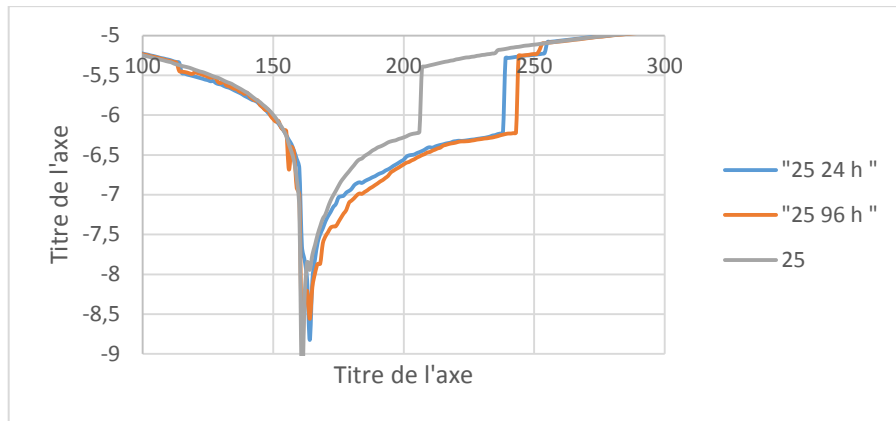
<b>ΔG</b>	<b>-1.156</b>	<b>-20</b>	<b>-40</b>
<b>ΔH</b>	<b>0.14</b>	<b>0.12</b>	<b>0.13</b>

## **IV.4. méthode électrochimique et paramètre thermodynamique**

### **IV.4.1. les mesures de la polarisation**

#### **IV.4.1.1. L'influence du temps**

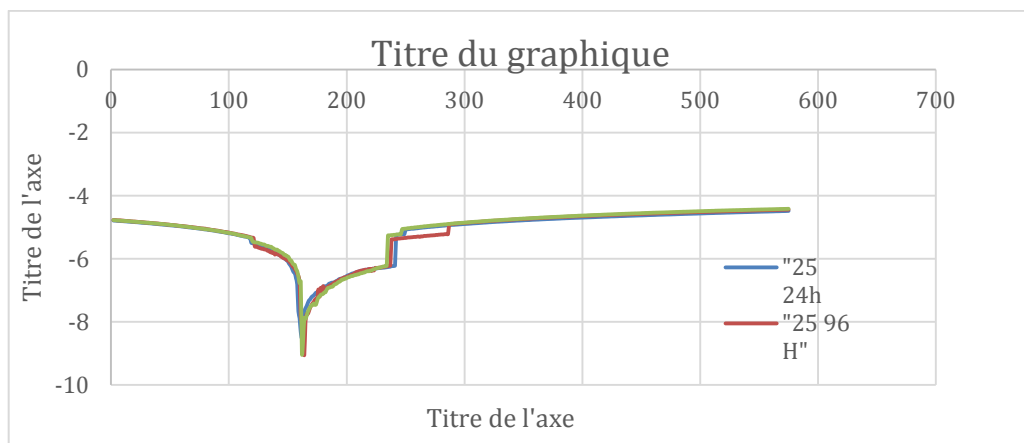
##### **IV.4.1.1.1. Inhibiteur chimique**



**Figure IV.59 :** Courbe de polarisation l'inhibiteur chimique

L'allure des courbes du temps d'immersion sont presque identiques par rapport à l'inhibiteur industriel, léger déplacement vers la zone anodique et une densité du courant plus faible.

#### IV.4.1.1.2. inhibiteur vert



**Figure IV.60 :** Courbe de polarisation de la plante

L'allure des courbes du temps d'immersion sont presque identiques ce qui traduit une stabilité du film passif, léger déplacement vers la zone anodique et une densité du courant plus faible .ce qui traduit la formation du film passif bloquant la dissolution de l'acier

