



Étude de l'activité antioxydante et de l'action anti corrosion de l'extrait méthanolique des feuilles du palmier nain (*Chamaerops humilis* L.) du Maroc

Study of antioxidant activity and anticorrosion action of the methanol extract of dwarf palm leaves (*Chamaerops humilis* L.) from Morocco

S. Khoudali^{1*}, D. Benmessaoud left², A. Essaqui¹, M. Zertoubi², M. Azzi², M. Benaissa¹

1-Equipe de Chimie Agroalimentaire et Chimie des substances Naturelles Végétales et Marines, Faculté des Sciences Ain Chock, Université Hassan II-Casablanca - Morocco.

2-Laboratoire Interface Matériaux-Environnement, Faculté des Sciences Ain Chock, Université Hassan II, Casablanca -Morocco.

Received 16 July 2013, Revised 11 February 2014, Accepted 12 February 2014

* Corresponding author. E mail: khoudalisaid@hotmail.com

Abstract

This work is inscribed in the frame of valorization of the methanol extracts of dwarf palm leaves (*Chamaerops humilis* L.) of Benslimane region as an antioxidant and corrosion inhibitor. The method used to measure the antioxidant activity was the free radical scavenging by using DPPH•, while for anti corrosion action we used the techniques of the evolution of the free potential and electrochemical impedance spectroscopy to study the metal / solutions behavior in the absence and presence of the extract. The phytochemical screening of the extract revealed the presence of Polyphenols, Catechol and Gallic Tannins, Flavonoids, Saponins, Terpenoids, Anthracenosides and Cardiac glycosides. The results obtained showed that the extract demonstrate a significant antioxidant activity. For the latter, the inhibition obtained was 81%. Concerning the corrosion of steel, tests highlighted an inhibition efficiency of 45% in the presence of chloride ions at 0.5 g / L of the extract.

Keywords: Antioxidant Activity- Corrosion -*Chamaerops humilis* L. – chloride –Steel - DPPH°.

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation de l'extrait méthanolique des feuilles du palmier nain de la région de Benslimane en tant qu'antioxydant et inhibiteur de corrosion. La méthode appliquée pour mesurer l'activité antioxydant est celle du piégeage des radicaux libres à l'aide du DPPH•, tandis que pour l'action anti corrosion on a utilisé les techniques de l'évolution du potentiel libre et la spectroscopie d'impédance électrochimique afin d'étudier le comportement métal/milieu en absence et en présence de l'extrait. Le screening phytochimique de cet extrait a révélé la présence des Polyphénols, des Tannins Galliques et Catéchiques, des Flavonoïdes, des Saponines, des Terpenoïdes, des Anthracénosides et des Hétérosides Cardiotoniques. Les résultats obtenus ont montré aussi que cet extrait manifeste une activité antioxydants importante. Pour cette dernière, l'inhibition obtenue est de 81%. En ce qui concerne le pouvoir anticorrosion de l'acier, les essais ont mis en évidence une efficacité inhibitrice de 45% en présence des ions chlorure pour 0,5g/L de l'extrait.

Mots-Clés : Activité antioxydante – Corrosion - *Chamaerops Humilis* L.- Chlorure - Acier–DPPH°.

1. Introduction

Historiquement, les plantes ont été une source d'inspiration pour des nouveaux composés médicamenteux, comme les médicaments dérivés des plantes ont apporté une importante contribution à la santé humaine. Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) en 2008, plus de 80% de la population mondiale repose sur la médecine traditionnelle pour leurs besoins de soins de santé primaires [1]. Presque toutes les cultures et les civilisations de l'Antiquité à nos jours ont dépendu entièrement ou partiellement de la phytothérapie en raison de leur efficacité, l'accessibilité, la disponibilité, la faible toxicité et d'acceptabilité [2].

La famille des Palmaceae comprend 200 genres et 3000 espèces [3-4]. Le *Chamaerops humilis* L. est une plante médicinale qui appartient à cette famille. On le trouve fréquemment dans le nord de l'Afrique et en

particulier l'occidentale méditerranéenne [5-6]. Cette plante peut atteindre 1 à 1,5 m de hauteur moyenne. Mais, elle peut atteindre des hauteurs de 9 à 10 m dans les zones protégées.

Plusieurs travaux montrent l'intérêt de cette plante dans le domaine de la phytothérapie. Elle est utilisée en médecine traditionnelle pour le traitement des maladies du tube digestif [7-9].

Récemment l'intérêt porté aux antioxydants naturels, en relation avec leurs propriétés thérapeutiques, a augmenté par rapport aux années précédentes. Dans les diverses spécialités, les recherches scientifiques ont été développées pour extraire, identifier et quantifier ces composés à partir de plusieurs substances naturelles notamment les plantes médicinales et produits alimentaires [10-12].

Un autre intérêt est porté aussi à l'utilisation de ces plantes comme source d'inhibiteur de la corrosion. Ces inhibiteurs sont utilisés pour empêcher ou retarder la corrosion des métaux. Ce phénomène de corrosion représente un problème constant et continu, souvent difficile à éliminer complètement. Il affecte plusieurs secteurs (industrie, bâtiments, etc...) et peut coûter des milliards de dollars chaque année [13].

La plupart des composés synthétiques utilisés comme inhibiteur, présentent une bonne action anticorrosion. Mais la plupart d'entre eux sont hautement toxiques pour les êtres vivants et l'environnement [14].

Plusieurs recherches, montrent que l'utilisation des extraits de plantes pour la protection des métaux permet d'atteindre des taux d'efficacité élevés [15-23]. Sachant que ces produits sont considérés de plus en plus comme une source d'inhibiteurs verts. L'utilisation de ces derniers, peut se montrer efficace dans différents milieux (acide, neutre et basique), ce qui peut nous encourager à remplacer les produits chimiques toxiques utilisés actuellement.

L'extrait du palmier nain (*Chamaerops humilis* L.) a été utilisé comme inhibiteur. Il a prouvé son pouvoir inhibiteur ($\approx 85\%$) pour l'acier doux dans le milieu acide sulfurique (0,5M) [24].

