

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
Université du 20 août 1955 - SKIKDA



Faculté des Sciences  
Département de Chimie

## **Mémoire de Master**

Filière : Chimie - Spécialité : **Electrochimie-Corrosion**

Présenté par :

**BOUCHELIT IAMIA**

**ZIGHED CHEIMA**

**Inhibition de la corrosion de l'acier au carbone C-1020 par l'extrait  
éthanolique de déchets d'épluchures de pommes de terre**

Soutenu le : 03/07/2022

Devant le jury :

K. Belmoke	Prof	Univ. de Skikda	Président
N. Khenchoul	MAA	Univ. de Skikda	Rapportrice
A. Delimi	MCA	Univ. de Skikda	Examinatrice

Année Universitaire :2021/2022

# REMERCIEMENT

*Nous remercions **DIEU**, tout puissant de nous avoir donnée la patience, la santé et le courage pour la réalisation de ce travail.*

*Nous voudrions exprimer nos remerciements à Monsieur **K. BELMOKRE** professeur au département de chimie, et responsable du parcours de Master professionnel Electrochimie-Corrosion ; Université 20 août 1955- Skikda.*

*Nos profonds remerciements à notre Encadreur M<sup>lle</sup> **N. KHENCOULE** MAA à l'université 20 août 1955-Skikda pour les remarques constructives qu'elle nous a faites ainsi que pour ses précieux conseils durant toutes les périodes de réalisation de ce mémoire.*

*Nous sommes très honorées de remercier M<sup>lle</sup> **N. BENACHOUR**, maître de conférences B et chef de département de chimie à l'université 20 août 1955-Skikda.*

*Nous remercions vont aussi au professeur **K. BELMOKRE** d'avoir accepté de présider ce travail et M<sup>me</sup> **A. Delimi**, maître de conférences B à l'université 20 août 1955-Skikda, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

*Nous tenons à remercier les responsables de laboratoire d'électrochimie et corrosion **S. CHANIKI, N. ABDENOURI** et **K. FLIGHA**. Pour sa disponibilité et son aide au laboratoire.*

*Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail*

# DEDICACE

*Je remercie Allah, qui m'a donné la force et le courage pour réaliser ce travail  
et terminer mes études.*

*Je dédie ce mémoire*

*A mon cher père*

*En vous je vois un père dévoué à sa famille ta présence en toute circonstance,  
m'a maintes fois rappelé le sens de la responsabilité.*

*A ma chère mère*

*En vous, je vois la maman parfaite, toujours prête à se sacrifier le bonheur des  
enfants.*

*Je souhaite une longue et heureuse vie et que ALLAH les garde et les protège*

*A mes chères sœurs : Iman, Salma, Marwa, Wafa*

*A mes frères : Fouad, Ilyas, Ishak*

*A mes chères petites nièces : Roia, Lojaïne*

*A mes petites nièces : Djoud, Abd Alghafour*

*A toute ma famille, du plus petit au plus grand*

*A mes binômes : Cheïma*

*A ma chère proche : Assia*

*A mes chères amies : Donia, Sabrina, Manal, Douaa, Salma, Imane, Meriem,  
Rania, Dalal*

# DEDICACE

*Je remercie Allah, qui me donnée la force et le courage pour réaliser ce travail  
et terminer mes études.*

*Je dédie ce mémoire*

*A mon cher père*

*En vous je vois un père dévoué à sa famille ta présence en toute circonstance,  
m'a maintes fois rappelé le sens de la responsabilité.*

*A ma chérie mère*

*Spéciale dédicace à mon mari, **Bilel** pour soutien, ses conseils, sa tolérance, sa  
patience et sa confiance envers moi.*

*Je souhaite une longue et heureuse vie et que **ALLAH** les garde et les protège*

*A mes frères : **Sohaïbe, Mohamed Amine***

*A mes binômes : **Lamia***

*CHEIMA*



---

## Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Abréviations

Introduction générale.....	1
Référence bibliographique .....	3

### **Chapitre I : Synthèse bibliographique sur la corrosion de l'acier**

I.1. Généralité sur la corrosion.....	4
I.1.1. Définition normative de la corrosion .....	4
I.1.2. Réaction de corrosion .....	5
I.1.3. Types de corrosion .....	7
I.1.4. Les différents Forment de corrosion .....	9
I.1.5. Facteurs de corrosion .....	12
I.2. Corrosion de l'acier.....	14
I.2.1. Définition normative.....	15
I.2.2. Classification des aciers.....	15
I.2.3. Corrosion de l'acier .....	16
I.2.4. Diagramme d'équilibre de pourbaix.....	17
I.2.5. Résistance des aciers à la corrosion (Aciers au carbone et acier inoxydables).....	18
I.3. La protection contre la corrosion .....	18
I.3.1. Les traitements de surface (préparation de la surface).....	19
I.3.2. La protection électrochimique .....	24

I.3.3. Revêtements .....	25
I.3.4. La protection par inhibiteurs .....	26
Référence bibliographique .....	27

## **Chapitre II : les inhibiteurs de corrosion**

II.1. Généralités sur les inhibiteurs de corrosion.....	30
II.1.1. Définition .....	30
II.1.2. Historique.....	31
II.1.3. Conditions d'utilisations et propriétés.....	32
II.1.4. Domaines d'utilisation.....	32
II.2. Classification des inhibiteurs.....	33
II.2.1. Selon leur composition chimique .....	33
II.2.2. Selon leur mode d'action .....	34
II.2.3. Selon la nature électrochimique du processus .....	37
II.3. Mécanisme et principe d'action .....	39
II.4. Les inhibiteurs verts .....	39
II.4.1 . La chimie vert.....	40
II.5. L'inhibiteur des pelures de pommes de terre .....	41
II.5.1. Composition des pelures de pommes de terre .....	41
II.5.2. Différentes utilisations des pelures de pommes de terre.....	42
Référence bibliographique .....	44

## **Chapitre III : Matériel, techniques et conditions expérimentales**

III.1. Matériaux utilisés.....	46
III.1.1. Composition chimique de l'acier.....	46

III.1.2. Propriété mécanique.....	46
III.1.3. Propriété physique.....	47
III.2.1. Préparation des électrodes de travail.....	47
III.2.2. Préparation de surface .....	48
III.3. Milieux d'études .....	48
III.4. Préparation de l'extrait des pelures de pomme de terre.....	48
III.4.1. Matériel végétale.....	48
III.4.2. Extraction des polyphénols.....	49
III.4.3. Rendement d'extraction.....	51
III.5. Cellule électrochimique.....	51
III.6. Conditions opératoires.....	52
III.7. Méthode Electro polissage ... ..	53
III.8. Techniques expérimentales .....	54
III.8.1. Etude gravimétrique.....	54
III.8.2. Méthodes électrochimiques .....	56
III.8.3. Méthodes d'analyse physico-chimique .....	65
Références bibliographiques.....	67

**Chapitre IV: Résultats et Discussion**

IV.1. Rendement d'extraction.....	69
IV.2. Inhibition de la corrosion de l'acier C-1020 par l'extrait de couche externe de pomme de terre dans NaCl 30 g/l.....	69
IV.2.1. Etude gravimétrique.....	69

IV.2.2. Etude électrochimique.....	72
IV.2.3. Spectroscopie d'impédance électrochimie.....	75
IV.3. Spectroscopie UV- Visible.....	78
IV.4. Isotherme d'adsorption.....	79
IV.5. Polissage électrolytique de l'acier C-1020 dans H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> en présence de l'extrait de la couche externe de pomme de terre.....	80
Référence bibliographique.....	82



## Abréviations & Unités

**ISO** : Organisation internationale de normalisation

**NACE** : National Association of Corrosion Engineers

**OCP** : Potentiel a circuit ouvert

**SIC** : Papier abrasif

**SIF** : Spectroscopie d'impédance électrochimique

**CPE** : Élément à phase constant

**ppm** : Partie par million

**E** : Potentiel

**I** : Densité du courant

**E<sub>corr</sub>** : Potentiel de corrosion

**I<sub>corr</sub>** : Courant de corrosion

**V<sub>corr</sub>** : Vitesse de corrosion

**R<sub>p</sub>** : Résistance de polarisation

**R<sub>s</sub>** : Résistance de solution

**R<sub>tc</sub>** : Résistance de transfert de charge

**EI** : Efficacité

**T** : La température

**n** : Le nombre d'électrons échangés globalement dans la solution

**F** : Constant de Faraday (96500 C/mole)

**S** : La surface de l'électrode

**NaCl** : Chlorure de sodium

**H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>** : Acide Phosphorique

**OX** : Oxydant

**Red** : Réducteur

**M** : La masse molaire du métal (g/mol)

**t** : La durée de l'immersion du métal dans la solution (Seconde)

$Z(\omega)$  : Impédance électrochimique

$|Z|$  : Représente le module de l'impédance

$\theta$  : Le taux de recouvrement

$\beta_a$  : Coefficients de Tafel anodique

$\beta_c$  : Coefficients de Tafel cathodique

$\varphi$  : L'angle de déphasage

$Z_{re}$  : La partie réelle de l'impédance

$Z_{im}$  : La partie imaginaire de l'impédance

$A$  : Absorbance

$L$  : longueur du trajet optique

$C$  : Concentration du composé étudié

$\eta_a$  : surtension anodique

$\eta_c$  : surtension cathodique

## LISTE DES TABLAUX

<b>Tableau I.1 :</b> Influence de différents facteurs sur la corrosion des métaux .....	<b>13</b>
<b>Tableau I.2:</b> Actions spécifiques sur les éléments du système matériaux-surface-milieu ....	<b>19</b>
<b>Tableau I.3 :</b> Types de revêtements .....	<b>25</b>
<b>Tableau II.1 :</b> Composition chimique de pelure de pomme de terre.....	<b>42</b>
<b>Tableau III.1 :</b> Composition chimique de l'acier d'étude.....	<b>46</b>
<b>Tableau III.2 :</b> Propriété mécanique de l'acier au carbone C- 1020.....	<b>46</b>
<b>Tableau III.3 :</b> Propriété physique de l'acier au carbone C-1020.....	<b>47</b>
<b>Tableau IV.1 :</b> Variation de l'efficacité inhibitrice (EI%) de la corrosion de l'acier au carbone en fonction de la concentration de l'extrait de pelure de pomme de terre.....	<b>70</b>
<b>Tableau IV.2 :</b> Taux de corrosion en fonction de temps d'immersion de l'acier C-1020 dans une solution de Na Cl 30g/l en présence des concentrations seuils des pelures de pomme de terre.....	<b>71</b>
<b>Tableau IV.3 :</b> Paramètres électrochimiques et l'efficacité d'inhibiteur de l'acier au carbone C-1020 dans NaCl 30g/l à différent concentration d'extrait.....	<b>75</b>
<b>Tableau IV.4:</b> Paramètres d'impédance électrochimique de l'acier au carbone dans NaCl 30g/l contenant différentes concentrations d'inhibiteur vert.....	<b>77</b>
<b>Tableau IV.5 :</b> Paramètres des isothermes de Langmuire, Freundliche, Frumkin et Temkin à différente concentration d'extrait de pelure de pomme de terre.....	<b>79</b>
<b>Tableau IV.6 :</b> Évolution des paramètres électrochimiques obtenus à partir des courbes intensité-potential en fonction de la concentration de l'extrait éthanoïque.....	<b>81</b>

## LISTE DES FIGURE

<b>Figure I.1</b> : Série galvanique ou échelle galvanique.....	6
<b>Figure I.2</b> : Mécanisme de la corrosion chimique.....	7
<b>Figure I.3</b> : Mécanisme de la réaction électrochimique.....	8
<b>Figure I.4</b> : Mécanisme de la corrosion bactérienne.....	9
<b>Figure I.5</b> : Corrosion généralisé (uniforme).....	9
<b>Figure I.6</b> : Corrosion localisée.....	10
<b>Figure I.7</b> : corrosion galvanique (bimétallique).....	11
<b>Figure I.8</b> : corrosion par piquûre.....	11
<b>Figure I.9</b> : Diagramme potentiel-pH pour le fer à 25 °C.....	18
<b>Figure II.1</b> : itérer d'un inhibiteur de corrosion.....	31
<b>Figure II.2</b> : Contrôle cathodique / anodique de corrosion, action d'un inhibiteur cathodique /anodique.....	38
<b>Figure II. 3</b> : Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur de corrosion.....	38
<b>Figure II.4</b> : Pomme de terre.....	41
<b>Figure II.5</b> : Pelures de pomme de terre .....	42
<b>Figure III.1</b> : Préparation des électrodes de travail.....	47
<b>Figure III.2</b> : préparation de surface : a : polisseuse à papier abrasives, b : électrode de travail.....	48
<b>Figure III.3</b> : Les pelures de pomme de terre séchées et broyées.....	49
<b>Figure III.4.</b> : Agitation du mélange pendant 24 heures.....	49

<b>Figure III.5 :</b> Photos de filtration le reflux pomme de terre.....	<b>50</b>
<b>Figure III.6 :</b> Montage d'évaporation – évaporateur rotatif.....	<b>50</b>
<b>Figure III.7 :</b> Photos de l'extrait de pelure de pomme de terre.....	<b>51</b>
<b>Figure III.8 :</b> Représentation de la cellule électrochimique à trois électrodes.....	<b>52</b>
<b>Figure III.9 :</b> Dispositif de mesure électrochimique.....	<b>52</b>
<b>Figure III. 10 :</b> Cellule électro électrique à trois électrodes.....	<b>53</b>
<b>Figure III.11 :</b> Montage expérimentale pour l'électro-polissage.....	<b>54</b>
<b>Figure III.12 :</b> Photo de technique de la masse perdue.....	<b>55</b>
<b>Figure III.13 :</b> Courbes types potentiel /temps d'immersion : $E=f(t)$ .....	<b>57</b>
<b>Figure III.14 :</b> Courbe intensité –potentielle : $i= f(E)$ .....	<b>58</b>
<b>Figure III.15 :</b> Courbes de polarisation en coordonnées semi-logarithmiques et droites de Tafel .....	<b>60</b>
<b>Figure III.16 :</b> Détermination graphique de la résistance de polarisation.....	<b>62</b>
<b>Figure III.17 :</b> Schéma d'une fonction de transfert.....	<b>63</b>
<b>Figure III.18 :</b> Représentation de Nyquist et Bode d'un diagramme d'impédance électrochimique.....	<b>64</b>
<b>Figure III.19 :</b> Représentation, dans le plan de Nyquist, de l'impédance électrochimique, dans le cas d'un processus de charges et circuit électrique équivalent correspondant.....	<b>65</b>
<b>Figure III.20 :</b> Transitions électroniques.....	<b>65</b>
<b>Figure IV.1 :</b> Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration de l'extrait de pelure de pomme de terre dans une solution de Na Cl 30g/l.....	<b>70</b>

<b>Figure IV.2 :</b> Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration de l'extrait de pomme de terre dans une solution de 30g/l NaCl.....	<b>71</b>
<b>Figure IV.3 :</b> Evolution de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion de l'acier C-1020 dans une solution de Na Cl 30g/l en présence de l'extrait.....	<b>72</b>
<b>Figure IV.4 :</b> Evolution du potentiel libre en fonction du temps de l'acier immergé dans NaCl 30g/l en absence et en présence des différentes concentrations d'extrait.....	<b>73</b>
<b>Figure IV.5 :</b> Courbes de polarisation de l'acier au carbone C-1020 dans NaCl 30g/l en absence et en présence d'extrait de pelure de pomme de terre.....	<b>74</b>
<b>Figure IV.6 :</b> Diagrammes d'impédance de Nyquist de l'acier au carbone C-1020 dans NaCl 30g/l, en absence et en présence des différentes concentrations.....	<b>76</b>
<b>Figure IV.7 :</b> Circuit électrique équivalents.....	<b>77</b>
<b>Figure IV.8 :</b> Spectres UV/Visible de l'extrait des pelures de pomme de terre avant et après immersion de l'acier au carbone C-1020 dans solution NaCl 30 g/l.....	<b>78</b>
<b>Figure IV.9 :</b> Isothermes d'adsorption de Langmuir pour l'extrait de pelure de pomme de terre sur l'acier au carbone dans NaCl 30g/l à différentes concentrations : (a) : Langmuir (b) : Freundlich (c) : Temkin (d) : Frenkin.....	<b>79-80</b>
<b>Figure IV.10 :</b> Courbe de polarisation de l'acier Cc-1020 en milieu acide phosphorique pour différent concentration d'extrait.....	<b>81</b>





# Introduction général

### Introduction générale

Aujourd'hui, l'acier au carbone a pris une place prépondérante dans la vie ; en particulier dans le domaine industriel en raison de son faible coût de fabrication, et même de ses différentes propriétés, et de sa résistance mécanique et thermique. Ce matériau est disponible dans de nombreuses formes et tailles pour de nombreuses applications [1].

Dans la plupart des applications de la technologie des matériaux, l'état de surface est considéré comme un critère essentiel dans le choix des matériaux et des applications. L'amélioration de ses propriétés, par l'apport d'un certain nombre de traitements spécifiques tel que le polissage électrolytique dans un milieu acide (est une technique chimique de traitement de surface par action électrolytique consistant à retirer ion par ion le métal de la surface d'un objet métallique [2]). Figure parmi les priorités dans l'étude, le développement et la mise au point de tout matériau.

Malheureusement, L'acier est toujours exposé à la corrosion, ce qui entraîne plusieurs conséquences dans les industries (arrêt de production, accident et risque de pollution, etc.); qui sont des événements fréquents à fort sur l'impact économique. Parmi les facteurs qui provoquent la corrosion des métaux dans les installations industrielles, les solutions acides qui sont largement utilisées dans les industries, ses principaux domaines d'applications étant le décapage ou le nettoyage et l'élimination de dépôts localisés (dépôts bactériens) [3].

Plusieurs méthodes de protection contre la corrosion ont été développées, parmi lesquels l'utilisation des inhibiteurs de corrosion synthétique ou naturels est l'un des meilleures méthodes en raison de leur rentabilité et facilité d'application dans l'industrie [4].

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 est en fait une méthode de contrôle de la corrosion facile à mettre en œuvre et peu onéreuse, pour peu que les produits utilisés soient d'un coût modéré.

L'utilisation d'extrait de plantes, comme inhibiteurs de corrosion, est un axe de recherche en développement si on prend compte le nombre de publications sortant chaque année.

En effet, ces extraits naturels contiennent de nombreuses familles de composés organiques naturels <<écologiques>>, facilement disponibles et renouvelables.

L'objectif de ce travail est une contribution d'une part à l'évaluation de l'effet inhibiteur de l'extrait de pelure de pomme de terre sur la corrosion de l'acier au carbone C-1020 dans NaCl 30 g/l. d'autre part à l'étude électrochimique du phénomène d'électro-polissage de l'acier C-1020 dans H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 8M en présence de l'extrait vert.

Nous avons structuré ce travail en quatre chapitres :

Chapitre I est consacré à une étude synthèse bibliographique sur la corrosion d'acier. Nous présentons succinctement des éléments généraux sur les aciers au carbone et leur comportement vis-à-vis de la corrosion ;

Chapitre II est consacré à une étude théorique sur l'inhibition de la corrosion. Suivie d'une revue bibliographique liée à l'utilisation des composés organiques naturels comme inhibiteurs de corrosion pour les métaux en milieux agressifs ;

Les dispositifs expérimentaux (matériaux, électrolyte et montages), le protocole d'extraction préparatoire des inhibiteurs à partir des plantes dans ce travail sont présentés dans le troisième chapitre.

Chapitre IV regroupe les résultats expérimentaux obtenus et leurs interprétations.

### Référence bibliographique

- [1] : F. Ouali, H. Chemache, N. Brinis. Elaboration d'un revêtement à base de poly pyrrole dopé par des contre ions, Université de Bejaia 2019.
- [2] :Yy. Benaïssa, I. Touari. Mise en point d'un l'électrobrillantage à base de soude de Al 6005, mémoire master, génie des procédés, université de blida 1, 2017.
- [3] : Traisnel, M. Etude de l'effet des alcaloïdes sur la corrosion de l'acier C38 en milieu acide chlorhydrique 1M. Université des Antilles et de la Guyane, France, 2013.
- [4]: E. Yeager, <<Dioxygen electrocatalysis: mechanisms in relation to catalyst Structure>>, journal of molecular catalysis. Volume 38, Issues 1-2(1986)pp-5-25.



# Chapitre I

**Synthèses  
bibliographique sur  
la corrosion**

La corrosion [1] est un phénomène néfaste qui définit comme étant l'interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et souvent une dégradation fonctionnelle du métal lui-même [2].

La corrosion est un grand problème mondial qui touche beaucoup de secteurs, plus particulièrement l'industrie. En effet, elle peut affecter de nombreuses structures, particulièrement celles qui sont constituées de matériaux métalliques, et plus particulièrement les aciers qui constituent les matériaux de base dans la construction de nombreuses structures qui sont fortement exposés à la corrosion qu'ils soient au contact d'atmosphères humides, immergés en eau douce ou saline, implantés dans les sols ou en présence de solutions plus ou moins agressives [3.4].

Les aciers au carbone sont des matériaux métalliques ferreux les plus utilisés différents branches de l'industrie et de la construction mécanique. Il a également l'avantage d'être bon marché, car le minerai de fer est produit très abondant sur terre et il possède des propriétés mécaniques relativement bonnes, mais malgré ces nombreux avantages, il présente l'inconvénient majeur d'être très sensible à la corrosion.

Dans ce chapitre on va présenter quelques notions principales sur la corrosion, ces types, ces formes. Et aussi la corrosion de l'acier.

## I.1. Généralité sur la corrosion

### I.1.1. Définition normative de la corrosion

#### ➤ Selon la norme ISO 8044 :1999

La corrosion est définie comme l'interaction physico-chimique entre un métal et son milieu environnant entraînant des modifications dans les propriétés du métal et pouvant conduire à une dégradation significative de la fonction du métal, du milieu environnant ou du système technique dont ils font partie [5].

#### ➤ Selon NACE

La corrosion est la détérioration d'un matériau, généralement métallique, qui résulte d'une réaction avec son environnement. C'est à dire soit un environnement gazeux (oxygène de l'air par exemple), soit un environnement liquide (eau de mer par exemple), soit un

environnement de contraintes dans de tels milieux, soit même en milieu biologique (bactéries se déposant dans les tuyères industrielles - chimique ou pétrochimique - ou d'extraction pétrolière) [6].

### I.1.2. Réaction de corrosion

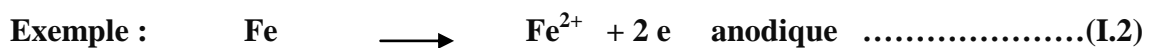
La corrosion des métaux est due à une réaction d'oxydo-réduction irréversible entre le métal et un agent oxydant contenu dans l'environnement. L'oxydation du métal implique la réduction de l'agent oxydant.



Par exemple la corrosion de fer dans l'acide chlorhydrique est due la réaction :



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



**Anode :** électrode où se produit la réaction d'oxydation (dissolution du métal). Où le courant passe du métal vers la solution.

**Cathode :** électrode où se produit la réaction de réduction (disposition à la surface du métal), où le courant passe de la solution vers le métal [6].

Les réactions électrochimiques sont des réactions d'oxydo-réduction avec transfert d'électrons Les deux réactions se produisent simultanément de sorte que le courant électrique total est en apparence nul : il existe néanmoins réellement. Il est nommé **courant de corrosion**

**Le potentiel d'équilibre :** est un potentiel à courant nul. C'est le potentiel que prend un métal par rapport à la solution de l'un de ses sels. Il est caractéristique du métal et peut être calculé en utilisant la relation de Nernst :

$$E_{(ox/red)} = E^0 + \frac{RT}{nF} \log \frac{[Ox]}{[Red]} \dots\dots\dots (I.4.)$$

Le potentiel de corrosion, appelé aussi potentiel libre ou potentiel à l'abandon est le potentiel que prend un métal ou un alliage métallique donné par rapport à un électrolyte donné. Il est dépendant des conditions expérimentales et peut être mesuré par rapport à une électrode de référence.