## IV.4.1.2. L'influence du température

### IV.4.1.2.1. Inhibiteur chimique

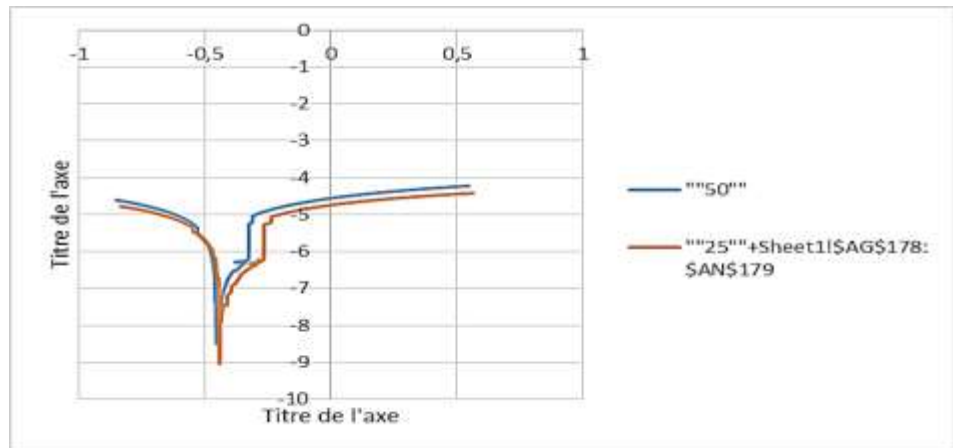


Figure IV.61 : Courbe Polarisation chimique

### IV.4.1.2.2. inhibiteur vert

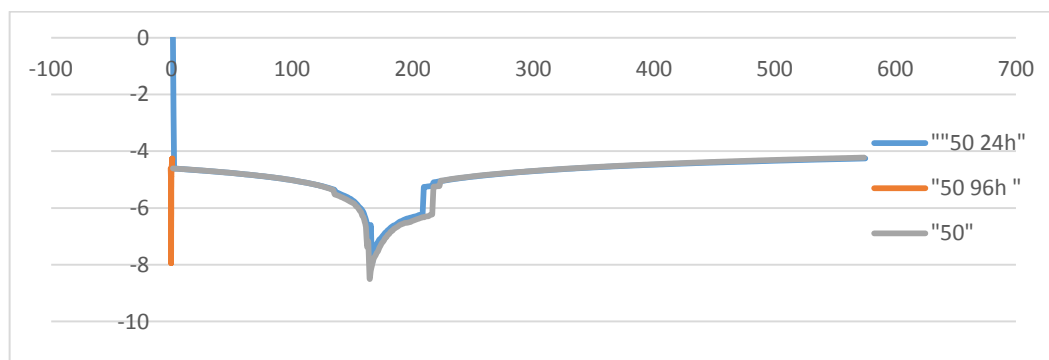


Figure IV.62 : Courbe polarisation vert

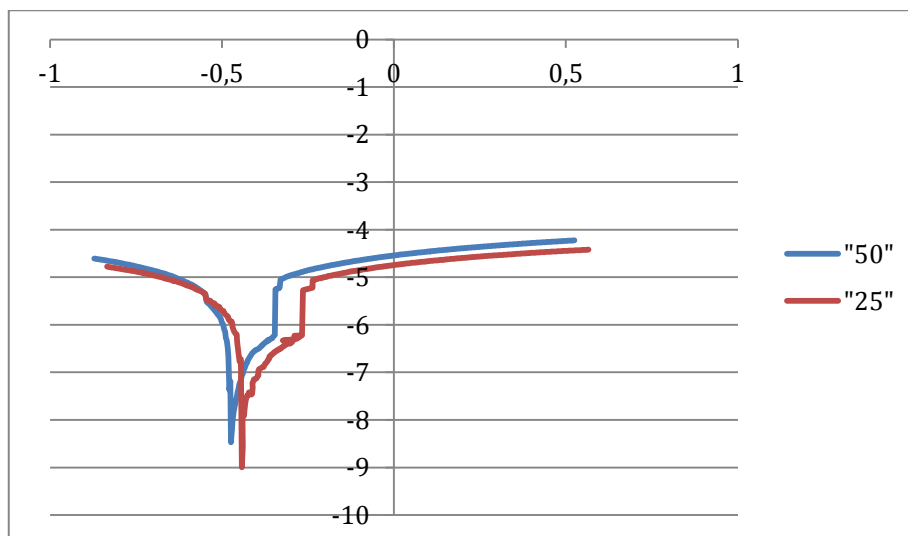


Figure IV.63 : Courbe Polarisation vert

Les deux droites de tafel en fonction des températures inhibiteur avec inhibiteur chimique et vert traduit que la température n'influent pas sur comportement de l'acier en présence de l'inhibiteur

#### IV.4.2. les mesures de l'impédance

##### IV.4.2.1. L'influence du temps

##### IV.4.2.1.1. Inhibiteur chimique

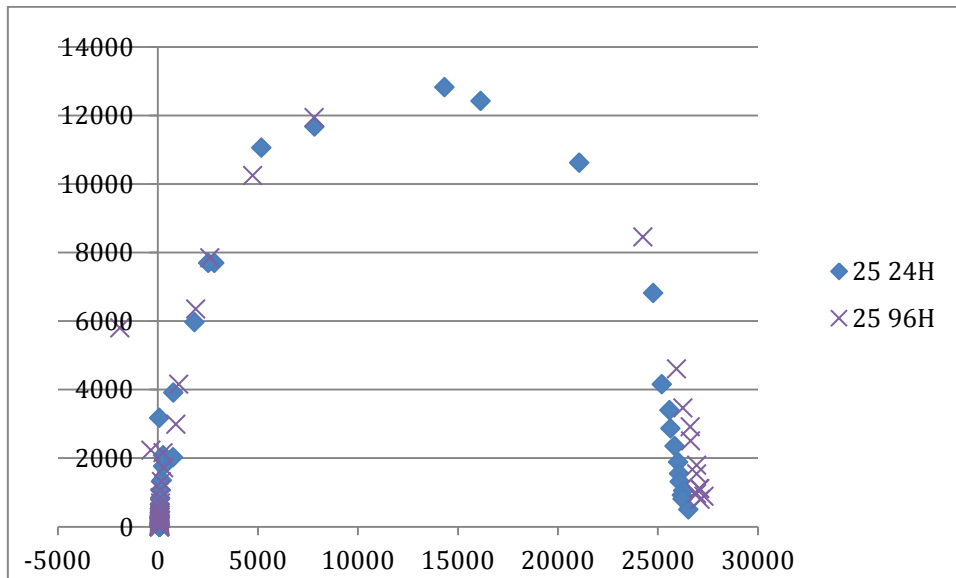


Figure IV.64 : Courbe de l'impédance à températures 25 ° de l'inhibiteur chimique

##### IV.4.2.1.2. Inhibiteur vert

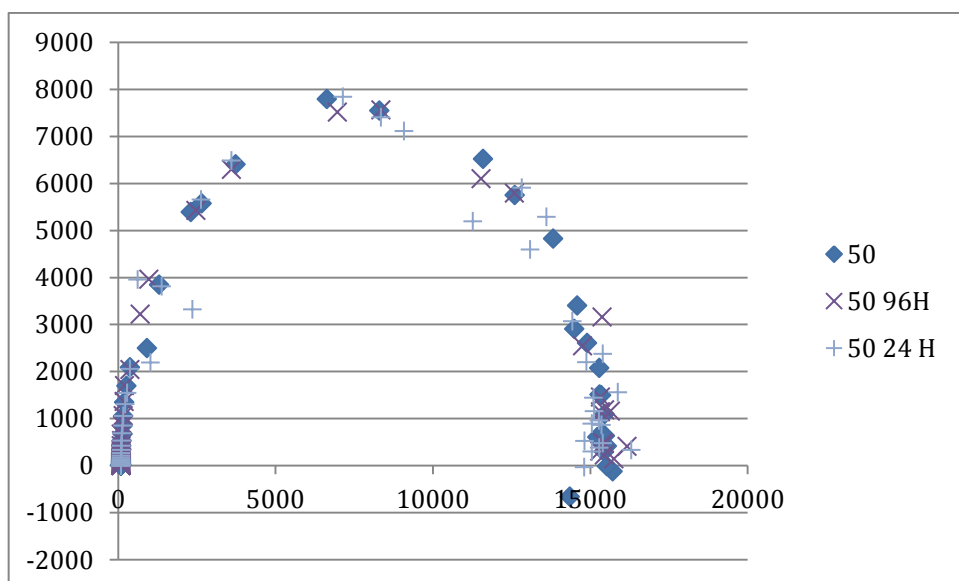


Figure IV.65 : Courbe de l'impédance à températures 25 ° de l'inhibiteur vert

Les impédances montrent des boucles capacitives presque demi-cercle l'augmentation de diamètre augmente légèrement avec la durée d'immersion traduisant une forme de stabilité de la résistance de polarisation qui va induire

#### IV.4.2.2. influence de la température

##### IV.4.2.2.1. Inhibiteur chimique

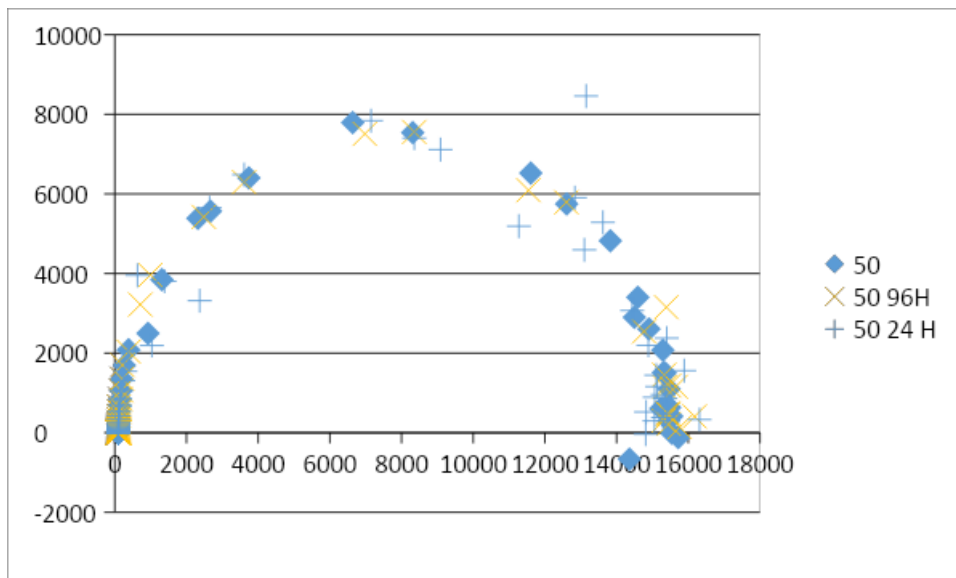


Figure IV.66 : Courbe de l'impédance à températures 50 c° de l'inhibiteur chimique

