



République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur -et de la
Recherche Scientifique
Université Abbas-LAGHROR – Khenchela
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Département SCIENCES DE LA MATIERE

N° de série :.....

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

Filière : Physique

Spécialité : Physique des matériaux

Intitulé :

Etude de l'efficacité inhibitrice d'une plante
sur la corrosion d'acier en milieu HCl

Présenté Par:

- TELLIA Rehila
- AMAMRI souad

Dirigé par :

○ Dr. Lekmine farid

Membres de jury :

A. DJALLOUL

Pr. Université Khenchela

Président

S.IAICHE

MCA. Université Khenchela

Examineur

Année Universitaire 2021-2022



DEDICACES

Je dédie modestement ce travail à:

Ma mère safia, et mon cher père Noureddine et à mes très chers
frères.

Tous mes professeurs et tous ceux qui ont participé de près ou de loin
pour mener cette mémoire. Ainsi que tous mes amis



RAHIL

REMERCIEMENTS

Nous remercions Allah tout-puissant d'abord de nous avoir permis de bien accomplir ce travail et de nous à donner de la santé, de la force, de la volonté et de la détermination pour en faire.

Alhamdulillah.

Nous exprimons également nos sincères remerciements et gratitude à notre professeur encadreur Dr Lekmine Farid qui a donné généreusement ses efforts pour nous faire exceller dans notre parcours grâce à son soutien permanent, grâce à ses conseils et ses orientations aussi... Merci infiniment.

Comme nous remercions cordialement le professeur Djalloul Abdelkader et le MCA. iaiche Sabrina conférenciers au département des sciences de la matière à l'université Abbas Laghrour Khenchla pour nous avoir donné l'honneur d'agrèer à discuter notre mémoire de fin d'étude



SOMMAIRE

DEDICACES	
REMERCIEMENTS	
Listes des figures	
Liste des tableaux	
Liste des symboles et des abréviations	
Introduction générale	1
Référence bibliographique de l'introduction générale	3
CHAPITRE I Généralités sur l'inhibiteur de la corrosion	
I Introduction	4
I.1 Historique	4
I.2 Définition	5
I.3 Conditions d'utilisation (Utilisation d'inhibiteurs)	5
I.4 Propriétés d'inhibiteurs	6
I.5 Classification des inhibiteurs	6
I.5.1 Par domaine d'application (par composition chimique)	7
a) Inhibiteur organique	7
b) Inhibiteurs minéraux (inorganiques)	8
I.5.2 Selon leur mode d'action	9
a) Inhibiteurs d'adsorption	9
b) Inhibiteurs passivants (ils forment des films de passivation)	9
I.5.3 Par réaction partielle	9
a) Inhibiteurs anodiques	10
b) Inhibiteurs cathodiques	10
c) Inhibiteurs mixtes Anodiques/Cathodiques	11
I.5.3 Inhibiteurs de corrosion d'origine naturelle	12
I.5.3.1 Inhibiteurs de corrosion : huiles et extraits de plantes	12

I.6 Isotherme d'adsorption	13
I.6.1 Isotherme de Langmuir	13
I.6.1 Isotherme de Temkin	14
I.6.1 Isotherme de Frumkin	14
I.7 Les méthodes d'évaluation de la corrosion	15
I.7.1 Méthode de la masse perdue	15
I.7.1.1 Théorie de la masse perdue	16
I.8 Méthodes électrochimiques	16
I.8.1 Méthode des droites de Tafel	17
I.8.2 Méthode de la résistance de polarisation (dite de Stern et Geary) :	19
I.8.3 La spectroscopie d'impédance électrochimique	21
I.9 Conclusion	22
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES DE CHAPITRE I	23

CHAPITRE II LES METHODES D'EXTRAIT	
II.1 Généralités	26
II.2 Extraction d'une plante	26
II.3 Les différentes modes de préparation des plantes	27
II.3.1 Infusion	27
II.3.2 Décoction	27
II.3.3 Enfleurage	29
II.3.4 Macération	29
II.3.5 L'entraînement à la vapeur ou l'hydrodistillation	31
II.3.6 La filtration	32
II.3.6.1 Définition	32
II.3.6.2 Principe de la filtration	32
II.3.6.3 Matériel de filtration	33
II.3.6.4 Les différents procédés de la filtration au laboratoire	33
II.3.6.4.1 Filtration gravimétrique (filtration par gravité)	34
II.3.6.4.2 Filtration sous vide	34
II.3.6.4.3 Filtration sous pression	35

II.3.7 L'extraction par solvant	36
II.3.7.1 L'extraction directe	36
II.3.7.2 L'extraction liquide-liquide	37
II.3.7.2.1 Principe	37
II.3.7.3 Extraction solide-liquide	38
II.3.8 Le pressage	40
II.3.8.1 Mécanisme de pressage	40
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES DE CHAPITRE II	41
CHAPITRE III Résultats et discussion	
III. Introduction	45
III .1 . Matériel utilisé	45
III.1.1 Matériel végétal	45
III.1.1.1 Présentation de la plante	45
III.1.1.2 La composition du lin	46
III.1.2 L'acier utilisé:	47
III.2 Extraction avec de l'eau chaude (extraction solide/liquide)	47
III.3 Conditions expérimentales dans laboratoire	48
III.3.1 Préparation des échantillons et polissage	48
III.3.1.1 Préparation des échantillons	48
III.3.1.2 Préparation des surfaces	49
III.4 Matériels utilisée	51
III.5 Les produits utilisés	52
III.5.1 Préparation le milieu corrosif	52
III.5.2 Mode opératoire	53
III.6 Méthode de la masse perdue	54
III.6.1 La valeur de la perte de masse	54
III.6.2 Principe	54
III.7 Résultats et discussion	55
III.7.1 Teste d'immersion	55
III.7.2 Effet de la concentration	61
III.8 Mécanisme d'adsorption	62

III.9 Effet de la température	65
III.10 La morphologie de produit de corrosion	66
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES <i>DE CHAPITRE III</i>	68
Conclusion générale	71
Résumé	72

Listes des figures

Figure	Titre	Page
Chapitre I		
Figure I.1	Classement des inhibiteurs de corrosion	7
Figure I.2	Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique.	8
Figure I.3	Schéma de polarisation potentiostatique : comportement électrochimique d'un métal dans une solution d'inhibiteur anodique (a) sans inhibiteur (b)	10
Figure I.4	Schéma de polarisation potentiostatique : comportement électrochimique d'un métal dans une solution d'inhibiteur cathodique (a) par rapport à la même solution, sans inhibiteur (b)	11
Figure I.5	formation des couches barrières en milieu acide	12
Figure I.6	Dispositif Expérimental de la technique de masse perdue	16
Figure I.7	Détermination du courant de corrosion par la méthode des droites de Tafel	18
Figure I.8	Détermination graphique de la résistance de polarisation .	20
Figure I.9	Représentation, dans le plan de Nyquist, de l'impédance électrochimique	21
Chapitre II		
Figure II.1	La camomille est une plante aux multiples bienfaits © Nikolaeva Galina	27
Figure II.2	Morphologie d'une plante de lin.	28
Figure II.3	L'enfleurage à froide	29
Figure II.4	L'art de la macération des plantes	30
Figure II.5	La macération permet de conserver les fruits et les légumes frais	31
Figure II.6	Schéma de l'hydrodistillation	32

Figure II.7	La membrane millipore.	33
Figure II.8	Entonnoirs en verre ordinaire	33
Figure II.9	La filtration par gravité.	34
Figure II.10	Schéma d'une filtration sous vide	35
Figure II.11	Filtration sous pression.	36
Figure II.12	Extraction liquide-liquide.	37
Figure II.13	Schéma d'un appareil de Soxhlet	39
Chapitre III		
Figure III .1	les graines de lin	45
Figure III.2	Arrachage du lin, par un dignitaire et sa femme, Tombe de Sennedjem, Der el Medineh, XIXème dynastie. (Savoire, 2008)[2	46
Figure III.3	Evaporateur rotatif	48
Figure III .4	la forme et les dimensions de plaquettes	49
Figure III.5	Une polisseuse	50
Figure III .6	L'opération de polissage avec du papier abrasif de différentes granulométries	51
Figure III.7	pied à coulisse	52
Figure III.8	Bécher	52

Figure III.9	Balance analytique	52
Figure III.10	Eprouvette	52
Figure III.11	échantillons de l'acier immergé dans une solution corrosive	53
Figure III.12	échantillons de l'acier immergé dans une solution (HCL+ inhibiteur)	54
Figure III 13	Courbes de la Vitesse de corrosion de l'acier dans une solution (1 M) HCl, durée 10 jours	56
Figure III 14	la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [0,5 g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,	58
Figure III .15	la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [01g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,	59
Figure III 16	la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [1,5 g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,	59
Figure III 17	la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [2g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,	60
Figure III 18	la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [03g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,	60

Figure III 19	la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [5 g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,	61
Figure III 20	courbe de L'ensemble des résultats obtenus de la perte de mass	61
Figure III 21	Histogramme comparatif entre l'efficacité obtenu par les mesures de la masse perdu et la concentration ; durée 3 jours	62
Figure III 22	Courbe Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier dans HCl (1 M) en présence de L'inhibiteur à concentration différentes.	63
Figure III 23	Isothermes d'adsorption de Temkin pour l'inhibiteur sur l'acier dans 1M HCl à différentes concentrations	64
Figure III 24	Isothermes d'adsorption de Frumkin pour l'inhibiteur sur l'acier dans 1M HCl à différentes concentrations	64
Figure III 25	courbe de Variation de l'efficacité inhibitrice en fonction de la température	65
Figure III 26	Image optique de Acier (1) (2), dans HCl 1M, (3) en présence d'inhibiteur.	67

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
Tableau III. 1	Composition chimique (%) des grains de lin [3 ; 5].	47
Tableau III .2	Vitesse de corrosion de l'acier dans une solution (1 M) HCl, durée 10 jours,	55
Tableau III. 3	la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après l'ajoute d'inhibiteur à une concentration de 50 mg/l, Surface Exposée $S=8,102$ (cm ²) et masse avant test $m= 8968,4$ (mg) durée 15 jours,	56
Tableau III. 4	la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après ajout d'inhibiteur à une concentration de 100 mg/l, Surface Exposée $S= 6,818$ (cm ²) et masse avant test $m=5915,2$ (mg) durée 15 jours,	57
Tableau III. 5	la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après ajout d'inhibiteur à une concentration de 150 mg/l, Surface Exposée $S= 5,752$ (cm ²) et masse avant test $m= 5038,4$ (mg), durée 15 jours,	57
Tableau III. 6	la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après ajout d'inhibiteur à une concentration de 200 mg/l, Surface Exposée $S= 5,774$ (cm ²) et masse avant test $m= 4910,8$ (mg) durée 15 jours,	57
Tableau III. 7	la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après ajout d'inhibiteur à une concentration de 300 mg/l, Surface Exposée $S= 7,846$ (cm ²) et masse avant test $m= 7353,6$ (mg) durée 15 jours,	57

Tableau III. 8	la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après ajout d'inhibiteur à une concentration de 500 mg/l, Surface Exposée $S=6,59$ (cm ²) et masse avant test $m=5598,7$ (mg) durée 15 jours	58
Tableau III. 9	la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1 M HCl après ajout d'inhibiteur à différentes concentration, durée 3 jours	61
Tableau III. 10	Paramètres de l'inhibition de la corrosion de l'acier par l'inhibiteur (grain de lin) dans 1M HCl (la vitesse de corrosion sans inhibiteurs égale $0.375 = \text{cst}$).	63
Tableau III. 11	Variation de l'efficacité inhibitrice en fonction de la température	65

Liste des symboles et des abréviations

Symbole	Signification	Unité
(-NH ₂)	le radical aminé	
(-SH)	le radical mercapto	
(-OH)	le radical hydroxyle (-OH),	
(-COOH)	Le radical carboxyle	
(MEB)	microscopie électronique à balayage	
t	Temps	Heure
s	Surface de l'acier	Cm ²
m_i	Masse de l'échantillon avant l'essai	mg
m_f	Masse de l'échantillon après l'essai	mg
V_{corr}	Vitesse de corrosion	mg/cm ² .h
Θ	Taux de recouvrement	
I_{corr}	Densité du courant de corrosion	mA/cm ²
n	le nombre d'électrons échangés globalement dans la solution	
S	la surface de l'électrode	

K_a et K_c	sont les constantes de vitesse des réactions anodiques et cathodique	
E	le potentiel appliqué à l'électrode	
b_a et b_c	sont les pentes de Tafel anodique et cathodique	
M	la masse molaire du métal (g/mol)	
J^-	la masse volumique du métal (g/cm ³)	
T	la durée de l'immersion du métal dans la solution	(seconde)
F	le Faraday	(96500 C/mole).

Introduction Générale

La corrosion résulte d'une action chimique ou électrochimique d'un environnement sur les métaux et les alliages. C'est un fléau qui touche les matériaux utilisés dans de nombreux domaines industriels tel que l'industrie pétrolière, chimiques, électriques, nucléaires, installations portuaires, génie civil, santé, environnement et agroalimentaire. Les conséquences sont importantes dans divers domaines et en particulier dans l'industrie arrêt de production, remplacement des pièces corrodées, accidents et risques de pollutions sont des événements fréquents avec parfois de lourdes incidences économiques. La corrosion provoque des pertes économiques importantes de 2,5 millions de dollars dans le monde, d'après CEFRACOR (Centre Français de l'Anticorrosion). Ainsi, elle provoque 28 milliards d'euros de pertes en France, et entre 375 et 875 milliards de dollars américains de pertes par an aux Etats-Unis selon NACE (National Association of Corrosion Engainées- 2016). Au Maroc, une étude de la COMACAC (Confédération marocaine pour la certification en anticorrosion) estime la charge de la lutte contre la corrosion à 5 % du PIB national [1].

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen à part entière de protection contre la corrosion métallique. Un inhibiteur est un composé chimique que l'on ajoute, en faible quantité au milieu pour diminuer la vitesse de corrosion des matériaux. Il peut être destiné soit à une protection permanente de la pièce (l'installation requiert alors une attention scrupuleuse), soit à une protection provisoire (notamment lorsque la pièce est particulièrement sensible à la corrosion ou lorsqu'elle est exposée à un milieu très agressif) [2].

Les inhibiteurs étudiés dans le cadre du mémoire rentrent dans cette dernière catégorie. Les inhibiteurs présentent l'originalité d'être le seul moyen d'intervention à partir du milieu corrosif, ce qui en fait une méthode de contrôle de la corrosion facile à mettre en œuvre et peu onéreuse, pour peu que le ou les produits utilisés soient d'un coût modéré [3 ; 4].

L'objectif principal de ce travail est l'étude de la variation de la vitesse d'inhibition de la corrosion électrochimique sur l'acier en milieu acide. Par conséquent, c'est l'ensemble de toutes ces considérations qui nous a amené à entreprendre ce travail préparai en trois chapitres :

- ✚ Dans le premier chapitre, nous avons présenté une approche bibliographique sur l'inhibiteur.
- ✚ Le deuxième chapitre contient un article bibliographique sur les méthodes d'extraction.

- ✚ Le troisième chapitre est une étude galvanique de l'effet inhibiteur et consacré à la discussion des résultats obtenus.
- ✚ Enfin une conclusion générale résume les principaux résultats obtenus lors de ce travail.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1]	Imane Bouali. Étude d'inhibiteurs de corrosion métallique à base d'ortho phosphates de zirconium lamellaires fonctionnalisés : synthèse, caractérisations et applications. Matériaux. Université de Lorraine; Université Caddi Ayyad, Marrakech (Maroc), 2018. Français. NNT : 2018 LORR0118. Tel- 01887184
[2]	E. Heitz, Proc. 4th European Symposium on Corrosion Inhibitors, Ann, Univ. Ferrara, Italy, N.S., Sez. V, Suppl. 6 .432, (1975).
[3]	I.ZERZOUR « Etude de l'effet inhibiteur de corrosion des extraits des plantes Lactuca virosa L. et Verbascum thapsus L. sur l'acier X60 dans un milieu acide H ₂ SO ₄ 2M » Université de Larbi ben M'hidi d'Oum el Bouaghi. mémoire de master. 2020
[4]	M. Wicht, R. Anton, Plantes thérapeutique. EMI Tec et Doc, Paris, p 216-9. (2003).

Chapitre I

Etude

bibliographique



I. Introduction

Il faut veiller à limiter les effets néfastes de la corrosion, d'une part, car elle constitue le mode normal d'arrêt de nombreux appareils, et d'autre part car elle impose des travaux de maintenance importants et coûteux [1].

Basé sur la connaissance de l'impact économique de la corrosion des métaux et quand

La corrosion affecte non seulement les métaux, mais aussi les produits

Métaux, les chercheurs développent tout moyen de réduire le problème

Manger. Dans ce contexte, nous distinguons quelques méthodes pour lutter contre ce problème

Titre Quelques exemples :

- ✚ Sélection judicieuse des matériaux.
- ✚ Forme ajustée des pièces.
- ✚ Ajout d'inhibiteurs de corrosion aux circuits.
- ✚ L'utilisation de revêtements (peinture métallique ou non métallique) ;
- ✚ Protection électrochimique (protection cathodique ou anodique) [2]

Dans ce chapitre, nous allons donner une définition des inhibiteurs, puis définir Ses types et son comportement

I.1 Historique

Comme dans beaucoup d'autres domaines, il est difficile de déterminer l'origine exacte L'inhibition est une technique distincte. Cependant, il y a quelques décennies, on a observé que des dépôts calcaires se formaient à l'intérieur des tubes porteurs

De l'eau naturelle protège ce tube ; Au lieu d'une amélioration continue, il s'avère que la résistance à la corrosion des tuyaux en travaillant directement sur eux

Plus pratique pour ajuster les concentrations minérales des solutions véhiculées se trouvant à l'origine des dépôts calcaires "protecteurs". En 1945, il y avait moins de 30 journaux traitant des inhibiteurs. Dans un article de 1948 [3], Waldrib fait référence à un rapport datant de 1943 pour sa discussion sur la protection contre la corrosion pour les puits de pétrole [4]

Des articles liés à la prévention de la corrosion ont été écrits au cours de la période couvrant 1945 Jusqu'en 1954 : celles-ci traitaient, entre autres, du découragement dans les domaines de l'aviation, circuits de refroidissement, moteurs diesel, sels de dégivrage,

Raffineries de pétrole et pétroliers... les articles publiés durant cette période en témoignent Une belle évolution technologique en matière d'inhibition. Au cours des cinquante Ces dernières années, un nombre croissant de résumés, d'articles et d'autres travaux qui l'appellent Le sujet a été identifié [5 ; 6]

I.2 Définition

Les inhibiteurs de corrosion sont un moyen original de lutter contre la corrosion des métaux et alliages. L'originalité tient au fait que le traitement anti -corrosion n'est pas réalisé sur le métal lui-même (choix du matériau qui est essentiellement résistant à la corrosion) mais à travers le milieu corrosif [7]. On observe différents types de corrosion : sèche, atmosphérique, sous pression, humide, bio-corrosion... On est limité Sur la corrosion des métaux (corrosion des métaux en solution [6]), les inhibiteurs retardent les réactions d'électrodes telles que le transfert de charge ou le transfert de masse, notamment le processus de corrosion, qui part en les ajoutant en petites quantités à l'environnement corrosif, réduit le taux de corrosion du métal en affectant le milieu ou sur la surface du métal.

I.3 Conditions d'utilisation (Utilisation d'inhibiteurs) :

Bien que leur utilisation soit théoriquement envisageable dans la plupart des situations corrosives (avec un très grand volume de milieu corrosif, comme limitation majeure ou l'éventuelle impossibilité d'incorporer des additifs) [6]

. Les inhibiteurs peuvent être utilisés comme seul moyen de protection :

- soit en protection permanente ; L'inhibiteur permet alors l'utilisation du matériau métallique dans des conditions satisfaisantes pour résister à la corrosion telles que :

- Traitement des eaux (eaux usées, eaux de process industriels, eaux de chaudières, etc.)