**Les électrodes de références :** sont des électrodes impolarisables. L'électrode de référence dont la tension est choisie égale à zéro à toute température est l'électrode à hydrogène mais cette électrode est longue à préparer et d'un emploi délicat. Celle qui est la plus utilisée est l'électrode au calomel saturé (E.C.S ou S.C.E. en version anglo-saxonne). Il peut être établie une classification des métaux et alliages en fonction de la valeur du potentiel de corrosion, on parle alors de **série galvanique ou échelle galvanique**. (Figure I.1).

De très nombreux paramètres tels que la composition, la structure cristallographique, la mise en œuvre des matériaux métalliques ont une influence sur les processus de corrosion [7].

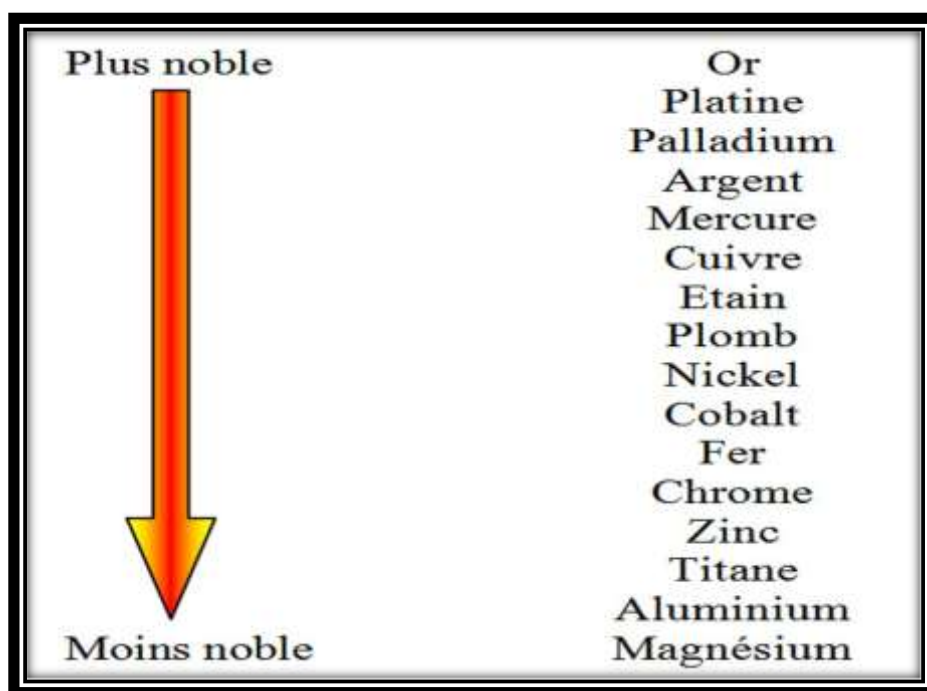


Figure I.1 : Série galvanique ou échelle galvanique.

### I.1.3. Types de corrosion

Selon la nature de l'environnement et le comportement du métal, on peut résumer les différents processus de la corrosion comme suit :

#### I.1.3.1. Corrosion chimique (sèche)

La corrosion chimique est l'attaque directe du métal par son environnement. Ce type de corrosion se développe dans une solution non électrolyte ou sur l'action d'un gaz ( $O_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ ). Généralement ce type de corrosion se produit à haute température [8].

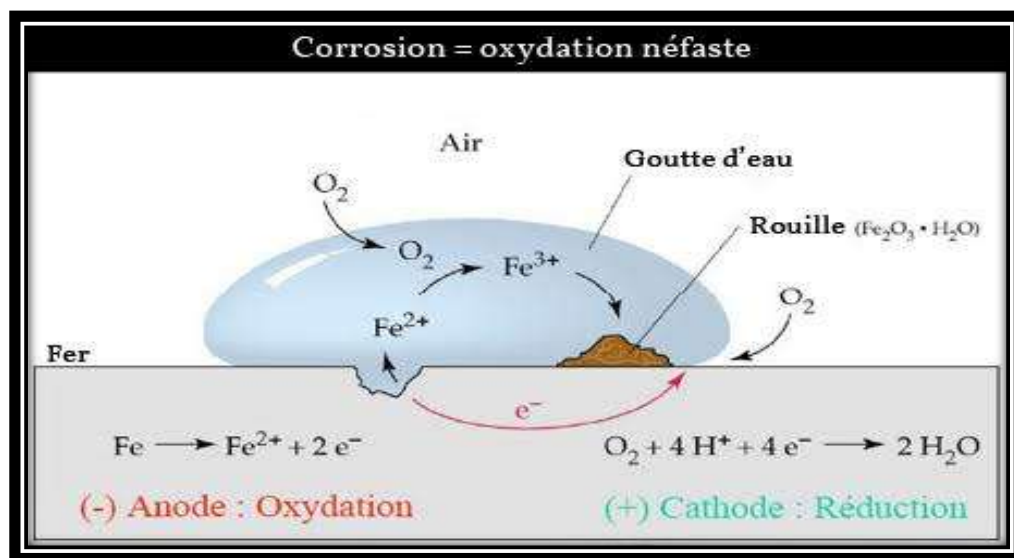


Figure I.2 : Mécanisme de la corrosion chimique

#### I.1.3.2. Corrosion électrochimique (humide)

Le phénomène de cette corrosion est le plus important, elle se manifeste lorsqu'un réactif est liquide ou il existe une hétérogénéité soit dans le métal ou dans le réactif, présentant une dissymétrie de composition. L'existence de ces hétérogénéités détermine la formation d'une pile, alors un courant électrique circule entre anodes et cathodes dans le réactif et les zones qui constituent les anodes sont attaquées (corrodées). Pour une corrosion électrochimique on a :



En général il n'existe pas un métal idéalement pur, il contient toujours des hétérogénéités physiques ou chimiques dont le potentiel de corrosion est en général différent à celui de la matrice. C'est à dire les métaux ne sont pas monophasés lorsqu'ils sont plongés dans le

réactif même pour un alliage, si ces éléments d'addition sont en solution solide, on ne peut pas les considérer comme parfaitement monophasés, car ils présentent toujours des inclusions Oxydes, sulfures etc. ou bien des régions écrouis donc les légères différences de propriétés chimiques ou physiques entre les différentes parties du métal déterminent une électrode composite (cellule électrochimique) qui contient des microcathodes et des microanodes en court-circuit, c'est à dire constituant des couples électriques(piles).

Lorsqu'une électrode composite est immergée dans un électrolyte, ce qu'est toujours réalisé, elle est donc le siège d'un phénomène de corrosion électrochimique et les anodes sont attaquées avec une vitesse qui dépend de l'intensité du courant alimenté par les piles locales [9].

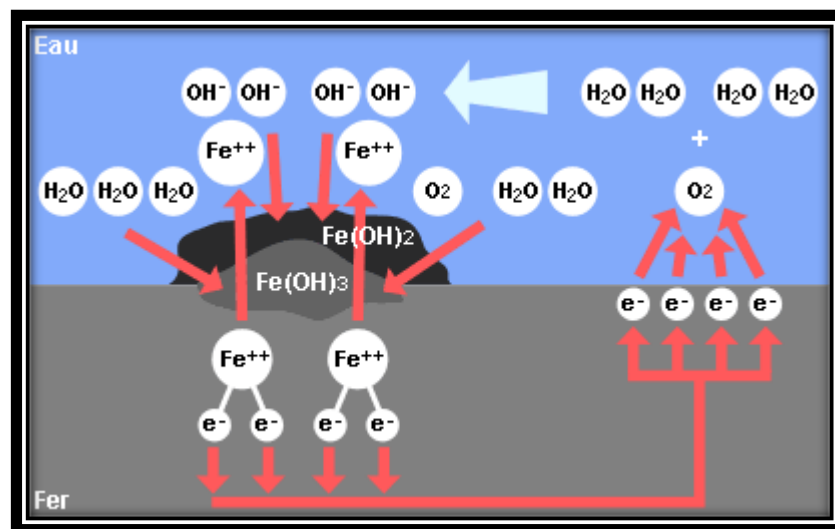


Figure I.3 : Mécanisme de la réaction électrochimique [9].

### I.1.3.3. Corrosion microbienne (Bactérienne)

La corrosion microbienne [10] est la conséquence d'interactions qui se manifestent entre des bactéries et les matériaux sur lesquels elles se sont fixées. Ce phénomène qui se produit dans les eaux privées d'oxygène, en présence de sulfates et de bactéries réductrices du soufre, lesquelles réduisent les sulfates à l'état de sulfures, avec libération d' $H_2S$  qui attaque les matériaux avec lesquels l'eau et en contact en causant la détérioration de pipelines. L'attaque corrosive peut être très rapide et avoir des conduites.

On distingue plusieurs types de corrosion microbienne :

- La corrosion due aux bactéries sulfato-réductrices ;
- La corrosion due aux bactéries nitrifiantes ;
- La corrosion due à des films algaux.

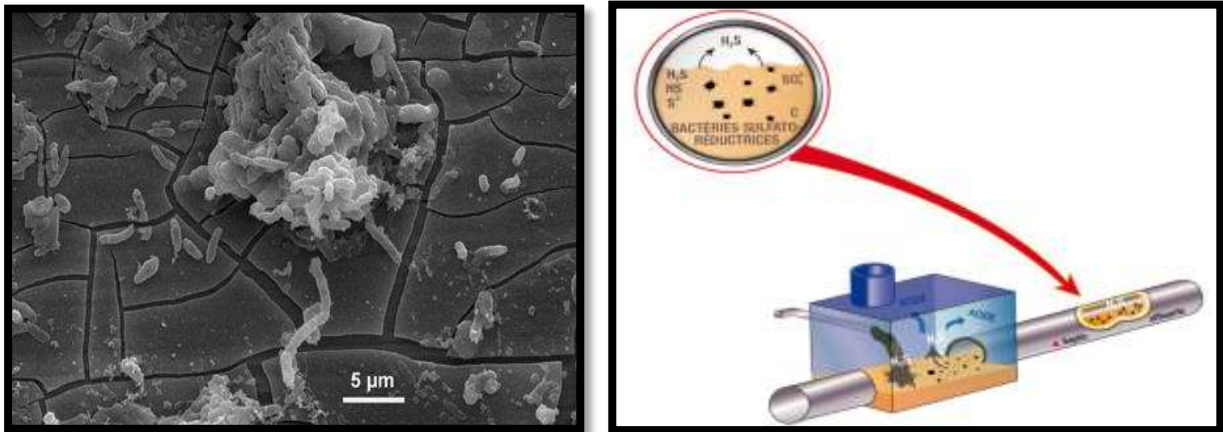


Figure I.4 : Mécanisme de la corrosion bactérienne [10].

## I.1.4. Les différentes Formes de corrosion

### I.1.4.1. Corrosion généralisée (uniforme)

La corrosion uniforme [11] ou généralisée se manifeste avec la même vitesse en tous les points du métal entraînant une diminution régulière de l'épaisseur de celui-ci ou simplement un changement de coloration (ternissement).

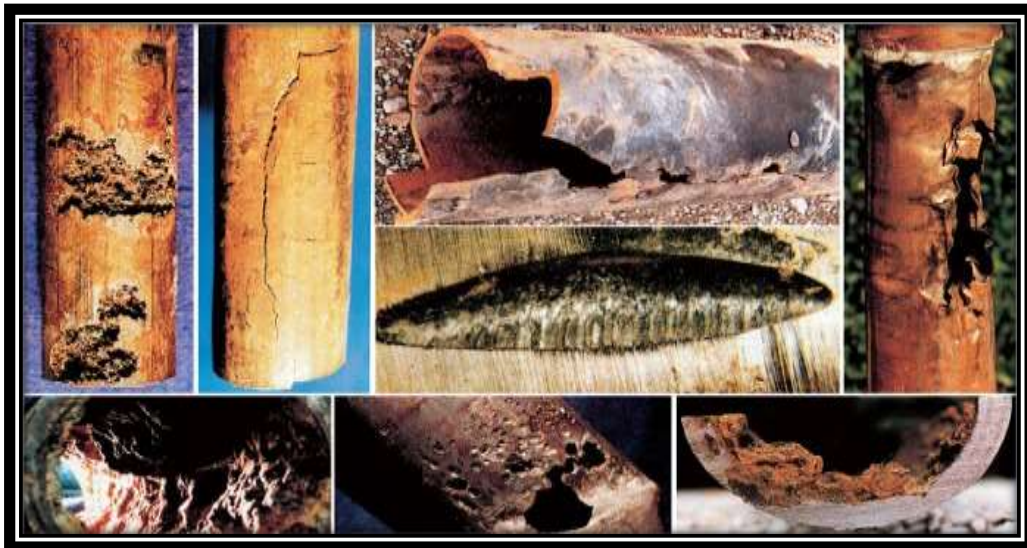
La corrosion uniforme est la forme la plus classique de corrosion, mais pas toujours la plus importante en termes économiques ou sécuritaires.



**Figure I.5 : Corrosion généralisé (uniforme) [11]****I.1.4.2. Corrosion localisée**

Ce phénomène survient au contraire lorsque le matériau est mis en présence d'un environnement présentant, vis-à-vis de lui, un comportement sélectif. Cette sélectivité peut avoir des origines multiples tant aux niveaux des matériaux (alliage hétéro-phase ; présence d'inclusion, protection de surface localement défectueuse, matériau bimétallique, etc.). Qu'au niveau de l'environnement (variation locale de composition, de pH ou de température) [12].

Cette forme de corrosion s'effectue dans quelques points de surface d'un matériau, et les chercheurs ont subdivisé ce type de corrosion en huit catégories [12].

**Figure I.6 : Corrosion localisée [12]****a) Corrosion galvanique (corrosion bimétallique)**

C'est l'une des formes les plus courantes de corrosion en milieu aqueux. Elle est due à la formation d'une pile électrochimique entre deux matériaux dans lesquelles une des électrodes (l'anode se consomme ou bénéficie à l'autre cathode qui reste intact).

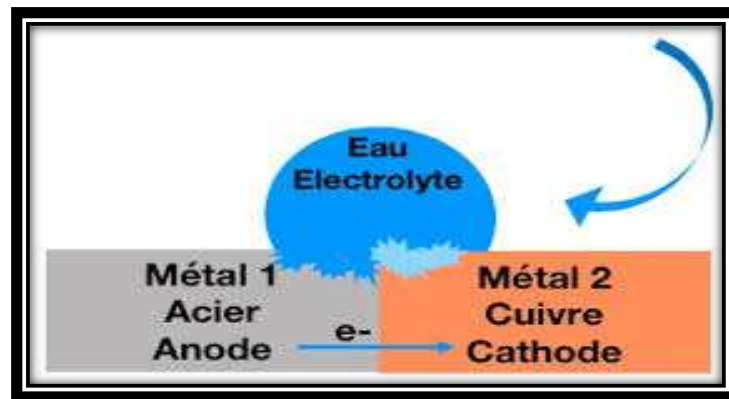


Figure I.7 : corrosion galvanique (bimétallique) [12].

### b) Corrosion par piquûre

Elle se produit quand les métaux protégés par un film d'oxyde mince, comme l'aluminium et ses alliages et les aciers inoxydables, sont mis en contact avec un milieu aqueux (pour un Ph voisin de la neutralité), contenant les halogénures, notamment le chlorure  $\text{Cl}^-$ . La quantité de métal corrodée est très faible mais reste critique du fait du caractère localisé de ce type de corrosion. Des cavités de quelques dizaines de micromètre de diamètre à l'intérieur du matériau engendrant ainsi des dommages importants.



Figure I.8 : corrosion par piquûre [12].

### c) Corrosion sélective

Cette forme de corrosion est due à l'oxydation d'un composant de l'alliage, conduisant à la formation d'une structure métallique poreuse.

### d) Corrosion intergranulaire

Cette forme de corrosion se manifeste par une attaque localisée aux joints de grains du matériau. L'hétérogénéité au niveau du joint de grain et l'existence d'un milieu corrosif jouant le rôle d'électrolyte.

**e) Corrosion-érosion**

La corrosion –érosion affecte de nombreux matériaux (aluminium, acier, etc.), est due à l'action conjointe d'une réaction électrochimique et d'un enlèvement mécanique de la matière.

**f) Corrosion sous contrainte**

La forme de cette corrosion est une fissuration du métal qui résulte de l'action commune d'une contrainte mécanique et une réaction électrochimique.

**g) Corrosion caverneuse**

La corrosion caverneuse est observée lorsqu'il y a une infiltration d'une solution entre deux parties d'un assemblage.

**h) Corrosion –fatigue**

La corrosion –fatigue est observée lorsque l'effet est alterne, par conséquent l'attaque est en général Trans-granulaire.

**I.1.5. Facteurs de corrosion**

Ces facteurs [13] peuvent être de type externe ou interne et sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau I.1. Influence de différents facteurs sur la corrosion des métaux [13]

Critère de classement	Facteurs
<b>Facteurs relatifs au milieu et définissant le mode d'attaque</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentration de réactif.</li> <li>- Teneur en oxygène, en impuretés, en gaz dissous (CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, etc.).</li> <li>- Acidité du milieu, salinité, résistivité.</li> <li>- Température, pression.</li> <li>- Présence de bactéries.</li> </ul>
<b>Facteurs métallurgiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Composition d'alliage, hétérogénéités cristallines.</li> <li>- Procédés d'élaboration.</li> <li>- Impuretés dans l'alliage, inclusion.</li> <li>- Traitements thermiques, mécaniques.</li> <li>- Addition protectrice.</li> </ul>
<b>Facteurs définissant les conditions d'emploi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etat de surface, défaut de fabrication.</li> <li>- Formes de pièces.</li> <li>- Sollicitations mécaniques.</li> <li>- Emploi d'inhibiteurs.</li> <li>- Procédés d'assemblage (couples galvaniques, soudures, etc.).</li> <li>- Croute d'oxydes superficiels.</li> <li>- Force électromotrice extérieure (électrolyse).</li> </ul>
<b>Facteurs dépendants du temps</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vieillissement.</li> <li>- Tensions mécaniques internes ou externes.</li> <li>- Température, modalité d'accès de l'oxygène ou autre gaz dissous.</li> <li>- Modification des revêtements protecteurs.</li> <li>- Apparition d'un dépôt (calcaire ou autre).</li> </ul>

La vitesse de corrosion d'un métal dans un milieu corrosif dépend à la fois des deux paramètres : la température et le Ph qui influent directement sur la vitesse de la corrosion, et ont influence indirecte à travers la phase aqueuse (eau de condensation, eau de production).

- ❖ **Effet de la température** : généralement, l'augmentation de la température accélère les phénomènes de la corrosion, car elle diminue le domaine de stabilité des métaux et accélère la cinétique des réactions.
- ❖ **Effet d'acidité** : la susceptibilité du matériau à la corrosion et en fonction du pH de l'électrolyte. Une forte concentration en protons dans la solution augmente l'agressivité du milieu, ce qui modifié les équilibres des réactions chimiques et électrochimiques. La corrosion augmente avec la diminution du PH du milieu.
- ❖ **Régime hydrodynamique** : le transport de réactifs vers l'interface et des produits de réaction vers l'électrolyte a modifié la cinétique des réactions électrochimiques en changeant la concentration des espèces et donc le potentiel d'équilibre. Les conditions hydrodynamiques fixent les vitesses de réaction en contrôlant le transport de matière par l'établissement d'une couche de limite de diffusion des espèces, appelée couche de Nernst, ce qui explique l'importance de l'agitation de l'électrolyte lors des essais de corrosion en laboratoire [14].

## I.2. Corrosion de l'acier

L'acier est un alliage métallique composé principalement de fer, et en faible proportion de carbone principalement issu du carbone, résultant d'une transformation de matières premières naturelles, extraites du sol ou recyclées.

Aujourd'hui l'acier au carbone a pris une place prépondérante dans notre vie. Grâce à ses bonnes propriétés mécaniques et thermiques, son faible poids et son faible coût d'achat et de fabrication. Ce matériau se trouve sous différentes formes et tailles, pour des applications nombreuses et variées.

Malgré les efforts déployés pour améliorer les propriétés mécaniques de l'acier doux destiné à des applications industrielles et techniques, l'acier et toutefois confronté à des problèmes de corrosion qui limitent son utilisation dans l'industrie. Chaque seconde, ce sont quelque cinq tonnes d'acier qui est transformées en oxyde de fer. Les conséquences sont importantes dans divers domaines, en particulier dans l'industrie : arrêt de production,

remplacement des pièces corrodées, accidents et risques de pollution, sont des événements fréquents avec parfois de lourdes incidences économiques [15].

### I.2.1. Définition normative

Dans le cadre de la présente Norme internationale, la définition suivante est applicable :

**Acier** : matériau dont le fer est l'élément prédominant, dont la teneur en carbone est généralement inférieure à 2,0 qui contient d'autres éléments. Un nombre limité d'aciers au chrome peut avoir une teneur en carbone supérieure à 2,0 %, mais la valeur de 2,0 % est la teneur limite courante qui sépare l'acier de la fonte. **ISO 4948-1 :1982**

### I.2.2. Classification des aciers

#### ➤ Les aciers à faible teneur de carbone (%C<0.25%)

Ces aciers sont produits en grande quantité et moindre coût et se caractérisent par une grande ductilité et une grande ténacité mais une faible résistance.

Ils sont généralement renforcés par écrouissage (amélioration de la résistance et de la dureté par déformation plastique). Leur résistance à la traction se situe entre 415 et 550 MPa et leur allongement à la rupture peut atteindre 25%. Par ailleurs, ils peuvent être facilement usinés et soudés. On les trouve dans diverses applications (éléments de construction tels que les poutres, les profilés, les cornières, carrosserie de voitures, boîtes de conserve, etc.).

#### ➤ Les aciers à moyenne teneur de carbone (0.25 % à 0.6 % de C)

Ces aciers offrent de meilleures combinaisons résistance-ductilité lorsqu'ils sont traités thermiquement (austénisation, revenu et recuit). L'apport d'éléments d'addition tels que le chrome, le nickel et le molybdène facilite ces traitements. Ces aciers sont utilisés dans la fabrication de vilebrequins, d'engrenages, de roues et voies ferrées et autres pièces de structures qui nécessitent de grandes résistances et ductilité.

L'austénisation consiste à chauffer au cours de l'élaboration l'alliage à une température comprise entre 750 et 900°C pour obtenir la structure austénite c.f.c (ou fer gamma).

#### ➤ Les aciers à forte teneur de carbone (0.6 % à 1.4 % de C)

Ils sont caractérisés par une grande durté, une grande résistance et une faible ductilité. Etant résistants à l'usure, ils sont utilisés dans la fabrication d'outils de coupe, des lames de scies et de matrices. On associe souvent à ces aciers des éléments d'addition tels que le chrome, le vanadium et le tungstène afin d'obtenir des composés de carbures pour améliorer leur durté[16].

### I.2.3. Corrosion de l'acier

La corrosion électrochimique de l'acier [17] peut être décrite de manière simplifiée, l'acier se dissout selon la réaction suivante :



Quand le fer se corrode, la vitesse est généralement contrôlée par la réaction cathodique, qui est en principe beaucoup plus lente (contrôle cathodique). En solution désaérée, la réaction cathodique est la suivante :



Cette réaction est assez rapide dans les acides mais elle est lente dans les milieux aqueux neutres ou basiques. La réaction cathodique peut être accélérée par l'oxygène dissous suivant la réaction suivante: (processus appelé dépolarisation).



En ajoutant les équations 1 et 3 qui font intervenir la réaction:



On obtient l'équation (I.9):



L'hydroxyde ferreux,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  constitue la barrière de diffusion à l'interface métal solution à travers laquelle l' $\text{O}_2$  doit diffuser. Le pH de  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  saturé est d'environ (9,5). La couleur de  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  est bien que blanche quand il est pur, et normalement verte ou noir-vert à cause d'un début

d'oxydation à l'air. La surface extérieure du film d'oxyde exposé à l'oxygène dissous, se transforme en hydroxyde ferreux en hydroxyde ferrique hydraté ou en hydroxyde ferrique:



L'hydroxyde ferrique hydraté de couleur orange à brun-rouge représente la plus grande partie de la rouille ordinaire. Le  $\text{Fe(OH)}_3$  saturé a un pH presque neutre.