##### IV.4.2.2.2. Inhibiteur vert

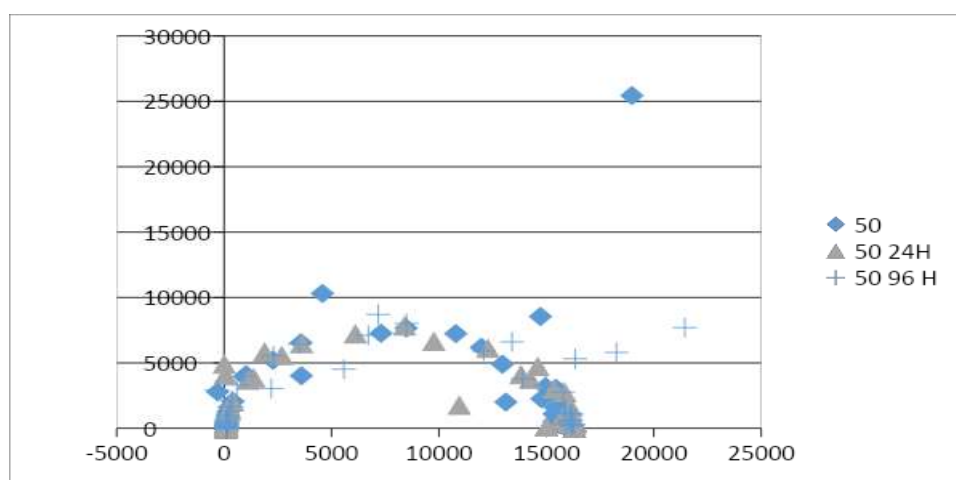


Figure IV.67 : Courbe de l'impédance à températures 50 c° de l'inhibiteur vert

L'impédance électrochimique à  $T = 50$  c en fonction de la durée de immersion d'inhibiteur n'est pas clair donc avec l'accord de notre encadreur on a enlevée.

# Conclusion générale

## Conclusion générale

L'étude est consacrée essentiellement à vérifier l'effet inhibiteur de corrosion de deux inhibiteurs ( inhibiteur du plante *Carpobrotus edulis* et L'ibhiteur chimique est ramené de la zone de SONTRACH de SKIKDA Destiné à protéger les aciers des carbone

L'inhibiteur vert a donné des résultats satisfaisants. Pour sa disponibilité et sa biodégradable et moins couteuse.

Nous constatons Que :

- L'extraction

- La vitesse de la corrosion diminue en fonction de la concentration des deux inhibiteurs

- L'efficacité inhibitrice de l'inhibiteur augmente avec l'accroissement de sa concentration , et atteindre une valeur maximale de 96. % dans le cas de l'inhibiteur chimique , et une valeur maximale de .....% dans le cas de l'inhibiteur vert

- Cette augmentation de l'efficacité d'inhibition est expliquée par l'adsorption des molécules inhibitrices sur la surface de l'acier en formant une couche protectrice, ce qui empêche la dégradation de l'acier.

- La technique de polarisation de Tafel obtenue montre que l'inhibiteur vert est de type Mixte , et l'inhibiteur chimique est de type Mixte

- L'étude des isothermes d'adsorption montre que l'adsorption résultantes est de modèle Longmir pour les deux inhibiteurs

- Les diagrammes d'impédance électrochimiques généralement ont montré qu'il s'agit D'un processus de transfert de charges sur une surface hétérogène pour toutes les concentrations des deux inhibiteurs, ces diagrammes sont constitués d'une boucle capacitive, en effet, sa taille augmente avec l'augmentation de la concentration ce qui explique l'augmentation de la résistance de transfert de charge

En fin nous souhaitons que cette étude contribue d'une manière ou d'une autre à la valorisation de ce produit naturel en tant qu'inhibiteur de corrosion capable de donner une bonne efficacité pour la protection des métaux principalement les équipements de l'industrie

pétrochimique pour sa disponibilité, sa biodégradabilité, ainsi que son cout .... , et de remplacer des inhibiteurs chimiques déjà commercialisés.

Ces derniers sont toxiques, très couteux et nuisible pour l'environnement.

## Référence

- [1] BOUCHA KHALED mémoire de master améloiration d l'indice d'octane par reformage catalutique (2018) univ adrar
- [2] ABDELI FIALA mémoire de master Application à la protection du cuivre en milieu acide (2007) université mentouri constantine
- [3] <https://dspace.univbba.dz/bitstream/handle/123456789/711/etude%20des%20inhibiteurs%20de%20corrosion%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] <https://dspace.univbba.dz/bitstream/handle/123456789/711/etude%20des%20inhibiteurs%20de%20corrosion%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] <https://www.univ-chlef.dz/ft/wp-content/uploads/2020/04/cours-de-corrosion-2020-1.pdf>
- [6] <https://dspace.univbba.dz/bitstream/handle/123456789/1182/final%20%20Copie.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2mIkUY8npPelkaj3zD2hHcyfDc1iFIPjFwlkkm3TfbRSKgybnwiPgH4>
- [7] <https://biblio.univannaba.dz/ingeniorat/wpcontent/uploads/2018/09/ChinogureiClinton.pdf?fbclid=IwAR3Uuy-qy2Au5II5L2p-hXl4dAwHI2k0mYRrpvv4lXoPYKnHtu919nkPJ1I>
- [8] <https://www.swagelok.com/fr/toolbox/materialselectionguide/corrosiontypes?fbclid=IwAR2bWLH5WY0uOH0u2JgyfCrD9IxHtH41pW02CHGMcwnf5csCu7qEZhGjyA8>
- [9] <https://di.univblida.dz/jspui/bitstream/123456789/10756/1/PFE%20finalis%C3%A9%20%281%29.pdf>
- [10] [https://dspace.univbba.dz/bitstream/handle/123456789/711/etude%20des%20inhibiteurs%20de%20corrosion%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2Cgkrp\\_sKFGYD8a5efcIotc43Q9TDaBo5-EzFQforoM6DXOjsH84kCEQIE](https://dspace.univbba.dz/bitstream/handle/123456789/711/etude%20des%20inhibiteurs%20de%20corrosion%202020.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2Cgkrp_sKFGYD8a5efcIotc43Q9TDaBo5-EzFQforoM6DXOjsH84kCEQIE) / <https://biblio.univannaba.dz/ingeniorat/wp-content/uploads/2022/03/LABBACI-Nour-el-Houda.pdf>
- [11] <https://biblio.univannaba.dz/ingeniorat/wpcontent/uploads/2018/09/ChinogureiClinton.pdf?fbclid=IwAR3Uuyqy2Au5II5L2phXl4dAwHI2k0mYRrpvv4lXoPYKnHtu919nk>
- [12] <http://processs.free.fr/Pages/VersionWeb.php?page=9126PJ1I>