Industrie pétrolière : exploration, extraction, raffinage, stockage et transport ; Pour tous les acteurs de l'industrie, l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion est essentielle pour soutenir les installations [7].

Soit en protection temporaire pendant la période où la pièce ou le raccord est particulièrement sensible à la corrosion (stockage, décapage, nettoyage). Dans ce cas, le système de contrôle est a priori plus simple, qui consiste à prédire le comportement d'un inhibiteur dans le temps être plus facile à réaliser.

Un inhibiteur (ou mélange d'inhibiteurs) peut être associé à un autre moyen de protection :

Protection supplémentaire de la résistance à la corrosion hautement alliée, ainsi que du revêtement de surface tel que la peinture, la graisse, l'huile, etc. [8]

I.4 Propriétés d'inhibiteurs

D'une manière générale un inhibiteur doit :

- abaisser la vitesse de corrosion d'un métal, sans en affecter les caractéristiques

Physico-chimiques, en particulier la résistance mécanique (par exemple, risque de Fragilisation par l'hydrogène en milieu acide) ;

- être stable en présence des autres constituants du milieu, en particulier vis-à-vis des oxydants;

- être stable aux températures d'utilisation [9].

Être efficace à faible concentration ;

- Être efficace dans les conditions d'utilisation ;

- Peu onéreux par rapport aux économies qu'il permet de réaliser ;

- Être compatible avec les normes en vigueur de non-toxicité et de protection de

L'environnement.

Il faut noter que la non-toxicité est le point faible des molécules inhibitrices actuellement utilisées. En effet, un certain nombre d'entre elles sont sur le point d'être interdites [10 ; 7]

I.5 Classement des inhibiteurs

Il existe plusieurs possibilités de classer les inhibiteurs, celles-ci se distinguant les unes des autres de diverses manières . Des classements simples peuvent être proposés [6]

I.5.1 Par domaine d'application :

- a) Inhibiteur organique ;
- b) Inhibiteurs minéraux (inorganiques).

I.5.2 Selon leur mode d'action :

- a) Inhibiteurs d'adsorption ;
- b) Inhibiteurs passivants (ils forment des films de passivation).

I.5.3 Par réaction partielle :

- a) Inhibiteurs anodiques ;
- b) Inhibiteurs cathodiques ;
- c) Inhibiteurs mixtes Anodiques/Cathodiques.

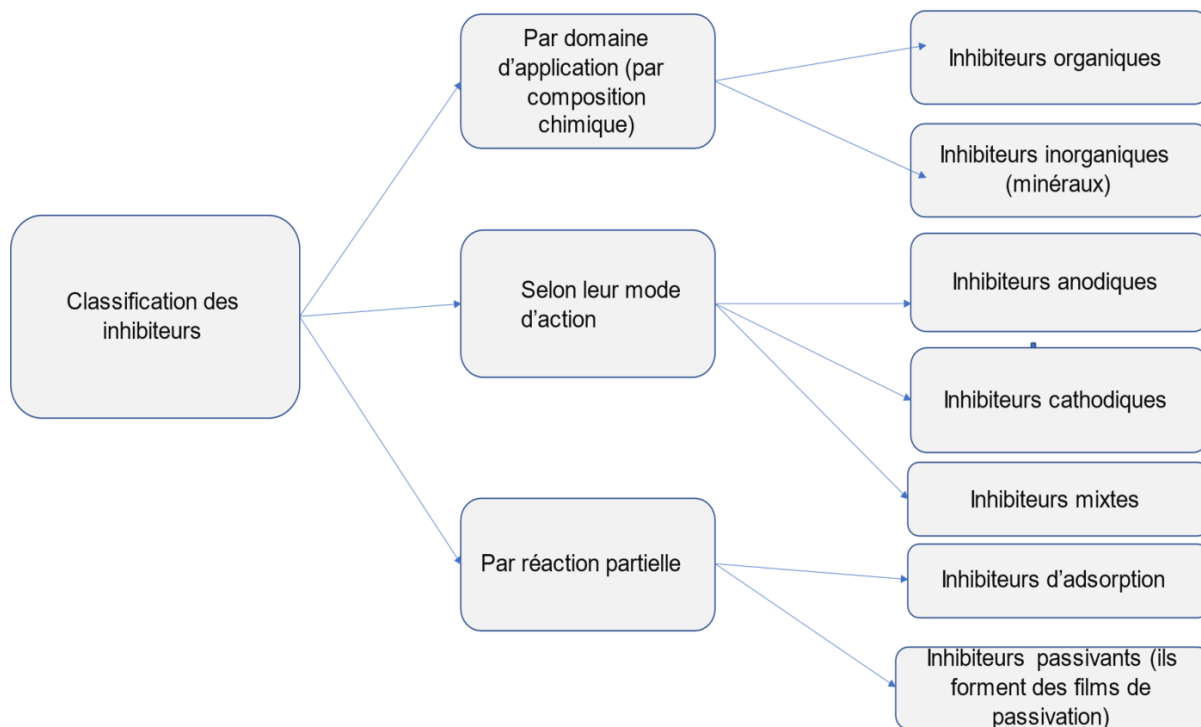


Figure I. 1 : Classement des inhibiteurs de corrosion

I.5.1 Par domaine d'application :

a) Inhibiteur organique

Les inhibiteurs organiques représentent un groupe très important d'inhibiteurs de corrosion, dont l'efficacité est liée à la structure, la concentration et les propriétés chimiques de la couche formée dans les conditions spécifiées [8]. Il est préférable de les utiliser par rapport aux inhibiteurs inorganiques principalement pour des raisons de toxicité environnementale.

Les inhibiteurs organiques sont généralement constitués de sous-produits de l'industrie pétrolière (Fiaud & Lemaitre, 2002), ils ont au moins un centre actif (atomes p, s, N, O) susceptible d'échanger des électrons avec le métal [11]

Tel que l'azote, l'oxygène, le phosphore ou le soufre. Les groupes fonctionnels usuels, permettant leur fixation sur le métal, sont :

- le radical aminé (-NH₂),
- le radical mercapto (-SH),
- le radical hydroxyle (-OH),

- le radical carboxyle (-COOH).

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 [1].

L'action des inhibiteurs organiques est liée à la formation d'une barrière d'épaisseur limitée, qui empêche la solution d'atteindre le métal.

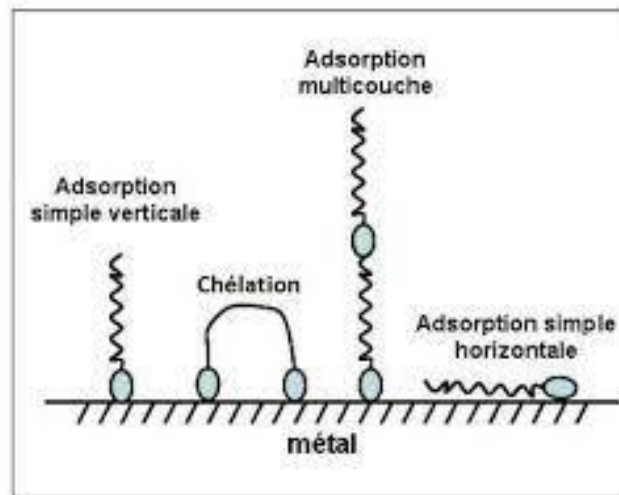


Figure I. 2 : Représentation schématique des modes d'adsorption de molécules organiques inhibitrices sur une surface métallique

b) Inhibiteurs minéraux (inorganiques)

Les molécules minérales sont utilisées le plus souvent en milieu proche de la neutralité, voire en milieu alcalin et plus rarement en milieu acide.

Les produits se dissocient en solution et ce sont souvent leurs produits de dissociation qui assurent les phénomènes d'inhibition (anions et cations) [1]

Les cations sont essentiellement Ca^{2+} et Zn^{2+} et ceux qui forment des sels insolubles avec certains anions tels que l'hydroxyle OH^{-} (1),

Les inhibiteurs minéraux sont de moins en moins utilisés en raison de leur toxicité. Leur emploi se limite à certains systèmes en circuit fermé [11]

I.5.2 Selon leur mode d'action :

a) Inhibiteurs d'adsorption :

L'adsorption est un phénomène de surface universel car toute surface est constituée d'atomes n'ayant pas toutes leurs liaisons chimiques satisfaites. Cette surface a, donc, tendance à combler ce manque en captant atomes et molécules se trouvant à proximité. Deux types d'adsorption peuvent être distingués [6] : la physisorption (formation de liaisons faibles) et la chimisorption. La première, encore appelée adsorption physique conserve l'identité aux molécules adsorbées ; trois types de forces sont à distinguer :

- Les forces de dispersion (Van der Waals, London) toujours présentes,
- Les forces polaires, résultant de la présence de champ électrique,
- Les liaisons hydrogènes dues aux groupements hydroxyle ou amine.

La chimisorption, au contraire, consiste en la mise en commun d'électrons entre la partie polaire de la molécule et la surface métallique, ce qui engendre la formation de liaisons chimiques bien plus stables car basées sur des énergies de liaison plus importantes. L'adsorption chimique s'accompagne d'une profonde modification de la répartition des charges électroniques des molécules adsorbées.

La chimisorption est souvent un mécanisme irréversible [9].

b) Inhibiteurs passivants (ils forment des films de passivation).

Les inhibiteurs passivants forment des films de passivation tridimensionnels entre la surface corrodée et les molécules d'inhibiteur. Il 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. Il existe deux catégories d'inhibiteurs passivants : les ions oxydants et les ions non oxydants. 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 dépassivants comme Cl^- ou réducteurs comme S^{2-}

I.5.3 Par réaction partielle

Dans la classification relative au mécanisme d'action électrochimique, on peut distinguer les inhibiteurs anodiques, cathodiques ou mixtes. Les inhibiteurs de corrosion forment une couche barrière sur la surface métallique, qui modifie les réactions électrochimiques en

bloquant soit les sites anodiques (siège de l'oxydation du métal) soit les sites cathodique (siège de la réduction de l'oxygène en milieu neutre aéré ou siège de la réduction du proton H^+ en milieu acide) [12].

a) Inhibiteurs anodiques

Les inhibiteurs anodiques diminuent la densité de courant de dissolution du métal et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens positif. Ce type d'inhibiteurs doit être utilisé en quantité suffisante car dans le cas contraire, ils peuvent accentuer la corrosion des zones non protégées.

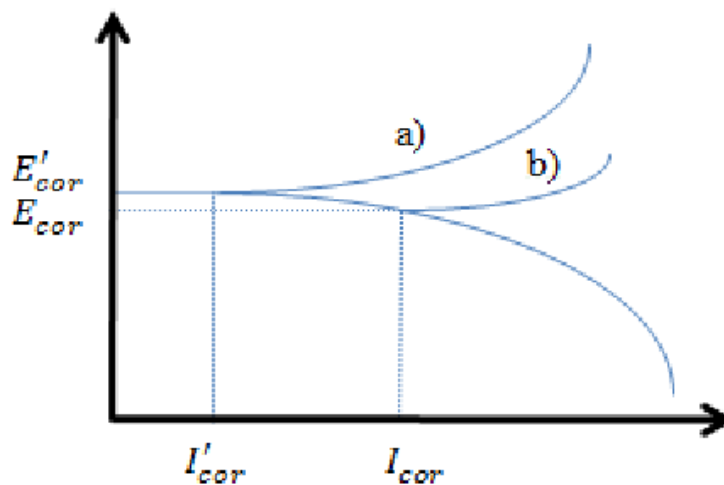


Figure I. 3 : Schéma de polarisation potentiostatique : comportement électrochimique d'un métal dans une solution d'inhibiteur anodique (a) sans inhibiteur (b)

b) Inhibiteurs cathodiques

Les inhibiteurs cathodiques, en revanche, diminuent la densité de courant de réduction du solvant et déplacent le potentiel de corrosion dans le sens négatif. Du fait de leur mode d'action, les inhibiteurs cathodiques sont considérés comme plus sûrs que les inhibiteurs anodiques car ils ne risquent pas de favoriser la corrosion localisée.

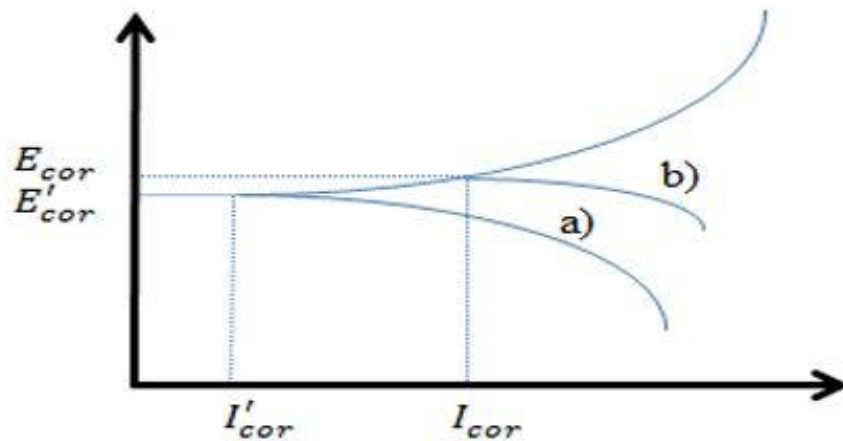


Figure I. 4: Schéma de polarisation potentiostatique : comportement électrochimique d'un métal dans une solution d'inhibiteur cathodique (a) par rapport à la même solution, sans inhibiteur (b)

c) Inhibiteurs mixtes

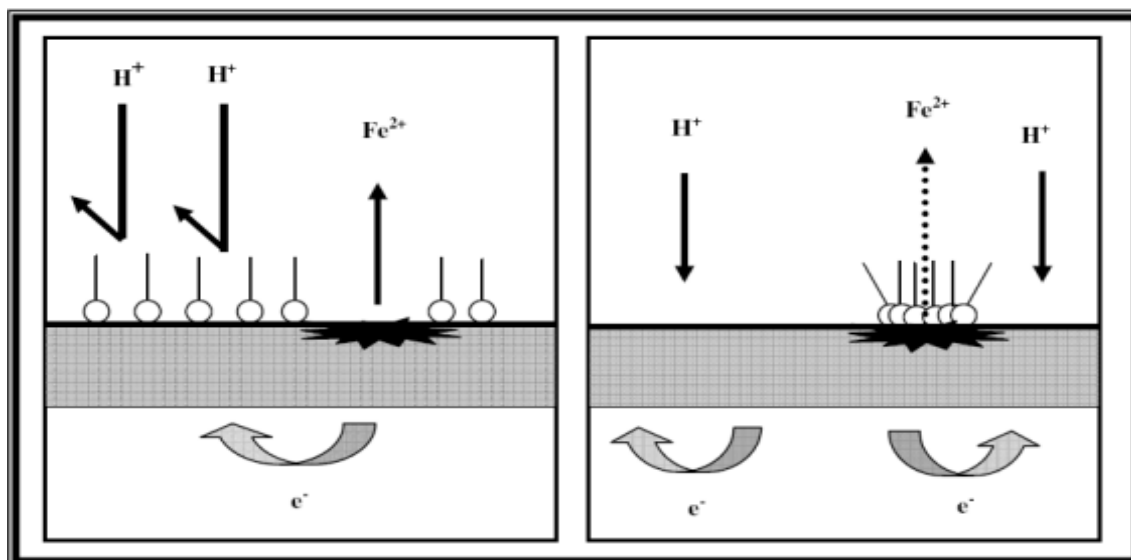
Les inhibiteurs mixtes diminuent la vitesse des deux réactions partielles en modifiant peu le potentiel de corrosion [13].

Les inhibiteurs de corrosion qui augmentent la résistance ohmique de l'électrolyte sont considérés, dans certains cas, comme inhibiteurs filmant (anodique et cathodique).

La résistance de la solution augmente suite à la formation d'un film à la surface du métal. Lorsque le film est déposé sélectivement sur la surface anodique, le potentiel de corrosion se déplace vers des valeurs positives. Dans le cas où le film est déposé à la surface cathodique, le potentiel de corrosion balance vers des valeurs négatives.

Dans le cas de la formation d'un film sur les surfaces anodiques et cathodiques, le déplacement du potentiel de corrosion est du côté de la tendance prédominante.

Les inhibiteurs mixtes diminuent la vitesse des deux réactions partielles mais modifient peu le potentiel de corrosion [14,15].



a- Blocage des sites cathodiques (comme inhibiteur cathodique)

b- Blocage des sites anodiques (comme inhibiteur anodique)

Figure I.5 : formation des couches barrières en milieu acide.

I.5.3 Inhibiteurs de corrosion d'origine naturelle :

En générales, l'inhibiteurs utilisées pour protéger les métaux contre la corrosion, où la plupart des inhibiteurs sont toxique ou cancérigène, plusieurs chercheurs se sont intéressées à la recherche de nouvelles voies d'inhibition de la corrosion basées sur les extraits de plantes, les huiles, et les extraits sont obtenus des différentes parties d'une plante des feuilles des graines des écorces et des racines ou d'autres structures spéciales. Leur composition est complexe puisqu'elle est constituée d'un mélange de composés qui appartiennent aux différentes classes de la chimie organique, telle que les phénols, les hydrocarbures, les alcools, les aldéhydes, et les cétones etc... [20 ; 21].

I.5.3.1 Inhibiteurs de corrosion : huiles et extraits de plantes.

Les huiles et les extraits sont obtenus des différentes parties d'une plante : des feuilles, des graines, des écorces, des racines ou d'autres structures spéciales. Leur composition est complexe, puisqu'elle est constituée d'un mélange de composés qui appartiennent aux différentes classes de la chimie organique, telle que les phénols, les hydrocarbures, les alcools, les aldéhydes, les cétones, etc.....

La composition d'une même espèce peut varier selon la localisation géographique, les conditions climatiques, la période de récolte, la partie de la plante utilisée, etc.... Les propriétés peuvent varier également, d'où la nécessité de travailler dans les mêmes conditions, pour avoir

la reproductibilité des résultats à l'étape d'analyse et d'identification des molécules que contient une huile ou un extrait.

En 1930, l'extrait de plante de la chélidoine et d'autres plantes a été utilisé comme inhibiteur de corrosion. En 1970 et 1980, l'étude des extraits de plantes est devenue plus étendue. En se basant sur les statistiques des années 1970, on aurait pu penser qu'il y aura un accroissement dans les publications et l'application des extraits de plantes comme inhibiteurs de la corrosion métallique dans les années 90. C'était le contraire qui a été constaté, et la raison n'a pas de lien avec les difficultés rencontrées pour isoler et purifier les ingrédients actifs des extraits responsables de l'inhibition, mais plutôt avec l'effet de l'utilisation de ces inhibiteurs sur l'environnement [8]. Ce qui a poussé plusieurs chercheurs (Hammouti, Bouyanzer, Ebenso, El-Etre, Umoren, Quraishi, etc...), à utiliser une ou plusieurs techniques parmi celles citées dans la première partie, en tenant compte des conditions opératoires (T° , Concentration, Solvant d'extraction, etc...). Ils ont pu ainsi vérifier et comprendre le comportement de ces produits naturels via les milieux et les matériaux d'études ce qui a permis de les classer en fonction de leurs pouvoirs d'inhibition de la corrosion en tenant compte de leurs impacts sur l'environnement.

I.6 Isotherme d'adsorption :

Les lois de variation de la quantité adsorbée en fonction de la concentration en inhibiteur peuvent souvent être représentées par l'une des deux isothermes classiques suivantes : Langmuir, Temkin et Frumkin... [1]

I.6.1 Isotherme de Langmuir

Le modèle de Langmuir suppose qu'il existe à la surface un nombre fixe de sites.