#### I.2.4. Diagramme d'équilibre de pourbaix

Pourbaix a défini, sous forme de diagramme potentiel-pH [18], les régions où le fer est soluble sous forme d'ions  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  avec une conservation de mole par litre et les régions où le métal est stable sous forme de phase solide tel que le métal pur ou protégé par ses oxydes [19].

Ces diagrammes représentent, en fonction du pH, le potentiel réversible des réactions d'électrodes calculé par l'équation de Nerst (équation I.11).

$$E_{(M+n/M)} = E^\circ_{(M+n/M)} + \frac{0.059}{n.F} \log [M^{n+}] \dots\dots\dots(\text{I.11})$$

Ainsi ils permettent de distinguer les domaines où il y a :

- ✓ **Corrosion du métal** : elle a lieu surtout en milieu acide ou neutre, le fer étant oxydé en  $\text{Fe}^{2+}$  ou  $\text{Fe}^{3+}$ .
- ✓ **Immunité du métal** : zone de stabilité du métal pour des potentiels négatifs.
- ✓ **Passivation de métal** : elle résulte de la formation d'une couche d'oxyde ferrique protectrice pour des pH neutre ou basique.

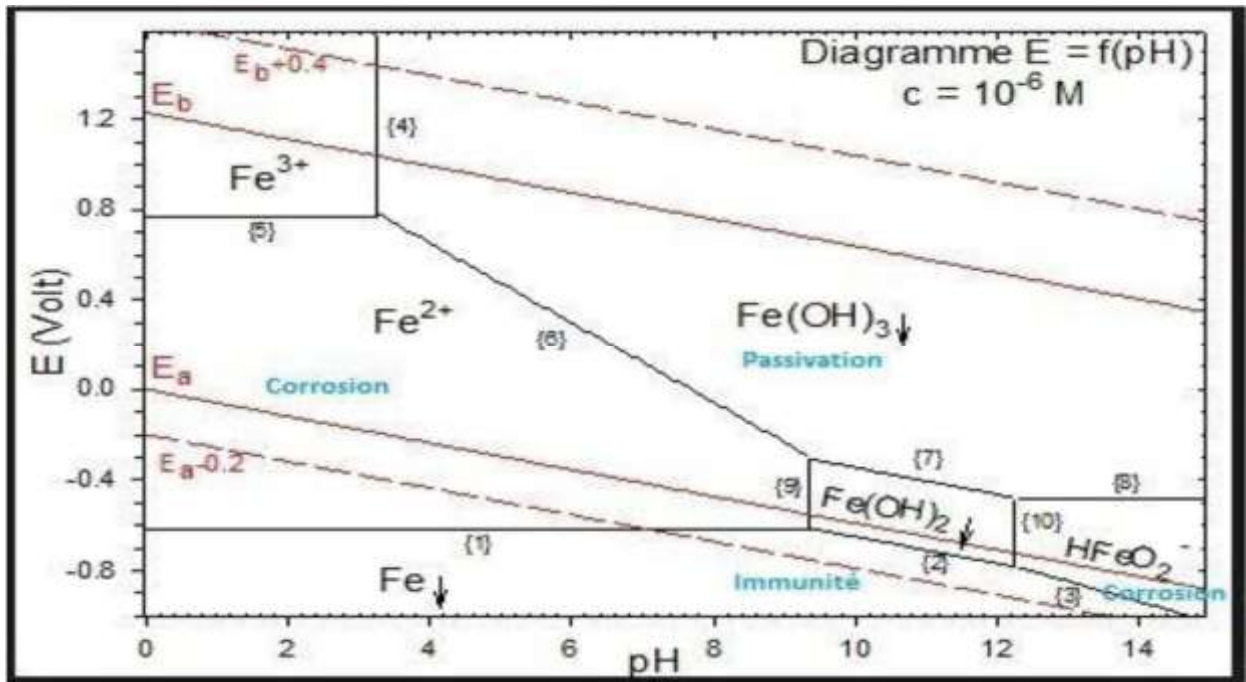


Figure I.9 : Diagramme potentiel-pH pour le fer à 25 °C [20].

### I.2.5. Résistance des aciers à la corrosion (Aciers au carbone et acier inoxydables)

Le comportement de la corrosion des alliages s'apparente souvent à celui de métal principal qu'ils contiennent.

Généralement les aciers au carbone rouillent au contact de l'air humide et doivent être protégés par revêtement.

Les aciers inoxydables résistent bien à la corrosion grâce à l'emploi du chrome surtout comme élément d'alliage, car le chrome est normalement passif et résiste bien à la corrosion pure, il ne sert que sous forme de revêtement car sa fragilité le rend inapte à un emploi massif.

Quand la teneur en chrome dépasse 12 à 13%, les aciers deviennent inoxydables.

### I.3. La protection contre la corrosion

La résistance à la corrosion [21] n'est pas une propriété intrinsèque d'un métal donné, mais plutôt une propriété de l'interface métal / milieu. D'où la nécessité de caractériser la composition chimique et la microstructure de celle-ci, ainsi que son comportement électrochimique. De plus, le comportement en corrosion dépend des sollicitations divers auxquelles le matériau est soumis qu'elles soient physicochimiques, thermiques ou mécaniques.

On en déduit que tout moyen d'action de prévention et / ou lutte contre la corrosion concernera l'un des trois éléments du système étudié voire son ensemble (**tableau I.2**).

**Tableau I.2. Actions spécifiques sur les éléments du système matériaux-surface-milieu**

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

### I.3.1. Les traitements de surface (préparation de la surface)

Les « Traitements de surface » [22] sont l'ensemble de différents procédés réalisés à la surface d'une pièce, généralement de l'ordre de quelques microns, qui confèrent au matériau des propriétés de surface différentes de celles qui existent à l'intérieur du matériau.

#### I.3.1.1. Nettoyage de surface

Avant tout traitement, le nettoyage des surfaces est une phase essentielle qui a pour objet d'enlever les souillures existant à la surface des pièces et qui comprend deux opérations distinctes.

- ✓ **Dégraissage** : élimine les corps gras : par des actions mécaniques, chimiques, électrolytiques.
- ✓ **Décapage** : enlève toute trace de corrosion et d'oxyde qui adhèrent à la surface des pièces par une action mécanique (sablage ou grenailage), chimique ou électrolytique.

### I.3.1.2. Traitement par transformation structurale

a) **Par voie thermique** : Les traitements thermiques se définissent comme étant « l'ensemble des opérations de chauffage et de refroidissement contrôlé » appliqués à des métaux et alliage. En somme, les traitements thermiques sont des opérations qui consistent à faire varier la température des métaux qui reste néanmoins à l'état solide. La variation de la température en fonction du temps est appelée cycle thermique (chauffage, maintien et refroidissement).

- ✓ **La trempe** : La trempe consiste à chauffer un matériau à une température dite de changement de phase pendant le temps nécessaire à la transformation de toute la masse chauffée puis à refroidir toute cette masse très rapidement.
- ✓ **Le revenu** : Cette technique se pratique après une trempe, par chauffage à une température inférieure à celle de la trempe.
  - Le revenu a pour but de diminuer les effets de la trempe ;
  - Le revenu permet d'améliorer la ténacité et diminue les tensions internes, en partie responsables de la fragilité de l'acier trempé, en diminuant très peu la dureté.
- ✓ **Le recuit** : Le recuit est utilisé pour réduire la dureté, augmenter la ductilité et faciliter l'élimination des contraintes internes.
  - L'acier est chauffé pendant un temps plus ou moins long, puis est refroidi lentement ;
  - Cette technique se fait aussi après un traitement mécanique, une opération de soudage, etc.

#### b) par voie mécanique

- ✓ **Le grenailage** : consiste à projeter à grande vitesse des billes sur la pièce à traiter. On utilise couramment des billes en acier ou céramique pour but d'enlèvement de rouille, calamine, etc.).

- ✓ **Le polissage** : est une technique de nettoyage ou d'abrasion de pièces en métaux. On réalise le polissage grâce à des disques de différents matériaux tournant à grande vitesse avec ou sans pâte à polir. Bien réalisé, le polissage permet de renforcer une pièce en supprimant les zones à risques de rupture.

**c) Par voie chimique**

- ✓ **La phosphatation** : consiste à décaper la surface d'un acier à l'aide d'une solution diluée et chaude d'acide phosphorique. Cela provoque la formation d'une pellicule d'environ 1 micron de phosphate de fer. Cette pellicule assure la résistance à la corrosion de la pièce.

**d) Par voie électrochimique (l'électro-polissage ou polissage chimique)**

- **Définition** : est un processus de dissolution anodique utilisé pour enlever une fine couche en surface d'un matériau métallique, grâce à un ensemble de réactions électrochimiques dans un milieu concentré en acide. Le principe consiste à immerger dans une solution (l'électrolyte) deux électrodes métalliques entre lesquelles un courant électrique est appliqué. L'échantillon dont la surface est à électropolir est placé comme anode (électrode passive). Une électrode de référence être ajoutée aux deux autres afin de mesurer les tensions à leurs bornes [23].

➤ **Paramètres contrôlant l'électro-polissage**

Les paramètres optimisables lors de la mise en œuvre d'un procédé d'électro-polissage sont nombreux et généralement dépendants les uns des autres. Les conditions expérimentales sont généralement fixées empiriquement puisque leur optimisation est souvent longue, délicate et coûteuse. Pour la plupart des couples matériau/électrolyte, il est possible de jouer sur les paramètres suivants :

- **Nature de l'électrolyte utilisé.** Il existe une multitude de formulations possibles, qui seront discutées ultérieurement.
- **Température de travail.** A haute température, la résistance d'un électrolyte décroît. La densité de courant augmente avec la température à potentiel constant. Il est donc intéressant de travailler en chauffant l'électrolyte.
- **Agitation de la solution.** C'est un paramètre clé puisqu'il faut qu'elle soit suffisante pour assurer le renouvellement de l'électrolyte gêné par l'accumulation des produits de dissolution tout en ne détruisant pas la

couche visqueuse. Il faut donc trouver l'agitation idéale, soit en faisant osciller ou tourner l'anode, soit en agitant la solution.

- **Durée et vitesse de dissolution.** Ces paramètres sont fortement dépendants des autres. La durée du traitement est généralement de l'ordre de quelques minutes mais l'évolution de la rugosité de surface lors de l'électro-polissage ne suit pas une loi linéaire [24].
- **Dimensions de la cuve et des électrodes.** La distance entre les électrodes est un paramètre crucial, puisqu'elle doit être suffisamment grande pour que le dégagement de la cathode ne perturbe pas la réaction sans pour autant empêcher le transfert des espèces électro-actives [24,25].

➤ **Les avantages et les inconvénients de l'électro-polissage**

- Des surfaces de géométrie complexe peuvent être traitées, ainsi que des matériaux durs.
- L'électro-polissage enlève les inclusions métalliques et permet de former une nouvelle couche mince d'oxyde, homogène et uniforme.
- La conséquence de ses modifications de surface est une nette amélioration de la résistance à la corrosion (locale et généralisée).
- L'électro-polissage réduit la présence de défaut en surface et diminue la rugosité.
- Le polissage électrochimique permet d'augmenter la qualité des surfaces pour des industries particulières (pharmaceutique, alimentaire, etc.), d'éliminer la couche perturbée par le polissage mécanique et ce, pour un coût raisonnable.

L'électro-polissage présente certaines limitations qui ne permettent pas de remplacer l'ensemble des traitements mécaniques. Par exemple :

- La rugosité ne peut être réduite à 0 même si ce traitement peut permettre une réduction de cette dernière.
- La préparation de surface avant électro-polissage est très importante puisque la présence de graisses empêche la dissolution uniforme du métal.
- Les structures à plusieurs phases peuvent être difficiles à électropolir de par la différence de potentiel électrochimique de dissolution existant entre les phases de composition et de structure différentes.

- Les dimensions des pièces après traitement sont modifiées et peuvent générer des problèmes lors de l'assemblage puisqu'il n'est pas toujours facile d'avoir un contrôle rigoureux de ces modifications dimensionnelles.
- Il n'existe pas de traitement universel ; il est donc nécessaire (surtout dans le cas d'un procédé industriel) de définir les conditions expérimentales optimales en fonction du substrat, de la géométrie des pièces, des électrolytes, (importance du temps de recherche)
- Les inclusions non métalliques ne peuvent pas être éliminées par ce traitement et donc elles peuvent augmenter la rugosité finale des pièces.

➤ **Applications de l'électro-polissage**

Les surfaces électropolies peuvent être utilisées pour leur aspect décoratif comme pour des applications techniques et fonctionnelles. L'utilisation de l'électro-polissage peut être retrouvée dans les secteurs suivants :

- **Secteurs médical et pharmaceutique** : il est utilisé essentiellement sur des aciers inoxydables pour le post-traitement d'instruments chirurgicaux stériles, d'aiguilles, d'implants, de cuve de stockage pour les médicaments ou pour l'eau.
- **Secteur automobile** : le procédé d'électro-polissage y est utilisé pour améliorer l'aspect esthétique des pièces tout en augmentant la résistance à la corrosion. Les pièces typiquement traitées sont les radiateurs ou les tuyaux.
- **Secteur alimentaire** : ce secteur nécessite l'utilisation de surfaces propres qui empêchent l'adhérence des produits fabriqués et donc le développement d'éventuelles bactéries.
- **Domaine du nucléaire et applications sous vide** : l'électro-polissage conduit à l'obtention de surfaces lisses qui permettent de diminuer le temps de pompage lors de la mise sous vide d'une enceinte
- **Secteur de l'art** : l'électro-polissage peut être utilisé pour les sculptures métalliques. Ce procédé permet d'obtenir des surfaces lisses et résistantes à la corrosion tout en offrant une grande flexibilité dans les formes géométriques traitées, et cela à un coût bien inférieur à celui d'un polissage mécanique manuel.
- **Autres applications** : ce procédé est également utilisé afin de préparer des échantillons en vue d'en révéler la structure pour l'observation en métallurgie. On le trouve par exemple lors d'analyses EBSD (Electron Back Scatter Diffraction) pour révéler la nature cristallographique de certains métaux ou alliages [26,27].

### I.3.2. La protection électrochimique

Pour effectuer la protection électrochimique d'un métal, on modifie son potentiel de dissolution de façon à l'utiliser soit dans la zone d'immunité, soit dans la zone de passivité (diagramme de Pourbaix). On parle alors de protection cathodique ou anodique.

#### a. Protection cathodique

La protection cathodique est peut être le plus important de tous les moyens permettant de contrôler la corrosion par l'application d'un courant électrique. La corrosion peut être virtuellement réduite à zéro et une surface d'un métal peut être maintenue dans un milieu corrosif sans aucune détermination pendant un temps indéfini. Elle consiste à abaisser le potentiel (métal – milieu) de manière à l'amener dans sa zone d'immunité ( $E \leq E_{\text{prot}}$ ). Cette dernière doit être maintenue durant toute la durée de service. Deux possibilités sont pratiquement utilisées [28].

##### ❖ Protection cathodique par anode sacrificielle

Un métal plus corrodable (Al, Mg, Zn, etc.) est intégré dans la structure en contact électrique avec le métal à protéger. Le courant  $I$  est fixé par l'intersection des droites cathodique du métal et anodiques de l'anode. L'anode se consomme et se change régulièrement (coques de bateaux, chauffe-eau, etc.). L'anode forme une pile électrochimique avec la structure à protéger qui joue alors un rôle de cathode, donc l'anode sacrificielle doit posséder un potentiel réversible inférieur à celui du métal que l'on veut préserver. La f.e.m. nécessaire est obtenue à partir de la différence entre le potentiel moyen du couple de corrosion et le potentiel propre d'une anode (plus négatif) dite sacrificielle.

##### ❖ Protection cathodique par courant imposé

Cette méthode utilise un générateur extérieur et une anode auxiliaire. Elle offre l'avantage de pouvoir régler la f.e.m. ou le courant en fonction des besoins, ceci permet d'optimiser le système et de protéger de grandes surfaces (implique l'utilisation d'un redresseur).

La protection cathodique peut être utilisée en pratique pour protéger les métaux tels que l'acier, le cuivre, le plomb, le laiton et l'aluminium contre la corrosion dans tous les sols et pratiquement dans tous les milieux aqueux.

#### b. Protection anodique

Certains métaux tels que le fer et les aciers inoxydables peuvent aussi être protégés efficacement en les plaçant en anode et en augmentant leur potentiel dans le domaine passif de la courbe de polarisation anodique.

La protection anodique a trouvé une application dans la protection des réservoirs contenant en particulier de l'acide sulfurique mais la méthode est applicable à d'autres acides [29].

### I.3.3. Revêtements

Les peintures sont des mélanges de pigment insoluble en suspension dans un véhicule organique continu. Les pigments se composent généralement d'oxydes métalliques, par exemple  $TiO_2$ ,  $Pb_3O_4$ ,  $Fe_2O_3$ , ou d'autres composés tels que  $ZnCrO_4$ ,  $PbCO_3$ ,  $BaSO_4$ , etc.

Une bonne peinture doit remplir les conditions suivantes :

- ✓ Inhiber la corrosion : les pigments incorporés dans le revêtement initial (revêtement immédiatement adjacent au métal) doivent être de bons inhibiteurs de corrosion.
- ✓ Assure une bonne barrière et coûter peu.

Tableau I.3.Types de revêtements [30]

Revêtements métalliques	Revêtement non métalliques	
	Organiques	Inorganiques
Chrome Aluminium Plomb Etain Cadmium Cuivre Nickel Argent	Peintures Vernis Laques Résine Graisses Cires	<p><b>Couches de conversion</b> (Elles sont distinguées selon leur procédé de fabrication, à savoir :</p> <p>L'anodisation, la phosphatation, la Chromisation.)</p> <p><b>Couches étrangères au substrat</b> (Ce type de couches inclut les revêtements inorganiques non métalliques suivants :</p> <p>Les émaux, le ciment, la céramique Réfractaire.)</p>

### I.3.4. La protection par inhibiteurs

La protection de la surface du matériau par un inhibiteur de corrosion peut être : une protection permanente ou une protection temporaire pendant une période : exemple de stockage.

Comme nous nous intéressons particulièrement à la méthode utilisant les inhibiteurs de corrosion, nous donnerons ci-après quelques généralités sur ces derniers dans le chapitre suivant.

**Référence bibliographique :**

- [1] Note information. Centre belge d'études de la corrosion. Cebelcor, (1986)
- [2] R. GASPARAC and E. STUPNIS-EK-LISAC. (Corrosion protection on copper by imidazole and its derivatives) .corrosion, 55, (1999), 1031-1039.
- [3] P. A. Schweitzer; «Fundamentals of corrosion mechanisms, causes, and preventative methods » by Taylor and Francis Group, LLC. (2010).
- [4] H. Herbert, R. Uhlig, R. W. Revie; «Corrosion and corrosion control: an introduction to corrosion science and engineering » 4th Ed. Published by John Wiley& Sons, Inc., Hoboken New Jersey (2008).
- [5] H, Marmi, Thèse doctorat«Amélioration de la résistance à la corrosion électrochimique des aciers par utilisation des inhibiteurs>>, Université MOHAMED Khider-Biskra, p23, 2017.
- [6] Magaly HENRIQUEZ GONZALEZ thèse de doctorat : Etude d'un traitement Multifonctionnel vert pour la protection contre la corrosion de l'acier au carbone API 5L-X65 en milieu CO2 » l'Institut National Polytechnique de Toulouse 2011
- [7] Dieter Landolt, « corrosion et chimie de surfaces des métaux » p 3, (1993) première édition, (1997-2003) réimpression corrigée.
- [8] B. GROSGOGÉAT, P. COLON. « La corrosion » Université Médicale Virtuelle Francophone – (2009-2010).
- [9] D. Nadir, Rabah : « Introduction à la corrosion et aux inhibiteurs de corrosion » ; Livre Edition : 1.03.4278 (2004) pages (3-5).
- [10] Jacques LÉCONTE, Tuyauteries (Protection contre la corrosion), Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique A, page 830.
- [11] Mehanna.M. Mécanismes de transfert direct en corrosion microbienne des aciers. Thèse de Doctorat Institut National Polytechnique de Toulouse France,2009
- [12] Larbi Oussama, Contribution à l'étude de l'inhibition de corrosion d'un acier au carbone par des composés organiques en milieu acide agressif. Université Abu Bekr Belkaid.

- [13] A. Col, M. Colombie, Matériaux Métalliques, « Phénomènes de Corrosion, 4<sup>ème</sup> partie. Les différentes formes de corrosion aqueuse ». Dunod, 2010.
- [14] k. ROUIBAH, contribution « Contribution à l'étude du comportement électrochimique du couple galvanique acier au carbone/anode de zinc dans l'eau de mer naturelle ». Mémoire de magister, USTHB-ALGER ; (2003).
- [15] KHOUKHI Faiza, Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasique (eau, huile, et gaz), Thèse de Magistère, 2008.
- [16] M. Haouchine, mémoire fin d'études<<Simulation de l'écrasement de tubes minces-comparaison expérimental numérique>>, Université Mouloud Mammeride Tizi Ouzou, p : ,2016.
- [17] A. Chekkat ; « Etude de l'efficacité inhibitrice de la corrosion sur l'acier, le cuivre, et L'aluminium dans un milieu aqueux par (2- Benzylamino éthanol) » ; Thèse de magister. Ecole militaire polytechnique, Alger (2006).
- [18] Scully. J.C. Corrosion: AqueousProcessus and Passive Films. Materials Science and Technology ; 23, 1983.
- [19] ;F. Khoukhi, Mémoire de magister ; « Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasiques (Eau, huile et gaz) », Université M'Hamed Bougara-Boumerdes (2008).
- [20] MAURICE BERNARD, « Cours de chimie minérale, Edition Dunod. Diagramme de pourbaix du fer à 25°C
- [21] G. Béranger and H. Mazille, Corrosion et anticorrosion : pratique industrielle. Hermès Science Publications, 2002.
- [22] Dr. Nora Bouzeghaia,Cours traitements de surface.Université Batna 2, Faculté de technologie, département de mécanique.
- [23] <https://www.technochim.be/traitement-electro-chimique>
- [24] E.-S. Lee, Machining Characteristics of the Electropolishing of Stainless Steel (STS316L), Int. J. Adv. Manuf. Technol. 16 (2000) 591–599.

- [25] S.-J. Lee, J.-J. Lai, the effects of electropolishing (EP) process parameters on corrosion Resistance of 316L stainless steel, *J. Mater. Process. Technol.* 140 (2003) 206–210.
- [26]. F. Nazneen, P. Galvin, D.W.M. Arrigan, M. Thompson, P. Benvenuto, G. Herzog, Electropolishing of medical-grade stainless steel in preparation for surface nano-texturing, *J. Solid State Electrochem.* 16 (2012) 1389–1397.
- [27]. Hryniewicz, R. Rokicki, K. Rokosz, Corrosion Characteristics of Medical-Grade AISI Type 316L Stainless Steel Surface After Electropolishing in a Magnetic Field, *Corrosion.* 64 (2008) 660–665.
- [28] A.Campa, *Protection des Surfaces Métalliques Contre la Corrosion, Technologie Professionnelle pour les Mécaniciens, Tome 2*, Paris, les Editions Foucher, 1971.
- [29] E.-S. Lee, Machining Characteristics of the Electropolishing of Stainless Steel (STS316L), *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 16 (2000) 591–599.
- [30] S.-J. Lee, J.-J. Lai, the effects of electropolishing (EP) process parameters on corrosion resistance of 316L stainless steel, *J. Mater. Process. Technol.* 140 (2003) 206–210.



# Chapitre

## II

**Les inhibiteurs de**

•

La diminution de la vitesse de corrosion est réalisée soit en limitant les réactions chimiques ou électrochimiques (c'est-à-dire agissant sur le processus anodique, le processus cathodique ou les deux) soit en modifiant l'agressivité de l'électrolyte, en fait en modifiant l'interface matériau/milieu [1].

La protection par un inhibiteur de corrosion à la surface du matériau peut être : une protection permanente ou une protection temporaire (pendant une période, par exemple pendant le stockage).

Quand on veut utiliser un inhibiteur, on essaye de trouver le meilleur. Cet inhibiteur doit présenter plusieurs caractéristiques : abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans affecter les caractéristiques physiques, être efficace à faible concentration, être stable en présence des autres constituants du milieu ou aux différentes températures d'utilisation. Comme les normes européennes sont très strictes en ce qui concerne la toxicité, un inhibiteur doit être aussi compatible avec celles-ci et, bien sûr, d'un point de vue économique, son prix est aussi très important.