[13]<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/methodes-de-prevention-et-lutte-contre-la-corrosion-42374210/inhibiteurs-de-corrosion-cor1005/generalites-sur-l-utilisation-des-inhibiteurs-de-corrosion-cor1005niv10001.html>

[14]<https://biblio.univ-annaba.dz/wp-content/uploads/2020/02/These-Oulabbas-Amel.pdf?fbclid=IwAR2bWLH5WY0uOH0u2JgyfCrD9IxHtH41pW02CHGMcwnf5csCu7qEZhgjyA8>

[15]<http://www.univ-bejaia.dz/xmlui/handle/123456789/14565>

[16][https://www.fcbn.fr/sites/fcbn.fr/files/ressource\\_telechargeable/fiche\\_carpobrotus\\_edulis\\_sr.pdf?fbclid=IwAR3ON2FiT1o3Bi3RE7wr51ABeZcJEpsa898Oq4HbeVSnj4LLWw6G7Z1OsVg](https://www.fcbn.fr/sites/fcbn.fr/files/ressource_telechargeable/fiche_carpobrotus_edulis_sr.pdf?fbclid=IwAR3ON2FiT1o3Bi3RE7wr51ABeZcJEpsa898Oq4HbeVSnj4LLWw6G7Z1OsVg)

[17]<https://www.tela-botanica.org/bdtfx-nn-14650-description>

[18] <https://www.google.com/amp/s/nutrixéal-info.fr/index/extraction-vegetale/amp/>

[19] <https://www.techniques-ingenieur.fr/glossaire/extraction>

[20]<https://mathrix.fr/physique-chimie/techniques-d'extraction-et-de-separation/extraction-despeces-chimiques-2952>.

[21]<https://www.superprof.fr/ressources/scolaire/physique-chimie/seconde/corps-naturels-aromes.html>

[22] [https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fjeulin.com%2Flelaborantin\\_fr%2Flelaborantin%2Fequipementdelaboratoire%2Fspectrophotometres.html&h=AT2uCPX\\_vMyoEjZsHz9SUFspR87-WBW8j2zQRu3DUnt6Tvw47ybbhVGtK2K2UWY0LxgH\\_1-\\_cxFVkjP-t5hGuoj8\\_EuAI7P7VOcc\\_rs3h9h8RfpEguiPOIQRwHWmpi7uNZZ\\_59LySmk](https://l.facebook.com/l.php?u=https%3A%2F%2Fjeulin.com%2Flelaborantin_fr%2Flelaborantin%2Fequipementdelaboratoire%2Fspectrophotometres.html&h=AT2uCPX_vMyoEjZsHz9SUFspR87-WBW8j2zQRu3DUnt6Tvw47ybbhVGtK2K2UWY0LxgH_1-_cxFVkjP-t5hGuoj8_EuAI7P7VOcc_rs3h9h8RfpEguiPOIQRwHWmpi7uNZZ_59LySmk)

[23]Fiche technique de laboratoire de complexe RA2K

[24] Yousfi Hanane et Bourahla Souaad Mémoire de master Etude des inhibiteurs de corrosion pour protéger l'acier ordinaire en milieu agressif.( 2019/2020 )

UniversitéMouhamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj

[25] NAILI DOUAOUDA malha Mémoire MASTER Etude des performances de l'Extrait de la Sabline Rouge « Spergularia Rubra » comme inhibiteur vert de corrosion de l'acier ordinaire en environnements sévères UNIVERSITÉ de BLIDA 1

## **Les annexes**

Fiche du 5/6/2007 version 2.0

Remplace la version du: 25/05/2007

**AQUAPROX S.A.S**  
6 Rue Barbès F-92305  
LEVALLOIS-PERRET CEDEX  
Tel +33(0) 1 41 93 00 70  
Fax +33(0) 1 41 34 14 34  
RCS Nanterre 403 076 193

**SATM ALGERIA FILTERING SYSTEMS**  
13, Rue Pavén. Hydra - ALGER  
Tél: 021 48 03 94  
RC N° 00 5 0013321  
E-mail: info@afs-dz.com



---

---

### 1. IDENTIFICATION DE LA SUBSTANCE/PRÉPARATION ET DE LA SOCIÉTÉ/ENTREPRISE

Dénomination commerciale: AQUAPROX TCD 5370

Code commercial: C6-12297

Utilisation: Traitement des eaux.

Fournisseur: AQUAPROX

6, rue Barbès F-92305 LEVALLOIS - PARIS

Tél. : (33)-01-41-34-14-00

Fax : (33)-01-41-34-14-16

N° d'appel d'urgence : (33)-02-47-29-60-37

Numéro de téléphone d'un organisme officiel de consultation en cas d'urgence:

ORFILA

Tél. : (33)-01-45-42-59-59

---

### 2. COMPOSITION/INFORMATIONS SUR LES COMPOSANTS

Nature chimique: Formulation à base de phosphonate.

Substances dangereuses contenues aux termes de la directive 67/548/CEE et classification relative:

3% - 5% Amine grasse polyoxyéthylée

Xn N R22 R38 R41 R50

1% - 3% Composés de l'ion ammonium quaternaire, benzylalkyl en C12-16 diméthyles, chlorures

N.67/548/CEE: 612-140-00-5 CAS: 63449-41-2 EINECS: 264-151-6

C N R21/22 R34 R50

---

### 3. IDENTIFICATION DES DANGERS

Classification selon les directives CE (substances: 67/548/CEE et préparations: 1999/45/CE):

N :R51/53 -

Risque pour l'environnement:

Toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.

---

### 4. PREMIERS SECOURS

En cas d'inhalation:

Sans objet.

En cas de contact avec les yeux:

Rincer immédiatement et abondamment à l'eau au moins 15 minutes.

Consulter un optalmologiste.

En cas de contact avec la peau:

Laver à l'eau.

En cas d'ingestion:

Faire rincer la bouche à l'eau.

En cas de malaise consulter un médecin.

---

## 5. MESURES DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

Moyens d'extinction recommandés:

Eau pulvérisée

Poudre

Mousse

CO2

Moyens d'extinction déconseillés:

Jet d'eau bâton

Dangers particuliers:

Aucun.

Produits de décomposition/combustion dangereux:

Aucun à notre connaissance.

Par pyrolyse: CO, CO2, NOx, H3P, NH3.

Équipement particulier de protection:

Port d'un appareil respiratoire autonome.

Autres informations:

Éviter le rejet des eaux d'extinction dans l'environnement.