Chacun de ces sites ne peut adsorber qu'une seule particule. De plus, comme on néglige les interactions entre particules adsorbées, l'énergie d'adsorption est constante [43]. La vitesse d'adsorption est proportionnelle à la concentration en inhibiteur C_{inh} et à la fraction de sites d'adsorption non occupée $(1-\theta)$, sachant que θ représente la fraction de sites occupés par l'inhibiteur ($0 < \theta < 1$).

$$V_{ads} = K_{ads}(1-\theta)C_{inh}$$

Inversement, la vitesse de désorption est proportionnelle à la fraction de sites occupés par les particules adsorbées :

$$V_{des} = K_{des}\theta$$

A l'équilibre, les deux vitesses sont égales.

$$K_{ads}(1 - \theta)C_{ihn} = K_{des}\theta$$

Ce qui nous donne l'équation de l'isotherme de Langmuir suivante :

$$\frac{\theta}{1-\theta} \frac{K_{ads}}{K_{des}} C_{ihn} = bC_{ihn}$$

La fraction de sites occupés θ , aussi appelée taux de recouvrement de la surface est

$$\text{Donnée par la formule : } \theta = \frac{b C_{ihn}}{1 + b C_{ihn}}$$

Dans cette équation, b désigne le coefficient d'adsorption [16].

I.6.2 Isotherme de Temkin

Temkin suppose que le métal est ensemble de sites thermodynamiques équivalents et qu'il a une indépendance entre eux. Pour cela Temkin propose une énergie libre d'adsorption égale à :

$$\Delta G^0_{ads} = \Delta G^0_0 - fRT\theta$$

- ✚ ΔG^0_{ads} est l'énergie standard d'adsorption correspondante au recouvrement complet de la surface.
- ✚ ΔG^0_0 est l'énergie standard d'adsorption correspondante au recouvrement nul de la surface.
- ✚ f est une constante d'hétérogénéité énergétique de la surface [17].

L'équation de l'isotherme de Temkin est :

$$KC_{inh} = \frac{\exp(f\theta) - 1}{1 - [-f(1 - \theta)]}$$

$$\text{Ou } f = \frac{1}{RT} \times \frac{\Delta G^0_{ads}}{\theta}$$

Pour les valeurs de f (i. e, $KC_{inh} \gg 1$ et $KC_{inh} \exp(-f) \ll 1$) l'équation de Temkin est :

$$KC_{inh} = \exp(f\theta)$$

Cette dernière équation être exprimée sous la forme linéaire :

$$\Theta = \frac{1}{f} \ln KC_{inh} + \frac{1}{f} \ln [4]$$

I.6.3 Isotherme de Frumkin

L'isotherme de Frumkin est représentée après réarrangement par l'expression suivante [18] :

$$\ln \left[\frac{\theta}{c(\theta-1)} \right] = \ln K + 2a\Theta$$

Le paramètre a possède les dimensions suivantes : J/mol par mol/ cm³, 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 [19].

I.7 Les méthodes d'évaluation de la corrosion :

Les méthodes d'évaluations de la corrosion sont très nombreuses, mais les plus utilisés et les plus citées dans la littérature dans le cas de l'inhibition de la corrosion des métaux en milieu H_{cl} sont les suivantes :

- La gravimétrie (ou la perte de masse).
- Les techniques de polarisation potentiodynamique.
- La voltamètre cyclique.
- La spectroscopie d'impédance électrochimique
- Méthode d'évolution de l'hydrogène
- Méthode thermométrique

Ces techniques sont complétées par d'autres qui consistent à analyser et identifier les huiles et extraits de plantes utilisés comme inhibiteur de corrosion tel que la GC-MS, HPLC et IR-TF. L'état de surface des métaux est analysé dans la plupart des travaux étudiés par des techniques telles que : la spectroscopie des photoélectrons (XPS), la microscopie électronique à balayage (MEB) et le Raman [22].

I.7.1 Méthode de la masse perdue :

La perte de masse est la plus ancienne méthode de mesure de l'usure et dépend de la construction réelle du système [23].

C'est une méthode simple qui fournit des informations très rapidement à des prix relativement bas et sans perturber les systèmes [24] ;

Son principe est d'immerger l'échantillon à étudier dans le milieu corrosif considéré (après pesée) pendant une durée bien définie. Ensuite, l'évaluation se fait visuellement. Contrôle visuel de la morphologie d'usure, puis après lavage, l'échantillon est à nouveau pesé pour déterminer la masse perdue (taux d'érosion) [23].

Cette méthode dont le dispositif est représenté par la figure (n°6) nécessite le matériel de laboratoire suivant: - Echantillons – béchers, - Balance de précision – fil de potence, - Fil en nylon – brosse à dent souple [6].

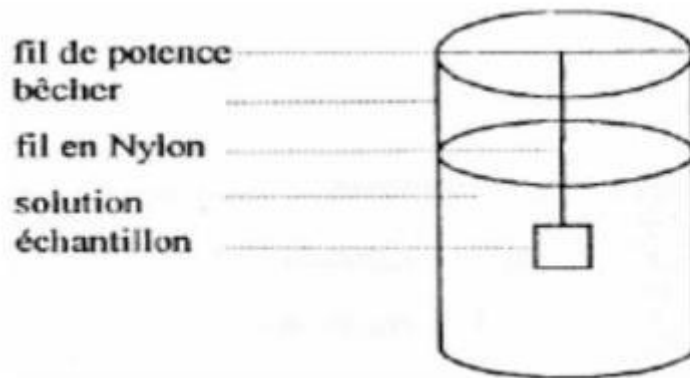


Figure I. 6 : Dispositif Expérimental de la technique de masse perdue

I.7.1.1 Théorie de la masse perdue

L'utilité de mesure de la masse perdue consiste en l'évaluation du taux de corrosion qu'ise définit comme une perte de poids par unité de surface et de temps et est exprimé en (g/cm²/an). Le taux de corrosion est calculé à partir de la formule suivante [28]:

$$\Gamma = 365 \Delta m / (s \cdot t) \text{ avec } \Delta m = m_i - m_f$$

m_i : Masse de l'échantillon avant l'essai en (g),

m_f : Masse de l'échantillon après l'essai en (g),

S : surface de l'échantillon en (cm²),

t : temps de l'expérience en jours [24].

I.8 Méthodes électrochimiques

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

I.8.1 Méthode des droites de Tafel :

Une des méthodes les plus couramment employées pour la détermination de la vitesse de corrosion est l'extrapolation des droites de Tafel au potentiel de corrosion.

Il s'agit en fait d'une méthode d'extrapolation basée sur l'équation $i=f(E)$ de Butler-Volmer.

$$i/nF_S = K_a(C_R)_x = 0 \exp 2.3 \left(\frac{E}{b_a} \right) - K_c(C_0)_x = 0 \exp. \left[-2.3 \left(\frac{E}{b_c} \right) \right] \quad (\text{I. 1})$$

n : le nombre d'électrons échangés globalement dans la solution

F : le Faraday (96500 C/mole)

S : la surface de l'électrode

K_a et K_c sont les constantes de vitesse des réactions anodiques et cathodique $(C_R)_x = 0$ et $(C_0)_x = 0$ sont les concentrations des réactifs anodique et cathodique au voisinage de l'électrode.

E : le potentiel appliqué à l'électrode

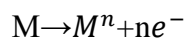
b_a et b_c sont les pentes de Tafel anodique et cathodique (comptées positivement) exprimées en volts par unité de log décimal.

La relation fondamentale de Butler-Volmer contient des paramètres tels que $K_a, K_c, (C_R)_x = 0$ et $(C_0)_x = 0$ non connus et difficiles à déterminer.

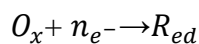
D'autre part, le paramètre recherché i_{corr} n'y figure pas. C'est ainsi qu'une relation plus simple et contenant i_{corr} a été déduite de cette relation. Elle est de la forme :

$$i = i_{corr} [\exp 2.3(E - E_{corr})/b_a - \exp 2.3(E - E_{corr})/b_c] \quad (\text{I.2})$$

Le système de corrosion est représenté par les réactions simultanées :



Et



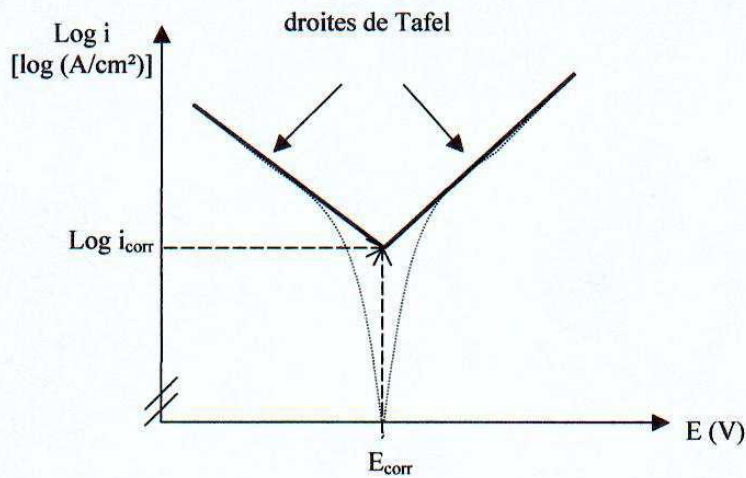


Figure I. 7: Détermination du courant de corrosion par la méthode des droites de Tafel

Si on représente la courbe de polarisation obtenue en coordonnées $\log i$ (densités de courant) = $f(E)$

(Fig. 2.1.4), l'intersection des droites anodique et cathodique, extrapolées au potentiel de corrosion, donne la densité de courant de corrosion i_{corr} (A.cm²-)

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

$$v_{corr} = \frac{i_{corr} \times t \times m}{n \times f \times p} \quad (I.2)$$

Où

M : la masse molaire du métal (g/mol)

F^- : la masse volumique du métal (g/cm³)

T : la durée de l'immersion du métal dans la solution (seconde)

n : le nombre d'électrons échangés globalement dans la solution

F : le Faraday (96500 C/mole).

Cette méthode peut être aisément mise en œuvre en laboratoire (par l'utilisation d'un potentiostat), mais elle présente un certain nombre de limitations :

- ✚ Les écarts de potentiel imposés à l'électrode doivent être relativement importants (généralement plus de 100 mV) ; il est donc probable qu'une modification appréciable de l'état de surface du métal et donc de i_{corr} se produise pendant le tracé de ces courbes.
- ✚ Les courbes $E=f(\log i)$ doivent être linéaires sur au moins une décade en courant, ce qui ne peut pas toujours être vérifié à cause de la présence de dégagement gazeux ou d'un processus de polarisation par diffusion [25 ; 26].

I.8.2 Méthode de la résistance de polarisation (dite de Stern et Geary) :

La mesure de la résistance de polarisation consiste à faire un balayage de quelques millivolts ΔV autour du potentiel naturel de corrosion et de déterminer le courant I correspondant.

La pente de la droite permet de calculer la résistance de polarisation R_P (inverse de la pente). Au voisinage du potentiel de corrosion ($\pm 10\text{mV}$ autour de E_{corr}), il est possible de linéariser les expressions des courbes partielles anodiques et cathodiques, et par suite assimiler la courbe courant tension globale à une droite dont la pente est égale à R_P (**Figure I 8**).

En appliquant la relation (I .3) au potentiel de corrosion, on obtient :

$$E_{corr} = a + B_c \ln I_{corr} \quad (\text{I .3})$$

La différence $E - E_{corr} = \Delta E$ donne :

$$\Delta E = B_c \ln \frac{I}{I_{corr}} \quad (\text{I.4})$$

Pour le sens cathodique

$$\frac{I_c}{I_{corr}} = \exp \frac{\Delta E}{B_c} \quad (\text{I .5})$$

Pour le sens anodique

$$I = \left[\exp \left(\frac{\Delta E}{B_c} \right) - \exp \left(\frac{\Delta E}{B_a} \right) \right] \times I_{corr} \quad (\text{I .6})$$

Pour des valeurs très faibles de E , un développement au premier ordre des termes exponentiels donne :

$$\frac{\Delta E}{\Delta I} = R_P = \frac{B_a \times B_c}{(B_a + B_c)} \times \frac{1}{I_{corr}} = \frac{K}{I_{corr}} \quad (\text{I .7})$$

L'expression (I .7) est la relation établie par Stern et Geary La **Figure I 8**. illustre la méthode graphique de calcul du rapport $\left(\frac{\Delta E}{\Delta I}\right)$. Dans le cas particulier, si la réaction cathodique est sous contrôle diffusionnel pur, B_a tend vers l'infini et l'équation (I .7) devient :

$$R_p = B_c \times \frac{1}{I_{corr}} \quad (\text{I.8})$$

Même, pour la relation anodique :

$$R_p = B_a \times \frac{1}{I_{corr}} \quad (\text{I.9})$$

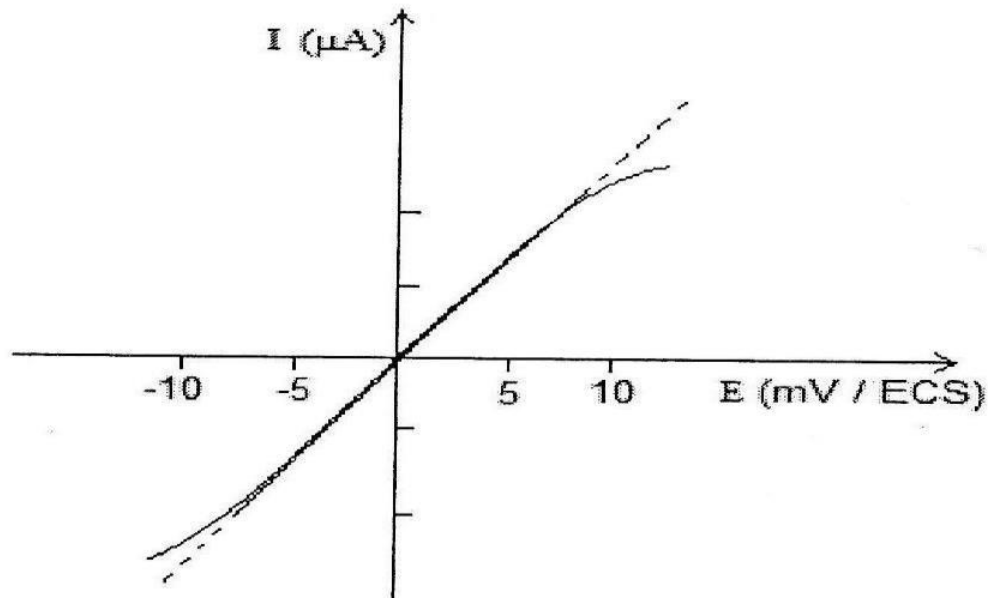


Figure I.8 : Détermination graphique de la résistance de polarisation [8].

Bien que la polarisation linéaire soit une méthode classique pour la mesure de R_p dans quelques circonstances elle s'est avérée incertaine. Plusieurs chercheurs ont pu démontrer qu'une large erreur peut être enregistrée lors de l'estimation de la vitesse de corrosion par la polarisation Linéaire [27 ; 28]. La raison principale de cette erreur, est que la valeur expérimentale de R_p contient la contribution des résistances ohmiques, tels que la résistance entre le capillaire de Lug-gin et l'électrode teste, la résistance du film inhibiteur, etc.

L'extrapolation des droites de Tafel, de même que la détermination de la résistance de polarisation R_p , reposent essentiellement sur l'hypothèse que les réactions anodique et cathodique occupent chacune l'ensemble de la surface, c'est-à-dire à l'assimilation du courant de corrosion à courant d'échange.

Cette hypothèse est fautive car le potentiel de corrosion est un potentiel mixte qui n'est pas un potentiel d'équilibre redox puisque ce n'est pas la même espèce qui s'oxyde ou qui se réduit.

Par comparaison aux deux autres méthodes (l'extrapolation des droites de Tafel et la mesure de la résistance de polarisation) la spectroscopie d'impédance électrochimique est une meilleure technique, car elle est supposée capable de séparer les différents processus électrochimiques de

corrosion, et aussi d'éliminer les erreurs de mesures dues à la résistance de la solution et à la résistance du film inhibiteur [1].

I.8.3 La spectroscopie d'impédance électrochimique :

La méthode d'impédance est une des puissantes techniques utilisées dans le domaine de l'électrochimie et des matériaux. Elle donne des renseignements sur les propriétés de transport de charge au sein des matériaux et des phénomènes électrochimiques qui se produisent aux interfaces électrode- solution [29 ; 30].

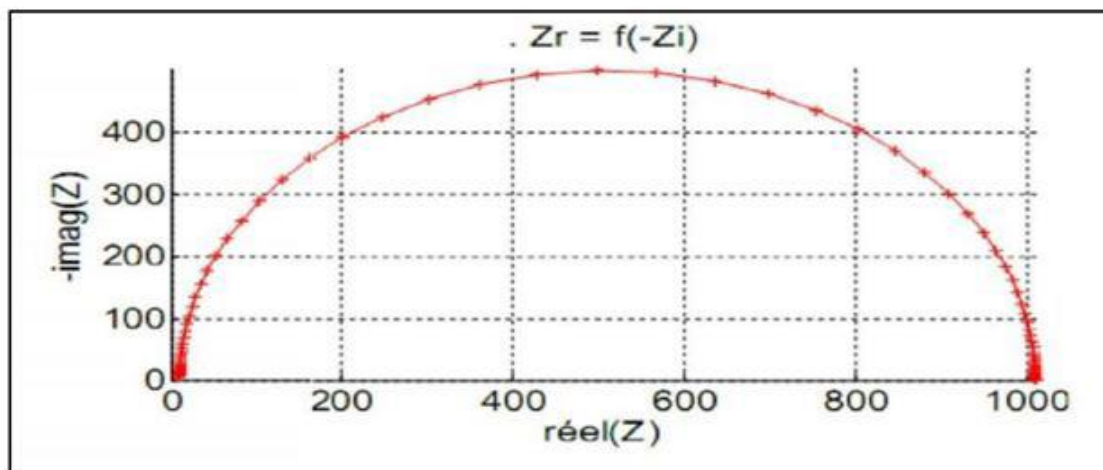


Figure I. 9: Représentation, dans le plan de Nyquist, de l'impédance électrochimique

I.9 Conclusion

La corrosion est responsable de nombreuses pertes principalement dans la zone industrielle. Il existe plusieurs moyens de se protéger contre ce phénomène, comme l'utilisation d'Inhibiteurs de corrosion.

Les inhibiteurs de corrosion sont un moyen de lutter contre la corrosion des métaux et alliages [16]

Il a l'authenticité d'être le seul moyen d'intervention du milieu corrosif, ce qui en fait une méthode de contrôle de la corrosion facile à mettre en œuvre et peu coûteuse. Les nombreuses études consacrées, sur une période de près de cinquante ans,

Pour ces composés, il s'est traduit par l'introduction de produits spécifiques ou de mélanges de produits respect de certains régimes de corrosion (couple métallique - environnement corrosif). Chaque cas la corrosion reste un cas particulier, et il est nécessaire de connaître les données le fondement du fonctionnement de ces inhibiteurs, les limites de leur utilisation, leur toxicité spécifique,

Pour pouvoir l'utiliser avec une marge de sécurité suffisante.