Le présent travail, a pour but d'étudier l'activité antioxydante de l'extrait méthanolique du palmier nain du Maroc et évaluer aussi son action anticorrosion dans des milieux basique (pH =13,2) qui simulent le milieu béton, en présence d'agents agressif tels que les Chlorures.

2. Partie expérimentale :

2.1 Origine de la plante :

La plante a été collectée en octobre 2010, dans la région de Benslimane, qui est une subdivision à dominante rurale de la région de Chaouia-Ouardigha au Maroc (Photo 1).



Photo 1 : Le palmier nain
Benslimane.

(*Chamaerops Humilis* L.) de la région de

2.2 Préparation de l'extrait de plante :

Les feuilles du *Chamaerops Humilis* L. ont été séchées dix jours au laboratoire à l'ombre avant leurs utilisations pour la préparation de l'extrait. L'extraction était réalisée par la technique du soxhlet pendant 6 heures, avec le méthanol comme solvant d'extraction. La solution obtenue était concentrée au rotavapeur, jusqu'à l'obtention d'un solide. Ensuite il est utilisé pour des tests d'activité antioxydante et anti corrosion à différentes concentrations.

2.3 Screening phytochimique :

La révélation de certaines familles chimiques présentes dans l'extrait méthanolique des feuilles du palmier nain a été réalisée grâce aux tests de détection chimique décrits dans les travaux de Benmehdi [7], N'Guessan [25] et Ilboudo [26].

2.4 Dosage des polyphénols totaux :

Les polyphénols sont déterminés par la méthode de Folin-Ciocalteu, Cette méthode, initialement décrite par Slinkard et Singleton [27], permet de connaître le contenu polyphénolique total d'un échantillon donné. L'échantillon de l'extrait méthanolique des feuilles (0,5 ml) et 2 ml de carbonate de sodium (75 g/L) ont été ajoutés à 2,5 ml de 10% (v/v) du réactif de Folin-Ciocalteu avec l'acide gallique comme standard. Après 30 min de réaction à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 765 nm. Les tests ont été effectués trois fois afin de s'assurer de la reproductibilité des résultats. Le contenu phénolique total a été exprimé en mg Equivalent d'Acide Gallique par gramme d'échantillon.

2.5 Dosage des flavonoïdes totaux:

La détermination du taux des flavonoïdes totaux de l'extrait méthanolique des feuilles est réalisée par la méthode décrite par Ahn et al. [28]. On a ajouté 0,5 ml d'une solution 2% $AlCl_3$ - éthanol à 0,5 ml d'échantillon ou d'étalon. Après 1 h à température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 420 nm. La Quercétine a été utilisée comme standard pour tracer la courbe d'étalonnage. Les tests ont été effectués trois fois afin de s'assurer de la reproductibilité des résultats. Les résultats ont été exprimés en milligramme équivalent Quercétine par gramme d'échantillon.

2.6 Activité anti-radicalaire par le test au DPPH• :

L'activité antioxydante in vitro a été évaluée par la mesure du pouvoir de piégeage du radical DPPH (1,1-Diphényl-2-picrylhydrazyl) selon la méthode décrite par Burits et Bucar [29], où 3ml de la solution d'extrait méthanolique testée à différentes concentrations (5, 10, 15, 25, 50, et 60 μ g/ml) sont mélangées avec 75 μ l d'une solution méthanolique de DPPH (1,3mg/ml). Après une période d'incubation de 30 minutes à la température ambiante, l'absorbance est mesurée à la longueur d'onde de 517 nm. L'inhibition du radical libre DPPH par l'acide ascorbique (vitamine C) et l'alpha-tocophérol (vitamine E) ont été également analysée à la même concentration pour faire la comparaison. On détermine la cinétique de la réaction et les paramètres de calcul de l'activité antioxydante pour l'alpha-tocophérol, l'acide ascorbique et pour l'extrait méthanolique (Pourcentage d'inhibition, l'index IC_{50}). Tous les essais ont été effectués trois fois afin de vérifier la reproductibilité.

• Courbe d'étalonnage de la solution de DPPH° :

Avant de commencer les tests de l'activité antioxydante, la stabilité et l'intervalle de linéarité des solutions de DPPH° doit être évalués et les résultats sont présentés graphiquement. Six solutions du DPPH° (5, 10, 15, 25, 50 et 60 μ M) à base du méthanol ont été testées.

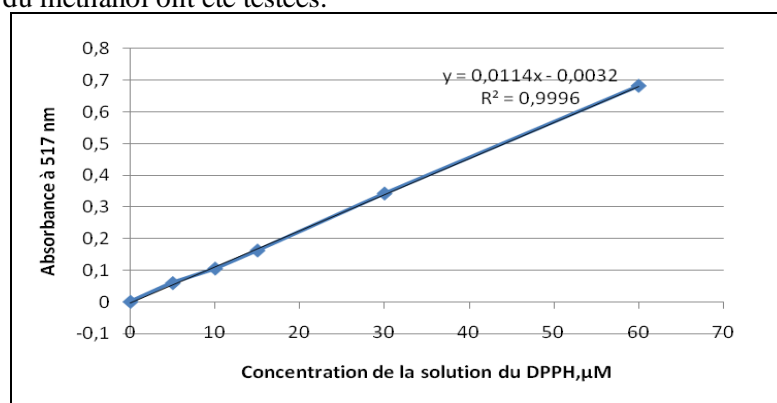


Figure 1 : Courbe d'étalonnage de la solution de DPPH

On observe qu'il n'y a pas de différence significative dans l'absorbance entre 0 et 60 min pour les concentrations testées et une très bonne linéarité de l'absorbance en fonction de la concentration.

• Calcul du pourcentage d'inhibition :

Le pourcentage d'inhibition du DPPH (I%) est calculé par la formule suivante [30]:

$$\%I = (A_{\text{blanc}} - A_{\text{échantillon}}) / A_{\text{blanc}}$$

Avec : A_{blanc} : Absorbance du blanc et $A_{\text{échantillon}}$: Absorbance de l'échantillon.

L'étude cinétique des réactions de l'extrait méthanolique, de l'acide ascorbique et de la vitamine E avec le DPPH• a été enregistrée pour chaque concentration examinée.

2.7 Détermination d' IC_{50} :

Ce paramètre est défini comme la concentration d'antioxydant requise pour diminuer la concentration initiale de 50%, il est inversement lié à la capacité antioxydante.