Mais en tous les cas le choix des inhibiteurs de corrosion à des fins pratiques sont basé sur la connaissance de leur mécanisme d'action [2].

## **II.1. Généralités sur les inhibiteurs de corrosion**

### **II.1.1. Définition**

La protection de la surface du matériau par un inhibiteur de corrosion peut être, une protection permanente ou temporaire (pendant le stockage par exemple). Ainsi, l'inhibiteur doit obéir à plusieurs exigences telles que la diminution de la vitesse de corrosion d'un métal, sans affecté les caractéristiques physiques ; une bonne efficacité inhibitrice à faible concentration et une stabilité en présence des autres constituants du milieu ou aux différentes températures d'utilisation [3].

#### **➤ Selon la norme ISO 8044 (Organisation internationale de normalisation)**

Un inhibiteur est une substance chimique ajoutée au système de corrosion à une concentration choisie pour son efficacité, celle-ci entraîne une diminution de la vitesse de corrosion du métal sans modifier de manière significative la concentration d'aucun agent corrosif contenu dans le milieu agressif [4].

➤ Selon NACE (National Association of Corrosion Engineers)

Un inhibiteur est une substance qui retarde la corrosion lorsqu'elle est ajoutée à un environnement en faible concentration [5].



**Figure II.1.** Intérêt d'un inhibiteur de corrosion : -à gauche, du cuivre, de l'acier, de l'innox et un peu d'eau dans 15cl d'eau de robinet ; - à droite même matériaux avec l'inhibiteur (SANS X100)

### II.1.2. Historique

Il est délicat de situer exactement l'origine temporelle de l'inhibition. Le phénomène de corrosion a été déjà connu par les romains qui avaient mentionné quelque méthode de protection basées sur l'inhibition pour éviter la corrosion du fer et du bronze. L'étude de la corrosion a débuté aux environs du 17ème siècle, mais ce n'est qu'au cours du 19ème siècle que l'on a étudié scientifiquement les moyens de lutter contre elle. Jusqu'à en 1945 la littérature ne comportait qu'un nombre restreint de références se rapportant aux inhibiteurs de corrosion (<30). Dans un article de 1948, Waldrip se référait déjà à un rapport datant de 1943, portant sur la protection contre la corrosion des puits de pétrole, etc.

Plusieurs articles relatifs à l'inhibition de corrosion ont vu le jour durant la période couvrant 1945 à 1954. Ces articles restent témoins du grand développement technologique en matière d'inhibition qu'a connu cette période [6].

Durant les quarante dernières années, un nombre croissant de papiers et de livres traitant ce sujet a été recensé : par exemple en 1970 quelques 647 articles ayant trait à l'inhibition de

corrosion sont dénombrés. En 2012, près 17 000 articles traitent de l'inhibition de la corrosion [7].

### II.1.3. Conditions d'utilisations et propriétés

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

- Soit comme protection permanente ;
- Soit comme protection temporaire.

Un inhibiteur peut être utilisé avec un autre moyen de protection, D'une manière générale un inhibiteur de corrosion doit vérifier un certain nombre de propriétés fondamentales [8] :

- Être stable en présence des autres constituants du milieu ;
- Être efficace à faible teneur ;
- Diminuer la vitesse de corrosion d'un métal ;
- Être peu onéreux ;
- Être stable aux températures d'utilisation ;
- Être compatible avec les normes de non-toxicité.

### II.1.4. Domaines d'utilisation

- a. Un inhibiteur (ou un mélange d'inhibiteurs) peut être utilisé comme unique moyen de protection [8] :
  - ✓ Soit comme protection permanente ; l'inhibiteur permet alors l'utilisation de matériaux métallique (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, contrôle du système est a priori plus simple, la prévision du comportement de l'inhibiteur dans le temps étant plus facile à faire.
- b. 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.

## II.2. Classification des inhibiteurs

Des nombreuses substances présentent une action inhibitrice, ces substances se distinguent :

### II.2.1. Selon leur composition chimique

#### II.2.1.1. Inhibiteurs organiques

Les inhibiteurs organiques représentent un groupe très important d'inhibiteurs de corrosion. L'efficacité des inhibiteurs organiques est liée à la structure, à la concentration et aux propriétés chimiques de la couche formée sur les conditions précisées. L'action d'un inhibiteur organique est le résultat de son adsorption à la surface du matériau. Après cette adsorption à la surface, ils ont une double action ralentissant

Simultanément les processus anodique et cathodique. La plupart de ces inhibiteurs ont dans leur structure principalement des atomes d'azote, de soufre ou d'oxygène.

Les inhibiteurs qui contiennent du soufre sont plus efficaces que ceux qui contiennent l'azote, parce que le soufre est un meilleur donneur d'électrons que l'azote. La principale caractéristique de ces inhibiteurs est leur efficacité élevée, même à faible concentration. L'effet inhibiteur augmente souvent avec le poids moléculaire de l'inhibiteur. L'utilisation d'inhibiteurs organiques est préférée pour des raisons d'écotoxicité. Certains inhibiteurs organiques, comme le nitrite de dicyclohexylamine, peuvent être transportés dans la phase vapeur (inhibiteurs volatils). Dans les zones de condensation, ils subissent une hydrolyse libérant des ions ou benzoate. Ils doivent posséder une tension de vapeur telle qu'ils puissent rapidement saturer des volumes importants. Dans certains cas on peut aussi utiliser des papiers imprégnés (urée + nitrite de sodium).

#### II.2.1.2. Les inhibiteurs inorganiques (minéraux)

Ces inhibiteurs minéraux sont utilisés en milieux alcalins et presque jamais en milieux acides. Les molécules minérales se dissocient en solution et les anions et cations assurent en fait l'inhibition. Les chromates, les molybdates, les silicates, les phosphates sont les plus importants inhibiteurs minéraux. Maintenant, l'emploi de la plupart de ces produits est réglementé car ils créent des problèmes pour l'environnement [9], [10].

## II.2.2. Selon leur mode d'action

### II.2.2.1. Les inhibiteurs d'adsorption

Entre l'espèce adsorbée et la surface métallique existent deux types de liaisons : liaison électrostatique et liaison chimique, donc deux types distincts d'adsorption : la physisorption et la chimisorption [11] :

➤ **L'adsorption physique** : conserve l'identité aux molécules adsorbées. On distingue ici trois types des liaisons : les liaisons de Van der Waals (toujours présentes), les liaisons polaires (dépendant des charges de surface et de l'inhibiteur) et les liaisons hydrogène (s'établissant entre un donneur de liaison hydrogène et un accepteur, uniquement N, O, P porteur de doublets libres) ;

➤ Par contre, **la chimisorption** : résulte de la mise en commun des électrons entre la surface métallique et la molécule d'inhibiteur (un centre actif comme les atomes N, S, P, O) et ainsi se forment des liaisons chimiques covalentes très fortes. L'inhibiteur au comportement d'un donneur d'électrons vis-à-vis de l'atome métallique de la surface.

➤ **Le blocage de la surface** : est réalisé sans modifier les réactions élémentaires anodiques et cathodiques sur les parties non recouvertes et sans modifier l'énergie d'activation. Un recouvrement neutre de la surface représente un recouvrement purement géométrique, sans préférence de l'adsorbant pour des sites particuliers de la surface. Dans ce cas le taux de recouvrement  $\theta$  est:

$$\theta = \gamma / \gamma_s \dots\dots\dots (II.1)$$

Où:  $\gamma$  - le nombre de sites bloqués par l'espèce inhibitrice; -  $\gamma_s$  le nombre total de sites de surface disponibles (recouvrement à saturation)

Dans d'autres cas l'effet de blocage peut être limité aux seuls sites actifs anodiques ou cathodiques:

$$\theta = \gamma / \gamma_a, s \dots\dots\dots (II.2)$$

Avec  $\gamma_a, s < \gamma_s$

Pour la détermination du taux de recouvrement  $\theta$  on utilise les pentes de Tafel. L'identité des pentes de Tafel pour un système non inhibé et pour le même système en présence

d'inhibiteur est une indication du blocage non réactif de la surface et permet la détermination de  $\theta$ .

Après avoir trouvé les valeurs de  $\theta$  on peut accéder aux isothermes d'adsorption de l'espèce inhibitrice sur la surface et calculer certaines valeurs thermodynamiques caractérisant l'interaction métal-inhibiteur.

### ➤ Les isothermes d'adsorption

#### ❖ L'isotherme de Langmuir

Cette équation indique que les constantes de vitesse chimique des réactions de transfert de charge anodique et cathodique ne dépendent pas du taux de recouvrement  $\theta$ , et aussi qu'il n'y a pas d'interactions entre les espèces adsorbées à la surface.

$$\frac{\theta}{1-\theta} = BC_i \dots \dots \dots (II.3)$$

Où :  $\theta$  : est le taux de recouvrement ;

$C$  : la concentration en inhibiteur ;

$K$  : le coefficient d'adsorption.

#### ❖ Isotherme de Freundlich

L'isotherme de Freundlich s'applique généralement lorsque les quantités adsorbées sont très faibles. Ce modèle qui est un modèle empirique considère de possibles interactions entre les molécules adsorbées tout en prenant en compte l'hétérogénéité de surface.

Les paramètres caractéristiques d'adsorption  $K$  et  $\alpha$  sont alors déterminés respectivement à partir de la linéarisation de l'isotherme de Freundlich suivante :

$$\ln \theta = \ln K + \alpha \ln C \dots \dots \dots (II.4)$$

#### ❖ Isotherme de Temkin

L'isotherme d'adsorption de Temkin, permet une diminution linéaire de la chaleur d'adsorption avec le taux de recouvrement (II.4) :

$$\Delta H_{ads} = \Delta H_{ads}^0 - r\theta \dots \dots \dots (II.5)$$

Où :  $\Delta H_{ads}^0$  est l'enthalpie d'adsorption quand  $\theta$  tend vers zéro,  $\Delta H_{ads}$  l'enthalpie d'adsorption et  $r$  sont les paramètres de Temkin. Lorsque l'équation (II.4) est insérée dans le modèle de Langmuir dans l'équation (II.5), le résultat est :

$$\frac{\theta}{1-\theta} = K' C e^{\frac{-r\theta}{RT}} \dots\dots\dots(\text{II.6})$$

### ❖ Isotherme de Frumkin

L'isotherme de Frumkin est représentée après réarrangement par l'expression suivante :

$$\ln [\theta/C(\theta - 1)] = \ln K + 2a\theta \dots\dots\dots (\text{II.7})$$

Le paramètre « a » possède les dimensions suivantes : J/mol par mol/ cm<sup>3</sup>, il exprime la manière dont un recouvrement accru modifie l'énergie d'adsorption de l'espèce. Si « a » est positif, les interactions entre deux espèces à la surface sont attractives, si a est négatif, les interactions sont répulsives, si  $a \rightarrow 0$ , l'isotherme de Frumkin se rapproche de l'isotherme de Langmuir [12].

#### II.2.2.2. Les inhibiteurs passivant

Ces inhibiteurs forment des films de passivation tridimensionnels entre la surface corrodée et les molécules d'inhibiteur. L'inhibition s'appelle aussi inhibition „d'interphase”. Ils sont également incorporés dans les couches barrières et ainsi ces molécules inhibitrices conduisent à des réseaux homogènes et denses présentant de fait une faible porosité et une bonne stabilité [13].

Il existe deux catégories d'inhibiteurs passivant :

- Les ions oxydants comme  $\text{CrO}_4^-$  qui peuvent passiver l'acier en absence d'oxygène ;
- Les ions non oxydants ( $\text{WO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , etc.) qui nécessitent la présence d'oxygène et déplacent la réaction cathodique de réduction de ce dernier en favorisant son adsorption à la surface du métal. Tous ces ions se consomment lentement et il est donc nécessaire de contrôler périodiquement la concentration du circuit lors d'utilisation de tels inhibiteurs. La concentration requise en inhibiteur passivant, souvent de l'ordre de  $10^{-3}$  à  $10^{-4}$  mol/l, dépend en fait de nombreux facteurs tels que la température, le pH, la présence d'ions dépassivant comme  $\text{Cl}^-$  ou réducteurs comme  $\text{S}^{2-}$ .

#### II.2.3. Selon la nature électrochimique du processus

### II.2.3.1. Les inhibiteurs anodiques ou passivant

Les inhibiteurs anodiques [14] sont très nombreux. Ce sont des substances inorganiques comme les orthophosphates, silicates, chromates, etc. Leur mode d'action consiste à élever la valeur du potentiel de corrosion du matériau afin de l'amener à une valeur pour laquelle il y a formation d'un film passif protecteur sur l'anode. Même si les inhibiteurs anodiques sont très efficaces et souvent utilisés, ils ont généralement une propriété indésirable : si la teneur en inhibiteur est/ou devient progressivement abaissée, la surface métallique n'est plus entièrement couverte, et elle fonctionne comme anode, obtenant ainsi une combinaison dangereuse, une petite anode et une grande cathode, conduisant à la corrosion par piqûres. Dans ce cas, l'inhibiteur fait plus de mal que de bien. C'est pour ça que les inhibiteurs anodiques sont souvent désignés comme dangereux. L'ion benzoate semble être une exception, parce qu'une très faible concentration d'inhibiteur entraîne seulement la corrosion généralisée.

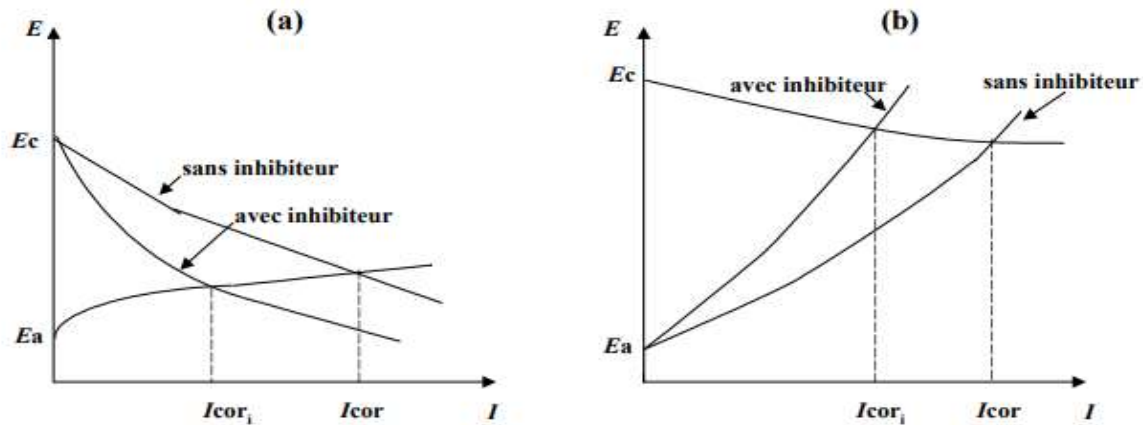
#### ❖ Modification de la cinétique de dissolution anodique

Par absorption de l'inhibiteur, il n'y a pas un simple blocage des sites préférentiels de dissolution du métal, il y a aussi une intervention de l'inhibiteur au niveau des intermédiaires réactionnels accompagnants les différentes étapes de la dissolution d'un métal.

### II.2.3.2. Les inhibiteurs cathodiques

L'action de ces inhibiteurs se traduit par une diminution de la vitesse de la réaction cathodique et donc par un déplacement du potentiel de corrosion vers des valeurs moins nobles. Ce sont généralement des cations qui peuvent migrer vers la surface cathodique, où ils précipitent sous formes de sels basiques ou d'hydroxydes, formant des films adhérents et compacts. Les inhibiteurs cathodiques incluent des combinaisons de zinc, de nickel, de magnésium, des phosphates alcalins, des combinaisons d'arsenic, etc. D'après leur mode d'action on observe qu'ils sont utiles dans les environnements très acides. On peut distinguer trois catégories d'inhibiteurs [15] :

- ❖ Les poisons cathodiques (ils rendent plus difficile la réduction des ions  $H^+$ ) ;
- ❖ Les précipités cathodiques (le pH du milieu doit être ajusté afin de ne pas précipiter les sels sous la forme d'une suspension non protectrice) ;
- ❖ Les désoxygénant ou les fixateurs d'oxygène (sulfites ( $Na_2SO_3$ ) ou l'hydrazine ( $N_2H_4$ ) ce ne sont pas, à proprement parler, des inhibiteurs).

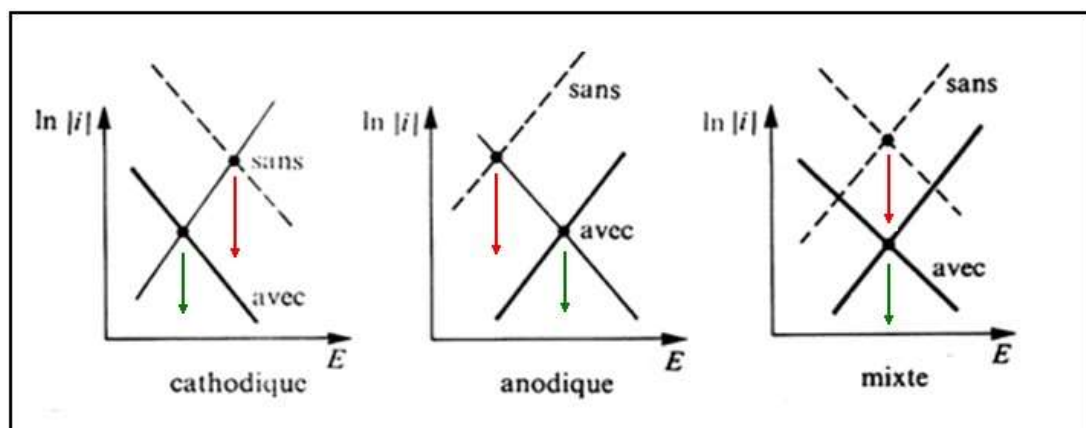


**Figure II.2:** a) Contrôle cathodique de la corrosion, action d'un inhibiteur cathodique et b) Contrôle anodique de la corrosion, action d'un inhibiteur anodique [16].

**II.2.3.3. Les inhibiteurs mixtes**

Seuls quelques-uns des inhibiteurs mentionnés ci-dessus peuvent devenir pleinement effectifs en liaison avec l'oxygène dissous ou avec les sels de calcium. L'ajout simultané de deux inhibiteurs peut donner comme résultat la croissance d'effet inhibiteur et il peut aussi éliminer aux faibles concentrations le risque à la corrosion par piqûres. Un tel inhibiteur consiste souvent en une combinaison d'agent oxydant, comme le nitrate ou les chromates et un non oxydé, mais qui précipite comme orthophosphates ou silicate. Des exemples de tels inhibiteurs sont: le mélange nitrate + benzoate, qui est l'inhibiteur le plus répandu et efficace pour les radiateurs de l'automobile et un autre exemple est un orthophosphates + chromate, qui est très efficace même en eau salée. Dans d'autres cas, l'inhibiteur mixte est un mélange entre un inhibiteur cathodique et un inhibiteur anodique, tels que les polyphosphates + chromate.

Le schéma d'Evans synthétise les divers cas de ces types d'inhibiteurs, **Figure II.1.**



**Figure II. 3 : Diagrammes d'Evans montrant le déplacement du potentiel de corrosion dû à la présence d'un inhibiteur de corrosion [17].**

### II.3. Mécanisme et principe 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 et, dans ce cas les mécanismes font intervenir le plus souvent des processus d'adsorption et de blocage de surface.

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, Figure II.1.

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.

### II.4. Les inhibiteurs verts

L'utilisation d'inhibiteurs [17] pour le contrôle de la corrosion des métaux et alliages qui sont en contact avec l'environnement agressif est une pratique acceptée. Un grand nombre de composés organiques ont été étudiés et sont étudiés pour investiguer leur potentialité d'inhibition de corrosion. Toutes ces études révèlent que les composés organiques, en particulier ceux qui

Contiennent N, S et O, ont montré une efficacité d'inhibition significative. Mais, malheureusement, la plupart de ces composés sont non seulement coûteux mais aussi toxiques pour les êtres vivants. Ces effets toxiques ont conduit à l'utilisation de produits naturels comme agents anticorrosion qui sont écologiques et inoffensifs. Très récemment de nombreuses alternatives écologiques inhibitrices de corrosion ont été développées, allant des terres rares aux composés organiques [18].

Le développement de la chimie verte et des technologies de la chimie verte offre de nouvelles méthodes de synthèse différentes substances (polymère, extrait de plante, acide aminé, liquide ionique, etc.), considérées comme de nouveaux inhibiteurs de corrosion. Les inhibiteurs

verts agissent lorsqu'ils sont ajoutés à de très faibles concentrations pour traiter la surface de métaux ou d'alliages dans un environnement corrosif. Les extraits de plantes sont réputés être des composés chimiques de synthèse naturelle riches qui affecte le taux de corrosion par adsorption d'espèces efficaces sur des surfaces métalliques lorsqu'ils sont ajoutés à de nombreux systèmes industriels.

Dans notre étude, nous avons comptés sur un inhibiteur naturel qui extrait par les pelures de pomme de terre.

### II.4.1. La chimie verte

- **Définition :** la chimie verte a pour but de concevoir et de développer des produits et des procédés chimiques permettant de réduire ou d'éliminer l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses [19].

Cette définition a été développée en douze principes par les chimistes américains Anastas et Warner, qui ont contribué à faire naître et à populariser ce concept :

- ✓ Prévention.
- ✓ Economie d'atomes.
- ✓ Conception de méthode de synthèses moins dangereuses.
- ✓ Conception des produits chimiques plus sûres.
- ✓ Solvants et auxiliaires moins polluants.
- ✓ Recherche du rendement énergétique.
- ✓ Utilisation des ressources renouvelables.
- ✓ Réduction du nombre de dérivés.
- ✓ L'utilisation d'agents catalytiques moins dangereuses.
- ✓ Conception de produits en vue de leur dégradation.
- ✓ Observation en temps réel en vue de prévenir la pollution.
- ✓ Une chimie fondamentalement plus faible.

Partant du concept et de l'importance de la chimie verte, qui a été appliquée dans nombreux domaines comme la protection contre la corrosion des métaux par des inhibiteurs extraits de matériaux naturels.

Dans notre étude, nous avons comptés sur un inhibiteur naturel qui extrait par les pelures de pomme de terre.

## II.5. L'inhibiteur de pelures de pomme de terre

En 2012, dans les pays développés plus 69,5 % de la production totale de la pomme de terre est transformé au niveau industriel [20]. Les pommes de terre sont souvent épluchées durant le processus de transformation, générant des pertes qui sont représentées par les pelures, ces pertes varient entre 15% et 40% dépendant de la méthode d'épluchage [21].



Figure II.4. Pommes de terre

### II.5.1. Composition de pelure de pomme de terre

La couleur de la peau de pomme de terre (*Solanum tuberosum*) varie du jaune pâle au violet en passant par le rose. La racine est plus ou moins grosse [22].

Les pelures de pomme de terre ont une composition proche de celle de la chair, elles sont riches en eau, en carbohydrates, tandis que leurs teneurs en protéines et lipides est faible.[23]. Aussi leur composition contient une quantité importante de vitamine C, en plus de : [24].

- **L'amidon** : stimule la croissance de l'énergie des plantes, en particulier les raisins de Corinthe et les roses d'adorent.
- **Acides organiques** : aident au déroulement normal des processus oxydatifs dans le corps, améliorent la digestion et l'absorption des glucides.
- **Glucose** : nécessaire à la production de protéines et au maintien du niveau d'énergie vitale en hiver.

- **Sels minéraux** : font partie des plantes, avec une pénurie d'entre eux, la plante perd son immunité.



**Figure II.5.** Pelures de pommes de terre.

**Tableau II.1 :** composition chimique de pelure de pomme de terre [25]

Composition	Concentration (%)
Humidité	85,1
Protéines	2,3
Lipides	0,1
Glucides	12,4
Amidon	7,8
Fibres	2,5

### II.5.2. Différentes utilisations des pelures de pommes de terre

Car les épluchures de pommes de terre sont pleines de fer, de calcium, de potassium et elles sont riches en fibres ; elles peuvent être très utiles dans la maison, le jardin, et même comme produit de beauté. Alors on peut faire beaucoup de choses avec des pelures de pommes de terre :

- ✓ Préparer des chips d'épluchures épicées.