En particulier, pour protéger les métaux et alliages ferreux, et les inhibiteurs à base de

Les extraits de plantes ont des pouvoirs protecteurs intéressants et sont actuellement

Utilisé en recherche, notamment en raison de sa non-toxicité vis-à-vis l'environnement [7].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) K-DOB « Etude électrochimique de l'efficacité inhibitrice de substances Vertes sur la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu aqueux. » thèse de doctorat, Université 20 Août 1955 Skikda, 2018.
- (2) A.BENSAHA ; A.SABROU « Etude d'inhibition de la corrosion du fer en milieu acide par l'extrait de periploca » Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master ; Université de Ghardaïa ; 2019/2020.
- (3) H.E. Waldrip, Present Day Aspects of Condensate Well Corrosion. Corrosion, 4, 611 (1948).
- (4) M. Khenadeki Amine « étude théorique et expérimentale de l'effet d'inhibition de la corrosion d'un acier au carbone par les dérivées de base de schiff en milieu acide chlorhydrique » mémoire de magister ; université abou-bekr belkaid Tlemcen ; 2012/2013.
- (5) I. Uhlig, Corrosion et Protection, DUNOD, 1970.
- (6) A .BELLOUFI« Comportement à la Corrosion d'un Acier Doux, dans un Milieu à différents pH, en Présence de ZnCl₂ »présente pour obtenir le diplôme de magister .université hadj Lakhdar de batna.2010.
- (7) F.KAOU DJ ; H.ZIOUI « Propriétés inhibitrices de l'extrait de la plante d'ortie vis-à-vis de la corrosion de l'acier XC38 en milieu H₂SO₄ »Pour l'obtention du diplôme
- (8) -ZERZOUR, "Etude de l'effet inhibiteur de corrosion des extraits des plantes Lactucavirosa L. et Verbascumthapsus L. sur l'acier X60 dans un milieu acide H₂SO₄ 2M. ", Mémoire de Magister, Université de Larbi ben M'hidi d'Oum el Bouaghi, 2020de master. Université A. M. OULHADJ – Bouira.2018\2019
- (9) B.MEZHOUD« synthèse des inhibiteurs contre la corrosion Des aciers » présente dans le cadre de l'obtention du diplôme de Magister. Université mentouri constantine.2011
- (10) M. Henriquez De Gonzalez, « Etude d'un traitement multifonctionnel vert pour la Protection contre la corrosion de l'acier au carbone API 5L-X65 en milieu CO₂ », Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2011

- [11] H-BELGHARBI, "Etude de l'effet inhibiteur de corrosion de l'huile essentielle de Cyprès : Extraction, caractérisation et application ", Mémoire du Projet de fin d'étude 2ème Année Master, Université 8 mai 1945 Guelma ; 2020.
- [12] S. Bilgic, N. Cahskan, Appl. Surf Sci., 152, 107 (1999).
- [13] F. Bentiss, M. Lebrini, M. Lagrenee, Corros. Sci., 47, 2915 (2005).
- [14] J. Flis, T. Zakroczymski, J. Electrochem. Soc., 143, 2458 (1996).
- [15] F.M. Donahue, K. Nobe, J. Electrochem. Soc., 112, 886 (1965).
- [16] F. LEKMINE « Etude de l'efficacité inhibitrice des composés cycliques soufrés dans des milieux acides sur des dépôts composites élaborés par voie électrolytique » Thèse pour obtenir le diplôme de doctorat en sciences ; université Mohamed khider Biskra ,2021
- [17] CH. ABDELMALEK « Etude de L'inhibition contre la corrosion par un extrait de la plante Pituranthosscoparius » mémoire de master, Université Larbi TEBESSI-Tébessa, 2019.
- [18] M .Sahi, S. Bilgic, H .Yilmaz, «The inhibition effects of some cyclic nitrogen compounds on the corrosion of the steel in NaCl mediums», Applied Surface Science 195, (2002).
- [19] H .Yousfi .S.Bourahla « Etude des inhibiteurs de corrosion pour protéger l'acier ordinaire en milieu agressif » Mémoire de master .Université Mohamed El Bachir El Ibrahim de Bordj Bou Arréridj. 2019\2020.
- [20] C. Kamal, M.G. Sethuraman, Spirulina platensis—A novel green inhibitor for acid corrosion of mild steel, Arabian Journal of Chemistry, 5, (2012), 155–161
- [21] TOUHAMI Lanez la corrosion et protection contre la corrosion université d'Ouargla 2001/2002
- [22] Ben Messaoud Left et al...J. Mater. Environ. Sci. 4 (6) (2013) 855-866
- [23] A.YOUCEF AZOUZ « effets de la concentration de NaCl sur la corrosion de l'acier doux en présence des cations zn^{2+} et anions cro_4^{2-} » mémoire de magistère, université hadj Lakhdar Batna, 2010.
- [24] A .BENSAHA « Etude d'inhibition de la corrosion du fer en milieu acide par l'extrait de periploca » diplôme de master, Université de Ghardaïa, 2019
- [25] Lionel JAUBERT, Thèse de doctorat, Etude de la corrosion uniforme d'aciers non alliés et inoxydables : utilisation conjointe de l'émission

acoustique et des techniques électrochimiques, Univ. Lyon–France (2004).

- [26] Laidi BABOURI « ETUDE DE LA RESISTANCE A LA CORROSION DES ALLIAGES DE CUIVRE EN MILIEU SALIN », MEMOIRE DE MAGISTER, L'UNIVERSITÉ DU 20 AOUT 1955 – SKIKDA, 2008.
- [27] W.Lorenz et F.Mansfeld, "Determination of corrosion rates by electrochemical DC and AC methods ", Corrosion Science, Volume 21, Issues 9–10, (1981), PP. 647-672.
- [28] Y.T.Tan, B.Kinella et S.Bailey, "An experimental comparison of corrosion rate measurement techniques: weight loss measurement, linear polarisation, electrochemical impedance spectroscopy and electrochemical noise analysis", Corrosion and Prevention 95, Australian corrosion Association, perth,(1995).
- [29] J.C. DA ROCHA, J.A.C.P. GOMES, E. D'ELIA, Corrosion inhibition of carbon steel in hydrochloric acid solution by fruit peel aqueous extracts, Corrosion Science Vol. 52 (7), pp.2341-2348, (2010).
- [30] A .Dakhli ; A .Douichine « Étude de l'efficacité inhibitrice de la plante Ephédra major utilisée comme inhibiteur de la corrosion de l'acier au carbone dans un milieu acide » Mémoire de master ; Université Larbi Tébessa – Tébessa .2020

Chapitre II



II.1 Généralités

L'extraction écologique repose sur la découverte et la conception de procédés d'extraction qui réduisent la consommation d'énergie, utilisent des solvants alternatifs et privilégient les ressources végétales renouvelables, tout en garantissant la qualité du produit ou de l'extraction [1]. Par exemple, l'utilisation de solvants organiques pour le traitement des matières végétales est soumise à des contraintes de plus en plus fortes, notamment depuis la mise en œuvre des directives REACH, qui visent à assurer un haut niveau de protection du premier chapitre de la bibliographie sur la santé humaine et l'environnement, contre les risques posés par les produits chimiques. Ces limitations sont particulièrement importantes dans l'industrie agro-alimentaire, où il est devenu urgent de proposer des matériaux alternatifs aux solvants organiques traditionnellement utilisés dans les procédés d'extraction ou de purification du matériel végétal. L'extraction par fluide supercritique a été introduite pour les procédés d'extraction par solvant [2]. Le phénomène au cours duquel une molécule (un soluté) ou un groupe de molécule

Les passe en phase supercritique, d'une part, peut être présenté comme une vaporisation, car la molécule en question passe de la phase condensée à une phase plus expansée (solvant supercritique). D'autre part, ce phénomène peut également être considéré comme une dissolution car l'interaction soluté-solvant a lieu. Le phénomène de vaporisation/fusion caractérise le caractère intermédiaire de l'état supercritique. Pour comprendre le comportement d'un solvant, il est nécessaire de connaître la densité du solvant et l'interaction entre le solvant et les différents composés qui composent la phase solide [3 ; 4].

II.2 Extraction d'une plante :

Les extraits sont des préparations liquides (extraits fluides et teintures), de consistance semi-solide (extraits mous ou fermes) ou solide (extraits secs), obtenues à partir de drogues végétales ou de matières animales généralement à l'état sec [5].

Cette technique utilise une méthode pour séparer sélectivement un ou plusieurs Composés mixtes basés sur des propriétés chimiques ou physiques. La moyenne d'extraction n'est pas ou peu mélangé aux composants principaux du mélange alors que Le composé à extraire a plus d'affinité avec le moyen d'extraction que les ingrédients Les bases du mélange. Ainsi, le processus d'extraction se compose de deux parties :

La première étape de l'extraction proprement dite où il y a un transfert du composé à extraire entre le mélange initial et le milieu d'extraction.

Le développement des technologies est porté par la diversité des matières premières et par améliorer les conditions d'échange entre les étapes tout en s'efforçant de réduire la consommation de solvant. C'est au cours du 18^{ème} siècle que commence l'utilisation de solvant organique pour l'extraction des matières naturelles [6].

II.3 Les différents modes de préparation des plantes :

II.3.1 Infusion

Une infusion est préparée en versant de l'eau bouillante sur une quantité spécifique de matière végétale [7], (Ou jetez les plantes dans l'eau bouillante) au moment où l'eau bout. Nous couvrons le contenant et le laissons tremper le temps nécessaire. Le temps de fermentation varie selon la nature des plantes (racines, tiges, etc.) : de dix minutes à une heure. Les plantes médicinales les plus couramment utilisées : Camomille, menthe, thé, tilleul, verveine, etc. [2]



Figure II. 1 : La camomille est une plante aux multiples bienfaits © Nikolaeva Galina

II.3.2 Décoction

Cette méthode est très ancienne[8]. Il est fabriqué en faisant bouillir les plantes, souvent dans de l'eau, parfois dans de l'alcool. Il est particulièrement adapté pour l'écorce, les racines, les tiges et les fruits. Laisser bouillir plus ou moins longtemps selon le type, généralement 10 à 30 minutes. Pour extraire un maximum de principes

actifs, il faut veiller à découper les plantes en rouleaux de coupe puis passer la tisane à exprimer.

La différence entre décoction et infusion est la température de la matière

Il est extrait d'une matrice naturelle (feuilles, fleur, écorce, etc.). Pendant la décoction, l'ébullition est maintenue et donc la température est maximale pendant la procédure d'infusion, l'eau peut être très chaude, car la plante est immergée.

On ne maintient pas le chauffage pendant l'infusion. On extrait moins de substances lors d'une infusion, et on risque moins la décomposition des substances extraites si elles sont thermiquement peu stables, comme le sont de nombreux produits naturels [9]



Figure II. 2 : Hélène Gaillard - Pharmacienne à la PHC22 mai 2018 100% HOMEEO

II.3.3 Enfleurage

L'enfleurage est un procédé d'extraction très ancien, utilisé surtout pour des fleurs délicates comme les roses et le jasmin, l'artisan dépose les pétales de la fleur sur un corps gras purifié qui s'imbibe peu à peu des parfums, lorsque le corps gras atteint son poids de saturation et qu'il ne peut absorber davantage de parfum, l'artisan nettoie la pommade obtenue. Puis, il ajoute de l'alcool, il laissera en suite le tout se mélanger pendant environ 24 heures, cette étape sert à séparer le corps gras et les huiles essentielles. En dépit de grande qualité des huiles essentielles obtenues par enfleurage. Cette méthode n'est plus très courante, l'enfleurage est en effet un procédé très laborieux et il nécessite beaucoup de temps. Cependant les huiles essentielles ainsi obtenues coûtent donc très chères [48]. [11]



Figure II. 3 : L'enfleurage à froide

II.3.4 macération

La chaleur détruit les principes actifs de certaines plantes, une macération à froid est parfois plus indiquée. Il consiste à laisser macérer la drogue dans un solvant, à température ambiante pendant plusieurs jours à semaines puis la filtrer, la macération convient surtout aux mucilages. Les macérations varient selon le solvant utilisée, on trouve les teintures alcoolique si on utilise l'alcool, et les huiles médicinales en cas de macération dans l'huile. [12] [13]

Les fruits et les graines des plantes donnent, lorsqu'on les presse, de l'huile végétale, à ne pas confondre avec les huiles essentielles, qui ne sont pas des corps gras,

ces dernières peuvent être ajoutées aux huiles médicinales pour renforcer leur efficacité thérapeutique. [14 ; 15]



Figure II. 4 :L'art de la macération des plantes



Figure II. 5 : La macération permet de conserver les fruits et les légumes frais

II.3.5 L'entraînement à la vapeur ou l'hydrodistillation

L'hydrodistillation est une méthode d'extraction dont le rôle est d'éliminer les composés volatils présents dans les produits naturels à l'aide de vapeur d'eau. Ce procédé est aussi appelé « Steam stripping ».^{tp} [16]

Cette technique consiste à placer directement le matériel végétal à traiter, qu'il soit intact ou intact, en poudre (turbo distillation), dans un ballon (ballon) avec de l'eau bouillante. La chaleur ascendante permet aux molécules aromatiques des cellules végétales d'exploser [17], HE avec la vapeur d'eau est un mélange isotrope, puis les vapeurs résultantes sont condensées sur une surface froide (refroidie) et l'huile essentielle est séparée de la solution aqueuse

Avec peu de différence de densité [18 ; 19]

, la saturation est trop longue et coûteuse en matières premières (un litre d'absolu de jasmin, prend une tonne de fleurs) [8]

Cette technique semble être très ancienne car des traces de son existence ont été retrouvées depuis l'Antiquité, et on pense que les Perses l'ont découverte pour faire de l'eau de rose

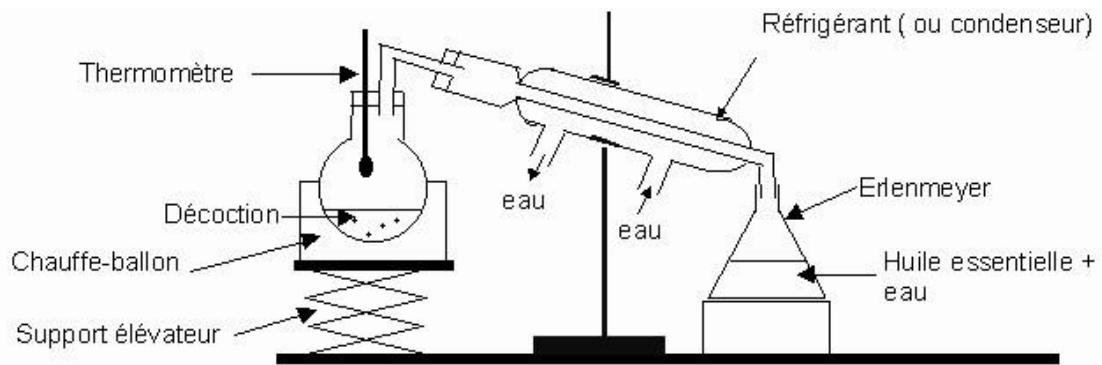


Figure II. 6 : Schéma de l'hydrodistillation

II.3.6 La filtration

II.3.6.1 Définition

La filtration est un procédé visant à séparer la phase contenant (liquide ou gazeuse) du solide ou du liquide (phase dispersive) qu'elle contient [20].

Une technologie largement utilisée aussi bien dans le domaine agro-alimentaire que pharmaceutique. Soit par de nombreuses espèces animales, notamment aquatiques [8].

La suspension, au moyen d'un entonnoir, est réalisée en faisant passer la suspension sur un milieu filtrant approprié capable de retenir les particules solides.

Le média filtrant est constitué de particules solides, de sorte qu'elles se déposent sur un support qui peut être, selon les cas, des feuilles de papier spécial, des tissus, des toiles, des métaux, du sable et du gravier. Pour faciliter le processus et augmenter la vitesse

Le passage du fluide dépendant de la chute de pression dans les canaux du média filtrant on exerce une aspiration sur le filtre, ou la pression augmente sur le fluide à filtrer [20].

Le liquide qui a subi la filtration s'appelle la filtration, et ce que le filtre retient s'appelle le résidu (également appelé "gâteau" ou rétentat) La microfiltration est la séparation de particules de l'ordre du micromètre [8].

II.3.6.2 Principe de la filtration

La filtration est en principe un tamisage. Une différence de pression force le liquide à passer à travers le filtre pendant que les particules solides sont retenues à la surface. La filtration est souvent accompagnée de deux phénomènes:

Le colmatage : est provoqué par des particules qui se déposent à la surface du filtre mais surtout par leur pénétration dans les interstices [petits espaces vides entre les parties du filtre] de la matière filtrante. Ce colmatage modifie totalement la porosité et ralentit la filtration.

L'adsorption : La matière filtrante possède une certaine charge électrique. Ainsi, certains produits peuvent être retenus bien que leurs dimensions permettent leur passage à travers les pores du filtre[21].

Il existe trois types de filtration :

- a) Filtration gravimétrique
- a) Filtration sous vide
- b) Filtration sous pression [20]

II.3.6.3 Matériel de filtration

Le matériel de filtration regroupe les filtres et les entonnoirs.

- Les filtres (Filtres en profondeur et Filtres de surface)
- Les entonnoirs (les entonnoirs ordinaires et les entonnoirs spéciaux)



Figure II. 7 : La membrane millipore.

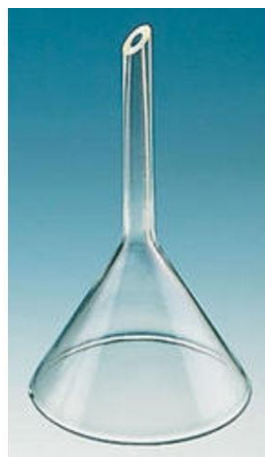


Figure II. 8 : Entonnoirs en verre ordinaire

II.3.6.4 Les différents procédés de la filtration au laboratoire

On distingue différents procédés de filtration :

II.3.6.4.1 Filtration gravimétrique (filtration par gravité)

La filtration gravitationnelle utilise la force de gravité pour pousser le liquide à travers le média filtrant (utilisez un entonnoir de laboratoire muni de papier filtre). Cette technique est appliquée aux fluides particuliers qui ont une charge particulaire élevée [22].

Ce type de filtration présente quelques inconvénients :

- Le filtrage est quelque peu lent.
- La difficulté de récupérer la phase solide isolée.
- Séparation incomplète : un solide retient une grande quantité d'un liquide [23].