2.8 Préparation de l'échantillon:

La composition chimique de l'acier est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Composition chimique de l'acier.

Elements	C	Mg	Si	P	Mn	S	Cu	Fe
Wt.%	2.81	0.87	0.45	0.33	1.34	0.31	1.29	Balance

Avant chaque mesure l'acier est mécaniquement poli sous eau au papier abrasif SiC de grade (400–600–1200–1500), dégraissé dans l'acétone et rincé à l'eau distillée. La surface en contact avec l'électrolyte est de 0,158 cm².

2.9 Préparation de l'électrolyte :

Les solutions utilisées dans l'étude anticorrosion sont reportées dans le tableau 2.

Tableau 2 : La composition chimique et le pH des solutions utilisées dans les tests de corrosion.

	NaOH	KOH	NaCl	pH
Solution 1	0,1 M	0,5 M	-----	13,2
Solution 2	0,1 M	0,5 M	3 %	13,2

Ces solutions ont été choisies pour simuler les solutions alcalines utilisées dans l'étude de la corrosion des aciers dans le béton en absence et en présence des ions chlorures.

Tous les tests ont été réalisés avec une électrode tournante (1000 rpm), et à la température de 25°C.

2.10 Mesures électrochimiques :

Les essais du potentiel libre et de la spectroscopie d'impédance électrochimiques (SIE), ont été effectués par un potentiostat PGZ 301 (Radiometer Analytical) piloté par le logiciel 'Voltmaster 4'. Ce montage est à trois électrodes : L'acier comme électrode de travail (ET), le platine comme électrode auxiliaire (CE) et l'électrode d'Ag/AgCl comme référence.

3. Résultats et discussions :

3.1 Screening phytochimique :

Les résultats de caractérisation des groupes chimiques présents dans l'extrait méthanolique des feuilles du chamaerops humilis ont mis en évidence la présence des Polyphénols, des Tannins Galliques et Catéchiques, des Flavonoïdes, des Saponines, des Terpenoïdes, des Anthracénosides et des Hétérosides Cardiotoniques. Les résultats sont présentés dans le tableau 3.

3.2 Dosage des polyphénols totaux et des Flavonoïdes totaux:

Les résultats des dosages montrent que l'extrait méthanolique des feuilles du palmier nain est riche en polyphénols 99.8 mg eq.ac.gallique/g (échantillon) et en ce qui concerne les flavonoïdes on enregistre une valeur de 3.70 mg eq. Quercétine /g (échantillon).

3.3 Etude de l'activité antioxydante :

3.3.1 L'étude cinétique de la réaction :

A différentes concentrations de l'antioxydant testé (Vitamine E, Acide ascorbique, Extrait méthanolique), la cinétique de réduction du DPPH° est suivie au cours du temps jusqu'à l'obtention d'un équilibre traduit par la présence d'un palier, les résultats sont indiqués dans la figure 2.

On constate que pour les trois composés examinés (Alpha-tocophérol, Acide ascorbique et l'extrait méthanolique), la réaction est biphasée, avec une diminution rapide de l'absorbance dans les premières minutes, suivie d'une étape plus lente, jusqu'au stade de l'équilibre, alors on distingue deux zones : une zone à forte cinétique de piégeage du radical observée au bout des cinq premières minutes pour l'acide ascorbique. Pour les concentrations de 5µg/ml à 25µg/ml, de l'alpha-tocophérol et au bout de dix minutes pour les concentrations 50µg/ml et 60µg/ml.

Tableau 3: Analyse phytochimique de l'extrait méthanolique du *Chamaerops Humilis L.*

Groupes Chimiques	Résultats des tests
Les polyphénols	+
Les tannins	Galliques Catéchiqes
	+
	+
Les alcaloïdes	Libres Sels
	-
	-
Les huiles volatiles	-
Les flavonoïdes	+
Les stéroïdes	-
Les saponines	+
Les terpenoïds	+
Les anthracénosides	+
Les hétérosides cardiotoniques	+
Précipité ou coloration :	(+) Présence / (-) Absence

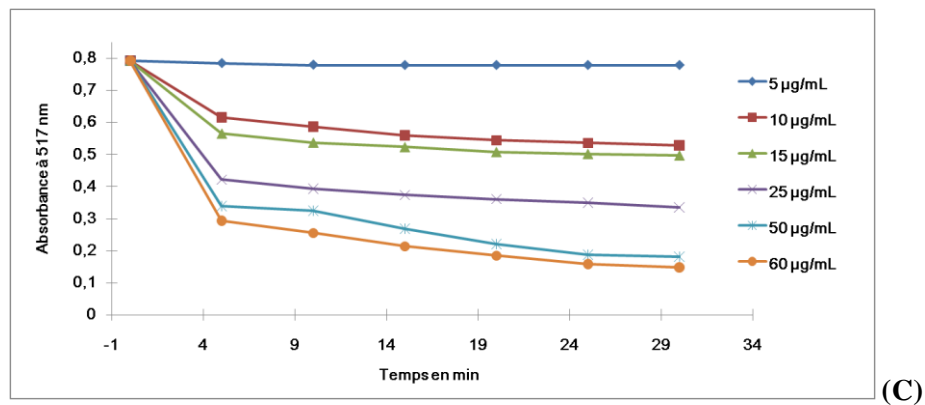
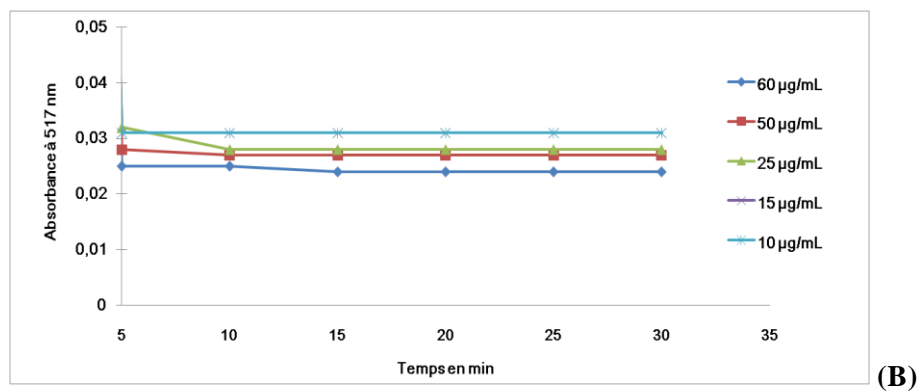
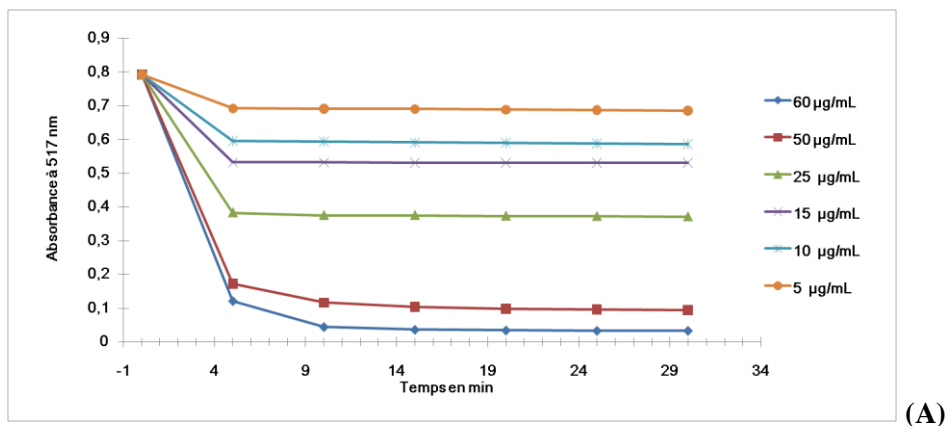