- ✓ Astuce naturelle pour nettoyer et faire briller l'inox en le frottant avec l'intérieur d'une pelure de pomme de terre.
- ✓ Nettoyer et désodoriser l'huile de friture.
- ✓ Favoriser la pousse des plantes.
- ✓ Apaiser les coups de soleil : l'amidon contenu dans les épluchures de pommes de terre soulage les petites brûlures et les coupes de soleil [26].
- ✓ Les pelures de pommes de terre sont utilisées comme engrais. En raison de leurs nombreux avantages et de leur manque d'inconvénients. L'utilisation de cet engrais améliore la qualité du sol, augmente le rendement sans l'utilisation de produits chimiques et d'argent [27].

**Référence bibliographique :**

- [1] MILLET, J. P., - Durabilité et corrosion (cours Master Science et Technologie des Matériaux), Pitesti, 2008;
- [2] ABRUDEANU, M., GAVRILĂ, M., Durabilitateșicoroziune - tehnici de laborator, Pygmalion, ISBN ISBN 973-96591-8-7, Pitești, 1997;
- [3 ] H. Hamani, Synthèse, caractérisation et étude du pouvoir inhibiteur de nouvelles molécules basent de Schiff, Thèse de doctorat, Université de Sétif 1. p.4, 2015.
- [4] P. BOMMERSBACH, «Evolution des propriétés d'un film inhibiteur de corrosion sous influencé de la température et de conditions hydrodynamiques, caractérisation par techniques électrochimiques,» INSA de LYON, Thèse génie des matériaux, p. 154, 2005.
- [5 ] C. Fiaud, C. Lemaitre, N. Pebere, Inhibiteur de corrosion, In : G. Beranger, H. Mazille, Corrosion et anticorrosion (pratique industrielle), Mécanique et ingénierie des matériaux, Lavoisier, Paris, Hermès Science Publication ,2002.
- [6] H.E. Waldrip, *Present day Aspects of Condensate Well Corrosion*. Corrosion, 4,(1948) 611.
- [7] E.Hammer Norman, *Scope and importance of inhibitor technology*, Nathan, Houston, NACE Corrosion Inhibitors, USA: National Association of Corrosion Engineers,(1973) 28.
- [8] E. Heitz, *Proc. 4th European Symposium on Corrosion Inhibitors*, Ann, Univ. Ferrara, Italy, N. S. Sez. V, Suppl. 6, (1975) 432.
- [9] HAMER NORMAN, E., Scope and importance of inhibitor technology, *Corrosion*, NACE, 28-41, 1973;
- [10] ZAMFIR, S., VIDU, R., BRÎNZOI, V., Coroziunea materialelor metalice, Ed. Didactica si pedagogica, R.A., Bucuresti, 230pp, ISBN 973-30-2928-9, 1994;
- [11] KHALED, K. AL-QAHTANI M.M., The inhibitive effect of some tetrazole derivatives towards Al corrosion in acid solution: Chemical, electrochemical and theoretical studies, *Materials Chemistry and Physics*, **113**, 1, 150-158, 2009;
- [12] H. Hamani, 'Synthèse, caractérisation et étude du pouvoir inhibiteur de nouvelles molécules bases de Schiff', Thèse doctorat, universite ferhat Abbas – Setif-1, (2015).
- [13] BOMMERSBACH, P., ALEMANY-DUMONT C., MILLET J.P., NORMAND B., Formation and behaviour study of an environment-friendly corrosion inhibitor by

electrochemical methods, *Electrochimica Acta*, **51**, 6, 1076-1084, 2005;

[14] FIAUD C., Inhibiteurs de corrosion, *Corrosion-Vieillissement*, COR1005, 14pp disponible sur [www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr), 1990;

[15] MILLET, J. P., - Durabilité et corrosion (cours Master Science et Technologie des Matériaux), Pitesti, 2008;

[16] F. KHOUKHI, « Etude de l'efficacité de deux inhibiteurs de corrosion dans les milieux multiphasiques (Eau, huile et gaz) », Mémoire de magister, Université M'Hamed Bougara-BOUMERDES, (2008).

[17] BETHENCOURT, M., BOTANA, F.J., CALVINO, J.J., MARCOS, M., RODRIGUEZ CHACON, M.A., Lanthanide compounds as environmentally-friendly corrosion

[18] ARENAS, M.A., CONDE, A., de DAMBORENEA, J.J., Cerium a suitable green corrosion inhibitor for tinplate, *Corrosion Science*, **44**, 3, 511-520, 2002;

[19] U.S.Environmental protection Agency 1991.

[20] United States Department of Agriculture National Nutrient Database. 2008. per Capita Utilization of Potatoes, by Category: 1971-2012 (s.a.) National Potato Council:[http://nationalpotatocouncil.org/files/7314/0060/1153/2014\\_Statbook\\_per\\_capita\\_utilization.jpg](http://nationalpotatocouncil.org/files/7314/0060/1153/2014_Statbook_per_capita_utilization.jpg).

[21,23] *Waste Management*, 30: 1898-1902. Ethanol production from potato peel waste (PPW).2010

[22,25] Katia & AZOUG Assia ; Etude comparative des propriétés antioxydantes de plusieurs dérivés alimentaires.

[24,27] : <https://fram-fr.desigusxpo.com>

[26] : <https://guideastuces.com/A11401>



# Chapitre III

**Matériel, technique  
expérimental**

Le but de ce chapitre est de présenter les matériaux, les solutions électrolytiques d'étude, le dispositif expérimental, mais aussi d'expliquer le choix des techniques électrochimiques et d'analyse utilisées dans cette étude afin d'assurer une bonne reproductibilité des résultats.

### III.1. Matériaux utilisés

L'acier est l'un des principaux matériaux utilisé au monde. Il est employé largement dans tous les secteurs industriels : l'automobile, la construction de bâtiments, l'ingénierie mécanique, la construction navale, les appareils domestiques, les ordinateurs et les produits électroniques [1].

#### III.1.1. Composition chimique de l'acier

L'acier retenu dans cette étude est un acier au carbone C-1020, dont la composition chimique est présentée dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III.1 : Composition chimique de l'acier d'étude [1].**

Elément chimiques	C	Fe	Mn	Sb
Teneur (%)	0.20	99.37	0.32	

#### III.1.2. Propriété mécanique

**Tableau III.2 : Propriété mécanique de l'acier au carbone C- 1020 [1].**

Propriété	Métrique	Imperial
Résistance à la traction	420Mpa	60900psi
Limite d'élasticité	350Mpa	50800psi
Module d'élasticité	205Gpa	29700ksi
Module de cisaillement	80Gpa	11600ksi
Coefficient de poisson	0.29	0.29
Allongement a la rupture (in 50mm)	15%	15%
Dureté, Brinell	121	121

### III.1.3. Propriété physique

**Tableau III.3 : Propriété physique de l'acier au carbone C-1020**

Propriété	Métrique	Imperial
Densité	7.87g/cm <sup>2</sup>	0.284lb/in <sup>3</sup>

## III.2. Electrode de travail

### III.2.1. Préparation des électrodes de travail

Les étapes de préparation sont :

- 1) Découper les échantillons (acier au carbone C-1020) à l'aide d'une tronçonneuse sous formes de plaques rectangulaires égaux ;
- 2) Ensuite, les échantillons sont raccordés à un fil conducteur en cuivre puis enrobé dans un mélange : résine thermodurcissable + un durcisseur ;
- 3) L'enrobage est réalisé dans un moule en plastique (de telle sorte que l'électrode en contact avec la solution possède une seule surface nue de 1cm<sup>2</sup>), puis exposé à l'air ambiant pendant 24 heures pour permettre à la résine de se solidifier (voir Figure III.1).



**Figure III.1 : Préparation des électrodes de travail**

### III.2.2. Préparation de surface

Les surfaces des électrodes de travail subissent avant chaque manipulation, un prétraitement, qui consiste à un polissage mécanique au papier abrasif (de grade 60 jusqu'à 1500), à l'aide du papier de carbure de silicium afin d'obtenir une surface lisse. En même temps un jet d'eau assure le refroidissement de l'acier pour éviter de gâcher la surface de l'électrode. Après le lavage à l'eau, l'échantillon d'acier est rincé à l'eau distillée puis dégraissé à l'aide de l'acétone et rincé à l'eau distillée de nouveau et finalement séché à l'air.

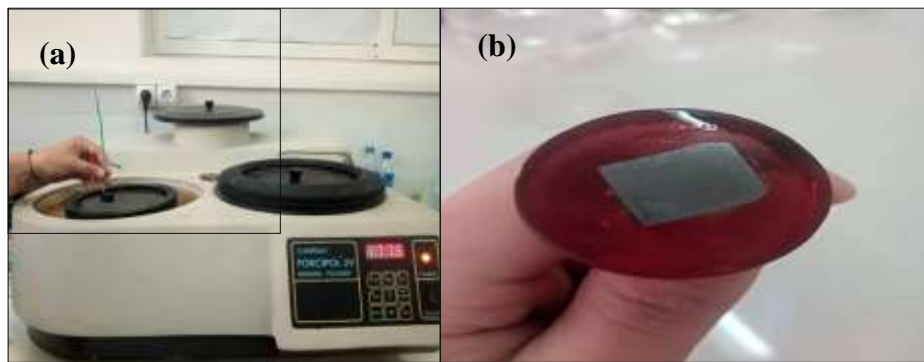


Figure III.2 : préparation de surface : a : polisseuse à papier abrasives, b : électrode de travail

### III.3. Milieux d'études

- Le milieu corrosif d'étude est une solution électrolytique de chlorure de sodium NaCl 30g/l ;
- Le milieu corrosif constituant le bain de polissage électrolytique est une solution de  $H_3PO_4$  de concentration 8 M.

### III.4. Préparation de l'extrait des pelures de pomme de terre

#### III.4.1. Matériel végétale

Les pelures sont procurées dans un fastfood. Après lavage et séchage, les légumes sont épluchés. Arriver au labo, les pelures sont ensuite séchées à l'étuve à 50°C pendant 10 heures jusqu'à obtention de poids constant afin d'éliminer toute l'eau contenue dans les pelures et ainsi faciliter le broyage. Une fois séchées on procède à un broyage à l'aide d'un moulin à café, la poudre obtenue La poudre obtenue a été ensuite stockée.



Figure III.3 : Les pelures de pomme de terre séchées et broyées.

#### III.4.2. Extraction des polyphénols

Les composés phénoliques sont extraits suivant la méthode décrite par **Chouguiet al. (2014)**, avec quelques modifications concernant la quantité de poudre utilisée.

##### a) La première étape : extraction solide-liquide

Dans cette étape, on mélange 50g de poudre de pelure de pomme de terre avec 200 ml d'éthanol. Et nous les laissons agiter pendant 24 heures



Figure III.4. : Agitation du mélange pendant 24 heures.

##### b) Deuxième étape : Filtration Buchner (sous vide)

Après 24h d'agitation, On laisse le mélange reposer 5 min et on filtre le macérât à l'aide d'un montage de filtration sous vide pour séparer la phase solide (la poudre) de la phase liquide (éthanol + extrait de couche externe de pomme de terre).



**Figure III.5 : Photos de filtration le reflux pomme de terre**

**c) Troisième étapes : évaporation du solvant d'extraction**

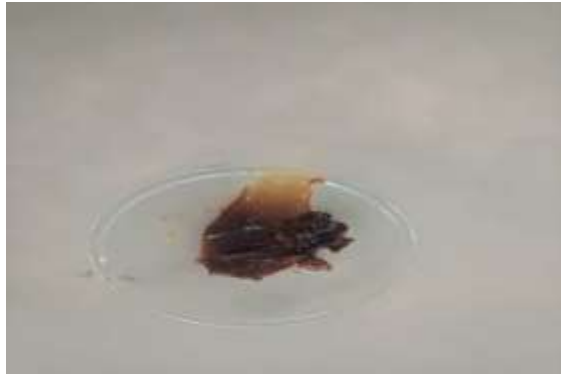
La solution obtenue est évaporée à l'aide d'un évaporateur rotatif, ou rotavap qui permet d'éliminer le solvant (éthanol).



**Figure III.6 : Montage d'évaporation – évaporateur rotatif**

**d) Quatrième étapes : Récupération de l'extrait**

L'extrait sec récupéré est stocké à 4°C jusqu'à son utilisation



**Figure III.7 : Photos de l'extrait de pelure de pomme de terre**

### III.4.3. Rendement d'extraction

Le rendement de l'extraction a été calculé en pourcentage par rapport à la masse sec du plante selon la formule suivante [1]:

$$R(\%) = (M / M_0) \times 100 \dots \dots \dots (III.1)$$

Où : **R(%)** : Rendement exprimé en % ;

**M** : Masse en gramme de l'extrait sec résultant ;

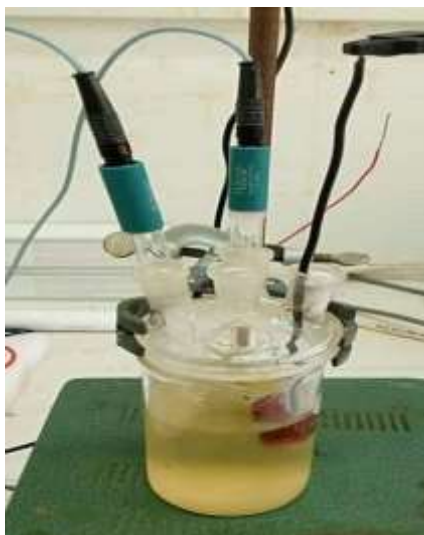
**M<sub>0</sub>** : Masse en gramme du matériel à traiter.

### III.5. Cellule électrochimique

Toutes nos expériences sont réalisées dans une cellule à trois électrodes, le dispositif électrochimique utilisé est représenté sur la figure III.8, elle contient :

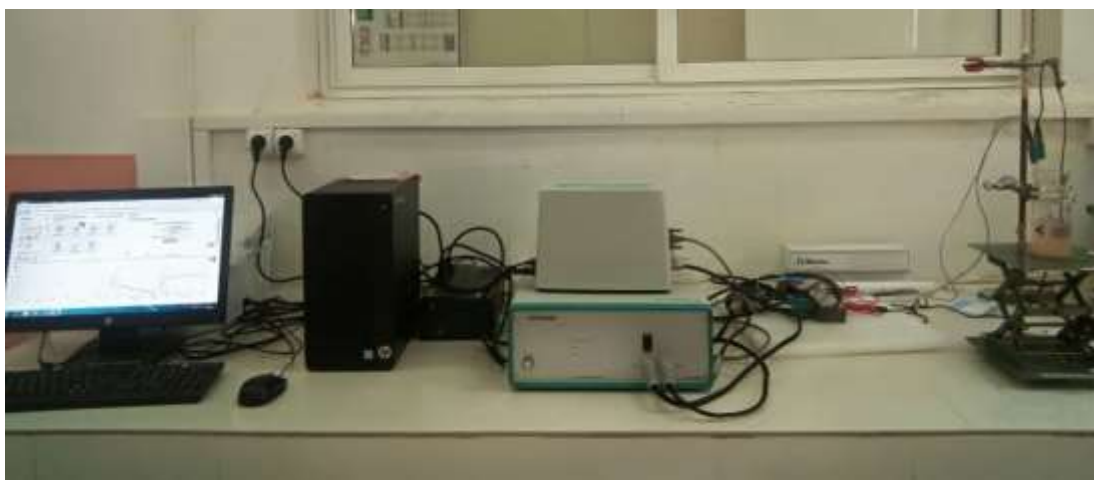
- ✓ Une électrode de travail : lors de tracés potentiodynamiques ;
- ✓ Une contre-électrode en platine : permet de déterminer le courant traversant ;
- ✓ Une électrode de référence : au Ag/AgCl saturée en KCl (permet de mesure la tension de l'électrode étudiée).

Ces trois électrodes sont plongées dans un récipient de 200 ml dans lequel sont aménagés des orifices de diamètre et d'espacements bien étudiés permettant l'introduction des trois électrodes.



**Figure III.8 : Représentation de la cellule électrochimique à trois électrodes**

La cellule est connectée avec le potentiostat- galvanostat à configuration électronique relié à un ordinateur menu d'un logiciel NOVA permettant aux mesures électrochimiques d'être indiquées et enregistrées automatiquement.



**Figure III.9 : Dispositif de mesure électrochimique**

### III.6. Conditions opératoires

- Tracé des courbes de polarisation après 30 min d'immersion ;
- Domain de balayage  $OCP \pm 250$  mV/Ag/AgCl ;
- Surface de l'électrode  $1 \text{ cm}^2$  ;
- Electrolytes : NaCl 30g/l, Na Cl 30g/l + l'extrait à différentes concentrations (50, 100, 200 et 500 ppm) ;  $H_3PO_4$  8M ;  $H_3PO_4$ 8M + l'extrait vert (concentration optimale) ;

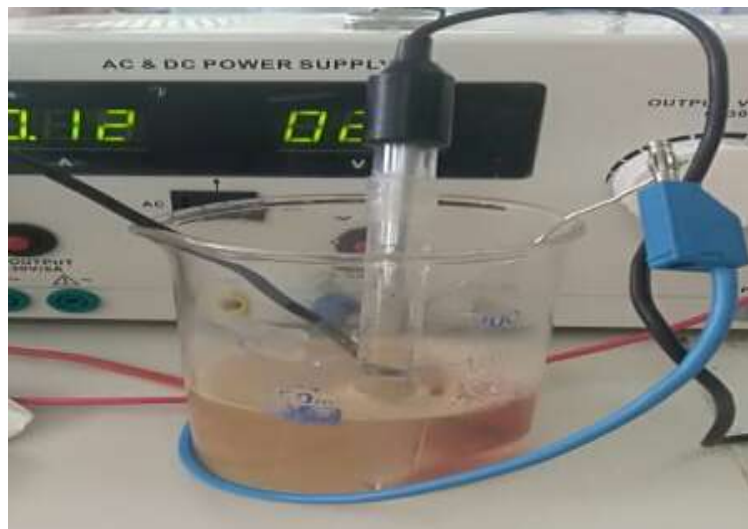
- Volume de la solution 200 ml ;
- Tous les essais ont été réalisés dans un milieu non agité et normalement aéré ;
- Domaine de balayage des fréquences [2].

### III.7. Méthode Electro polissage

La méthode de polissage électrolytique (EP) est un processus extrêmement efficace pour le brillantage et le nettoyage des métaux et des alliages. Il a obtenu via la dissolution anodique de la surface métallique [2].

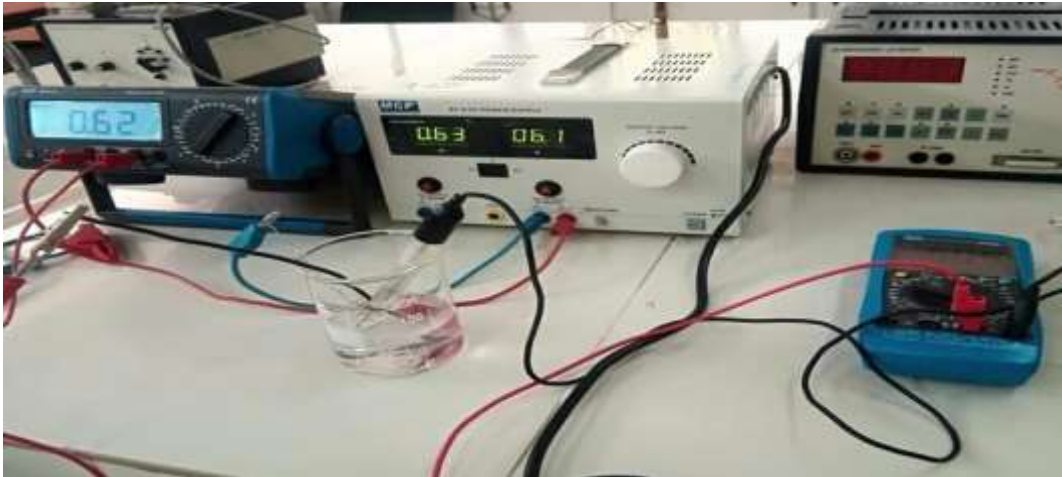
Le polissage électrolytique de l'acier au carbone C-1020 a été effectué dans une cellule électrochimique à trois électrodes :

- Une électrode de travail ;
- Une électrode de platine ;
- Une électrode de référence.



**Figure III. 10 : Cellule électro électrique à trois électrodes**

Les électrodes sont immergées dans 100 ml acide phosphorique ( $H_3PO_4$ 8M) et branchées à un générateur. Un ampèremètre et un voltmètre sont placés dans le circuit électrique.



**Figure III.11 : Montage expérimental pour l'électro-polissage**

- **Principe d'électro polissage**

Les électrodes ont été connectées aux pôles de générateur de courant continu. Le pôle positif constitue l'anode (la pièce en acier) et le pôle négatif constitue la cathode, composé d'une électrode de platine. Dans le circuit extérieur nous avons placé un ampèremètre et un voltmètre dans le but de contrôler parfaitement le courant et la tension aux bornes de la cellule d'électrolyse. La cellule contenant l'électrolyte composé de la solution à base d'acide phosphorique et dans laquelle plongent les électrodes.

### **III.8. Techniques expérimentales**

La complexité des phénomènes de corrosion nécessite l'utilisation d'un grand nombre de méthodes expérimentales pour déterminer le taux de corrosion et la nature des mécanismes qui interviennent au cours de l'attaque du métal.

Selon l'information recherchée nous pouvons faire appel à l'un ou l'autre méthode, mais du fait de la complémentarité qui existe entre eux l'expert en corrosion est souvent obligé d'effectuer le maximum d'essais afin de cerner au mieux le phénomène.

#### **III.8.1. Etude gravimétrique**

Les mesures de la perte de masses sont souvent prises comme une première approche de l'étude de l'inhibiteur de la corrosion d'un métal dans une solution en électrochimie. Cette méthode présente l'avantage d'être d'une mise en œuvre simple et de ne pas nécessiter un appareillage important [3].

La méthode gravimétrique a été utilisée pour étudier l'effet de la concentration de l'inhibiteur, et du temps d'immersion. Les échantillons d'acier, préalablement préparés et pesés, ont été immergés dans le milieu **NaCl 1M (200 mL) (Figure III.12)**, en absence et en présence d'inhibiteur :

- Effet de la concentration dans l'intervalle de 50-500 mg/l à température ambiante ( $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ) et un temps d'immersion de 3h ;
- Effet de temps d'immersion pour une concentration optimale et temps d'immersion de 3 heures, 24 heures, 72 heures et 168 heures.

Après un temps d'immersion choisi, les pièces d'acier sont retirées, lavées avec l'eau distillée, séchées et pesées à nouveau. À partir des mesures de la perte de masse, la vitesse de corrosion, et l'efficacité d'inhibition ont été déterminées.



**Figure III.12 : Photo de technique de la masse perdue.**

La vitesse de corrosion est calculée par la formule [4] suivant :

$$V_{\text{cor}} = \Delta m / S.t \text{ (mg / j.cm}^2\text{)} \dots \dots \dots \text{(III.2)}$$

Où **V cor** : Vitesse de corrosion en (mg /cm<sup>2</sup>) ;

**S** : Surface (cm<sup>2</sup>) ;

**t** : temps de l'expérience (h) ;

**Δm** : différence de masse en (mg).

$$\Delta m = m_i - m_f \dots \dots \dots \text{(III.3)}$$

Où **m<sub>i</sub>** : la masse de l'échantillon avant l'immersion ;

$m_f$  : la masse de l'échantillon après l'immersion.

- La valeur de l'efficacité inhibitrice est donnée par la formule [4] suivant :

$$EI (\%) = (V - V_{inh} / V) \times 100 \dots \dots \dots (III.4)$$

V et  $V_{inh}$  représentent respectivement les vitesses de corrosion sans inhibiteur et en présence d'inhibiteur.

### III.8.2. Méthodes électrochimiques

Parmi les méthodes de contrôle du phénomène de corrosion, les méthodes électrochimiques s'avèrent d'une importance capitale pour la compréhension du phénomène étant donné les informations qu'elles fournissent.