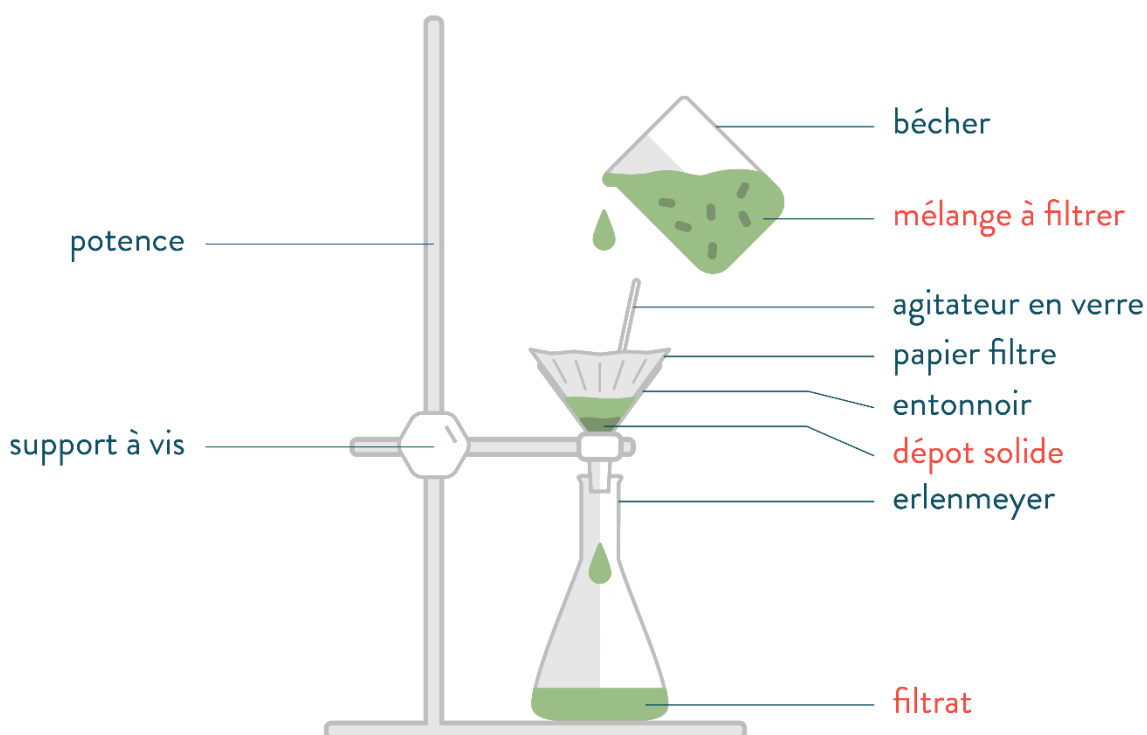


Figure II. 9 : La filtration par gravité

II.3.6.4.2 Filtration sous vide

Le débit de filtration est augmenté en créant une dépression en aval matériau filtrant **Figure II.10**. C'est le mode de filtration couramment utilisé (filtration sous vide) [20] Dans l'industrie, par lots et au sein de continuer. Un exemple de filtration sous vide est les filtres Nutsche, qui sont A22

Extension de filtration Buchner, filtres en papier sous vide, filtres avec

Filtres basculants sous vide, filtres à plaques rotatives, filtres horizontaux avec

Bande sous vide, filtres à disques rotatifs sous vide et les plus utilisés dans l'industrie,

Filtres à cylindre rotatif sous vide. La faiblesse de cette technique vient de

Réduction de la force motrice (limitée à <85 kPa [26]) entraînant de faibles taux de Filtration et grande humidité résiduelle dans le gravier solide [22].

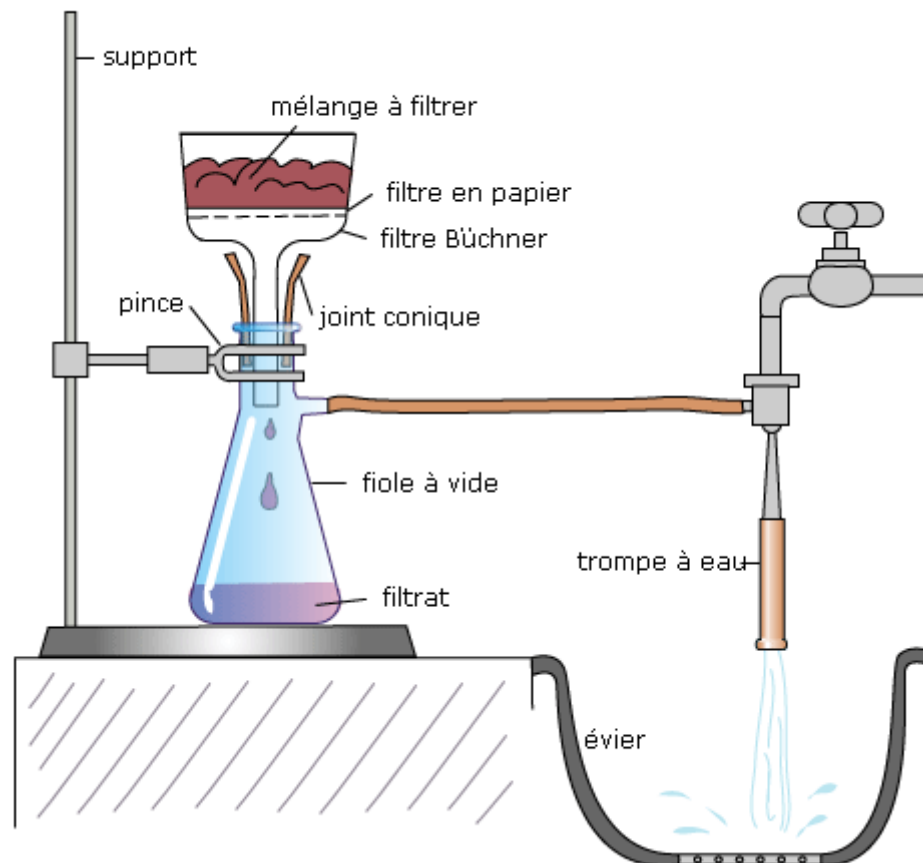


Figure II.10 : Schéma d'une filtration sous vide.

II.3.6.4.3 Filtration sous pression

La vitesse de filtration est augmentée en appliquant une pression sur le liquide à filtrer en amont le matériau filtrant est représenté par la membrane filtrante [23], la pression évite la formation de mousse et l'évaporation du solvant ; Souvent utilisé dans industrie. Il existe également un système de filtration sous pression avec membranes filtrantes

Sous forme de cartouches filtrantes (Millipore) adaptables à une seringue pratique pour Filtrez de petites quantités de la solution à filtrer. En laboratoire, la stérilisation par microfiltration l'utilisation du Swinnex Millipore est la filtration sous pression. Cet

appareil il se compose de deux parties en plastique, qui sont assemblées pour enfermer une membrane filtration [20].



Figure II. 11 : Filtration sous pression.

II.3.7 L'extraction par solvant :

Le produit de base (pétales de fleurs, plantes...) est mis en présence d'un solvant (figure 2) dans lequel l'espèce chimique à extraire se met en solution. C'est un procédé récent (19^e siècle) car il fait appel à des produits organiques qui n'étaient pas connus auparavant (cyclohexane, pentane, acétone, éther de pétrole...). Ce produit organique est ensuite évaporé, pour former un résidu solide très parfumé, le « concrète », qui est ensuite traité à l'alcool pour obtenir l'« absolue » [24].

Il existe plusieurs types d'extraction par solvant :

II.3.7.1 L'extraction directe :

L'espèce chimique est extraite d'un produit naturel par macération puis filtration

(Extraction des arômes des zestes d'orange)[25].

II.3.7.2 L'extraction liquide-liquide

L'extraction liquide-liquide est une opération qui permet la séparation d'un ou plusieurs constituants par l'utilisation de leur distribution inégale dans deux liquides pratiquement non-miscibles [26]. L'extraction liquide-liquide consiste à faire passer une substance d'un solvant dont elle est difficilement séparable à un autre dont elle sera isolable et C'est une technologie de séparation largement utilisée à l'échelle industrielle, dans des domaines aussi divers que l'hydro-mine traditionnelle, l'industrie nucléaire, la pétrochimie, l'industrie pharmaceutique ou encore l'industrie alimentaire. Bien que le principe de cette technique soit relativement simple, les procédés de séparation qui permettent de la réaliser sont en fait le résultat du couplage d'un grand nombre de phénomènes physiques et chimiques.

Conditions d'extraction :

- ✚ Les deux solvants doivent être non miscibles.
- ✚ La substance à extraire doit être beaucoup plus soluble dans le solvant d'extraction que dans le solvant original [27].

La durée de l'agitation est régie par la cinétique de transfert du soluté pour atteindre une concentration d'équilibre, tandis que la durée de décantation est conditionnée par le temps de séparation des deux phases non miscibles. A l'équilibre, la phase aqueuse est dite « raffinat » et la phase organique « extrait » [28 ; 29].

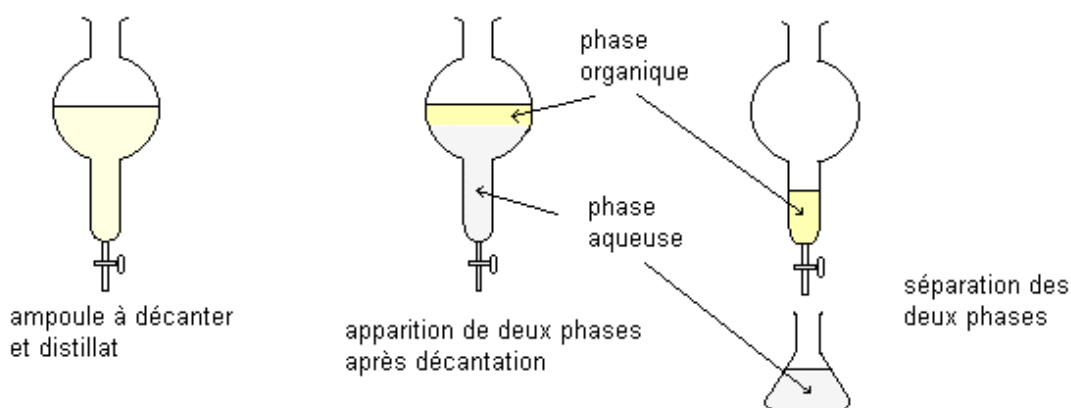


Figure II. 12 : Extraction liquide-liquide.

II.3.7.2.1 Principe

Du fait que l'eau ne s'évapore pas facilement, l'espèce chimique est difficilement récupérable si elle est en solution dans l'eau. Dans ce cas, il faut utiliser un solvant organique dans lequel la substance est très soluble (beaucoup plus que dans

l'eau), celle-ci va passer de l'eau au solvant organique. Il faut que l'eau et le solvant organique ne soient pas miscibles.

- Il existe deux types d'extraction liquide-liquide :

- ✚ Extraction discontinue : L'extraction liquide-liquide discontinue s'effectue par l'agitation vigoureuse du solvant et de la solution à extraire dans une ampoule à décanter.
- ✚ Extraction continue : Pour l'extraction continue, la solution à extraire est alimentée par un solvant pur recyclé en continue par distillation [20].

II.3.7.3 Extraction solide-liquide

L'extraction solide-liquide est une opération de transfert de matière entre une phase qui contient la matière à extraire « solide », et un solvant d'extraction « liquide ». Le but de cette opération est d'extraire et de séparer un ou plusieurs composants mélangés à un solide dans un solvant. L'extraction est une étape nécessaire et présente dans de nombreux procédés de fabrication dans les différents domaines industriels relevant de la pharmacie, de la cosmétique, de la parfumerie et de l'agroalimentaire [30]. Au cours de la dernière décennie, la préoccupation pour la qualité et la sécurité des aliments et des médicaments, occupent une grande place avec les règlements pour le niveau de toxicité, et la volonté d'accroître la préférence pour les produits « naturels » par opposition aux substances synthétiques. En outre, la croyance populaire qui présente ce qui est « naturel » comme bon, fournit une incitation positive au développement de l'industrie des produits naturels, en particulier dans les aliments, les aromatisants, les produits de parfumerie, et le secteur pharmaceutique. Il ne fait aucun doute que la sécurité des producteurs et des consommateurs est désormais devenue une exigence majeure de tout produit ou procédé. En conséquence, les règlements sur l'utilisation de solvants dangereux, cancérigènes ou toxiques ainsi que les coûts élevés de l'énergie pour la régénération du solvant ont réduit la croissance des industries conventionnelles d'extraction de produits naturels [31].

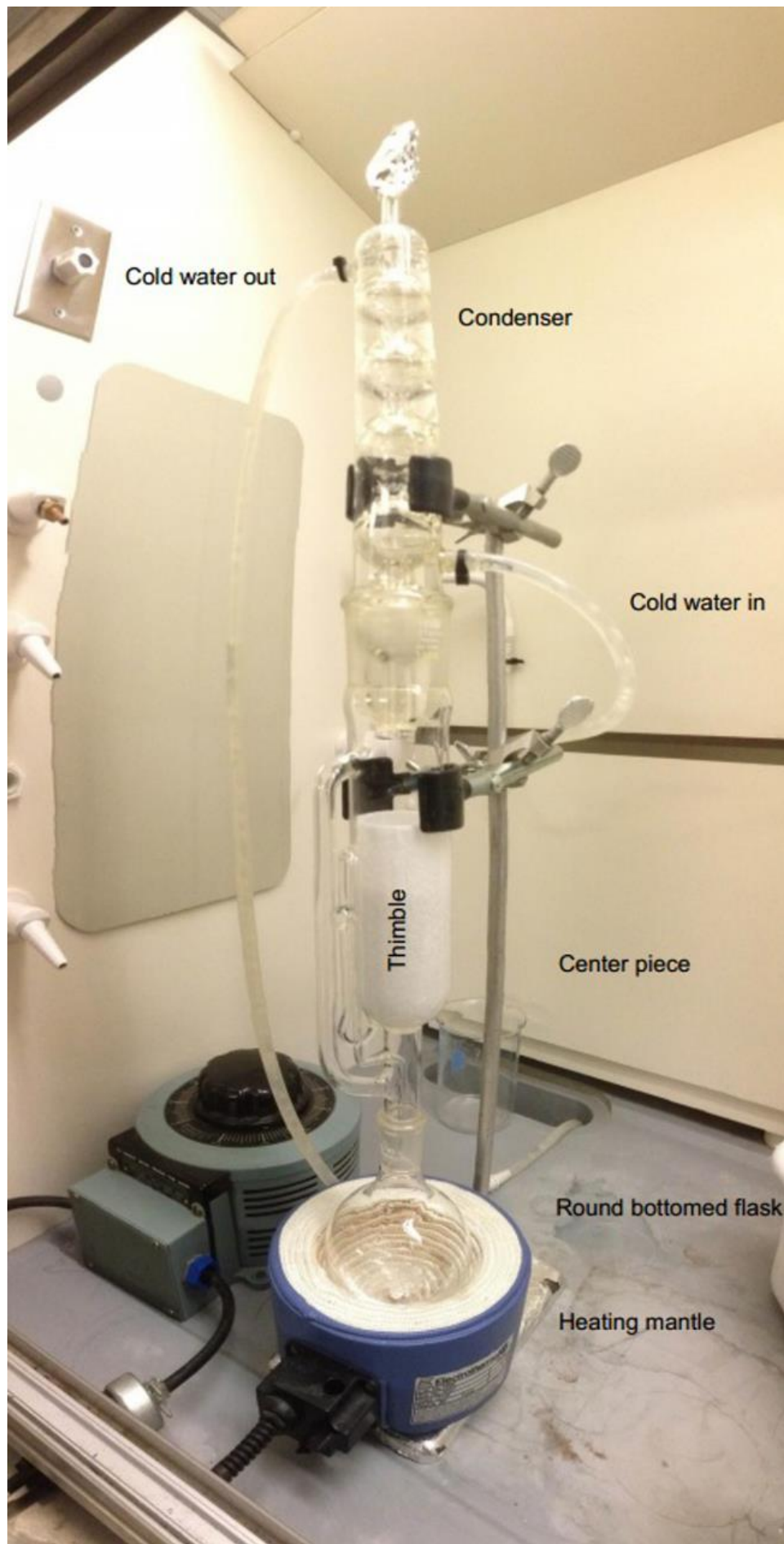


Figure II. 13 :Schéma d'un appareil de Soxhlet.

II.3.8 Le pressage

Le premier procédé qui fut utilisé pour extraire de l'huile à partir de graines oléagineuses est l'échaudage par voie humide [32] Il s'agit d'une méthode de séparation ancestrale développée dès le néolithique mais qui est toutefois toujours utilisée aujourd'hui dans certaines régions africaines. Elle consiste à porter à ébullition des graines broyées immergées dans l'eau et à récupérer l'huile qui surnage à la surface par décantation. Cela permet d'extraire entre 30 et 50% du contenu d'huile et s'applique principalement aux graines riches en huile, comme l'arachide. La partie solide est directement valorisable pour l'alimentation humaine [33] Par la suite, il fut observé qu'un simple chauffage de graines broyées engendrait un suintement d'huile à leur surface, pouvant être accentué facilement par l'application d'une pression modérée (Laisney, 1984). Cela marqua la naissance du pressage mécanique et entraîna dans un premier temps l'apparition de méthodes de compression archaïques. Des empilements de pierres furent par exemple utilisés pour exercer une pression sur des graines contenues dans un tronc d'arbre creusé. Khan and Hanna (1983) mentionnent également l'existence de presses rudimentaires, développées en Chine antique, permettant de développer une force de compression horizontale. Celles-ci sont appelées presses à cales [34].

II.8.1 Mécanisme de pressage

A l'origine, les mécanismes du pressage ont été étudiés dans les travaux de mécanique des sols dans le cadre de la compression unidirectionnelle des gâteaux de particules minérales [35.36] Pour ces particules, le pressage provoque l'expulsion du liquide et le réarrangement des particules solides, qui sont incompressibles. Les matériaux biologiques sont fréquemment considérés comme des systèmes triphasiques : en plus des phases solide et liquide, une phase gazeuse (de l'air) est présente. L'air se trouve entre les particules du tissu biologique. La dissipation de l'air, ainsi que le mécanisme de rupture cellulaire rendent le pressage de produits biologiques beaucoup plus complexe [37]. Lors d'une étude menée sur le pressage de graines oléagineuses ont développé un modèle, dénommé « Modèle à Trois Volumes Déformables » qui décrit les mécanismes de pressage des produits à structure cellulaire. Selon ce modèle, le liquide à extraire (huile, jus) se trouve dans les cellules (volume intracellulaire). L'espace entre les cellules forme le volume extracellulaire. L'air se trouve surtout dans le volume extraparticulaire. Lors du pressage, sous l'effet de la pression et de la déformation générale du gâteau, le liquide s'écoule du volume intracellulaire vers le volume extracellulaire, puis du volume extracellulaire vers le volume extraparticulaire [38].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES DE CHAPITRE II

[1]	F. Chemat, Eco-extraction du végétal procédés innovants et solvants alternatifs. Dunod, Paris, 2011
[2]	F.KAOUDJ ; H.ZIOUI « Propriétés inhibitrices de l'extrait de la plante d'ortie vis-à-vis de la corrosion de l'acier XC38 en milieu H2SO4 » Pour l'obtention du diplôme de master. Université A. M. OULHADJ – Bouira.2018\2019
[3]	R. N. Carvalho Jr., L. S. Moura, P. T.V. Rosa, M. A. A. Meireles, Supercritical fluid extraction from rosemary (<i>Rosmarinus officinalis</i>): Kinetic data, extract's global yield, composition, and antioxidant activity, J. of Supercritical Fluids 35 (2005), 197 204
[4]	Petko Ivanov PENCHEV, « Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes
[5]	S.BELGAID ; L .CHIKHOUN « ETUDE DE L'ACTIVITE ANTIMICROBIENNE ET ANTIFONGIQUE DES EXTRAITS DU PHLOMIS BOVEI DE NOE -PREPARATION D'UNE FORME PHARMACEUTIQUE- »mémoire de master. UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU. 2013
[6]	Dr. S. BENDIA « Polycopié du Cours: Techniques de séparation »(L2SA) Université Frère Mentouri Constantine 1.2019\2020.
[7]	R.LEHOUT ; M.LAIB « Comparaison de trois méthodes d'extraction des composés phénoliques et des flavonoïdes à partir de la plante médicinale : Artemisia herba alba Asso » Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master. Université des Frères Mentouri Constantine.2014\2015
[8]	Dr .H. BENABDALLAH « Polycopié du Cours: Techniques d'extraction, de purification et de conservation » Master I. Université Ferhat Abbas de Sétif.2015\2016.