Figure 2 : Cinétique de réduction du DPPH.

A : Alpha-tocophérol (Vitamine E) B : Acide ascorbique (vitamine C);
 C : Extrait méthanolique des feuilles de *Chamaerops humilis L*

Pour l'extrait méthanolique, Cette zone est observée au bout des cinq premières minutes pour les concentrations de 5µg/ml, 10µg/ml et 15µg/ml, et au bout de vingt minutes pour les autres concentrations.

La deuxième zone à faible cinétique de piégeage du radical DPPH ou zone de tendance vers l'équilibre constatée après les cinq minutes pour toutes les concentrations de l'acide ascorbique et l'alpha-tocophérol excepté les deux concentrations 50µg/ml et 60µg/ml de ce dernier. Pour l'extrait méthanolique, cette zone est observée après cinq minutes pour les concentrations 5µg/ml, 10µg/ml, 15µg/ml, 25µg/ml, et après vingt minutes pour les deux dernières concentrations.

La réaction entre le DPPH et l'acide ascorbique et l'alpha-tocophérol donneurs d'hydrogène atteint l'équilibre au bout d'un temps très court par rapport à l'extrait méthanolique des feuilles de chamaerops humilis.

L'activité antioxydante est tributaire de la mobilité de l'atome d'hydrogène du groupement hydroxyle des composés phénoliques de l'extrait méthanolique. En présence d'un radical libre DPPH[•], l'atome H est transféré sur ce dernier pour le transformer en une molécule stable DPPH, ceci provoque une diminution de la concentration du radical libre et également l'absorbance au cours du temps de réaction jusqu'à l'épuisement de l'antioxydant donneur d'hydrogène.

3.3.2 Pourcentage d'inhibition :

La figure ci-dessous montre les résultats de mesure de pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction de concentration des composés testés. Ils montrent que le pourcentage d'inhibition du radical libre augmente avec l'augmentation de la concentration soit pour l'acide ascorbique et l'alpha-tocophérol ou pour l'extrait méthanolique du palmier nain. On observe que le pourcentage d'inhibition de l'acide ascorbique est supérieur à celui de l'extrait méthanolique pour toutes les concentrations, par contre le pourcentage d'inhibition de ce dernier est supérieur à celui de l'alpha-tocophérol pour les concentrations inférieures à 30µg/ml.

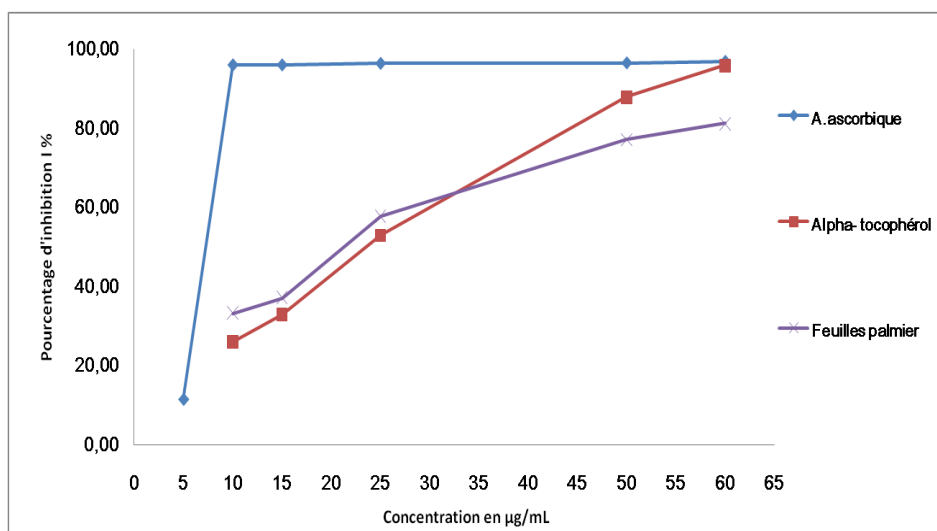


Figure 3: Pourcentage d'inhibition pour l'extrait méthanolique, l'acide ascorbique et l'alpha-tocophérol

3.3.3 Détermination d'IC₅₀ :

L'IC₅₀ est inversement proportionnel à la capacité antioxydante d'un composé, parce qu'il exprime la quantité d'antioxydant requise pour diminuer la concentration du radical libre de 50%. Plus la valeur d'IC₅₀ est petite, plus l'activité antioxydante d'un composé est grande. Les valeurs d'IC₅₀ de l'extrait méthanolique de chamaerops humilis L. sont représentées dans la figure 4.