---

## 6. MESURES À PRENDRE EN CAS DE DISPERSION ACCIDENTELLE

Précautions individuelles:

Porter un équipement de protection individuel; voir section 8.

Précautions au plan de l'environnement:

Empêcher le produit de pénétrer dans les égouts et dans le milieu naturel.

Contenir les fuites avec de la terre, du sable ou tout autre matériau approprié.

Si le produit s'est déversé dans un cours d'eau, dans les égouts ou s'il a contaminé le sol ou la végétation, avertir les autorités compétentes.

Méthodes de nettoyage:

Récupération:

Absorber le produit avec un matériau inerte. Recueillir dans un récipient approprié.

Nettoyage/décontamination:

Après avoir collecté le produit, laver la zone et les matériaux contaminés avec de l'eau.

Élimination:

Éliminer conformément à la réglementation locale en vigueur.

---

## 7. MANIPULATION ET STOCKAGE

Manipulation:

Mesures techniques:

Pas de mesures spéciales.

Précautions à prendre:

Pas de mesures spéciales.

Conseils d'utilisation:

Respecter les conditions d'emploi.

Stockage:

Mesures techniques:

Prévoir une cuvette de rétention.

Stocker à température ambiante.

Matières incompatibles:

Aucune en particulier.

Matériaux d'emballage recommandés:

Verre  
Acier inox  
Polyéthylène  
Matériaux d'emballage déconseillés:  
Fer  
Aluminium

---

#### 8. CONTRÔLE DE L'EXPOSITION/PROTECTION INDIVIDUELLE

Mesures techniques:

Pas de mesure technique spéciale.

Valeur(s) limite(s) d'exposition:

Aucune.

Equipement de protection individuel:

Protection respiratoire:

N'est pas nécessaire en cas d'utilisation normale.

Protection des mains:

Gants de protection appropriés.

Protection des yeux:

Lunettes de sécurité.

Protection de la peau:

Aucune précaution particulière ne doit être adoptée en cas d'utilisation normale.

---

#### 9. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET CHIMIQUES

Aspect: Liquide.

Couleur: Brun-jaune.

Odeur: Aminée.

pH: 7

Point de fusion: Non déterminé.

Point d'ébullition: 105 ° C

Température de décomposition: > 200°C.

Point éclair: > 100°C

Point d'auto-inflammation: > 200 ° C

Propriétés explosives:

Sans objet.

Propriétés comburantes: Non

Pression de vapeur: 25hPa à 20°C.

Masse volumique: 1,070g/cm<sup>3</sup> à 20°C

Solubilité/Miscibilité:

Dans l'eau: Miscible.

Viscosité: < 100 mPas à 20°C

---

#### 10. STABILITÉ ET RÉACTIVITÉ

Conditions à éviter:

Aucune à notre connaissance dans les conditions normales d'emploi.

Substances à éviter:

Les oxydants puissants.

Produits de décomposition dangereux:

Aucun à notre connaissance dans les conditions normales d'emploi.

---

#### 11. INFORMATIONS TOXICOLOGIQUES

Informations toxicologiques concernant le produit:

Sauf indications particulières, les effets toxicologiques du produit sont évalués par les méthodes conventionnelles décrites à l'annexe II de la directive 1999/45/CE qui prennent en considération toutes les propriétés dangereuses pour la santé des substances qui entre dans la composition du produit.

Toxicité aiguë:

Ingestion: DL50: > 5000 mg/kg/rat  
[estimation]

Effets locaux:

Contact avec la peau:  
Légèrement irritant pour la peau.  
[estimation]

Contact avec les yeux:  
Moyennement irritant pour les yeux.  
[estimation]

Informations toxicologiques relatives aux principales substances présentes dans le produit:

Aminoalkylphosphonate d'ammonium

Résultats obtenus avec un produit similaire.

Toxicité aiguë:

- Ingestion: DL 50 > 17800 mg/kg/rat [littérature]
- Contact avec la peau: DL 50 > 15800 mg/kg/lapin [littérature]

Effets locaux:

- Contact cutané: Non irritant (lapin/24h). [littérature]
- Contact avec les yeux: Légèrement irritant (lapin/24h). [littérature]

Toxicité à long terme:

- Toxicité chronique:
- Ingestion: Etude/rat: organes cibles affectés: foie, rate, reins. [littérature]
- Effets spécifiques:
- Cancérogénèse: Etude/rat/24 mois/voie orale: l'exposition chronique n'augmente pas les cas de tumeurs. [littérature]
- Mutagénèse: Aucun effet génétique observé dans des essais sur cellules bactériennes et animales. [littérature]
- Toxicité pour la reproduction: Etude / rat (3 générations): aucun effet sur la reproduction ou la fertilité. [littérature]

Amine grasse polyoxyéthylée

Toxicité aiguë:

- Nocif en cas d'ingestion. [CESIO]

Effets locaux:

- Contact cutané: Irritant. [CESIO]
- Contact avec les yeux: Risque de lésions oculaires grave. [CESIO]

Composés de l'ion ammonium quaternaire, benzylalkyl en C12-16 diméthyles, chlorures

Toxicité aiguë:

- Ingestion: DL 50 = 200 - 1000 mg/kg/rat [littérature]
- Contact avec la peau: DL 50 = 200 - 1000 mg/kg/lapin [littérature]
- Classé nocif par contact avec la peau et par ingestion par l'Union Européenne (annexe I directive 67/548/CEE).

Effets locaux:

- Contact cutané: Sévèrement irritant. [littérature]

- Contact avec les yeux: Risque de lésion oculaire graves. [littérature]
- Inhalation: Sous forme d'aérosols, le produit peut provoquer l'irritation des voies respiratoires.

Toxicité à long terme:

- Sensibilisation:
  - Contact cutané: Non sensibilisant. Peut entraîner une sensibilisation chez les personnes ayant une maladie de peau (eczéma). [littérature]
- Effets spécifiques:
  - Cancérogénèse: Pas d'effet cancérogène observé lors de tests cutanés sur les souris et les lapins. [littérature]
  - Mutagénèse: Pas d'effets mutagène observé lors de tests sur des cellules bactériennes et animales. [littérature]

## 12. INFORMATIONS ÉCOLOGIQUES

Informations écotoxicologiques concernant le produit:

Ecotoxicité:

Toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.  
(évaluation selon les méthodes conventionnelles décrites à l'annexe III de la directive 1999/45/CE)

Mobilité:

Le produit est une préparation. Voir ci-dessous les informations disponibles pour les principales substances présentes dans le produit.

Persistence et dégradabilité:

DBO5: 90 mgO2/g

DCO: 200 mgO2/g

Partiellement biodégradable.

Le produit est une préparation. Voir ci-dessous les informations disponibles pour les principales substances présentes dans le produit.

Potentiel de bioaccumulation:

Le produit est une préparation. Voir ci-dessous les informations disponibles pour les principales substances présentes dans le produit.

Effets nocifs divers:

Teneur en AOX: Néant.