L'intérêt de ces méthodes tient au fait qu'il est possible en quelques heures de réaliser les essais dont les principes sont basés sur la mesure du courant (I) en fonction de la variation de la tension appliquée (E) à l'échantillon [5].

Les méthodes électrochimiques d'étude de la corrosion peuvent être classées en deux groupes distincts : les méthodes stationnaires (classique) et les méthodes non stationnaires dites transitoires.

#### III.8.2.1. Les méthodes électrochimiques stationnaires

Dans les méthodes électrochimiques stationnaires [6] les paramètres de l'électrolyse ne varient pas dans le temps où que leur vitesse de variation est faible devant la vitesse des processus électrochimiques. Les expériences se font alors lorsque les états stationnaires ou quasi-stationnaires sont atteints.

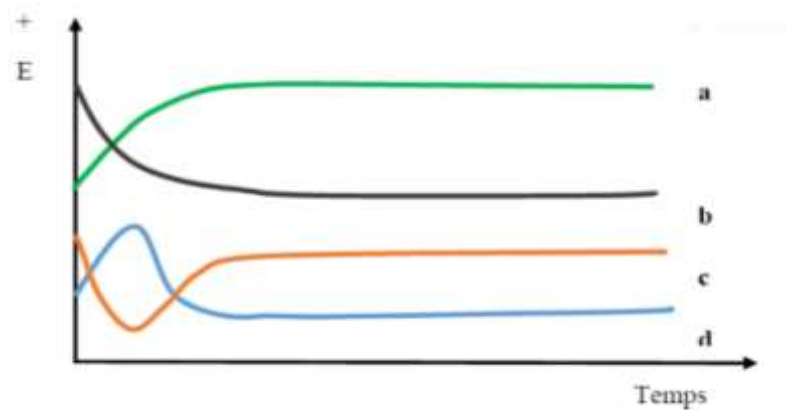
Il est très important, dans l'étude des phénomènes de corrosion, d'avoir le maximum de renseignements susceptibles de caractériser la surface de l'échantillon, car c'est à partir de cette dernière que l'attaque se fait.

#### A. Potentiel libre (d'abandon)

Le suivi temporel du potentiel de corrosion a un double objectif : d'une part, il permet d'avoir une première idée du comportement de la surface en milieu corrosif (corrosion, formation d'une couche passive, etc.), et d'autre part, il permet de déterminer le temps nécessaire

à l'obtention d'un régime stationnaire, indispensable pour les tracés potentiodynamiques et les spectres d'impédances. Cette mesure est effectuée entre électrode de travail et l'électrode de référence.

Egalement désigné par potentiel en circuit ouvert, potentiel spontané, potentiel d'abandon, de Repos ou encore libre, il s'agit de la grandeur électrochimique la plus immédiatement mesurable. En outre c'est la seule mesure électrochimique qui n'apporte absolument aucune perturbation à l'état du système étudié, (Figure III.13) [7].



**Figure III.13 : Courbes types potentiel / temps d'immersion :  $E=f(t)$  [8].**

Les courbes de la Figure III. 13 illustrent les différents cas de l'évolution du potentiel dans le temps (évolution du potentiel en fonction du temps d'immersion) [8].

**Courbe a :** le potentiel augmente au cours du temps (devient de plus en plus cathodique), c'est le cas d'une réaction de passivation conduisant par exemple à la formation sur la surface du métal d'un produit de corrosion insoluble, adhérent, compact et par conséquent d'une couche protectrice.

**Courbe b :** Le potentiel devient de plus en plus anodique, c'est le cas d'une attaque par dissolution continue du métal (le potentiel de l'électrode devient de moins en moins noble).

**Courbe c :** Le potentiel devient d'abord négatif (anodique) puis tend vers des valeurs plus positives, c'est le cas d'un début d'attaque suivie d'une passivation.

**Courbes d :** Le potentiel devient d'abord plus noble puis tend vers des valeurs plus négatives. Il s'agit d'un métal qui se passive mais la couche de passivation formée est instable, elle se détruit après un certain temps (disparition d'un film protecteur préexistant à l'immersion).

### B. Courbes de polarisation (intensité- potentiel)

La détermination de ces courbes est un outil fondamental de l'étude des phénomènes de corrosion. Elles donnent la variation de l'intensité du courant qui circule entre l'électrode à étudier et une électrode de platine, en fonction du potentiel imposé à l'électrode à étudier, repéré par rapport à une électrode de référence [9].

Cette méthode permet de déterminer d'une façon précise les paramètres électrochimiques d'un métal au contact d'un électrolyte à savoir : la vitesse instantanée de corrosion, le potentiel de corrosion  $E_{corr}$ , les pentes de Tafel, la résistance de polarisation  $R_p$ , les courants limitent de diffusion [10].

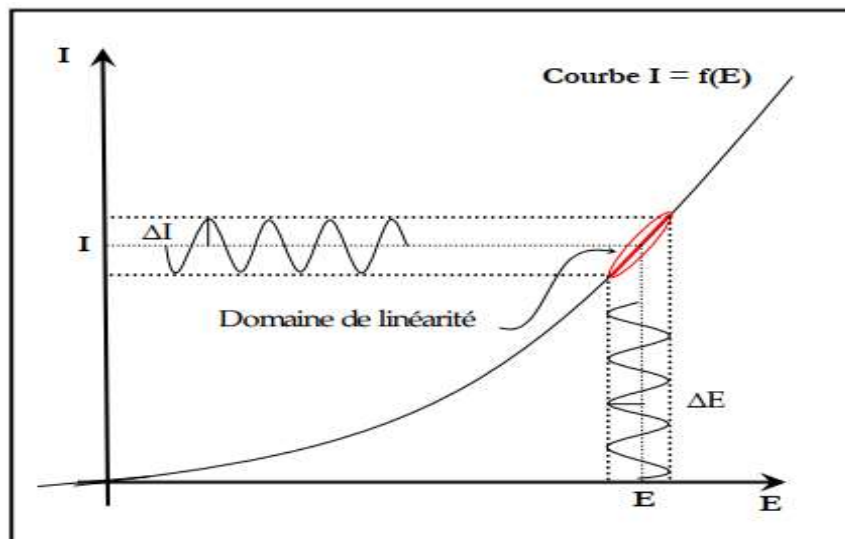


Figure III.14 : Courbe intensité –potentielle :  $i = f(E)$  [10].

Le tracé des courbes de polarisation renseigne sur la cinétique de l'étape la plus lente du processus globale de corrosion qui se compose de différentes réactions élémentaires [11] :

- Transfert de charge ;
- Transfert de matière ;
- Adsorption des espèces sur l'électrode.

La courbe de polarisation  $i=f(E)$  d'un métal dans une solution aqueuse est composée de deux branches :

- ✓ Une branche anodique correspondant à la superposition des courants résultant des réactions d'oxydation :



- ✓ Une branche cathodique correspondant à la superposition des courants résultant de la réaction de réduction :



### III.8.2.2. Méthodes de détermination de vitesse de corrosion

Comme pour tous les cas d'utilisation de matériaux en milieu agressif, le problème majeur reste celui de l'évaluation de la vitesse de corrosion, qui n'est jamais aisée. Il est bien clair que la notion de vitesse de corrosion n'a de sens que si le phénomène de corrosion concerne la totalité de la surface métallique de manière uniforme.

La vitesse de cette attaque est reliée aux éléments suivant [12] :

- **La composition chimique** : nature et proportions des constituants fondamentaux, des éléments d'addition et des impuretés ;
- **La microstructure** : grosseur des grains, nombre de phases présentes et composition de chacune de celles-ci, les défauts de structure ;
- **Les caractéristiques technologiques** : méthodes de préparation et de traitement, conditions de stockage, transport ;
- **Etat et traitement de surface** : pièce travaillée, rugosité, couche protectrice naturelle, film de protection temporaire

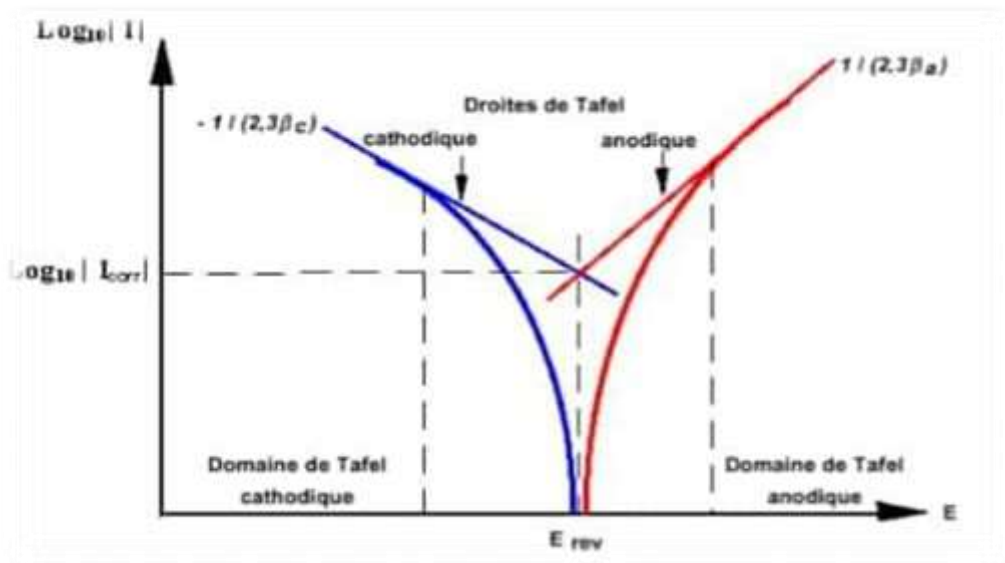
Il est possible de définir le courant de corrosion par voie électrochimique. Les méthodes suivantes sont les plus utilisées :

➤ **Méthode d'extrapolation des droites de Tafel**

Une des méthodes les plus couramment employées pour la détermination de la vitesse de corrosion et la densité de courant de corrosion est l'extrapolation de droites de Tafel au potentiel de corrosion. Et cette densité peut être déterminée à partir de la relation suivant [12] :

$$I_{corr} = ((\beta_a \cdot \beta_c) / (2.3 \beta_a + \beta_c)) (\Delta i / \Delta E) \dots \dots \dots (III.6)$$

Où :  $\beta_a$  et  $\beta_c$  les coefficients de Tafel anodique et cathodique.



**Figure III.15 : Courbes de polarisation en coordonnées semi-logarithmiques et droites de Tafel [13].**

Si on représente la courbe de polarisation obtenue en coordonnées  $\log i = f(E)$ , l'intersection des droites anodique et cathodique, extrapolées au potentiel de corrosion, donne la densité de courant de corrosion  $i_{corr}$  (A.cm<sup>2</sup>) [14].

A partir de la loi de Faraday, et en faisant hypothèse que les corrosions observées sont uniformes, il est alors possible de définir une relation permettant d'estimer la vitesse de corrosion [15] :

$$V_{corr} = i_{corr} \cdot t \cdot M / n \cdot F \dots \dots \dots (III.7)$$

- Où  $V_{corr}$  : la vitesse de corrosion (g/sec.cm<sup>2</sup>) ;
- $i_{corr}$  : la densité du courant de corrosion (A/cm<sup>2</sup>) ;
- $M$  : la masse molaire du métal (g/mol) ;

**t** : la durée de l'immersion du métal dans la solution (seconde) ;

**n** : le nombre d'électrons (valence) ;

**F** : le Faraday (96500C/mol).

L'intersection des droites de Tafel donne  $i_{\text{corr}}$  et  $E_{\text{corr}}$ .

### ➤ Méthodes de la résistance de polarisation

La mesure de la résistance de polarisation consiste à faire un balayage de quelque millivolt  $\Delta V$  autour du potentiel naturel de la corrosion et de déterminer le courant  $\Delta I$  correspondant.

La pente de la droite permet de calculer la résistance de polarisation  $R_p$  (inverse de la pente). La mesure de la pente au voisinage du potentiel de corrosion permet déduire la résistance de polarisation.

$$R_p = \Delta E / \Delta I \quad \text{en } (\Omega \cdot \text{cm}^2) \dots \dots \dots \text{(III.8)}$$

La théorie électrochimique montre qu'en première approximation, cette résistance de polarisation (**R<sub>p</sub>**). Est inversement proportionnelle au courant de corrosion  $i_{\text{corr}}$  [15].

$$R_p = \Delta E / \Delta I = \beta_a \cdot \beta_c / (2.3 (\beta_a + \beta_c) \cdot i_{\text{corr}}) \dots \dots \dots \text{(III.9)}$$

Expression dans laquelle  $\beta_a$  et  $\beta_c$  représentent respectivement les pentes anodique et cathodique des droites de Tafel,  $\Delta i / \Delta E$  étant la pente des courbes  $i = f(E)$  à la potentielle corrosion.  $\beta_a$  et  $\beta_c$  tend vers l'infini et l'équation devient :

$$R_p = \beta_c \times 1 / i_{\text{corr}} \dots \dots \dots \text{(III.10)}$$

La relation anodique :

$$R_p = \beta_a \times 1 / i_{\text{corr}} \dots \dots \dots \text{(III.11)}$$

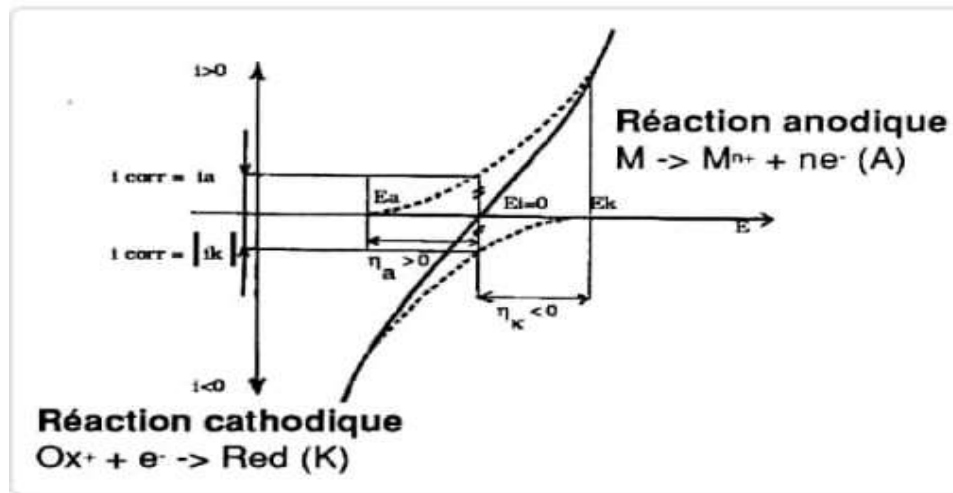


Figure III.16 : Détermination graphique de la résistance de polarisation [15].

### III.8.2.3. Méthodes électrochimiques non stationnaires

Pour contourner les limitations des techniques non stationnaires, il a été mis au point un certain nombre de technique transitoires, basées sur l'utilisation des fonctions de transfert dont la SIE fait partie.

#### A. La spectroscopie d'impédance électrochimique (SIE)

La spectroscopie d'impédance électrochimique est une technique faible et puissante pour étudier les propriétés électrique des systèmes électrochimique. Ainsi elle est largement répandue dans différents champs de recherche tels que la corrosion, caractérisation des couches minces, cinétique d'électrode et les batteries [16].

La SIE est basée sur la mesure d'une fonction de transfert suite à la perturbation volontaire du système électrochimique étudié. Ce système peut être considéré comme étant une boîte noire qui réagit en envoyant un signal  $y(t)$  quand il est soumis à une perturbation  $x(t)$ . Les deux signaux  $x(t)$  et  $y(t)$  sont alors reliés par une fonction de transfert  $H(w)$  telle que  $Y(w) = H(w) X(w)$ ,  $X(w)$  et  $Y(w)$  étant respectivement les transformées de Fourier de  $x(t)$  et  $y(t)$  [14].



Figure III.17 : Schéma d'une fonction de transfert [16].

▪ Principe de spectroscopie d'impédance électrochimique

Le principe de la SIE consiste à superposer au potentiel de l'électrode une modalisation de potentiel électrique sinusoïdale de faible amplitude et à suivre la réponse en courant pour différentes fréquence du signal perturbateur. La réponse en courant est également sinusoïdale, superposée à nu courant stationnaire mais déphasée d'un angle par rapport au potentiel.

La perturbation en potentiel peut se mettre sous la forme :

$$\Delta E = |\Delta E| \sin(\omega t) \dots \dots \dots (III.12)$$

$$\Delta I = |\Delta I| \sin(\omega t - \varphi) \dots \dots \dots (III.13)$$

L'impédance est calculée à partir de l'impédance des éléments constitutifs circuit, en calculant la fonction de transfert H (ω) du système qui est la transformation de Fourier, on obtient l'impédance électrochimique Z(ω) qui est un nombre complexe [18] :

$$Z(\omega) = \Delta E(\omega) / \Delta I(\omega) \dots \dots \dots (III.14)$$

L'impédance Z(ω) est un nombre complexe caractérisé par son module Z et sa phase φ

$$Z(\omega) = Z_{re}(\omega) + (j \times z_{im}(\omega)) \dots \dots \dots (III.15)$$

$$|Z| = (z_{re}^2 + z_{i}^2)^{1/2} \dots \dots \dots (III.16)$$

$$\varphi = \tan^{-1} (Z_i / Z_{re}) \dots \dots \dots (III.17)$$

Z(ω) : Impédance électrochimique ;

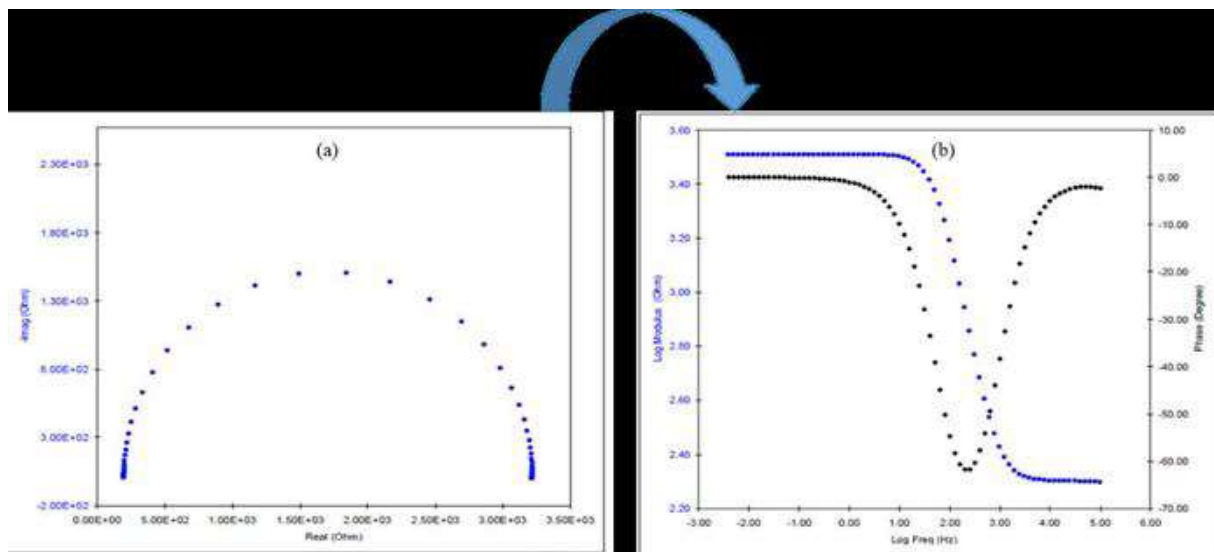
|Z| : Représente le module de l'impédance (j<sup>2</sup> = -1) ;

φ : l'angle de déphasage ;

Z<sub>re</sub> : Partie réelle de l'impédance ;

$Z_{im}$  : Partie imaginaire de l'impédance.

Il existe deux représentations des données d'impédance électrochimique : la représentation de Nyquist obtenue en traçant l'opposé de la partie imaginaire de l'impédance en fonction de sa partie réelle, et la représentation de Bode en traçant le module de l'impédance et la phase en fonction du logarithme décimale de la fréquence.



**Figure III.18 : Représentation de Nyquist et Bode d'un diagramme d'impédance électrochimique [19]**

L'impédance d'un système électrochimique, quel soit, peut être assimilée, par analogie, à une impédance électrique. Chaque phénomène physicochimique se déroulant à l'interface électrode de travail/électrolyte peut être modélisé par un ensemble de composantes électriques (résistance, condensateur, bobine, etc.) placés en série ou en parallèle constituant ainsi un Circuit Electrique Equivalent (CEE) [19].

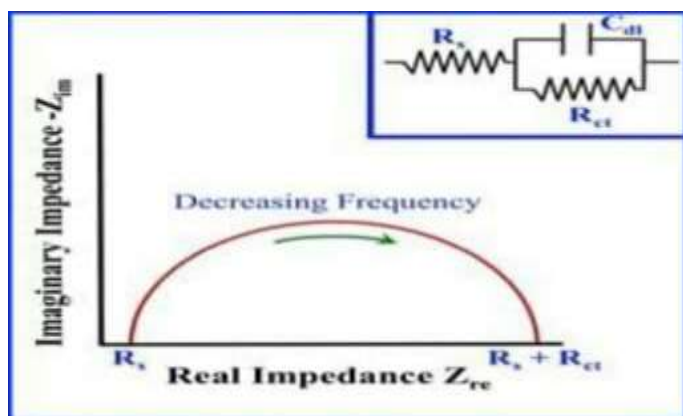


Figure III.19 : Représentation, dans le plan de Nyquist, de l'impédance électrochimique, dans le cas d'un processus de charges et circuit électrique équivalent correspondant

### III.8.3. Méthodes d'analyse physico-chimique

#### ❖ Spectrophotométrie ultraviolet visible UV-visible

La spectrophotométrie UV-visible permet la mesure de la quantité de la lumière absorbée à chaque longueur d'onde des bandes ultraviolettes et visible du spectre électromagnétique. L'adsorption de la lumière fait passer des électrons d'un niveau d'énergie plus bas, état stable (correspondant à une orbital liante  $\sigma$  ou  $\pi$  non liante  $n$ ) à un niveau d'énergie plus élevée au état excité (celui d'une orbitale anti-liante  $\sigma^*$  ou  $\pi^*$ ) : on peut provoquer les passage :  $\delta \rightarrow \delta^*$ ,  $\pi \rightarrow \pi^*$ ,  $n \rightarrow \delta^*$ ,  $n \rightarrow \pi^*$  (Figure III.20).

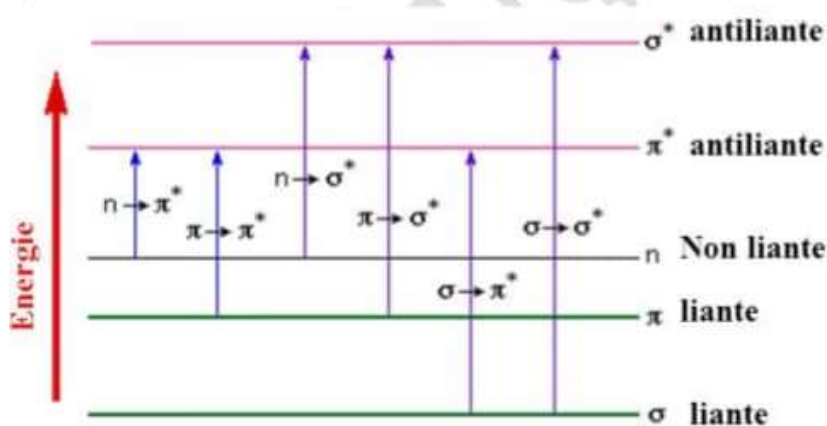


Figure III.20 : Transitions électroniques [20].