Les valeurs d'IC₅₀ pour l'acide ascorbique, l'alpha-tocophérol et l'extrait méthanolique des feuilles du palmier nain (Chamaerops humilis L.) sont indiquées dans la Figure 5. L'extrait méthanolique de chamaerops humilis rend le radical libre stable (2,2 diphenyl-1-picrylhydrazyl) au diphenyl-picrylhydrazine jaune-coloré avec un IC₅₀ de 24,5µg/ml montrant une activité très importante qui est pratiquement semblable à celle de l'alpha-tocophérol qui ramène la stabilité au DPPH avec un IC₅₀ de 26µg/ml. D'après ces résultats on prouve que l'acide ascorbique reste l'antioxydant le plus efficace avec un IC₅₀ de 7,50µg/ml par rapport à l'alpha-tocophérol et l'extrait méthanolique des feuilles de la plante étudiée.

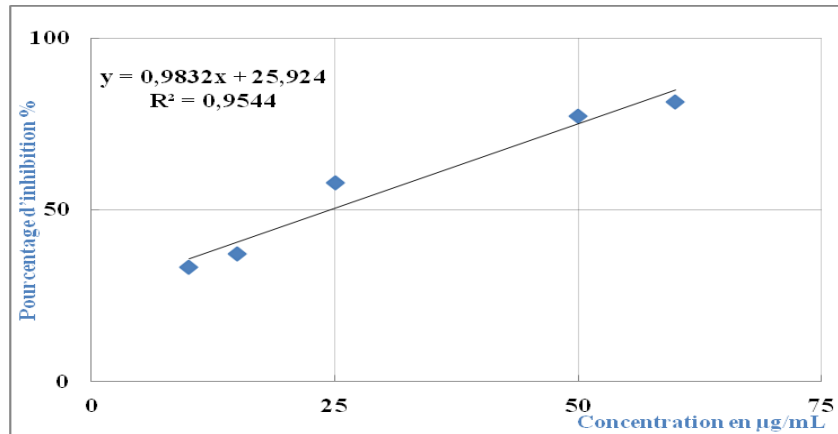


Figure 4 : IC₅₀ de l'extrait méthanolique de chamaerops humilis.

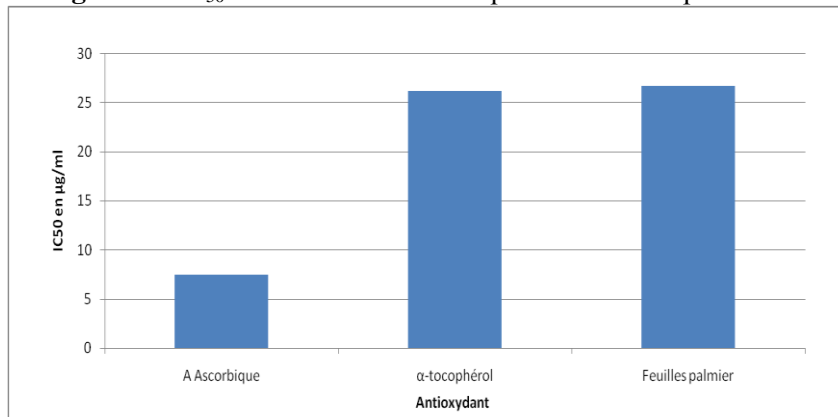


Figure 5 : Valeurs d'IC₅₀.

3.4 Etude de l'action anticorrosion :

3.4.1 Mesure du Potentiel libre :

L'évolution du potentiel libre a été étudiée au cours de 60 min d'immersion, les résultats sont présentés dans la figure 6. D'après les courbes tracées on constate que l'évolution du potentiel libre dans les trois solutions passe des valeurs au voisinage de -600 mV vers les -400 mV. On constate alors que ces courbes évoluent vers des valeurs plus nobles. L'évolution du potentiel dans les trois cas, connaît une brusque augmentation au cours des premières 20 minutes d'immersion, notamment dans la solution 3 (présence de l'extrait) mais après on observe une quasi-stabilité du potentiel. Dans ce cas on peut parler d'une tendance à la passivation de l'acier, cette dernière peut prendre plusieurs formes : passivation dû aux hydroxydes qui s'adsorbe à la surface du métal, dû à l'adsorption des molécules présentes dans l'extrait ou une combinaison entre les deux.

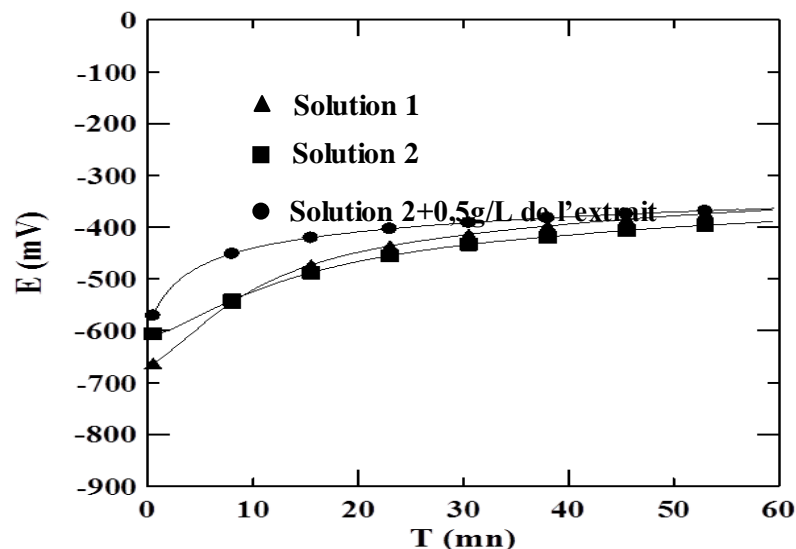


Figure 6 : Evolution du potentiel libre en fonction du temps d'immersion dans les différents milieux d'études.

En comparant le comportement du métal dans la solution 1 et la solution 2, on remarque que l'ajout des chlorures permet de ralentir l'évolution du potentiel. Cela peut être expliqué par leur effet négatif qui peut influencer sur la passivation qui apparaît au cours des premières minutes d'immersion. D'après la littérature les chlorures peuvent rentrer en compétitivité avec les ions hydroxydes du milieu au niveau de leurs adsorptions à la surface, ce qui permet d'activer une corrosion localisée et ainsi une altération du film passif [31].