Informations écotoxicologiques relatives aux principales substances présentes dans le produit:

Aminoalkylphosphonate d'ammonium

Les informations écotoxicologiques suivantes concernant l'acide aminoalkylphosphonique 100%.

Ecotoxicité:

- CL 50 poissons > 330 mg/l/96h (Oncorhynchus mykiss) [littérature]
  - CE 50 daphnies = 297 mg/l/48h (Daphnia magna) [littérature]
  - CI 50 algues = 20 mg/l/96h (Selenastrum capricornutum) [littérature]
- L'inhibition de la croissance des algues est due à la capacité de la substance à former des complexes de matériaux, non toxiques par eux-mêmes.

Persistence et dégradabilité:

- Dans l'eau: Biodégradabilité = 23% / 28j (Zahn-Wellens) (OCDE 302 B) [littérature]

= 20 % (évolution théorique du CO<sub>2</sub>) (OCDE 301 E)

[littérature]

Non facilement biodégradable.

Potentiel de bioaccumulation:

- log Pow = - 3,5 à 20°C. [littérature]

- La substance ne semble pas subir une bioaccumulation. [littérature]

Amine grasse polyoxyéthylée

Ecotoxicité:

- CE 50 daphnies < 1 mg/l/48h (OCDE 202) [littérature]

- Très toxique pour les organismes aquatiques.

Mobilité:

- Dans l'eau: Soluble.

Persistence et dégradabilité:

- Dans l'eau: Biodégradabilité > 60% / 28 j (OCDE 301 F) [littérature]

Facilement biodégradable.

Composés de l'ion ammonium quaternaire, benzylalkyl en C12-16 diméthyles, chlorures

Ecotoxicité:

- CL 50 poissons = 0,5 - 10 mg/l [littérature]

- CI 50 algues = 0,5 - 10 mg/l [littérature]

- Classé très toxique pour les organismes aquatiques par l'Union Européenne (annexe I directive 67/548/CEE).

Mobilité:

- Dans l'eau: Soluble.

Persistence et dégradabilité:

- Dans l'eau: Pratiquement biodégradable mais effet bactéricide.

DCO = 2420 mgO<sub>2</sub>/g

Autres effets nocifs:

- AOX = Néant.

---

### 13. CONSIDÉRATIONS RELATIVES À L'ÉLIMINATION

Procédé de destruction du produit ou des résidus:

Envoyer à des usines de traitement autorisées ou à l'incinération dans des conditions contrôlées.

Procédé de traitement des emballages usagés:

Réutilisables après lavages.

Envoyer à des usines de traitement autorisées ou à l'incinération dans des conditions contrôlées.

Remarque : Opérer en respectant les dispositions locales et nationales en vigueur.

---

### 14. INFORMATIONS RELATIVES AU TRANSPORT

Transport terrestre (ADR/RID):

Produit non dangereux au sens de l'ADR/RID

Transport maritime (IMDG):

Produit non dangereux au sens de l'IMDG

Transport aérien (IATA):

Produit non dangereux au sens de l'IATA

---

### 15. INFORMATIONS RÉGLEMENTAIRES

Étiquetage selon les directives CE (substances: 67/548/CEE et préparations: 1999/45/CE):

Symboles:

N Dangereux pour l'environnement

R Phrases:

R51/53 Toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.

S Phrases:

S61 Eviter le rejet dans l'environnement. Consulter les instructions spéciales/la fiche de données de sécurité.

REGLEMENTATION FRANCAISE

PROTECTION DES TRAVAILLEURS:

Maladies professionnelles: Non Concerné

Code de la sécurité sociale: article L461-1 à 461-8  
(déclaration préalable obligatoire de l'employeur).

Maladies à caractère professionnel: Concerné

Code de la sécurité sociale: articles L461-6 et D461-1  
Rub: N°A. 15

Surveillance médicale spéciale: Concerné

Code du travail article R 241-50.

Arrêté du 11/7/77 et circulaire n°10 du 29/4/1980. Concerné

Cancérogènes: Non Concerné

Circulaire du 14/5/1985 modifiée

(prévention des cancers d'origine professionnelle).

Arrêté du 5/4/85 et circulaire du 14/3/88

(lésion maligne de la vessie).

Travaux interdits: Concerné

Code du travail:

Article R234-9 et 10 (décret n° 90-277 du 28/04/90) (femmes) Non concerné

Article R231-56-12 (décret n° 2001-97 du 01/02/01) Non concerné  
(femmes enceintes et femmes allaitantes).

Article R234-16, 20 et 21 (jeunes travailleurs). Non concerné

Article R231-35 et 38 (décret n° 79-228 du 20/04/79) (formation). Concerné

Arrêté du 8/10/90 (travail temporaire et C.D.D.) Non concerné

Hygiène et sécurité du travail: Non concerné

Code du travail

Article L. 231-7 Non concerné

Article R. 232-5 à R. 232-5-14 (aération assainissement) Non concerné

Article R. 231-54 à R. 231-56-11 (prévention du risque chimique) Non concerné  
(décrets n° 92-1261 du 03/12/92 et n°2001-97 du 01/02/01).

Article R. 233-46 (cuves, bassins, réservoirs) Non concerné

Circulaires modifiées sur les valeurs admises pour les concentrations Non concerné  
dans l'atmosphère des lieux de travail

(voir note documentaire de l'INRS ND 2098-174-99).

Substances et préparations dangereuses: Concerné

Code du travail L. 231-6, 7 L.231-46 à 65

Classification, étiquetage et emballage:

Arrêté du 20/04/94 modifié par les arrêtés du 07/01/97, du 08/06/98,

du 28/08/98, du 08/10/99, du 27/06/00, du 30/06/01, du 09/11/04 et du 04/08/05 (substances).

Arrêté du 09/11/04 modifié par l'arrêté du 07/02/07 (préparations).

Prévention des incendies: Non concerné

Code du travail R233-14 à 41 ; R233-101.  
Dangers d'incendie et risques d'explosion:  
Décret du 14/11/88 et arrêtés du 19/12/98 et du 17/01/89.  
Voir brochure 1228 du J.O. sur le matériel utilisable  
dans les atmosphères explosives et suppléments  
éventuels.

#### PROTECTION DE LA POPULATION:

Substances et préparations vénéneuses:

Non concerné.

Produits cosmétiques et d'hygiène corporelle:

Non autorisé.

Hygiène alimentaire:

Additif alimentation humaine:

Non autorisé.

Additif alimentation animale:

Non autorisé.

Matériaux au contact aliments et produits de nettoyage de ces matériaux:

Non autorisé.

Emploi en agriculture:

Non concerné.

#### PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT:

Installations classées: Concerné

Loi 76-663 du 19/7/76 (JO du 20/7/76) modifiée.

Décret N°77-1133 du 21/09/77 (JO du 08/10/77) modifié.

Décret du 07/07/92 (JO du 17/07/92) modifié (nomenclature).

N°: 1000/1173

Textes particuliers:

Déchets: Concerné

Code de l'environnement.

Classification: Décret 2002-540 du 18/04/02 (JO du 20/04/02)

Contrôle des circuits d'élimination: Décret n° 2005-635 (JO du 30/05/05).