[9]	A. Zaabar, « Utilisation de l'extrait de la plante d'ortie (<i>Urtica dioica</i> L.) Comme inhibiteur de corrosion de l'acier dans les milieux HCl 0,5 M et NaCl 3% », Mémoire de Magister, Université de Bejaia, 2010
[10]	
[11]	PDF Télécharger en fleurage Gratuit PDF PDFprof.com
[12]	Grunwald J. Janick C. guide de la phytothérapie. 2ème édition. Italie : marabout ; 2006.
[13]	Iserin P. Encyclopédie des plantes médicinales. 2ème édition. Londres : Larousse ; 2001
[14]	Haudret J-C. Bien se soigner par les plantes. 1ère édition. Paris : éd SOLAR ; 2004
[15]	L.OULLAI ; C.CHAMEK « Contribution à l'étude ethnopharmacognosique des plantes médicinales utilisées pour le traitement des affections de l'appareil digestif en Kabylie » Mémoire de fin d'études. Université Mouloud Mammeri .2018.
	TP
[17]	CH. Pierron. « Les huiles essentielles et leurs expérimentations dans les services hospitaliers de France : exemples d'applications en gériatrie-gérontologie et soins palliatifs ».Thèse de Doctorat. Université de Lorraine (France), 2014
[18]	L. Aliane, A-K. Amazouz. « Evaluation de l'activité antimicrobienne des huiles essentielles de <i>Mentha x piperita</i> L. et <i>Cupressus sempervirens</i> L ». Mémoire de master. Université de Tizi-Ouzou (Algérie), 2017
[19]	H-BELGHARBI, “ ”Etude de l'effet inhibiteur de corrosion de l'huile essentielle de Cyprès : Extraction, caractérisation et application “, Mémoire du Projet de fin d'étude 2ème Année Master, Université 8 mai 1945 Guelma ; 2020

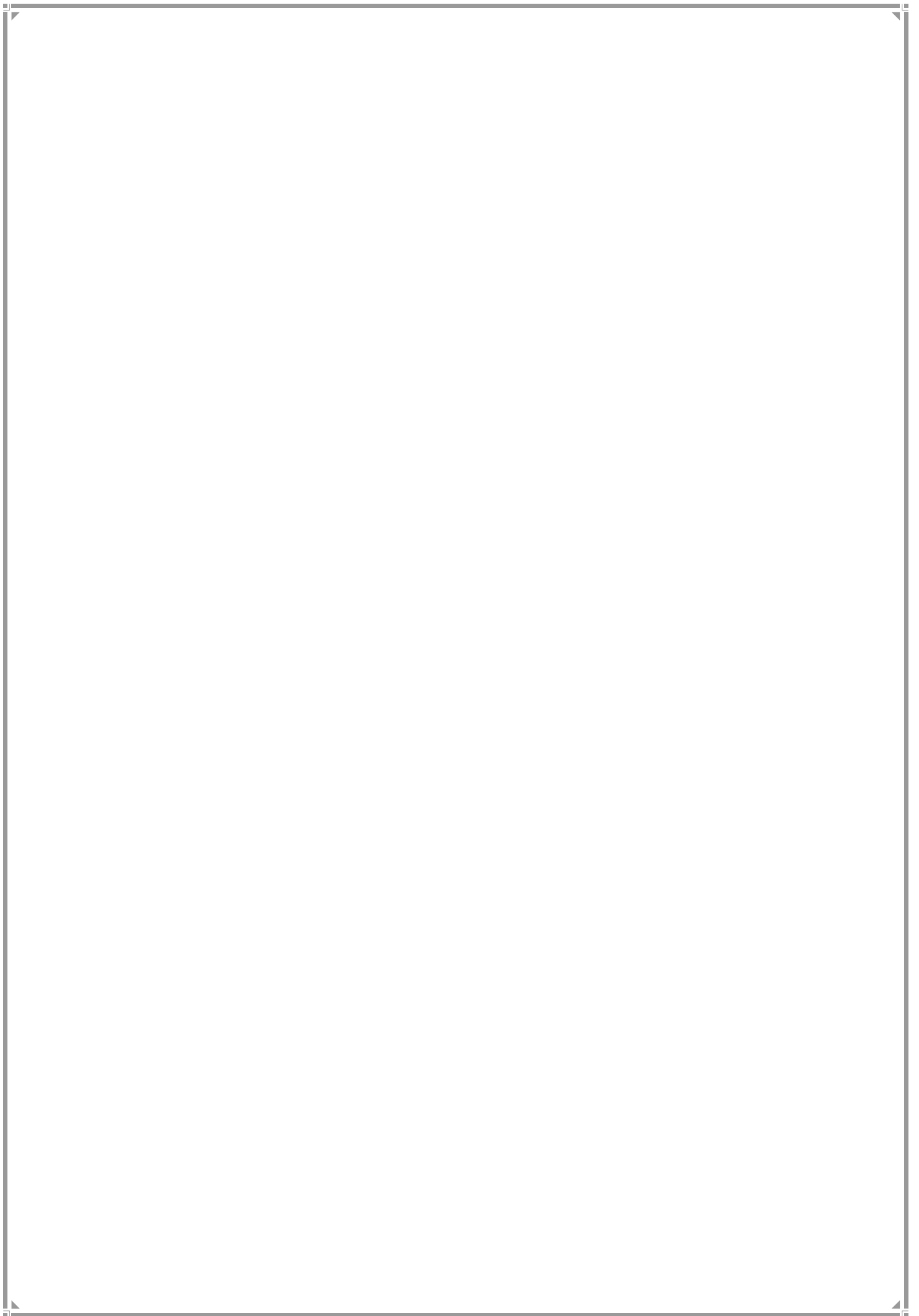
[20]	Dr. S. BENDIA « Polycopié du Cours: Techniques de séparation » (L2SA) Université Frère Mentouri Constantine 1.2019\2020
[21]	Dr. H. BENABDALLAH « CHAPITRE: METHODES DE SEPARATION »3ème année licence biologie et physiologie animale ; Université: Sétif 1
[22]	Simon Gravel «étude expérimentale de la filtration sous haute pression de résidus miniers en suspension » université du Québec à Chicoutimi, 2015
[23]	Dr. H. BENABDALLAH « CHAPITRE: METHODES DE SEPARATION »3ème année licence biologie et physiologie animale ; Université: Sétif 1
[24]	www .pdf.prof.com
[25]	www .pdf.prof.com
[26]	«Extraction liquide-liquide»; [en ligne] disponible sur le site : https://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich9_6.htm
[27]	« Fiche technique Extraction PDF » ;[en ligne]disponible sur le site : http://sciences-physiques-et-chimiques-de-laboratoire.org/mod/resource/view.php?id=1534&redirect=1 ; 18.10.2018
[28]	Mr El HABIRI Sid Ahmed «Extraction liquide ----liquide de Samarium liquide (III) par le D2EHPA, TBP, TOP, D2EHPA/TBP & D2EHPA/TOP et du Cuivre (II) par le D2EHPA » ; mémoire de master ; université abou-bakr belkaid de Tlemcen ;15 juin 2014
[29]	A. Afren « Etude expérimentale de l'effet de sel MgCl ₂ sur l'équilibre liquide-liquide du système binaire Eau+Butanone ». Mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra, 2019
[30]	B. Yopez, M. Espinosa, S. López and G. Bolaños, Producing antioxidant fractions from herbaceous matrices by supercritical fluid extraction, Fluid Phase Equilibria 194–197 (2002)879–884
[31]	N. HERZI « Extraction et purification de substances naturelles : comparaison de l'extraction au CO ₂ - supercritique et de techniques conventionnelles » thèse de doctorat, Université de Toulouse France, 2013

[32]	Bredeson, D. Mechanical oil extraction. Journal of the American Oil Chemists' Society 60, 211-213. 1983.
[33]	Laisney, J., L'huilerie moderne" Art et techniques".1984.
[34]	Laurine BOGAERT « Étude et modélisation du pressage continu des graines oléagineuses » Thèse de doctorat ; l'UTC 2017
[35]	Terzaghi K. (1942). Theoretical Soil Mechanics, Wiley, Chichester
[36]	Shirato M., Murase T., Iwata M., et Nakatsuka S. (1986). The Terzaghi-Voigt combined model for constant-pressure consolidation of filter cakes and homogeneous semi-solid materials, Chemical Engineering Science, 41 (12), 3213-3218.
[37]	Rebouillat S. (1983). Déshydratation par filtration-pressage, Thèse de Doctorat, Institut ational Polytechnique de Lorraine, Nancy, France
[38]	Iurie PRAPORSCIC « Influence du traitement combiné par champ électrique pulsé et chauffage modéré sur les propriétés physiques et sur le comportement au pressage de produits végétaux » thèse de doctorat, L'UTC, 2005.

Chapitre III

Résultats et discussions





III. Introduction

Ce travail a été réalisé au laboratoire pédagogique au niveau de l'université d'Abbas laghror kenchela. La technique expérimentale appliquée dans notre travail pour évaluer la corrosion est : la technique de la masse perdue. L'objectif est consacré à l'étude de l'inhibition de la corrosion d'un acier dans une solution acide HCl. (1M)

III .1 .Matériel utilisé :

III.1.1 Matériel végétal:

La plante utilisée dans notre travail est Les graines de lin (figure III. 1). Ces graines sont broyées en poudre fine à l'aide d'un broyeur électrique.



Figure III. 1: les graines de lin

III.1.1.1 Présentation de la plante :

Le lin, *Linum usitatissimum*, est une angiosperme eudicotylédone de la famille des linacées. Elle appartient au genre *Linum* qui comprend plus de trois cents espèces. Les plantes de lin possèdent une racine pivotante, pouvant atteindre 150 cm de profondeur, pourvue de nombreuses radicelles. Les feuilles sont sessiles, linéaires-lancéolées. L'inflorescence, en forme de cyme ou de grappe terminale, possède des fleurs hermaphrodites et hypogynes à 5 sépales, 5 pétales, 5 étamines et un pistil formé de 5

carpelles séparés par des fausses cloisons. Le fruit est une capsule à 5 loges contenant au maximum 10 graines. Ces dernières sont ovales, lenticulaires, d'environ 5 mm de long (**Fig. III. 2**) [1].



Figure III. 2: Morphologie d'une plante de lin.

III.1.1.2 La composition du lin:

La composition du lin varie selon la variété et les facteurs environnementaux [2] Les graines de lin sont composées majoritairement d'huile (30 à 45 %), de protéines (10 à 30 %) et de fibres alimentaires (25-32 %), mais également de composés secondaires [2 ; 3] Les graines de lin présentent également des teneurs élevées en lignane et notamment en SDG (secoisolaricirésinol di-glucoside), 75 à 800 fois plus que dans les autres graines oléagineuses [4] ;

Les téguments sont composés majoritairement de polyphénols et de composés glucidiques (mucilage) alors que l'embryon est composé majoritairement d'huile et de protéine **Tableau III .1.**

Humidité	Protéine	Lipide	Fibre	Cendre
4-8	20-25	30-40	20-25	3-4

Tableau III .1 : Composition chimique (%) des grains de lin [3 ; 5].

III.1 .2 L'acier utilisé:

L'acier est un alliage métallique constitué principalement de fer et de carbone, dans des proportions comprises entre 0,02% et 2% en masse. C'est essentiellement la teneur en carbone qui confère à l'alliage les propriétés du métal qu'on appelle « acier ». Il existe d'autres métaux à base de fer qui ne sont pas des aciers comme les fontes et les ferronickels par exemple [8].

III.2Extraction avec l'eau chaude (extraction solide/liquide) :

Cette méthode d'extraction a été effectuée selon le protocole décrit par la **figure III .3.**

- ✓ Peser 15 gramme de la matière végétale ;
- ✓ Ajouté la matière végétale broyée au 300 ml eau distillée puis agiter manuellement et doucement,
- ✓ Chauffer le mélange dans un bain-marie à 80 °C pendant 60 minutes.
- ✓ Laisser le mélange refroidir à la température ambiante ;
- ✓ Filtrer sur un papier filtre Wathman n°1 ;
- ✓ Le filtrat obtenu sont placés dans un récipient [6]
- ✓ Filtration et récupération du filtrat ;
- ✓ Le filtrates évaporé à sec ;
- ✓ Le produit est récupère sur les parois de ballon d'évaporation [7]



Figure III. 3 : Evaporateur rotatif

1. Réfrigérant
2. Ballon de récupération
3. Ballon d'évaporation
4. Bain-marie

III. 3 Conditions expérimentales dans laboratoire :

III.3.1 Préparation des échantillons et polissage :

III.3.1.1 Préparation des échantillons :

Le matériau utilisé dans notre travail est l'acier. Ce dernier a été obtenu sous forme des plaques de différentes dimensions

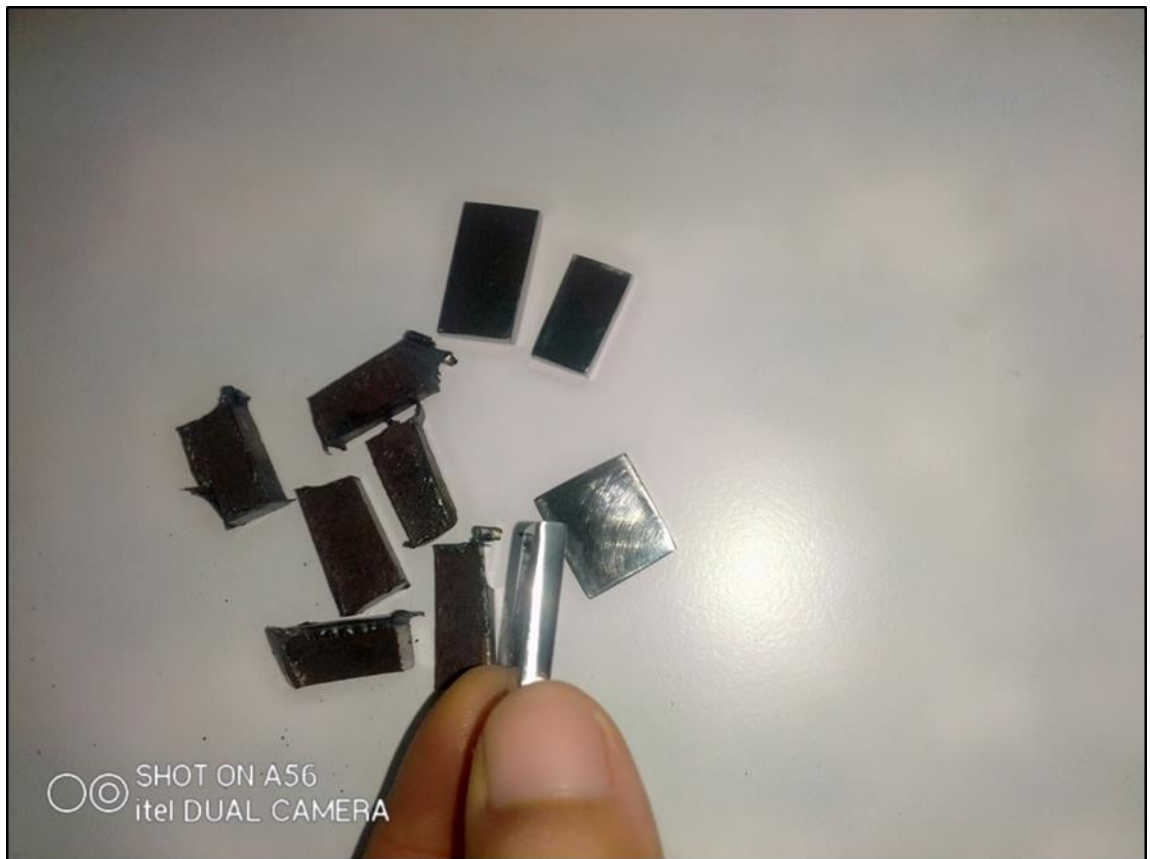


Figure III.4 : la forme et les dimensions de plaquettes

III.3.1.2 Préparation des surfaces :

Puisque la corrosion est un phénomène interracial entre le métal et son environnement, alors l'état de surface joue un rôle très important dans le comportement du métal vis-à-vis de la corrosion. La préparation des surfaces d'échantillon a été effectuée en utilisant le matériel suivant : Une polisseuse mécanique, papier abrasif et l'eau distillée.



Figure III.5 : Une polisseuse

L'opération de polissage a été effectuée avec du papier abrasif de différentes granulométries : 40, 120, 240, 400, 600 et 1000 afin d'obtenir un état de surface adéquat. Ensuite, les échantillons ont été lavés avec une solution savonneuse, puis rincés avec l'eau distillée et séchés.



Figure III. 6 : L'opération de polissage avec du papier abrasif de différentes granulométries

III .4 Matériels utilisée

- ✚ Balance analytique
- ✚ Papiers abrasifs avec les numéros suivants : 40, 120, 240, 400,600 et 1000
- ✚ Les échantillons en acier
- ✚ Un fil en nylon très mince pour suspension des échantillons
- ✚ Bécher
- ✚ Appareil de polissage



Figure III. 7: pied à coulisse

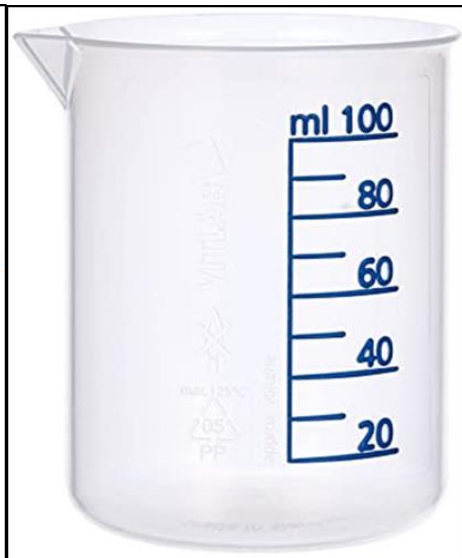


Figure III .8: bécher



Figure III.9 : Balance analytique

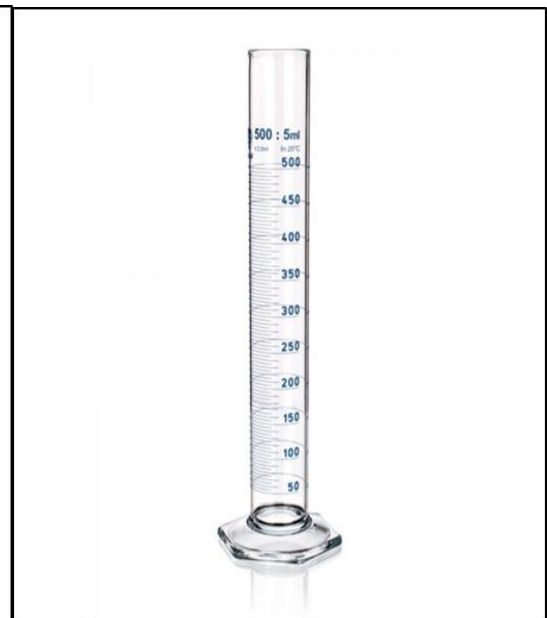


Figure III .10: Eprouvette

III.5 Les produits utilisés :

III.5.1 Préparation le milieu corrosif :

- ✚ Le milieu corrosif est une solution d'acide chlorhydrique 1M, obtenue à partir de l'acide concentré commerciale de HCl à 37% (Merck).
- ✚ Les essais ont été effectués dans un mileau HCl 1M et avec différentes concentrations de l'extrait de une plante [9] « les graines de lin » (0,5 g /l ; 1 g /l ; 1,5 g/l ; 2 g/l ; 3g/l).

III.5.2 Mode opératoire :

- Après le polissage des échantillons, ses surfaces doivent être nettoyées avec l'eau distillée.
- Pèse avant d'immerger dans le milieu.
- Plonge échantillons en milieu (HCl avec et sans inhibiteurs) dans une suspension en nylon pour les temps immersion différents.
- Pèse après d'immerger dans le milieu.



Figure III.11: échantillons de l'acier immergé dans une solution corrosive



Figure III.12 : échantillons de l'acier immergé dans une solution (HCL+ inhibiteur)

III.6 Méthode de la masse perdue.