Cette technique est à élucider la structure des molécules organique en indiquant la présence ou l'absence de conjugaison dans un échantillon donnée, elle sert d'avantage à

Déterminer les concentrations inconnues [20]. La loi de Beer-lambert permet de relier par une expression littérale la concentration d'un composé et l'absorbance résultants à une longueur d'onde donnée.

$$A = \varepsilon \times l \times C \dots \dots \dots (\text{III.18})$$

Avec **A** : Absorbance ( $A = \ln(I_0/I)$ ) où  $I_0$  : intensité initiale et  $I$  Intensité après passage du rayonnement à travers la cuve. Sans unité ;

**$\varepsilon$**  : coefficient d'absorption en  $\text{l.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$  ;

**l** : longueur du trajet optique dans le liquide = largeur de la cuve = 1 cm ;

**C** : concentration du composé étude en  $\text{mol.L}^{-1}$ .

## Références bibliographiques

- [1] A. Miralrio, A.E. Vázquez, Plant extracts as green corrosion inhibitors for different metal surfaces and corrosive media: a review, *Processes* 8 (2020) 942-969.
- [2] Nechedoua, khelifaImen, Etude de l'effet inhibiteur de corrosion des extraits des clous de girofle, université de Skikda (2021).
- [3] Mme.Boukhoiete Amel, etude d'inhibiteur de la corrosion de l'acier X60 par la gomme Arabique dans un milieu chlorhydrique 1 M, université d'Annaba (2020).
- [4] Hadj moussa Ali, Contribution à l'étude in vitro de l'effet des extraits de feuilles de Retamaraetam sur l'activité de l' $\alpha$ -analyse, université aboubekrbelkaid, tlemsan, p23. 2012.
- [5] E.S .Ivanov, <<Inhibiteurs for Métal corrosion in Acid Media, Metallurgy>>, MSCOW, (Russia), (1986).
- [6] E.L. liemig, Electrochimical corrosion testing technique, the theory and the practices process industries corrosion, NACE, Houston, pp.85.122 (1986).
- [7] S.BRIOUA, Mémoire de Magister, Etude du comportement de l'acier au carbone X52 par la mesure de la résistance de polarisation << influence des paramètres expérimentaux >>, Univ. Skikda (2003).
- [8] ElenaluminitaDin- STIRBU, Thèse de doctorat, comportement à la corrosion des alliages d'aluminiumutilisent dans l'industS.BRIOUA, Mémoire de Magister, Etude du comportement de l'acier au carbone X52 par la mesure de la résistance de polarisation << influence des paramètres expérimentaux >>, Univ. Skikda (2003).
- Rie automobile pour la fabrication de radiateur de chauffage, Uni. PITESTI. Roumanie(2005).
- [9] P. Iacombe, les applications concept électrochimique au remèdes contre la corrosion, introduction à l'étude de la corrosion métallique dans les industries pétrolières et chimique, p.65 (1996).
- [10] Aminayounssi, Mémoire de Magister, Etude électrochimique de l'alliage cuivre –Zinc (cu-zn38) en milieu Sulfurique, université 20 Aoute 1995 Skikda 2014.

[11] Moumin. LEBRINI, synthèse Etudes physico-chimiques de nouveau thiadiazoles Inhibiteurs de corrosion de l'acier en milieu acide, thèse de doctorat, Université de Lille, p.14.2009-2010.

[12] Jacques LECONTE, Tuyauteries : protection contre la corrosion, technique de l'ingénieur, traité Génie mécanique, A830.

[13] S.BRIOUA, Mémoire de Magister, Etude du comportement de l'acier au carbone X52 par la mesure de la résistance de polarisation << influence des paramètres expérimentaux >>, Univ. Skikda (2003).

[14] M- TOUIKER, Mémoire de Magister, comportement du cupronickel 90/10 en milieu Na Cl 13% par les méthodes électrochimique calcique, Univ, Skikda (2002).

[15] Lionel JAUBERT, Thèse de doctorat, Etude de la corrosion uniforme d'acier non alliés et inoxydables : Utilisation conjointe de l'émission acoustique et des techniques électrochimique, Univ. Lyon-France (2004).

[16] Cloude GABRIELLI et Hisasi TAKENOUTI, Méthodes électrochimique appliquées à la corrosion, Technique de l'ingénieur, Technique stationnaire, COR810.

[17] AITALI YAHIA SORAYA, <<Elaboration Et caractérisation de Nanotubes de  $TiO_2$ >>, Mémoire de Magister, Université de Tizi-Ouzou ; 2012, pages 48-51.

[18] JEAN- BAPTISTE JORCIN, Spectroscopie d'impédance électrochimique locale : <<caractérisation de la lamination des peintures et de la corrosion des alliages Al-Cu>>, le titre de doctorat de l'institut national polytechnique de Toulouse, 2007, page10-12.

[19] Z.KHIATI, << Inhibition de la corrosion du cuivre en milieux chlorure sulfates neutres par une nouvelle molécule dérivée de 1, 2,4- trauzolo>>, thèse de doctorat, Université pierre et marie curie paris 6-France, (2013).

[20] M. HESSE, H.MEIER, B. ZEEH, Méthodes spectroscopie pour la chimie organique, Masson, Paris (1997).37.



# Chapitre IV

**Résultats et  
discussion**

Ce chapitre est divisé en deux parties :

La première partie a été réalisée dans le but de confirmer l'effet inhibiteur de l'extrait de pelure de pomme de terre sur la corrosion de l'acier au carbone C-1020 dans NaCl 30 g/l. L'étude a été faite par des méthodes électrochimiques stationnaires (la méthode potentiodynamique et la chronoampérométrie) et transitoires (Spectroscopie d'Impédance Electrochimique (SIE) et une caractérisation physico-chimique par la méthode spectroscopie UV- Visible.

La deuxième partie est consacrée à l'étude électrochimique du phénomène d'électropolissage de l'acier C-1020 dans H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 8M en présence de l'extrait vert.

### **IV.1. Rendement d'extraction**

La première quantification à faire est celle du rendement en extrait obtenu par macération. Le rendement a été calculé par le rapport entre la masse d'extrait obtenu et la matière végétale sèche.

Le rendement en extrait ethanologique de la couche externe de pomme de terre est de l'ordre de 6.82 %.

### **IV.2. Inhibition de la corrosion de l'acier C-1020 par l'extrait de couche externe de pomme de terre dans NaCl 30 g/l**

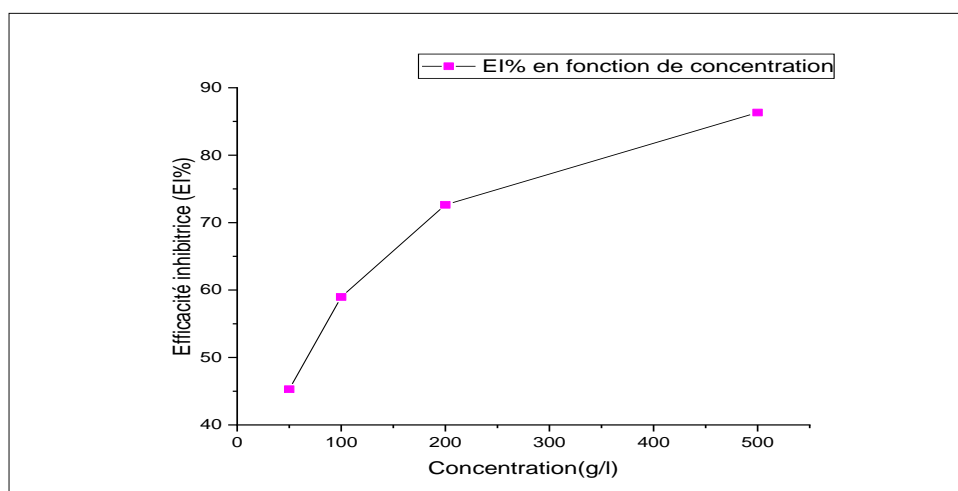
#### **IV.2.1. Etude gravimétrique**

##### **a) Influence de la concentration d'inhibiteur**

Les dimensions des échantillons d'acier utilisés ; sont 1 cm × 1 cm × 0,5 cm. Ces échantillons sont immergés dans NaCl 30g/l, sans et avec addition de différentes concentrations d'inhibiteur vert (50ppm, 100ppm, 200ppm, 500ppm). L'efficacité inhibitrice est déterminée après 3 h d'immersion, à une température de 25°C à l'air atmosphérique. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau IV.1 et la figure IV.1.

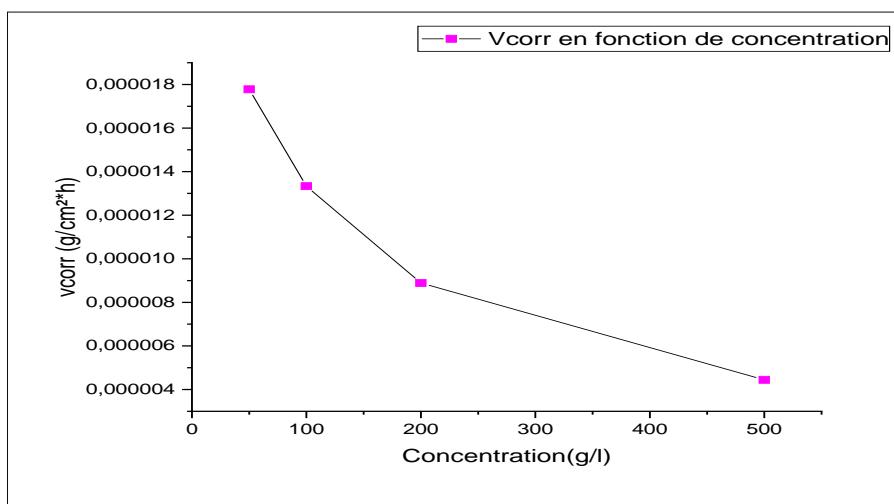
**Tableau IV.1 : Variation de l'efficacité inhibitrice (EI%) de la corrosion de l'acier au carbone en fonction de la concentration de l'extrait de pelure de pomme de terre**

Concentration	Différence de masse (g)	Efficacité inhibitrice (EI %)	$V_{\text{corr}}$ ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{h}$ )
<b>50 ppm</b>	0.0004	45.29%	$1.7777 \times 10^{-5}$
<b>100 ppm</b>	0.0003	58.97%	$1.3333 \times 10^{-5}$
<b>200 ppm</b>	0.0002	72.64%	$8.8889 \times 10^{-6}$
<b>500 ppm</b>	0.0002	86.32%	$4.4444 \times 10^{-6}$



**Figure IV.1 : Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration de l'extrait de pelure de pomme de terre dans une solution de Na Cl 30g/l**

L'analyse des résultats regroupés sur le tableau IV.1 et la figure IV.1, montre clairement que l'extrait éthanolique possède des propriétés inhibitrices satisfaisantes de la corrosion de l'acier au carbone C-1020 dans une solution de NaCl 30g/l. On note également une augmentation de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration. Elle atteint une valeur maximale de 86,32% en présence de 500ppm d'inhibiteur. Le comportement d'inhibition peut résulter du fait que le taux de recouvrement de la surface augmente avec l'augmentation de la concentration en inhibiteur [1].



**Figure IV.2 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction de la concentration de l'extrait de pomme de terre dans une solution de 30g/l NaCl**

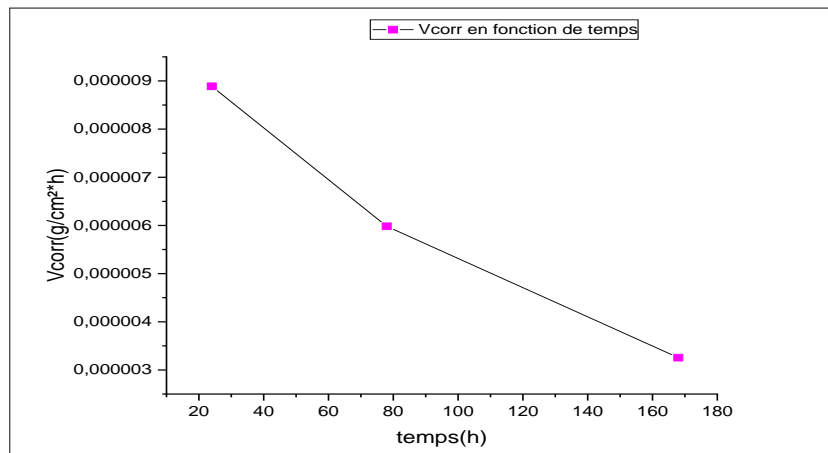
Les résultats obtenus dans la figure IV.2 montrent que la vitesse de corrosion diminue avec l'augmentation de la concentration de l'extrait des pelures de pomme de terre. Nous observons qu'il existe une concentration critique (500ppm) pour laquelle la vitesse de corrosion atteint une valeur minimale. Cela indique que l'extrait des couches externe de pomme de terre possède des très bonnes propriétés d'inhibition de la corrosion de l'acier dans NaCl 30 g/l. Ces résultats impliquent que l'extrait se fixe à la surface de l'acier et empêche la dissolution de ce dernier [1].

#### b) Influence du temps d'immersion

Des expériences sur des plaques d'acier en milieu NaCl 30g/l à 20°C, en présence de l'extrait (concentration optimale), et pendant des durées variées ont été réalisées.

**Tableau IV.2 : Taux de corrosion en fonction de temps d'immersion de l'acier C-1020 dans une solution de Na Cl 30g/l en présence des concentrations seuils des pelures de pomme de terre**

Temps (h)	Différence de masse (g)	V <sub>corr</sub> (g/cm <sup>2</sup> *h)
24	0.0016	$8.8889 \times 10^{-6}$
78	0.0035	$5.9829 \times 10^{-6}$
168	0.0041	$3.2540 \times 10^{-6}$



**Figure IV.3 : Evolution de la vitesse de corrosion en fonction du temps d'immersion de l'acier C-1020 dans une solution de Na Cl 30g/l en présence de l'extrait.**

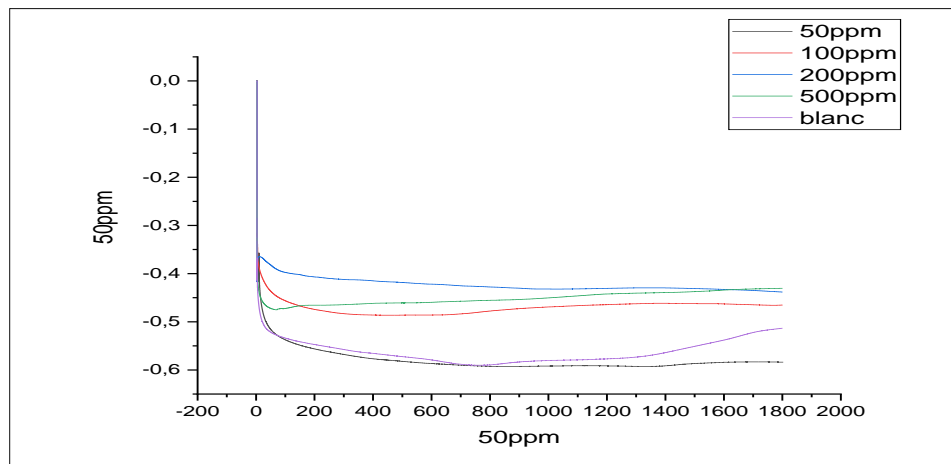
D'après les résultats de figure IV.3, nous remarquons que la vitesse de corrosion de l'acier est réduite en présence de l'inhibiteur pour les différentes périodes d'immersion dans Na Cl 30g/l.

#### IV.2.2. Etude électrochimique

L'évaluation de l'efficacité inhibitrice, déterminée par la perte de poids, ne permet pas l'approche des mécanismes mis en jeu lors de la corrosion. Cependant, les techniques électrochimiques constituent une méthode plus complète puisqu'elles étudient la base même du phénomène de corrosion et de son inhibition.

##### a) Evolution du potentiel libre

Les courbes de potentiel d'abandon ont été tracées pour l'acier au carbone **C-1020** dans **NaCl 30g/l** en absence et en présence des différentes concentrations d'extrait de pelure de pomme de terre (50ppm, 100ppm, 200ppm, 500ppm). Ces mesures ont été prises à une température ambiante, dans une solution normalement aérée et non agitée et pendant 30min d'immersion. Les courbes enregistrées sont représentées par la figure IV.4.



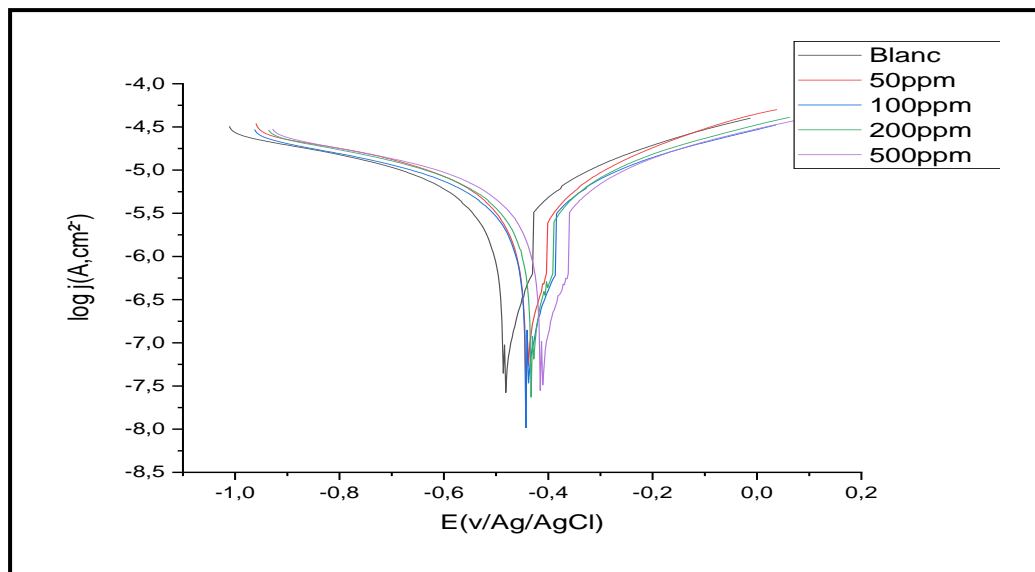
**Figure IV.4 : Evolution du potentiel libre en fonction du temps de l'acier immergé dans NaCl 30g/l en absence et en présence des différentes concentrations d'extrait**

La figure IV.4 montre que l'essai réalisé sans inhibiteur se caractérise par une chute du potentiel très fort vers des valeurs négatives dans les premiers moments d'immersion, puis le potentiel de corrosion atteint rapidement une valeur relativement stable. Ce comportement est dû à la dissolution rapide de l'acier au carbone C-1020 après son immersion dans la solution NaCl 30g/l. L'évolution du potentiel naturel présente des variations qui caractérisent la corrosion de l'échantillon avec formation de produits de corrosion [2].

Pour les essais réalisés avec différentes concentrations d'extrait de pelure de pomme de terre, on observe que les évolutions du potentiel libre montrent des comportements en corrosion similaire pour toutes les concentrations, une chute du potentiel très forte dans les premières secondes d'immersion. Puis un léger déplacement du potentiel libre vers des valeurs moins négatives avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur, l'allure des courbes est caractéristique de la formation d'un film sur la surface de l'électrode active, elle peut être attribuée à l'adsorption spontanée des molécules inhibitrices sur la surface métallique [2].

### **b) Courbe polarisation**

Les courbes de polarisation ont été tracées pour l'acier au carbone C-1020 dans l'environnement NaCl 30g/l en absence et en présence de différentes concentrations de l'extrait de la couche externe de pomme de terre. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure IV. 5.



**Figure IV.5 : Courbes de polarisation de l’acier au carbone C-1020 dans NaCl 30g/l en absence et en présence d’extrait de pelure de pomme de terre.**

Le potentiel de corrosion ( $E_{corr}$ ), les densités de courant de corrosion ( $I_{corr}$ ), les résistances de polarisation, les vitesses de corrosion, les paramètres cinétiques de corrosion ( $\beta_a$ ,  $\beta_c$  issus de l’extrapolation des pentes anodiques et cathodique de Tafel) et l’efficacité inhibitrice ( $E\%$ ) obtenue à partir des courbes de polarisation sont données dans le tableau IV.3.

L’efficacité inhibitrice  $E(\%)$  et le taux de recouvrement ( $\theta$ ) sont donnés respectivement par les équations (IV.1) et (IV.2) [3].

$$E\% = ((I_0 - I_{inh})/I_0) \times 100 \dots\dots\dots(IV.1)$$

$$\theta = E\% / 100 = (I_0 - I_{inh})/100 \dots\dots\dots(IV.2)$$

Où :  $I_0$  et  $I_{inh}$  Représentent respectivement les courants de corrosion en absence et en présence d’inhibiteur.

**Tableau IV.3 : Paramètres électrochimiques et l’efficacité d’inhibiteur de l’acier au carbone C-1020 dans NaCl 30g/l à différent concentration d’extrait.**

	<b>I<sub>corr</sub></b> (A/cm <sup>2</sup> )	<b>E<sub>corr</sub></b> (V)	<b>V<sub>corr</sub></b> (mm/ans)	<b>B<sub>a</sub></b> (v/des)	<b>B<sub>c</sub></b> (v/des)	<b>R<sub>p</sub></b> (Ω. cm <sup>2</sup> )	<b>EI%</b>
<b>NaCl</b> <b>(Blanc)</b>	3.8744.10 <sup>-6</sup>	-0.5045	0.059628	0.24658	0.28944	14925	-
<b>50ppm</b>	2.7705.10 <sup>-6</sup>	-0.43057	0.032193	0.24997	0.352	22930	28.49
<b>100ppm</b>	1.8242.10 <sup>-6</sup>	-0.44320	0.021197	0.19142	0.26424	26428	52.91
<b>200ppm</b>	1.5395.10 <sup>-6</sup>	-0.42967	0.017889	0.16189	0.18889	28599	60.26
<b>500ppm</b>	1.3161.10 <sup>-6</sup>	-0.40946	0.015293	0.12844	0.1697	29124	66.03

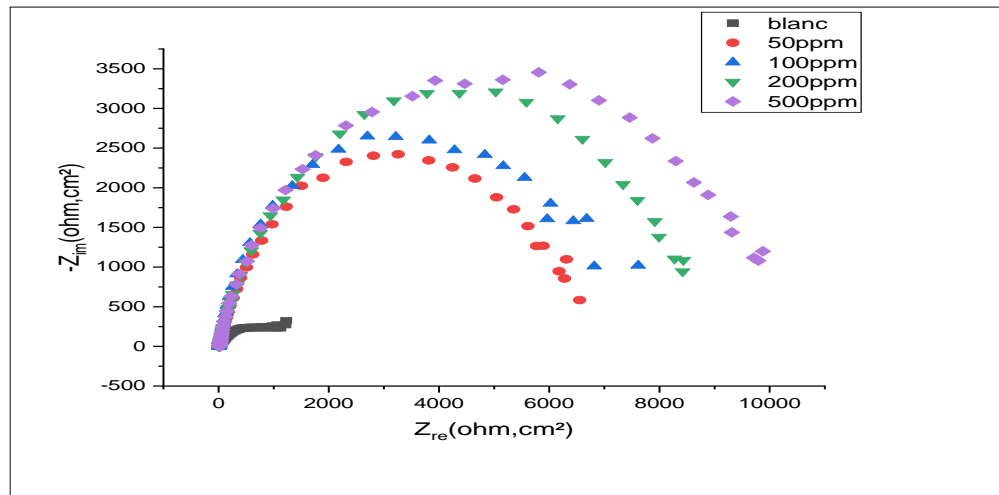
La figure IV.5 montre que l'addition des différentes concentrations de l'inhibiteur vert déplace les courbes de polarisation vers des potentiels anodiques par rapport au résultat obtenu en absence d'inhibiteur. De plus on note que, l'augmentation de la concentration de ce dernier dans le milieu corrosif diminue la densité de courant anodique, et que la forme globale des courbes anodique n'est presque modifiée. Ce qui indique que le processus anodique ne change pas en fonction de la concentration de l'inhibiteur.

Les résultats obtenus dans le tableau IV.3 révèlent que la densité de courant de corrosion, diminuent en fonction de l'augmentation de la concentration d'inhibiteur de corrosion tandis que la résistance de polarisation  $R_p$  croît et atteint une valeur maximale de 29124 Ω.cm<sup>2</sup> à 500 ppm. La meilleure efficacité inhibitrice  $E_i$  est de 66.03 % à la concentration (500ppm).

La présence de l'extrait vert dans le milieu d'étude conduit à un déplacement de potentiel de corrosion avec des valeurs qui ne dépassent pas 85 mV [2] par rapport au blanc. Cette observation nous a permis de classer ce produit parmi les inhibiteurs mixtes.