Déchets d'emballage: Décret n° 94-609 du 13/07/94 (JO du 21/07/94).

Rejets interdits: Concerné

Loi 64-1245 du 16/12/64 (Jo du 18/12/64) modifiée.

#### REGLEMENTATION ALLEMANDE

BfR: Non.

Classe WGK: 2

#### REGLEMENTATION USA

FDA: Non.

---

#### 16. AUTRES INFORMATIONS

Texte des phrases R visées au point 2:

R22 Nocif en cas d'ingestion.

R38 Irritant pour la peau.

R41 Risque de lésions oculaires graves.

R50 Très toxique pour les organismes aquatiques.

R21/22 Nocif par contact avec la peau et par ingestion.

R34 Provoque des brûlures.

Position douanière:

Système harmonisé (SH): 38.24.90  
Nomenclature combinée (NC): 38.24.90.45

Cette fiche complète la notice technique d'utilisation mais ne la remplace pas. Les renseignements qu'elle contient sont basés sur l'état de nos connaissances et les principaux textes législatifs et réglementaires relatifs au produit et promulgués à la date de mise à jour. Elle ne saurait être considérée comme une énumération exhaustive et ne dispense en aucun cas l'utilisateur du produit de se reporter à l'ensemble des textes officiels pour connaître les obligations qui lui incombent.  
L'attention de l'utilisateur est en outre attirée sur les risques encourus lorsqu'un produit est utilisé à d'autres usages que ceux pour lequel il est conçu.

Les modifications de cette fiche de sécurité par rapport à la version précédente concernent les rubriques: 2 - 3 - 12 -  
14 - 15 - 16

## AQUAPROX<sup>®</sup> TM 6000 DC

09988

### DEFINITION

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est un biocide actif sur la légionelle, destinée aux traitements des eaux de refroidissement industrielles et des eaux de papeterie.

Il est efficace à de faibles concentrations sur un large spectre de micro-organismes, y compris les bactéries sulfato-réductrices.

### DESCRIPTION DU PRODUIT

Aspect	liquide limpide
Odeur	légère
Couleur	Incolore à Jaunâtre
Polarité	Anionique
<b>Spécifications garanties</b>	
pH à 20°C	4,0 ± 0,5
Densité à 20°C	1,040 ± 0,010
<b>Autres informations</b>	
Stabilité à + 0°C	Cristallisation.
Stabilité à + 20°C	Bonne

### DOMAINES D'UTILISATION

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est un biocide mis au point pour utilisation dans les systèmes de refroidissement à recirculation. Il est actif contre les bactéries, les levures, les champignons et les algues. Il est associé à des dispersants de façon à obtenir la pénétration des agents biocides dans toute la masse des dépôts biologiques.

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est aussi utilisé pour le traitement des eaux de papeterie (anti-boue).

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est spécialement concentré pour les circuits nécessitant d'importantes quantités de biocides.

### DOSE D'UTILISATION

#### Circuits d'eau de refroidissement :

Au démarrage du traitement, il est nécessaire d'utiliser une dose choc de 25 à 50 ppm de produit de façon à assurer une destruction complète des micro-organismes en même temps que la mise en dispersion des vases microbiologiques adhérentes et gluantes souvent présentes dans l'installation.

En fonction normale, les doses à administrer sont de 13 à 25 ppm, la fréquence étant fonction du degré de contamination et des résultats obtenus.

## Papeterie :

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est également utilisé en papeterie à la dose de 100 à 250g par tonne de pâte comptée en sec.

## CONSEILS D'APPLICATION

La conduite d'alimentation de L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC peut être réalisée en matières plastiques telles que le polyéthylène, polypropylène ou le téflon. Le produit doit être introduit en un point de forte turbulence de façon à assurer rapidement un mélange homogène.

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est compatible avec les autres produits de la gamme Aquaprox<sup>®</sup> traitement des eaux, anioniques et non-ioniques.

## PRECAUTIONS D'EMPLOI

Il est recommandé de prendre les précautions d'usages: port de gants et de lunettes ainsi que d'éviter les projections sur la peau et les vêtements.

Consulter la fiche de données de sécurité.

## CONDITIONNEMENT

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est livré en jerrican de 20 kg, en fût polyéthylène de 210 kg et en conteneur de 1000 kg.

*Les renseignements que contient cette notice correspondent à l'état actuel de nos connaissances. Ils ont pour but de vous conseiller, mais ils ne sauraient engager notre responsabilité, car nous ne sommes pas en mesure de contrôler la façon dont nos produits sont mis en oeuvre. L'attention des utilisateurs est en outre attirée sur les risques éventuels encourus lorsqu'un produit est utilisé à d'autres usages que ceux pour lesquels il est conçu.*

## AQUAPROX<sup>®</sup> TM 6000 DC

09988

### DEFINITION

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est un biocide actif sur la légionelle, destinée aux traitements des eaux de refroidissement industrielles et des eaux de papeterie.

Il est efficace à de faibles concentrations sur un large spectre de micro-organismes, y compris les bactéries sulfato-réductrices.

### DESCRIPTION DU PRODUIT

Aspect	liquide limpide
Odeur	légère
Couleur	Incolore à Jaunâtre
Polarité	Anionique
<b>Spécifications garanties</b>	
pH à 20°C	4,0 ± 0,5
Densité à 20°C	1,040 ± 0,010
<b>Autres informations</b>	
Stabilité à + 0°C	Cristallisation.
Stabilité à + 20°C	Bonne

### DOMAINES D'UTILISATION

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est un biocide mis au point pour utilisation dans les systèmes de refroidissement à recirculation. Il est actif contre les bactéries, les levures, les champignons et les algues. Il est associé à des dispersants de façon à obtenir la pénétration des agents biocides dans toute la masse des dépôts biologiques.

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est aussi utilisé pour le traitement des eaux de papeterie (anti-boue).

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est spécialement concentré pour les circuits nécessitant d'importantes quantités de biocides.

### DOSE D'UTILISATION

#### Circuits d'eau de refroidissement :

Au démarrage du traitement, il est nécessaire d'utiliser une dose choc de 25 à 50 ppm de produit de façon à assurer une destruction complète des micro-organismes en même temps que la mise en dispersion des vases microbiologiques adhérentes et gluantes souvent présentes dans l'installation.

En fonction normale, les doses à administrer sont de 13 à 25 ppm, la fréquence étant fonction du degré de contamination et des résultats obtenus.

## Papeterie :

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est également utilisé en papeterie à la dose de 100 à 250g par tonne de pâte comptée en sec.

## CONSEILS D'APPLICATION

La conduite d'alimentation de L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC peut être réalisée en matières plastiques telles que le polyéthylène, polypropylène ou le téflon. Le produit doit être introduit en un point de forte turbulence de façon à assurer rapidement un mélange homogène.

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est compatible avec les autres produits de la gamme Aquaprox<sup>®</sup> traitement des eaux, anioniques et non-ioniques.