La présence de l'extrait influence sur l'évolution du potentiel libre dans la solution 3. Cette influence se manifeste dès l'immersion de l'acier dans la solution, puisqu'on constate que le potentiel enregistré à la fin de l'expérience et semblable à celui enregistré dans la solution 1. On peut donc remarquer que la stabilité de la couche qui se forme à la surface de l'acier peut être préservée en présence de l'extrait malgré l'ajout des chlorures dans le milieu. Afin de mieux comprendre ce comportement métal/milieu en présence de l'extrait on a tracé une série de courbes par spectroscopie d'impédance électrochimique dans le cadre d'une étude comparative dans les différents milieux.

3.4.2 Mesures par la spectroscopie d'impédance électrochimique :

Le comportement de la corrosion de l'acier, dans les solutions basiques qui simulent le béton en absence (solution 1) et en présence de NaCl 3% (Solution 2) et de l'extrait du palmier nain a été étudié par la spectroscopie d'impédance électrochimique à 25°C après 20 min d'immersion.

L'efficacité inhibitrice de l'extrait a été calculée par la relation suivante :

$$E.I = (R_p^i - R_p) / R_p^i \times 100$$

R_p et R_p^i sont respectivement les résistances de polarisation en absence et en présence de l'extrait du palmier nain. Les tests ont été réalisés trois fois afin de s'assurer de la reproductibilité des résultats.

3.4.2.1 Effet de NaCl 3% :

La figure 7 représente le diagramme d'impédance de l'acier dans les solutions 1 et 2 enregistré après 20 minutes d'immersion. D'après ces courbes, on constate qu'il y a apparition de plusieurs phénomènes en absence et en présence des chlorures dans le milieu. On s'est basé sur le phénomène capacitif « hautes fréquences » pour comparer les résultats obtenus dans les milieux d'études. On peut alors remarquer que, la taille du phénomène capacitif « hautes fréquences » diminue en présence des chlorures avec la disparition du phénomène de diffusion observé dans la courbe 1. En effet, en présence de ces derniers le comportement de l'interface métal solution est complètement différent du cas sans chlorure. Le comportement global se traduit au niveau du diagramme d'impédance par une diminution de la taille du phénomène capacitif. Cela peut être expliqué par la fragilisation et la destruction d'un film qui est susceptible de se former à la surface de l'acier dans le milieu basique (pH = 13,2) permettant ainsi la disparition du phénomène de diffusion et diminution de la résistance.

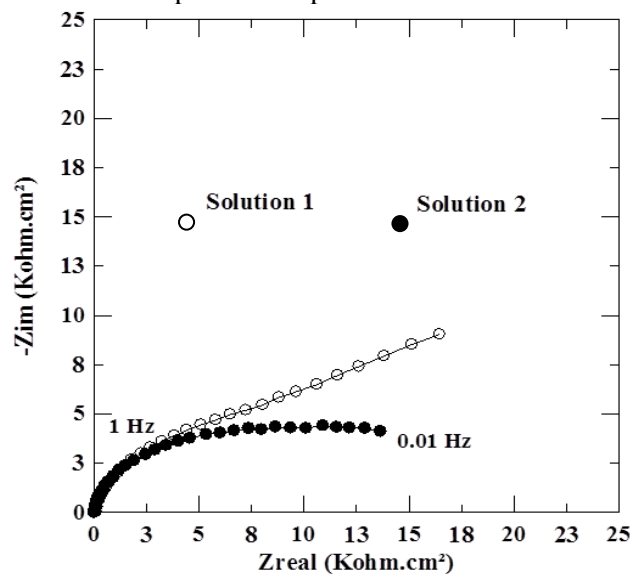


Figure 7 : Courbes d'impédance de l'acier en absence et en présence de NaCl 3% après 20 min d'immersion.

Les résultats dans le tableau 4, montrent l'effet néfaste des chlorures dans le milieu. Cet effet est traduit par la diminution de la résistance de polarisation. Aussi l'augmentation de la capacité associée à la résistance de polarisation. Cette augmentation peut traduire la dissolution de l'acier.

Afin de lutter contre ce phénomène, nous avons évalué l'effet de l'extrait du palmier nain en tant qu'inhibiteur de corrosion.

Tableau 4 : Paramètres relatifs au diagramme d'impédance de la figure 7.

	R_p (KOhm. cm ²)	C (μF/cm ²)
Solution 1	11,04	57,63
Solution 2	9,5	83,8

3.4.2.2 Effet de l'extrait du palmier nain :

▪ Effet de l'extrait en absence de chlorure :

Les résultats obtenus lors de l'ajout des différentes concentrations de l'extrait dans la solution 1 sont représentés dans la figure 8.

Les paramètres associés au phénomène capacitif sont donnés dans le tableau 5. D'après ces résultats, nous pouvons constater qu'il y a un effet positif de l'inhibiteur. Ce dernier nous a permis d'atteindre une efficacité optimale d'inhibition de la corrosion de 42,2 %.

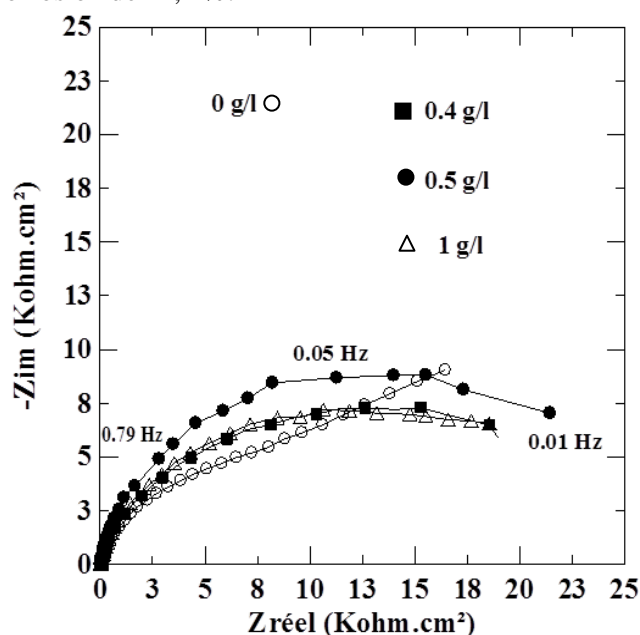


Figure 8 : Courbes d'impédance de l'acier en absence et en présence des différentes concentrations de l'inhibiteur après immersion dans la solution 1.