Méthode par perte de masse Cette méthode consiste à exposer des échantillons à un milieu corrosif pendant un temps déterminé et à mesurer la différence de masse des échantillons avant et après chaque essai. [10]

III.6.1 La valeur de la perte de masse :

$$\Delta M = M_1 - M_2$$

La vitesse de corrosion :

$$V = \Delta M / S \cdot t \text{ ((mg/cm}^2 \cdot \text{min))}$$

S : la surface de l'échantillon

T : temps d'immersion (unité (h))

Le rendement d'inhibition est calculé à partir de la relation suivant :

$$\theta (\%) = [(V - V') / V] \times 100$$

V : la vitesse de corrosion sans inhibiteur

V' : la vitesse de corrosion en présence d'inhibiteur

III.6.2 Principe :

La mesure des pertes de masse représente une première alternative dans l'étude de l'inhibition de la corrosion d'un métal dans une solution électrolytique. Cette méthode caractérisée par sa mise en œuvre relativement simple, ne nécessite pas un appareillage important [11].

III.7 Résultats et discussion

III.7.1 Teste d'immersion

L'effet du temps d'immersion, dans un intervalle de 1 à 240 heures, a été examiné par la méthode de la perte de masse. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau et la figure (III .13),A partir de ces résultats nous remarquons dans la courbe ci –dessus une diminution complète du taux de corrosion de l'acier due à la formation d'une couche protectrice à la suite de l'interaction de l'acier avec HCL jusqu'à ce qu'elle soit quasiment absente au bout de 48heures puis augmente en progressivement en raison de la disparition de la couche de protection résultant de l'interaction Cl avec fer.

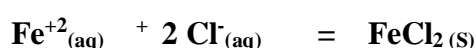


Tableau III.2 : Vitesse de corrosion de l'acier dans une solution (1 M) HCl, durée 10 jours,

Temps de Corrosion (h)	Masse avant Test (mg)	Masse après Test	Δm (mg)	Surface Exposée S (cm ²)	$v_{corr} = \frac{\Delta m}{st}$
1	6100	6098	2.4	6.388	0.375
2	7429	7426	2.7	7.648	0.176
3	8639	8623	17.4	9.412	0.616
4	8435	8432	3.3	8.302	0.099
24	8613	8574	3.9	9.576	0.016
48	6028	5961	66.3	7.509	0.183
72	6946	6842	104.2	8.853	0.163
120	11635	11204.4	430.6	10.55	0.340

240	7522	7101	421	7.99	0.219

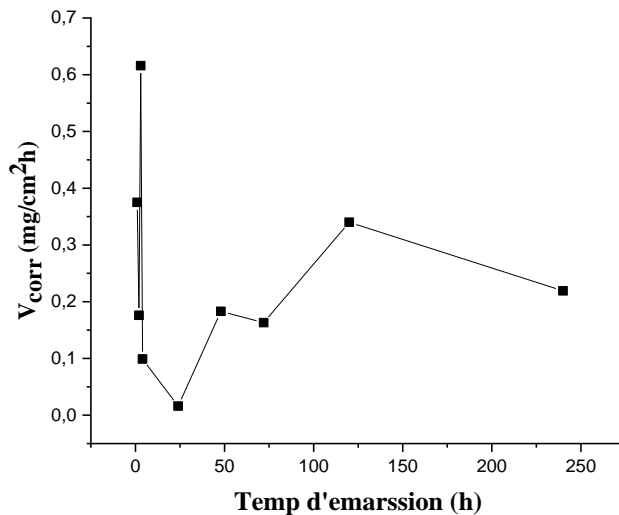


Figure III .13 : Courbes de la Vitesse de corrosion de l'acier dans une solution (1 M) HCl, durée 10 jours

Tableau III. 3 : la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après l'ajoute d'inhibiteur à une concentration de 50 mg/l, Surface Exposée S=8,102 (cm²) et masse avant test m= 8968,4 (mg) durée 15 jours,

Temps	1J	3J	6J	7J	9J	13J	14J	15J
Δm (mg)	8,5	20,6	36,4	43,2	56,4	93,3	102,7	114,1
V'_{corr}	0,043713	0,03531	0,03119	0,03173	0,03222	0,0369	0,03772	0,03911

Tableau III .4 : la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après ajout d'inhibiteur à une concentration de 100 mg/l, SurfaceExposée S= 6,818(cm²) et masse avant test m=5915,2 (mg) durée 15 jours,

Temps	1J	3J	6J	7J	9J	13J	14J	15J
Δm (mg)	4,4	10,3	18,9	22,2	28,9	37,9	40,4	43,2
V'_{corr} $\frac{\Delta m}{st}$	0,0268 89	0,02098 2	0,01925 0	0,01938 1	0,01962 3	0,01781 6	0,01763 5	0,01760 0

Tableau III.5: la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après ajout d'inhibiteur à une concentration de 150 mg/l, Surface

Exposée $S= 5,752$ (cm²) et masse avant test $m= 5038,4$ (mg), durée 15 jours,

Temps	1J	3J	6J	7J	9J	13J	14J	15J
Δm (mg)	5,4	13,9	30,0	34,8	41,4	55,9	59,3	64,4
V'_{corr} $\frac{\Delta m}{st}$	0,0391 16	0,03356 3	0,03621 9	0,03601 2	0,03332 1	0,03114 8	0,03068 2	0,03110 0

Tableau III .6 : la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après ajout d'inhibiteur à une concentration de 200 mg/l, Surface

Exposée $S= 5,774$ (cm²) et masse avant test $m= 4910,8$ (mg) durée 15 jours,

Temps	1J	3J	6J	7J	9J	13J	14J	15J
Δm (mg)	4,9	15,5	38,7	46,1	54,1	79,2	86,3	92,9
V'_{corr} $\frac{\Delta m}{st}$	0,0281 43	0,02910 5	0,03355 5	0,03350 4	0,03167 1	0,03347 2	0,03412 2	0,03454 1

Tableau III .7 : la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après ajout d'inhibiteur à une concentration de 300 mg/l, Surface

Exposée $S= 7,846$ (cm²) et masse avant test $m= 7353,6$ (mg) durée 15 jours,

Temps	1J	3J	6J	7J	9J	13J	14J	15J

Δm (mg)	4,9	15,5	38,7	46,1	54,1	79,2	86,3	92,9
V'_{corr} $\frac{\Delta m}{st}$	0,026 021	0,02743 7	0,03425 3	0,03497 3	0,03192 2	0,03235 3	0,03273 5	0,03289 0

Tableau III.8 : la vitesse de corrosion de l'échantillon en solution acide (1 M) HCl après ajout d'inhibiteur à une concentration de 500 mg/l, Surface

Exposée $S=6,59$ (cm²) et masse avant test $m=5598,7$ (mg) durée 15 jours,

Temps	1J	3J	6J	7J	9J	13J	14J	15J
Δm (mg)	4,0	15,5	34,5	43,3	48,6	77,6	82,8	88,1
V'_{corr} $\frac{\Delta m}{st}$	0,025 290	0,0326 67	0,0363 55	0,0391 10	0,0341 42	0,0377 41	0,0373 94	0,0371 35

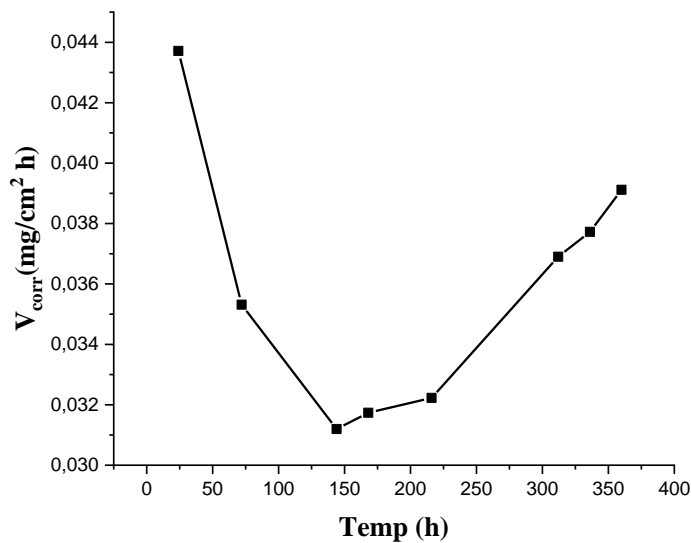


Figure III. 14: la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [0,5 g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,

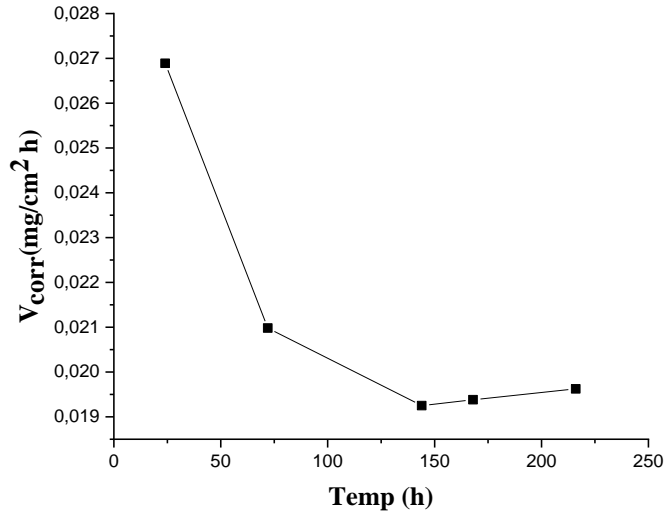


Figure III.15 :la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [01g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,

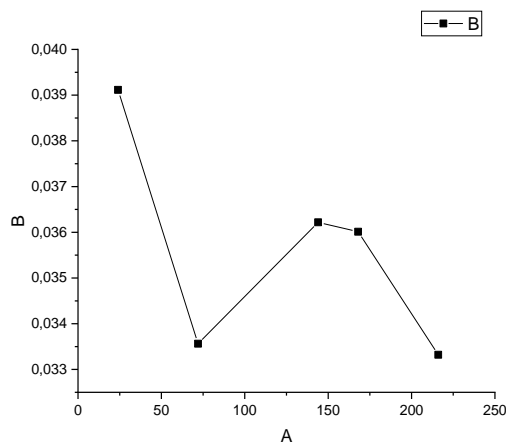


Figure III .16 :la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [1,5 g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,

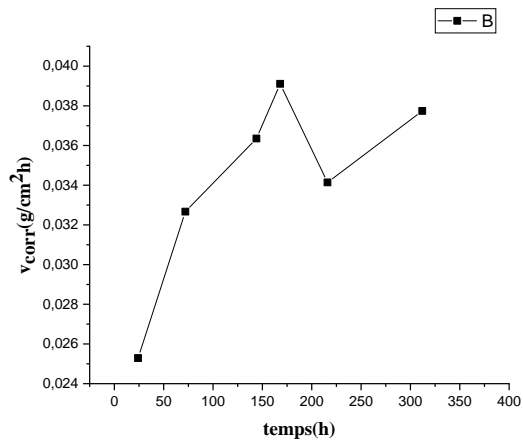


Figure III.17 : la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [2g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,

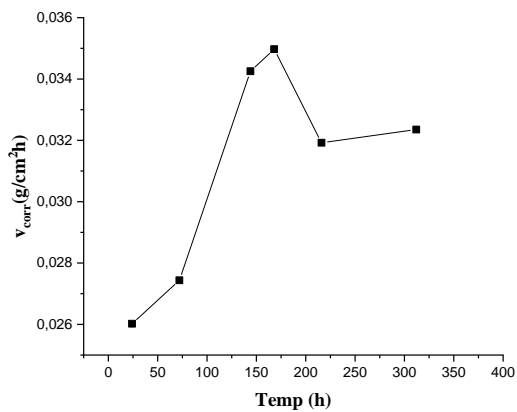


Figure III 18 :la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [0.3g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,

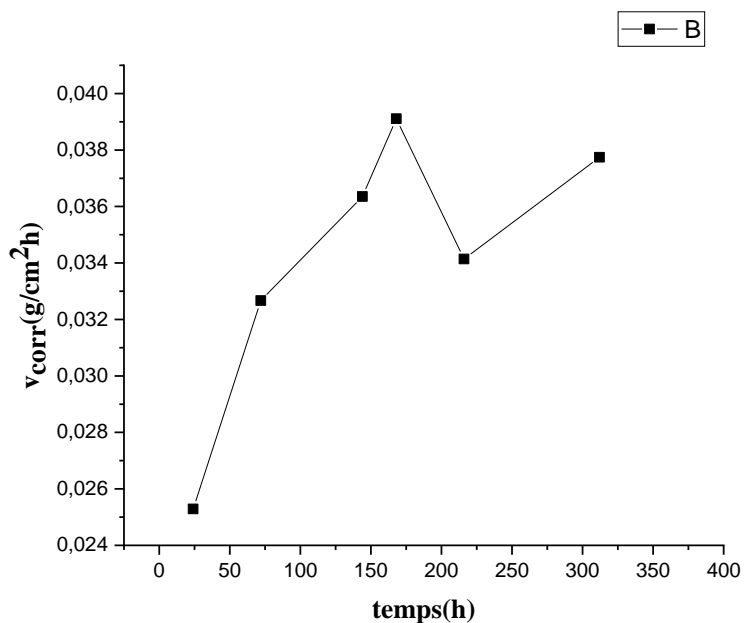


Figure III. 19 : la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1M hcl, en présence de [5 g/l] concentration d'extrait grain de lin après 15 jours d'immersion,

Interprétation des résultats

L'ensemble des résultats obtenus en présence de différentes concentrations de l'extrait (grain de lin) dans un milieu de HCl 1M ; sont présentés sur la figure 20.

L'analyse des résultats obtenus montre que l'inhibiteur possède des propriétés anticorrosives de l'acier dans les six milieux de (0,5g/l, 1g/l, 1,5 g/l, 2g/l, 3g/l et 5g/l) où l'on note sur la courbe ci-dessous que l'efficacité inhibitrice est optimale à (1g/l), puis diminue avec d'autres concentrations.

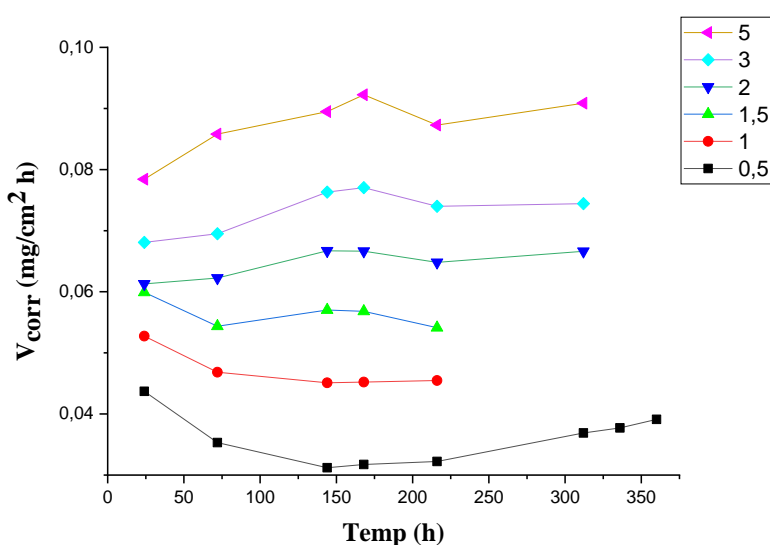


Figure III.20 : courbe de L'ensemble des résultats obtenus de la perte de mass

III.7.2 Effet de la concentration

Tableau III .9 : la vitesse de corrosion de l'acier dans une solution 1 M HCl après ajout d'inhibiteur à différentes concentration, durée 3 jours

Extrait en mg /l	Surface Exposée S (cm ²)	Masse avant Test (mg)	Masse après Test (mg)	v_{corr} (mg/h.cm ²)
50	8,102	8968,4	8947,8	0,031199
100	6,818	5915,2	5904,9	0,019250
150	5,752	5038,4	5024,5	0,036219

200	5,774	4910,8	4898,7	0,033555
300	7,846	7353,6	7338,1	0,034253
500	6,59	5598,7	5583,2	0,036355

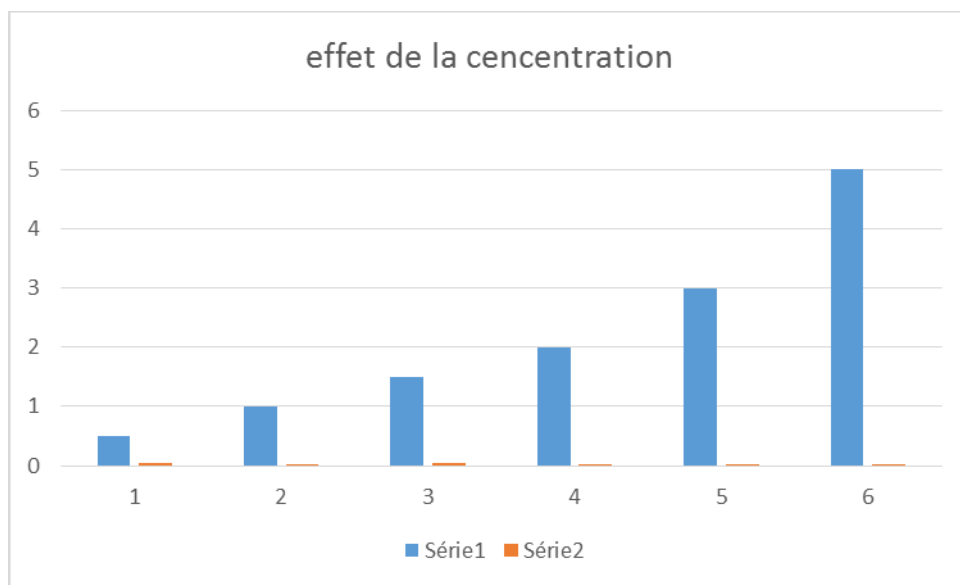


Figure III .21 : Histogramme comparatif entre l'efficacité obtenu par les mesures de la masse perdue et la concentration ; durée 3 jours

✚ Selon la **Figure III .21** qui présente le histogramme des résultats de l'efficacité inhibitrice nous constatons qu'il y a un bon accord entre les valeurs déterminées par les mesures de la masse perdue et la concentration.

III.8 Mécanisme d'adsorption

Les valeurs des paramètres d'adsorption déduites de diverses isothermes d'adsorption et les coefficients estimés d'inhibiteur étudié dans HCl 1M Sont donnée par les équations suivantes [12 ; 11]:

$$\frac{C_{inb}}{\theta} = C_{inb} + \frac{1}{K_{ads}} \quad \text{(III, 1) Langmuir}$$

$$C \cdot K_{ads} = \exp(-)2\alpha\theta \quad \text{(III, 2) Temkin}$$

$$C. K_{ads} = \frac{\theta}{1-\theta} \exp(2a\theta) \text{ (III, 3) Frumkin}$$

Les résultats obtenus sont regroupés dans **Tableau III. 10** sous forme graphique par ajustement avec l'isotherme de Langmuir, Temkin et Frumkin correspondantes aux (**Figures III .22, 23, 24**) Afin de connaître la nature du modèle d'adsorption.

$C_{inh} \text{ (Mg /l)}$	$\ln C_{inh}$	V'_{corr}	E%	$\ln(C(1-\theta)/\theta)$	$\frac{C_{inh}}{\theta\%}$
0	0	0	100		
50	3,91	0,043713	88,34	1,886	0,566
100	4,60	0,026889	92,82	1,352	1,0773
150	5,01	0,039116	89,56	2,861	1,6748
200	5,29	0,028143	92,49	2,787	2,1624
300	5,703	0,026021	93,06	3,107	3,2237
500	6,21	0,025290	93,25	3,588	5,3619

Tableau III. 10: Paramètres de l'inhibition de la corrosion de l'acier par l'inhibiteur (grain de lin) dans 1M HCl (la vitesse de corrosion sans inhibiteurs égale 0.375 =cst).