### IV.2.3. Spectroscopie d'impédance électrochimie

Les résultats de cette méthode sont obtenus sous forme de diagramme de Nyquist, La Figure IV.6 représentent ces diagrammes de l'interface acier/solution au potentiel de corrosion dans NaCl 30 g/l en absence et en présence d'inhibiteur à différentes concentrations.



**Figure IV.6 : Diagrammes d'impédance de Nyquist de l'acier au carbone C-1020 dans NaCl 30g/l, en absence et en présence des différentes concentrations.**

Dans tous les diagrammes, on note la présence d'une seule boucle capacitive. Ce type de diagramme indique généralement que le processus de dissolution de l'acier au carbone est contrôlé par un processus de transfert de charge [3].

En revanche, Les diamètres des demi-boucles capacitatives augmentent avec l'augmentation de la concentration en inhibiteur, indiquant que l'efficacité d'inhibition est une fonction de la concentration en l'inhibiteur.

#### ➤ Circuit équivalent

Les diagrammes de Nyquist peuvent être modélisés en utilisant un circuit équivalent simple ( $R_s(R_{tc}CPE)$ ) (figureIV.7), où  $R_s$  est la résistance de la solution et  $R_{tc}$  représente la résistance de transfert de charge dont la valeur est inversement proportionnel au taux de corrosion, positionné en parallèle a un élément de phase constante (CPE) utilisé à la place de la capacité [4, 5] de la double couche (Cdl) pour rendre compte des inhomogénéités de surface.

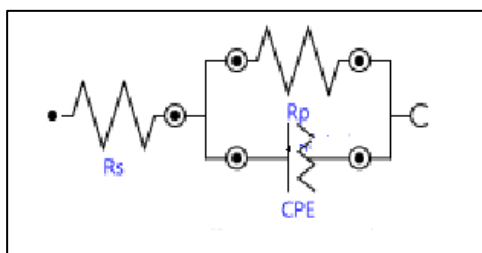


Figure IV.7 : Circuit électrique équivalents

Le CPE caractérise un condensateur idéal  $n = 1$ . Le facteur  $n$  est un exposant empirique qui mesure l'écart par rapport au comportement capacitif idéal, et la valeur de  $n$  varie généralement entre 0 et 1 [6].

Les valeurs des paramètres électrochimique déduites à partir de simulation des spectres d'impédance sans et avec l'ajout de différentes concentrations sont réunies dans le tableau IV.5.

L'efficacité inhibitrice ( $EI\%$ ) et le taux de recouvrement ( $\theta$ ) sont calculées par l'équation suivante [7] :

$$EI\% = ((R_{tc_{inh}} - R_{tc_0}) / R_{tc_{inh}}) \times 100 \dots \dots \dots (IV.3)$$

$$\theta = (R_{tc_{inh}} - R_{tc_0}) / R_{tc_{inh}} \dots \dots \dots (IV.4)$$

Tableau IV.4: Paramètres d'impédance électrochimique de l'acier au carbone dans NaCl 30g/l contenant différentes concentrations d'inhibiteur vert.

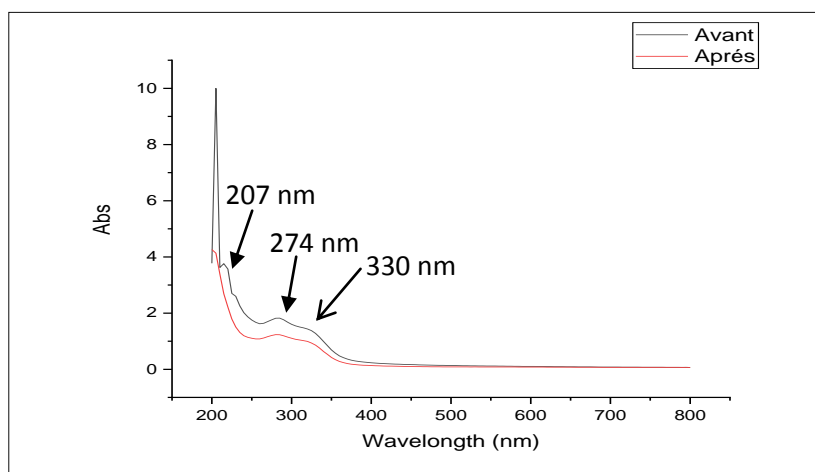
	$R_s(\Omega.cm^2)$	$R_{tc}(\Omega.cm^2)$	CPE	$X^2$	N	EI(%)
<b>Blanc</b>	16.59	1152.9	$1.5791.10^{-4}$	0.33527	0.95254	-
<b>50ppm</b>	14.32	6618.9	$2.3868.10^{-5}$	0.037879	0.81108	82.58
<b>100ppm</b>	13.77	7263.8	$2.9412.10^{-5}$	0.18196	0.7989	84.12
<b>200ppm</b>	13.538	8898.7	$1.8045.10^{-5}$	0.17133	0.7863	87.04
<b>500ppm</b>	14.97	9753.8	$1.1897.10^{-5}$	0.19261	0.8066	88.17

Les valeurs de la résistance de transfert de charge deviennent plus importance avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur, parallèlement le diamètre de la boucle capacitive dans de Nyquist augmente avec l'augmentation de la concentration de l'extrait de couche externe de pomme de terre. L'efficacité inhibitrice augmente et atteint une valeur

maximale de 88.17%. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par la méthode de la perte de masse ainsi que les méthodes stationnaires.

### IV.3. Spectroscopie UV- Visible

Afin de confirmer la composition chimique de notre inhibiteur, les spectres d'absorption UV visibles obtenus à partir d'une solution de NaCl 30g/l contenant 500ppm de l'inhibiteur avant et après l'immersion de l'acier au carbone C-1020 sont représentés sur la figure IV.8.



**Figure IV.8 : Spectres UV/Visible de l'extrait des pelures de pomme de terre avant et après immersion de l'acier au carbone C-1020 dans solution NaCl 30g/l.**

Le spectre UV/Visible de l'extrait de pelure de pomme de terre avant immersion de l'acier au carbone est caractérisé par la présence de trois bandes d'absorption à 207 nm, 274nm et 330 nm. La présence des deux bandes à 207 nm et 274nm due aux cycles aromatiques et les hétéroatomes qui composent la structure de l'extrait vert [8].

La figure IV.8 nous a permis d'observer que le spectre de l'extrait obtenu après immersion d'acier (pendant 24 h) est caractérisé par les mêmes bandes d'absorption mentionnées sur le spectre tracé avant immersion avec un changement au niveau de la longueur d'onde (déplacement vers la droite) et la valeur d'absorbance (diminution de l'intensité du pic). Sur la base de la valeur d'absorbance, on peut conclure que les composés organiques, dans la composition de l'inhibiteur vert, ont été adsorbés sur la surface de l'acier (l'électrode).

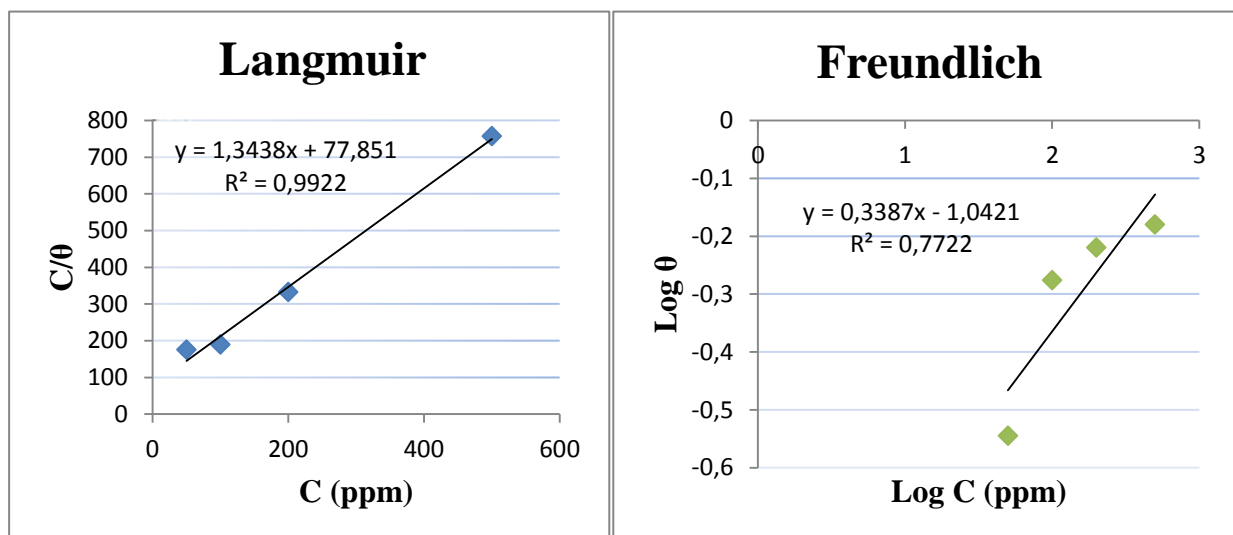
**IV.4. Isotherme d’adsorption**

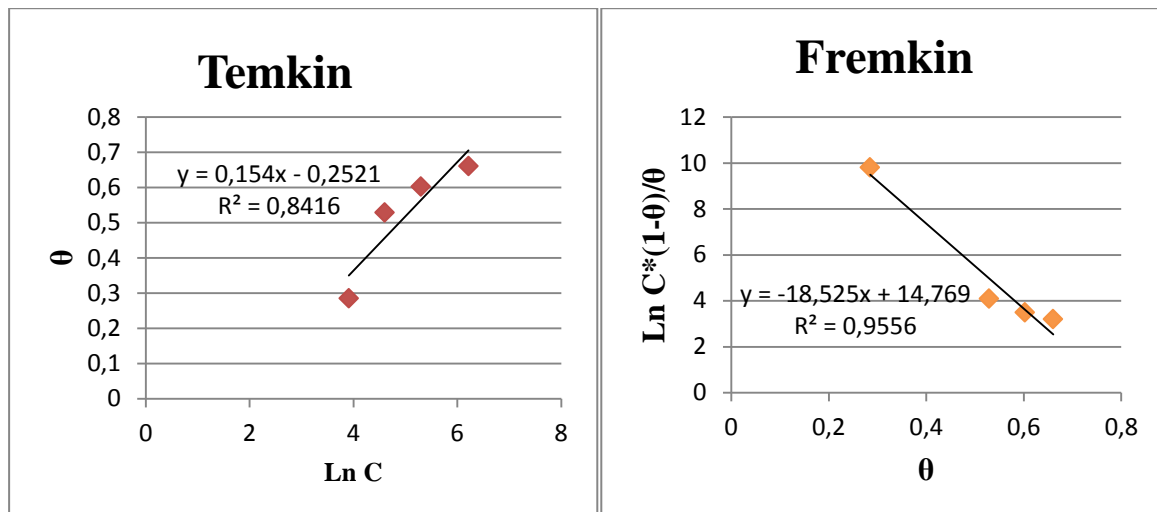
Afin de confirmer ou d’affirmer l’hypothèse que l’action de l’extrait de la couche externe de pomme de terre est basée sur un mécanisme d’action par simple adsorption à la surface du métal, bloquant ainsi les sites actifs, différents types d’isotherme ont été testés : Langmuir, Temkin et Frumkin afin de trouver l’isotherme d’adsorption convenable [9].

Les valeurs de taux de recouvrement( $\theta$ ) pour différentes concentration d’inhibiteur, obtenus à partir des courbes de Tafel, ont été utilisées pour déterminer l’isotherme correspondante au processus d’adsorption de cet inhibiteur vert, Ainsi, selon la valeur des facteurs de corrélation  $R^2$  (Figures IV.9) et (Tableau IV.6).

**Tableau IV.5 : Paramètres des isothermes de Langmuire, Freundliche, frumkin et Temkin à différente concentration d’extrait de pelure de pomme de terre.**

C (ppm)	Log C	Ln C	$\theta$	Log $\theta$	C/ $\theta$	Ln C*(1- $\theta$ )/ $\theta$
50 ppm	1.6989	3.9120	0.2849	-0.5453	175.50	9.8191
100 ppm	2	4.6051	0.5291	-0.2764	189.00	4.0985
200 ppm	2.3010	5.2983	0.6026	-0.2199	331.89	3.4936
500 ppm	2.6989	6.2146	0.6603	-0.1802	757.23	3.1967



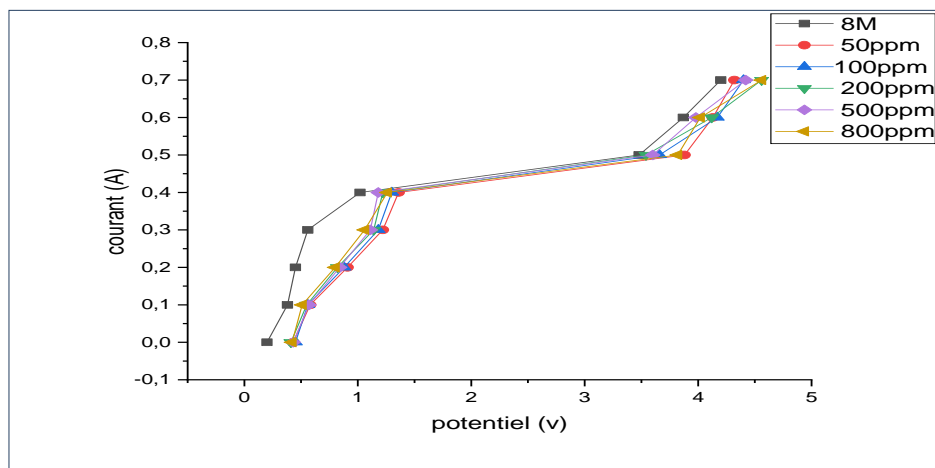


**Figure IV.9 : Isothermes d'adsorption de Langmuir pour l'extrait de pelure de pomme de terre sur l'acier au carbone dans NaCl 30g/l à différentes concentrations : (a) : Langmuir (b) : Freundlich (c) : Temkin (d) : Frenkin.**

D'après les résultats présentés par la figure IV.9, nous avons observées que la courbe de  $C/\theta$  en fonction de  $C$  est linéaire avec un coefficient de corrélation ( $R^2$ ) = 0.9922, cela montre que l'adsorption de l'inhibiteur vert sur la surface de l'acier au carbone C-1020 en milieu NaCl 30g/l obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir.

#### **IV.5. Polissage électrolytique de l'acier C-1020 dans $H_3PO_4$ en présence de l'extrait de la couche externe de pomme de terre**

En préalable à la réalisation des essais d'électropolissage proprement dits, l'étude du comportement électrochimique du système est une étape essentielle pour appréhender les différents phénomènes et en particulier la fonction de la couche visqueuse. Ce sera également l'occasion de sélectionner les paramètres les plus pertinents pour notre application.



**Figure IV.10 : Courbe de polarisation de l'acier Cc-1020 en milieu acide phosphorique pour différent concentration d'extrait.**

**Tableau IV.6 : Évolution des paramètres électrochimiques obtenus à partir des courbes intensité-potentiel en fonction de la concentration de l'extrait éthanolique.**

Acier C-1020	Concentration ppm	Potentiel début de plateau (V/Ag/AgCl)	Potentiel fin de plateau (V/Ag/AgCl)	Longueur du plateau (V)	Densité de courant limite (mA/cm <sup>2</sup> )
25°C	blanc	1,37	3,48	2,11	0,51
	50 ppm	1,36	3,88	2,52	0,49
	100 ppm	1,33	3,66	2,33	0,483
	200 ppm	1,22	3,54	2,32	0,475
	500 ppm	1,18	3,60	2,42	0,471
	800 ppm	1,26	3,82	2,56	0,470

La figure IV.6 présente les courbes de polarisation obtenues sur l'acier pour des concentrations de l'extrait variant de 50 à 800 ppm. Dans l'ensemble des cas les courbes présentent une allure globale similaire. Globalement les courbes présentent trois zones distinctes : une zone de dissolution active, Viennent ensuite le plateau d'électropolissage, et enfin une dernière zone typique de l'oxydation du solvant. Ces résultats correspondent à ceux observés par F.M. Abouzeid et al. [10] sur de l'acier au carbone dans un milieu acide (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).

Le tableau IV.6 regroupe l'ensemble des paramètres relevés sur les courbes de la figure IV.6.

## Référence bibliographiques

- [1] : S. Gassem, S. Hamouda, << inhibition de la corrosion de l'acier au carbone C-1020 dans un solution acide par l'extrait de le gel de linumusatissimum>>, Université de Skikda (2020-2021).
- [2] : L.HAMDI, <<Application des inhibiteurs verts sur la corrosion des aciers en milieu agressifs>>.
- [3] : <<Etude de l'efficacité l'inhibiteur de corrosion utilisée dans les liquides de refroidissement>>.
- [4]: A. U. Saviour, M. S. Moses, M. E. Ubong, B. O. Ime, Aniekemeabasi, -- Inhibition of mild steel corrosion in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution by coconut coir dust extract obtained from different sol-vent systems and synergistic effect of iodide ions: Ethanol and acetone extracts, Journal of Environmental Chemical Engineering, vol 2 , No .2, (2014)pp. 1048-1060.
- [5]: C. Jeyaprabha, S. Sathiyarayanan, G.Veenkatachari, <<Influence of halide ions on the adsorption of diphenylamine on iron in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution>>, ElectrochimicaActa, Vol. 51 No. 19(2006) pp.4080-4088.
- [6]: S.RAMAZAN, <<Investigation of the inhibition effect of 5-((E)-4- phenylbuta-1.3-dienylideneamino)-1, 3, 4-thiadiazole-2-thiol Schiff base on mild steel corrosion in hydrochloric acid>>, Corrosion. Science; volume.52No. 10, (2010) pp. 3321-3330.
- [7]: S.A .Umorem, U. M. Eduok, M.M.solomon, A. P.Udoh, Arab Jchem, (2011).
- [8]: G. Ji, S. Anjum, S. Sundaram, R. Prakash, Corros. Sci. 90 (2015) 107–117.
- [9]: Benchikh, A. Aitoute, R. Makhloufi, L. Benhaddad, L.and Saidam, B., 2009. Soluble conducting poly (aniline. Coorthotoluidine) copolymer as corrosion inhibitor for carbone steel in 3% NaCl solution, desalination 249,466-474.





# Conclusion Générale

### Conclusion générale

L'objectif de ce travail est une contribution d'une part à l'évaluation de l'effet inhibiteur de l'extrait de pelure de pomme de terre sur la corrosion de l'acier au carbone C-1020 dans NaCl 30 g/l. d'autre part à l'étude électrochimique du phénomène d'électro-polissage de l'acier C-1020 dans H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 8M en présence de l'extrait vert.

Les résultats obtenus permettent de signaler les points suivants :

- L'extrait de pelure de pomme de terre a un effet bénéfique vis-à-vis de la corrosion de l'acier au carbone C-1020 dans NaCl 30g/l.
- L'efficacité inhibitrice augmente avec l'augmentation de la concentration de l'extrait de la couche externe de pomme de terre jusqu'à l'obtention d'une valeur maximale de 86.32% à 500ppm.
- Les courbes de polarisation montrent que l'extrait de pelure de pomme de terre joue le rôle d'un inhibiteur mixte.
- Les diagrammes d'impédance électrochimiques montrent que la résistance de transfert de charge augmente avec l'augmentation de la concentration d'inhibiteur ce qui indique la formation d'une couche protectrice sur la surface du métal.
- Par les méthodes UV-Visible on a conclu que les composés organiques, dans la composition de l'inhibiteur vert, ont été adsorbés sur la surface d'acier et ont formé un film protecteur de l'inhibiteur.
- L'adsorption de l'inhibiteur obéit à l'isotherme d'adsorption de Langmuir en formant une mono couche sur la surface métallique.
- Les courbes de polarisation de l'acier dans H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 8M en présence de l'extrait éthanolique (à différentes concentrations) présentent une allure globale similaire. Ils se caractérisent par trois zones distinctes : une zone de dissolution active, ensuite le plateau d'électro-polissage, et enfin une dernière zone typique de l'oxydation du solvant ;
- La présence de l'extrait dans le milieu acide entraîne une légère diminution de la densité de courant limite et une augmentation des longueurs des plateaux.

## **Abstract**

Several methods are available to stop the corrosion of metallic materials so corrosion inhibitors are one of the best and most effective techniques to provide protection when in contact with the aggressive medium.

This work aims to evaluate the effect of potato peel extract on corrosion of carbon steel C-1020 in NaCl 30 g/l, on the one hand, and to conduct an electrochemical study of the electropolishing phenomenon of C-1020 steel in 8M H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> in the presence of the green extract, on the other hand. Several methods of analysis have been used, such as stationary (polarization curves) and non-stationary (electrochemical impedance spectroscopy) electrochemical methods, as well as methods: mass loss, UV-visible spectroscopy and the exploitation of adsorption isotherms.

The results showed that the potato extract is a good corrosion inhibitor and the inhibition activity increases with increasing concentration, the best activity was recorded with a concentration of 500ppm. The green inhibitor follows the Langmuir adsorption isotherm. The extract has a very weak effect in the electrolytic polishing bath.

**Key words:** Carbon steel, electrochemical method, potato peel extract, corrosion inhibition, electropolishing medium.

## Résumé

Plusieurs méthodes sont disponibles pour arrêter la corrosion des matériaux métalliques de manière, les inhibiteurs de corrosion est l'une des meilleures techniques les plus efficaces pour assurer une protection lors qu'ils sont en contact avec le milieu agressif.

Ce travail vise à évaluer l'effet de l'extrait de pelure de pomme de terre la sur corrosion de l'acier au carbone C-1020 dans NaCl 30 g/, d'une part, et à mener une étude électrochimique du phénomène d'électropolissage de l'acier C-1020 dans H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 8M en présence de l'extrait vert, d'autre part. Plusieurs méthodes d'analyse ont été utilisées, telles que les méthodes électrochimique stationnaire (les courbe de polarisation) et non stationnaire (spectroscopie d'impédance électrochimique), ainsi que les méthodes : perte de masse, spectroscopie UV-visible et l'exploitation des isothermes d'adsorption.

Les résultats ont montré que l'extrait de pomme de terre est un bon inhibiteur de corrosion et l'activité d'inhibition augmente avec l'augmentation de la concentration, La meilleure activité a été enregistrées avec une concentration de 500ppm. L'inhibiteur vert suit de l'isotherme d'adsorption de Langmuir. L'extrait a un très faible effet dans le bain de polissage électrolytique.

**Mots clés** : Acier au carbone, Méthode électrochimique, extrait de pelure de pomme de terre, inhibition de corrosion, milieu électropolissage.

## ملخص

تتوفر عدة طرق لتوقيف تآكل المواد المعدنية, لذا فان مثبتبات التآكل هي واحدة من افضل التقنيات و اكثرها فعالية لتوفير الحماية عند ملامستها للوسط العدواني

يهدف هذا العمل الى تقييم تأثير مستخلص قشر البطاطس على تآكل الفولاذ الكربوني في كلوريد الصوديوم 30غ/ل, من ناحية, دراسة كهروكيميائية لظاهرة التلميع الكهربائي للفولاذ في 8 من من ناحية اخرى في وجود المستخلص الاخضر. تم و اجراء استخدام عدة طرق للتحليل, مثل الطرق الثابتة( منحنيات الاستقطاب) , والطرق الكهروكيميائية لغير ثابتة (مطيافية المعاوقة الكهروكيميائية), و كذلك الطرق فقد الكتلة, و التحليل الطيفي, المرئي للأشعة فوق البنفسجية, و استغلال متساوي لحرارة الامتزاز.

اظهرت النتائج ان مستخلص البطاطس هو مثبت جيد للتآكل و ان فعالية التثبيط تزداد مع زيادة التركيز, و سجلت افضل فعالية بتركيز 500 جزء في المليون. المانع الاخضر يتبع متساوي الحرارة لانجموير الامتزاز . المستخلص له تأثير ضعيف جدا في حمام التلميع الكهربائي.

**الكلمات المفتاحية** الفولاذ الكربوني , الطرق الكهروكيميائية, مستخلص قشر البطاطس, منع التآكل, وسط التلميع الكهربائي.