Nous pouvons constater, d'après ces courbes, que les diamètres des courbes enregistrés augmentent avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur. Donc plus la concentration de l'inhibiteur croît plus les valeurs de la résistance de polarisation (R_p) augmentent et les valeurs de la capacité associée (C) tendent à diminuer.

La résistance atteinte est d'une valeur de 19,1 (Kohm.cm²), tandis que la capacité est de 33,31 μF/cm² pour une concentration de 0,5 g/l de l'inhibiteur.

Tableau 5 : Paramètres relatifs au diagramme d'impédance de la figure 8

	Concentration (g/L)	R_p (Kohm. cm ²)	C (μF/cm ²)	E.I (%)
Solution 1	0	11,04	57,63	-----
Solution 1 + Inhibiteur	0,4	13,5	37,25	18,2
	0,5	19,1	33,31	42,2
	1	13,78	36,47	19,9

• Effet de l'extrait en présence de NaCl 3% :

Les résultats obtenus lors de l'ajout des différentes concentrations de l'extrait dans la solution 2 sont représentés sous forme de diagrammes d'impédance (Figure 9).

Les paramètres associés au phénomène capacitif sont donnés dans le tableau 6. D'après ces résultats, nous pouvons constater qu'il y a un effet remarquable de l'inhibiteur. Ce dernier a manifesté une efficacité d'inhibition de 45,5 %.

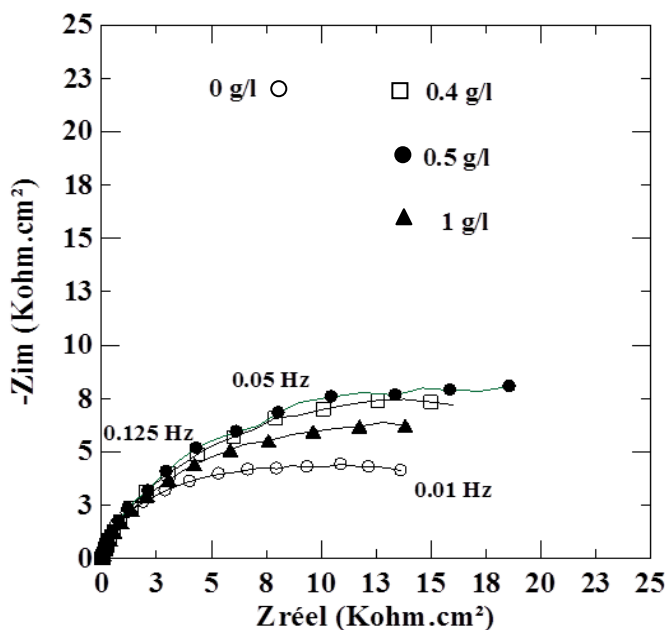


Figure 9 : Diagramme d'impédance de l'acier en absence et en présence des différentes concentrations de l'inhibiteur après immersion dans la solution 2.

L'ajout de l'inhibiteur dans la solution en présence des ions chlorure, montre que les diamètres des courbes enregistrées augmentent avec l'augmentation de la concentration de l'inhibiteur. Cela est aussi distingué dans les valeurs de la résistance de polarisation (R_p) correspondantes.

Ces résistances passent d'une valeur de 9,5 (Kohm.cm²) à 17,3 (Kohm.cm²), pour une concentration de 0,5g/l de l'extrait. Alors que les capacités associées (C) tendent à diminuer pour atteindre 58,1 ($\mu\text{F}/\text{cm}^2$).

Tableau 6 : Paramètres relatifs au diagramme d'impédance de la figure 9

	Concentration (g/L)	R_p (Kohm.cm ²)	C ($\mu\text{F}/\text{cm}^2$)	E.I (%)
Solution 2	0	9,5	83,8	-----
Solution 2 + inhibiteur	0,4	15	67,9	37
	0,5	17,3	58,1	45,5
	1	11,7	68,24	18,8

L'inhibiteur joue un rôle important dans la protection de l'acier contre la corrosion. Cette protection est observée dans les deux milieux d'études, elle est traduite par les valeurs enregistrées de la Résistance de polarisation et de la Capacité associée. Donc l'extrait du palmier nain prouve son pouvoir anti corrosion via la protection de la surface de l'acier par un film protecteur. Que ce soit, dans un milieu agressif tel le H₂SO₄ cité dans la littérature [24], ou bien dans un milieu qui a tendance à offrir une protection à l'acier grâce à son pH élevé.

Le graphique tracé dans la figure 10, nous permet de comparer les efficacités obtenues dans les différentes solutions en présence de l'inhibiteur. On constate que l'extrait joue un rôle intéressant dans la protection de l'acier en présence des chlorures. Les efficacités enregistrées passent de 18,2 % à 37% pour une concentration de 0,4 g/L, de 42,2 % à 45,1 % pour 0,5 g/L et de 19,9% à 18,8% pour 1g/L. Donc on déduit que l'efficacité optimale est enregistrée pour une concentration de 0,5 g/L dans les milieux d'études.

Ce résultat peut expliquer l'effet de cet inhibiteur qui agit plus en présence d'agents agressifs. Aussi par la compétitivité jouée par ces derniers et les molécules organiques de l'extrait, afin de protéger la surface de l'acier ou la détériorer.