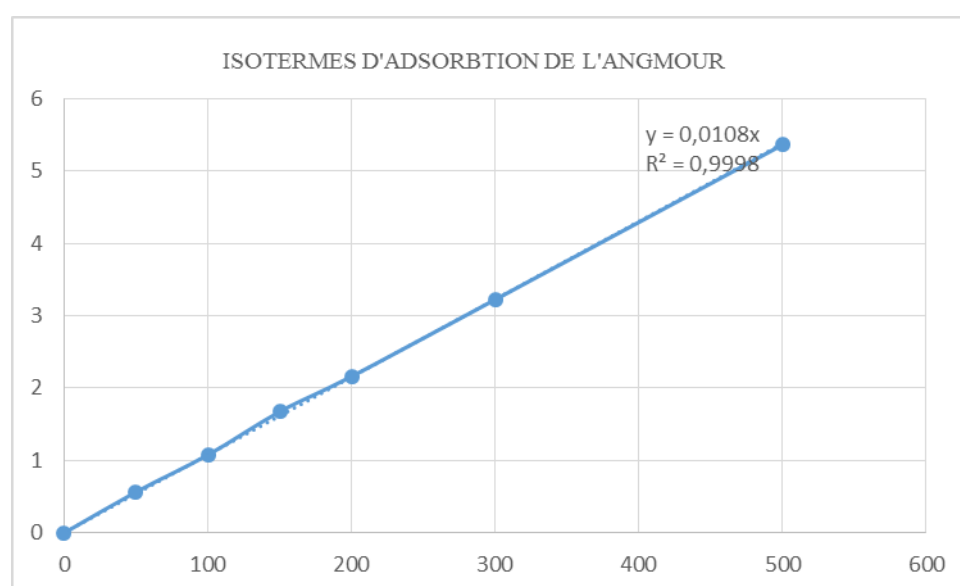


Figure III .22 : Courbe Isotherme d'adsorption de Langmuir de l'acier dans HCl (1 M) en présence de L'inhibiteur à concentration différentes.

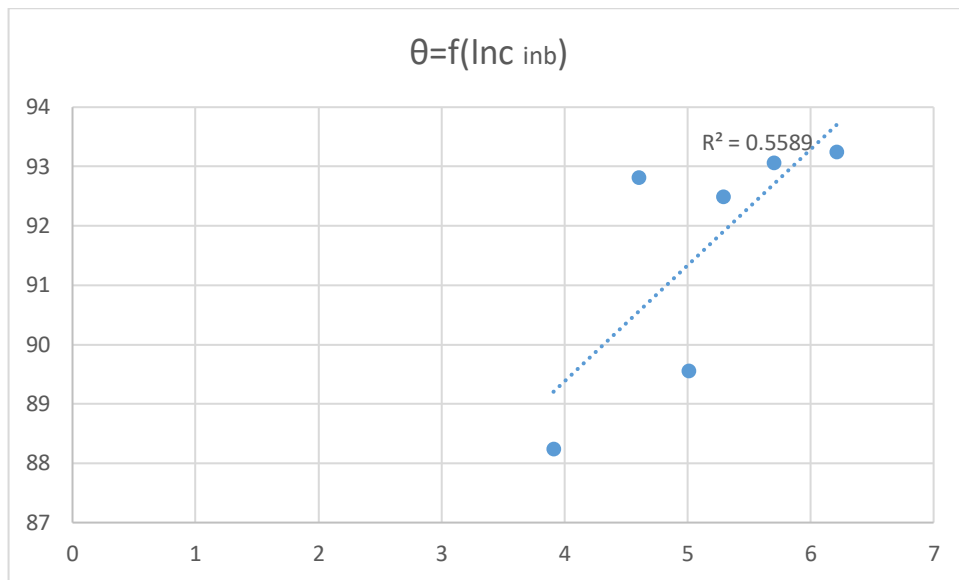


Figure III.23 : Isothermes d'adsorption de Temkin pour l'inhibiteur sur l'acier dans 1M HCl à différentes concentrations

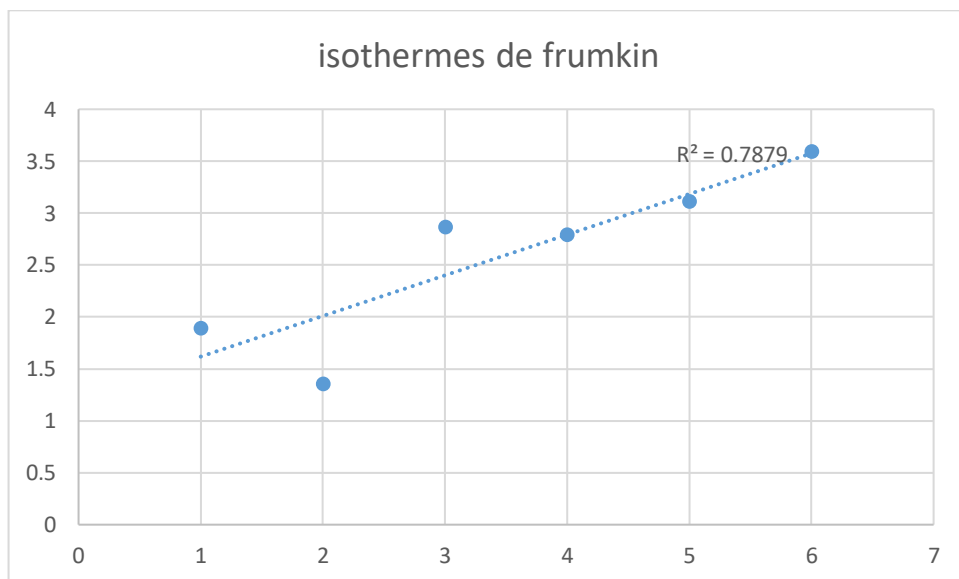


Figure III.24 : Isothermes d'adsorption de Frumkin pour l'inhibiteur sur l'acier dans 1M HCl à différentes concentrations

D'après les résultats de coefficient de corrélation supérieurs à 0.928 **Tableau III 5**

La valeur de la pente est proche de 1 confirmant que l'adsorption des inhibiteurs obéit à l'isotherme de Langmuir (linéaire).

III.9 Effet de la température

Pour mieux comprendre le comportement d'un matériau dans un milieu agressif et la nature de l'interaction métal/inhibiteur dans ce milieu, il est indispensable d'étudier l'effet de la température, étant donné que la température est l'un des facteurs susceptibles de modifier le comportement d'un matériau dans un milieu corrosif, et de modifier aussi la nature de l'interaction métal /inhibiteur .pour cela ,nous avons fait des études à différentes températures ,allant de 25 à 50 °pendant une durée d'immersion de trois heures dans l'acide HCl de concentration égale à 1 M ,afin de déterminer la vitesse d'attaque de notre échantillon en fonction de la température .les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant:

Température	V_{corr}
25	1,3
30	5,8
35	22,09
40	34,73
45	143,52
50	140,33

Tableau III. 11 : Variation de l'efficacité inhibitrice en fonction de la température

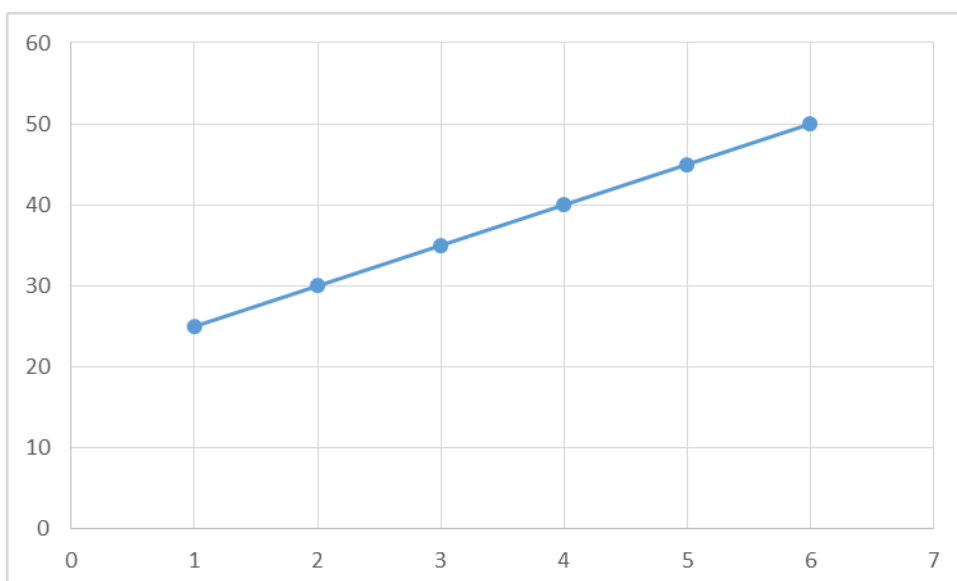
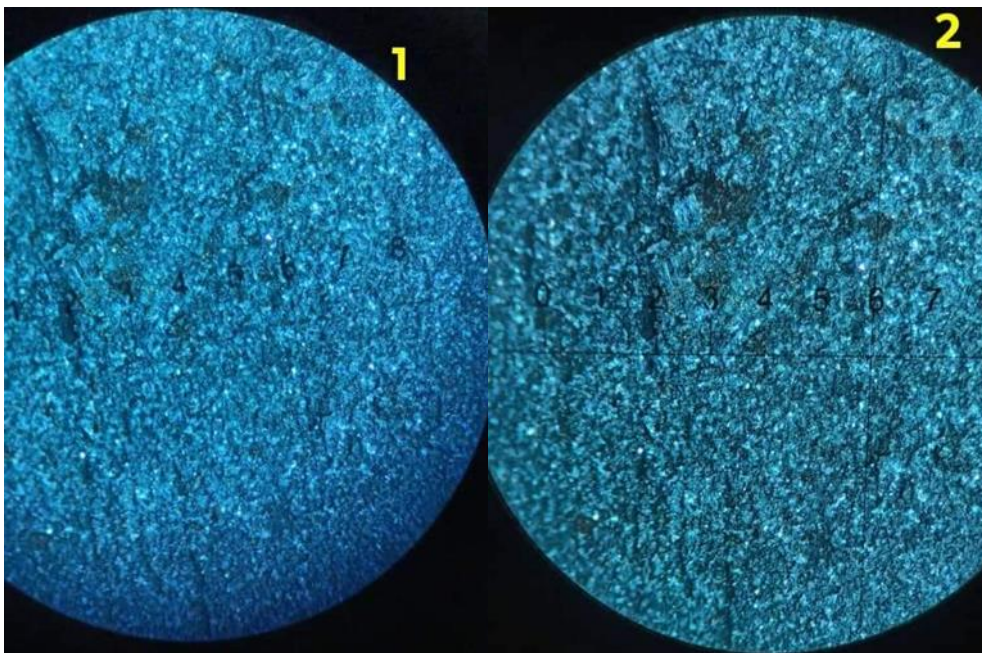


Figure III 25 : courbe de Variation de l'efficacité inhibitrice en fonction de la température

III.10 La morphologie de produit de corrosion

L'étude de la morphologie de la surface de l'acier après polissage et immersion dans l'acide HCl [1M] en absence et en présence d'inhibiteur, est un complément puissant aux constatations déjà faite lors de l'étude de la masse perdu. L'examen des images permettre de confirmer, d'une manière décisive l'efficacité inhibitrice par formation d'un film protecteur.

Il est évident d'après la **figure III.(1)(2)**, que la surface de l'acier immergée dans un milieu acide est fortement endommagée et l'acier subit une forte dissolution..La surface de l'acier est rugueuse et très poreuse avec des trous larges et profonds (**figure III. (1 ;2)**), par rapport à la surface de l'acier avec l'ajout l'inhibiteur. Il est très clair sur la **figure III.(3)** que l'ajout du inhibiteur dans un milieu corrosif, arrête la dissolution et par conséquence la corrosion du métal.



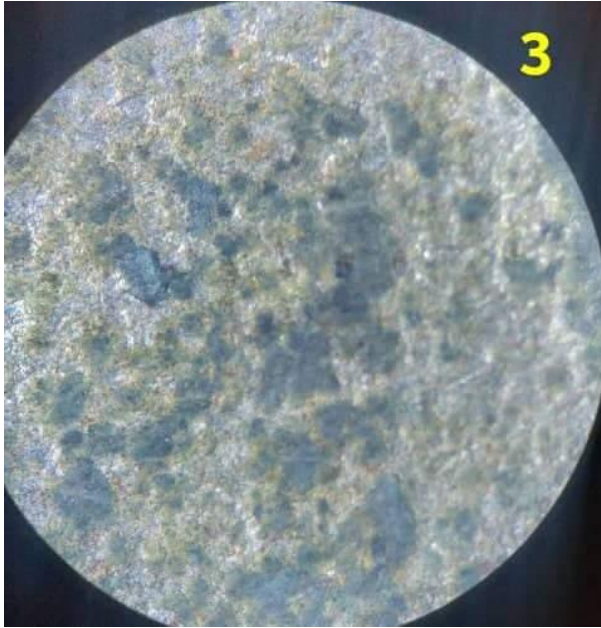


Figure III.26 : Image optique de Acier (1) (2), dans HCl 1M,(3) en présence d'inhibiteur.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES DE CHAPITRE III

[1]	HAL Id: tel-02307301 https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02307301 Submitted on 7 Oct 2019
[2]	Daun J, Barthet V, Chornick T, Duguid S. 2003. Structure, composition and variety development of flaxseed. In: Thompson, L., Cunanne, S. edition. Flaxseed in Human Nutrition. Second Edition Champaign, Illinois, p1-40.
[3]	Coşkuner Y, Karababa E. 2007. Some physical properties of flaxseed (<i>Linum usitatissimum</i> L.). <i>Journal of Food Engineering</i> , 78(3), 1067-1073.
[4]	Nesbitt P.D, Lam, Y, Thompson L.U. 1999. Human metabolism of mammalian lignan precursors in raw and processed flaxseed. <i>The American journal of clinical nutrition</i> , 69(3), 549-555.
[5]	Mlle MESSAOUDI .A « Contribution à l'étude de la qualité de l'huile de lin <i>linum usitatissimum</i> par des méthodes physico chimiques » Mémoire de Master, Université ABOU BEKR BELKAID-Tlemcen, 2017.
[6]	R.LEHOUT ; M .LAIB « Comparaison de trois méthodes d'extraction des composés phénoliques et des flavonoïdes à partir de la plante médicinale : <i>Artemisia herba alba</i> Asso » Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master. Université des Frères Mentouri Constantine.2014\2015
[7]	Mr HADJ MOUSSA ALI « Contribution à l'étude in vitro de l'effet des extraits de feuilles de <i>Retama raetam</i> sur l'activité de l' α -amylase » Mémoire de fin d'étude. Université Abou bekr belgaid. 2012
[8]	M. Amine Khenadeki, Étude théorique et expérimentale de l'effet d'inhibition de la corrosion d'un acier au carbone par les dérivées de base de schiff en milieu acide chlorhydrique ,mémoire de magister ,université de Tlemcen, 2013
[9]	A. Dakhli ; A. Douichine « Étude de l'efficacité inhibitrice de la plante <i>Ephédra major</i> utilisée comme inhibiteur de la corrosion de l'acier au

	carbone dans un milieu acide » Mémoire de master ; Université Larbi Tébessa – Tébessa .2020.
[10]	S.MANAA et KH .SETTOU « La synergie des sels phosphonim contre la corrosion »Mémoire de master. Université de Ghardaïa. 2019
[11]	M. Yadav, S. Kumar, N. Tiwari, I. Bahadur, E.E. Ebenso, —Experimental and quantum chemical studies of synthesized triazine derivatives as an efficient corrosion inhibitor for N80 steel in acidic medium, Journal of Molecular Liquids , vol. 212, (December (2015), PP. 151–167.
[12]	K-DOB « Etude électrochimique de l’efficacité inhibitrice de substances Vertes sur la corrosion de l’acier au carbone dans un milieu aqueux. » thèse de doctorat, Université 20 Août 1955 Skikda, 2018

Conclusion générale

Les inhibiteurs de corrosion constituent un moyen de lutte contre la corrosion des métaux et des alliages ; l'originalité de cette méthode provient du fait que le traitement anticorrosion ne se fait pas sur le métal lui-même, mais par l'intermédiaire du milieu corrosif. Les molécules inhibitrices peuvent agir suivant différents mécanismes, leur conférant ainsi des performances d'inhibition du milieu d'étude.

L'inhibiteur synthétisé au laboratoire ont permis de réduire notablement la corrosion de l'acier en milieu acide. Toutefois, leurs toxicités élevées et leurs impact sur l'environnement ont favorisé l'utilisation de plus en plus importante d'une nouvelle génération d'inhibiteurs extraits à partir de plantes, qui se distinguent d'une part par des efficacités inhibitrices l'acier en milieu acide très élevées pouvant atteindre les 99 %, et d'autre part par leur effet écologique, respect des normes de santé et d'environnement

L'influence de l'addition d'extrait de graines de lin sur la corrosion de l'acier en milieu HCl 1M a été étudiée par la méthode de la masse perdue. Nous pouvons conclure que :

La valeur optimal de l'efficacité inhibitrice est 1g/l et atteint l'ordre de 92,82% pour le grain de lin

« دراسة الكفاءة المثبطة لممانع تآكل الصلب في وسط حمض الهيدروكلوريك »

ملخص

التآكل هو الهدم التلقائي للمعدن نتيجة تفاعله مع البيئة المحيطة به، ويعتبر عملية مستمرة لا يمكن التخلص منها بسهولة وهو ظاهرة ذات أهمية كبيرة خاصة من حيث تأثيرها على مختلف نشاطات الانسان حيث تم الاهتمام بدراسة مشكلة التآكل واخذها بعين الاعتبار منذ فترة طويلة، وذلك باستعمال مثبطات فعالة ورخيصة الثمن. في هذا العمل نهدف الى إيجاد وسيلة للحد من تآكل الفولاذ باستخدام الكيمياء الخضراء باستخراج مثبط التآكل من "بذور الكتان" واستعماله بتركيز مختلفة في محلول حمض كلور الهيدروليك HCl ذو تركيز 1 mol. قمنا في هذه الدراسة باستعمال تجربة الكتلة المفقودة وتحصلنا على نتائج إيجابية

الكلمات المفتاحية: التآكل، مثبط التآكل، فولاذ

« Etude de l'efficacité inhibitrice d'une plante sur la corrosion d'acier en milieu HCl »

Résumé

La corrosion est une démolition automatique du métal en raison de son interaction avec le milieu environnant et , est un procédé continu ne peut pas être éliminé facilement, et c'est un phénomène d'une grande importance surtout en fonction de leur impact sur les diverses activités humaines où le problème s'est intéressé à la corrosion de l'étude et pris en compte Depuis longtemps. En utilisant des inhibiteurs efficaces et le prix pas cher.

Dans ce travail, nous vous proposons de trouver un moyen de réduire la corrosion l'échantillon d'acier et l'utilisation de la chimie verte pour extraire un inhibiteur de corrosion de plante « grain de lin » et utilisés à différentes concentrations dans la solution (Hcl) d'acide chlorhydrique de concentration 1M

L'étude a été réalisée par la méthode de perte de masse (changement de concentration d'inhibiteur).

Mots clés : corrosion, inhibiteur de corrosion, alliage d'acier

« Study of the inhibitory effective of a inhibitor steel corrosion in HCl medium »

Abstract

Corrosion is an automatic demolition of metal due to its interaction with the surrounding environment and , is a continuous process cannot be eliminated easily, and it is a phenomenon of great importance especially in terms of their impact on the various human activities where

the problem has been interested in corrosion of study and taken into account for a long time. Using effective inhibitors and cheap price.

In this work, we propose to find a way to reduce the corrosion of the steel sample and the use of green chemistry to extract a plant corrosion inhibitor "flaxseed" and used at different concentrations in the solution (HCl) of hydrochloric acid of 1M concentration

The study was performed by the mass loss method (change in inhibitor concentration).

Keywords: corrosion, corrosion inhibitor, steel alloy