## PRECAUTIONS D'EMPLOI

Il est recommandé de prendre les précautions d'usages: port de gants et de lunettes ainsi que d'éviter les projections sur la peau et les vêtements.

Consulter la fiche de données de sécurité.

## CONDITIONNEMENT

L'Aquaprox<sup>®</sup> TM 6000 DC est livré en jerrican de 20 kg, en fût polyéthylène de 210 kg et en conteneur de 1000 kg.

*Les renseignements que contient cette notice correspondent à l'état actuel de nos connaissances. Ils ont pour but de vous conseiller, mais ils ne sauraient engager notre responsabilité, car nous ne sommes pas en mesure de contrôler la façon dont nos produits sont mis en oeuvre. L'attention des utilisateurs est en outre attirée sur les risques éventuels encourus lorsqu'un produit est utilisé à d'autres usages que ceux pour lesquels il est conçu.*

## AQUAPROX MDA 4730

15473-09-05 A

### DEFINITION

#### Agent bio dispersant.

L'**AQUAPROX MDA 4730** est un produit liquide, doué de propriétés dispersantes vis-à-vis du bio film et des agrégats de matières d'origine biologique, présents dans les circuits d'eaux.

L'**Aquaprox MDA 4730** rend le bio film plus fragile aux agents biocides et limite ainsi le risque de développement de légionella.

### DESCRIPTION DU PRODUIT

Aspect	Liquide limpide.
Odeur	Légèrement grasse
Couleur	Incolore à Jaune pâle.
<b>Spécifications garanties</b>	
% Extrait sec	50 ± 2
Couleur Gardner	< 4
<b>Valeurs significatives (à titre indicatif)</b>	
Viscosité	100 mPa environ
Densité	1,08 environ
pH d'une solution à 10 %	6,5 environ
<b>Autres informations</b>	
Stabilité de 0°C	Bonne
Stabilité de +50°C	Bonne
Stabilité au stockage	1 an à 20°C

### PROPRIETES D'APPLICATION

L'**AQUAPROX® MDA 4730** s'utilise en complément de chloration, bromation ou de l'emploi d'un autre agent oxydant. Il améliore aussi l'efficacité des biocides non oxydants comme les **AQUAPROX® TM 1000**, **TM 6000**, **TM 7000**.

Son action dispersante permet l'élimination des matières d'origine biologique qui, après oxydation, génèrent des résidus servant de supports à de nouveaux développements bactériens s'ils ne sont pas éliminés.

Il s'utilise dans le traitement de circuits de refroidissements ouverts, semi-ouverts en traitement choc la plupart du temps. La fréquence des chocs varie en fonction des conditions spécifiques.

#### **Avantages :**

- diminution du coût de traitement bactéricide, en améliorant les performances des produits oxydants,
- maintien des coefficients d'échanges des installations à un niveau proche de l'optimum,
- facilité de mise en œuvre.

## DOSE D'UTILISATION

L'**AQUAPROX® MDA 4730** peut être dosé soit en continu, soit en discontinu, en fonction des conclusions de l'étude réalisée par notre ingénieur régional, qui définit aussi les conditions de mise en œuvre du biocide oxydant.

Le dosage de l'**AQUAPROX® MDA 4730** varie de 5 à 40 g/m<sup>3</sup> d'eau d'appoint.

## MANIPULATION ET STOCKAGE

Consulter la fiche de données de sécurité.

Le port des équipements individuels de protection (lunettes, gants) est conseillé.

## CONDITIONNEMENT

L'**AQUAPROX MDA 4730** est livré en fût de 230 kg ou en containers de 1 000 kg.

*Les renseignements que contient cette notice correspondent à l'état actuel de nos connaissances. Ils ont pour but de vous conseiller, mais ils ne sauraient engager notre responsabilité, car nous ne sommes pas en mesure de contrôler la façon dont nos produits sont mis en œuvre. L'attention des utilisateurs est en outre attirée sur les risques éventuels encourus lorsqu'un produit est utilisé à d'autres usages que ceux pour lesquels il est conçu.*

## AQUAPROX MDA 4730

15473-09-05 A

### DEFINITION

#### Agent bio dispersant.

L'**AQUAPROX MDA 4730** est un produit liquide, doué de propriétés dispersantes vis-à-vis du bio film et des agrégats de matières d'origine biologique, présents dans les circuits d'eaux.

L'**Aquaprox MDA 4730** rend le bio film plus fragile aux agents biocides et limite ainsi le risque de développement de légionella.

### DESCRIPTION DU PRODUIT

Aspect	Liquide limpide.
Odeur	Légèrement grasse
Couleur	Incolore à Jaune pâle.
<b>Spécifications garanties</b>	
% Extrait sec	50 ± 2
Couleur Gardner	< 4
<b>Valeurs significatives (à titre indicatif)</b>	
Viscosité	100 mPa environ
Densité	1,08 environ
pH d'une solution à 10 %	6,5 environ
<b>Autres informations</b>	
Stabilité de 0°C	Bonne
Stabilité de +50°C	Bonne
Stabilité au stockage	1 an à 20°C

### PROPRIETES D'APPLICATION

L'**AQUAPROX® MDA 4730** s'utilise en complément de chloration, bromation ou de l'emploi d'un autre agent oxydant. Il améliore aussi l'efficacité des biocides non oxydants comme les **AQUAPROX® TM 1000**, **TM 6000**, **TM 7000**.

Son action dispersante permet l'élimination des matières d'origine biologique qui, après oxydation, génèrent des résidus servant de supports à de nouveaux développements bactériens s'ils ne sont pas éliminés.

Il s'utilise dans le traitement de circuits de refroidissements ouverts, semi-ouverts en traitement choc la plupart du temps. La fréquence des chocs varie en fonction des conditions spécifiques.

#### **Avantages :**

- diminution du coût de traitement bactéricide, en améliorant les performances des produits oxydants,
- maintien des coefficients d'échanges des installations à un niveau proche de l'optimum,
- facilité de mise en œuvre.

## **DOSE D'UTILISATION**

L'**AQUAPROX® MDA 4730** peut être dosé soit en continu, soit en discontinu, en fonction des conclusions de l'étude réalisée par notre ingénieur régional, qui définit aussi les conditions de mise en œuvre du biocide oxydant.

Le dosage de l'**AQUAPROX® MDA 4730** varie de 5 à 40 g/m<sup>3</sup> d'eau d'appoint.

## **MANIPULATION ET STOCKAGE**

Consulter la fiche de données de sécurité.

Le port des équipements individuels de protection (lunettes, gants) est conseillé.

## **CONDITIONNEMENT**

L'**AQUAPROX MDA 4730** est livré en fût de 230 kg ou en containers de 1 000 kg.

*Les renseignements que contient cette notice correspondent à l'état actuel de nos connaissances. Ils ont pour but de vous conseiller, mais ils ne sauraient engager notre responsabilité, car nous ne sommes pas en mesure de contrôler la façon dont nos produits sont mis en œuvre. L'attention des utilisateurs est en outre attirée sur les risques éventuels encourus lorsqu'un produit est utilisé à d'autres usages que ceux pour lesquels il est conçu.*