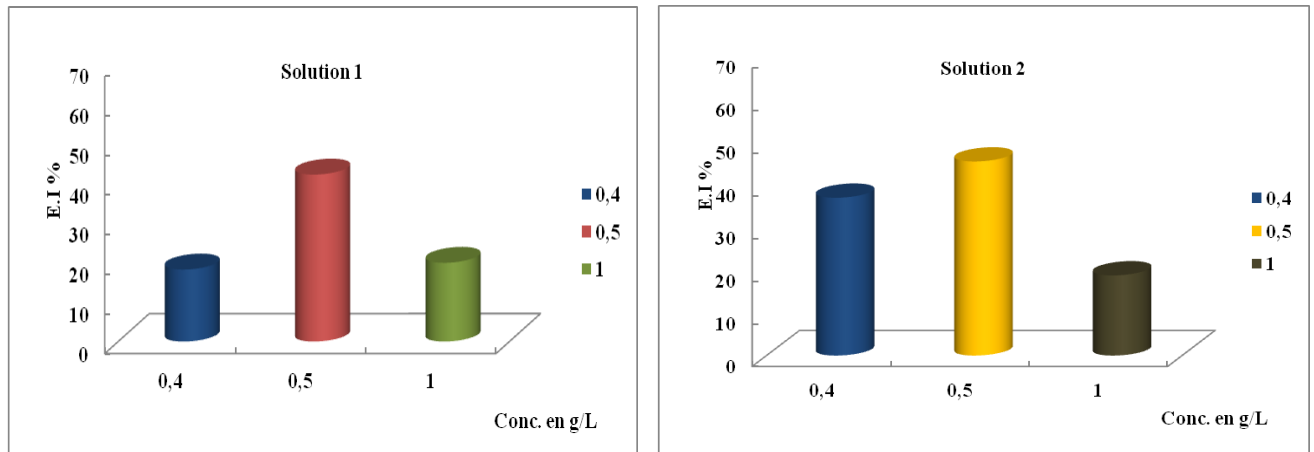
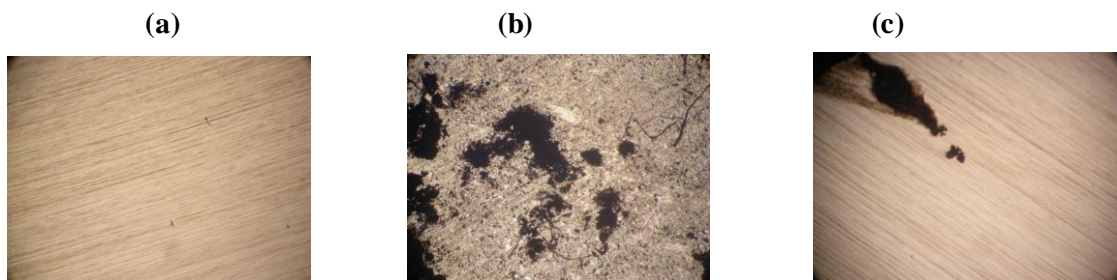


Figure 10 : Evolution de l'efficacité inhibitrice en fonction de la concentration de l'inhibiteur dans la solution 1 et la solution 2.



(a) Surface de l'armature avant immersion dans les solutions d'étude.
(b) Surface de l'armature après immersion dans la solution 2.
(c) Surface de l'armature après immersion dans la solution 2 en présence de 0,5 g/l de l'inhibiteur.

Figure 11 : Etat de surface de l'acier avant (a) et après polarisation (b) et (c)
Microscope optique : grossissement (X 200).

Conclusion

Au terme de ce travail on peut conclure que :

- Les tests phytochimiques révèlent la présence de plusieurs familles chimiques tels que les polyphénols, les saponines, les flavonoïdes, etc....
- Les résultats du dosage des composés phénoliques montrent que l'extrait méthanolique des feuilles de *chamaerops humilis* L. est riche en polyphénols.
- Les résultats obtenus montrent que cet extrait a une activité antioxydante très importante. Cette activité semble être liée à la présence des composés phénoliques.
- L'action anticorrosion de cet extrait atteint une efficacité de 45% en présence des ions chlorure pour une concentration de 0,5g/L, un résultat qui paraît satisfaisant en termes de protection de l'acier notamment dans un milieu basique.

References

1. Pierangeli G., Vital G., Windell Rivera L., *J. Medic. Plants Res.* 3 (7) (2009) 511.
2. Akharaiyi F.C., and Boboye B., *J. Nat. Prod.* (3) (2010) 27-34.
3. Deysson G., *Organisation et Classification des plantes vasculaires*, Vol. II, 2^{ème} Partie Systematique Ed. SEDES, Paris, (1979) 540.

4. Uhl N.W., et Dransfield J., Genera palmarum - a classification of palms based on the work of Harold E. Moore, Jr. The L.H. Bailey Hortorium and the International Palm Society, Allen Press, Lawrence KS, United States (1987).
5. Dransfield J., Beentje H., "The palms of Madagascar. Royal Botanic Gardens, Kew and The International Palm Society", United Kingdom (1995).
6. Hasnaoui O., Contribution à l'étude de Chamaeropaie dans la région de Tlemcen: Aspects Ecologiques et Cartographie, Thèse Doctorat, Université d'Abou Bakr Belkaid, Tlemcen, Algerie (2008).
7. Benmehdi H., Hasnaoui O., Benali O. et Salhi F., *J. Mater. Environ. Sci.* 3 (2) (2012) 320-237
8. Gaamoussi F., H. Israili Z., et Lyoussi B., *Pak. J. Pharm. Sci.* 23 (2010) 212-219
9. Bnouham M., Mekhfi H., Legssy A., Ziyat A., *Int J Diabetes & Metabolism* 10 (2002) 33-50.
10. Sanchez-Moreno C., *Food Science and Technology International* 8 (3) (2002) 121-137.
11. Marc Fr., Davin A., Deglène-Benbrahim L., Ferrand C., Baccaunaud M., Fritsch P., *Erudit, M/S : Médecine Sciences* 20 (4) (2004) 458-463.
12. Huang, D., Ou, B., Prior, R. L., *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53 (2005) 1841-1856.
13. Hazwan Hussin M., Jain Kassim M., Hazwan Hussin M., Jain Kassim M., *Materials Chemistry and Physics* 125 (2011) 461-468
14. Ostovari A., Hoseinieh S.M., Peikari M., Shadizadeh S.R., Hashemi S.J., *Corrosion Science* 51 (2009) 1935
15. Ben Hmamou D., Salghi R., Bazzi Lh., Hammouti B., Al-Deyab S.S., Bammou L., Bazzi L., Bouyanzer A., *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 1303 – 1318.
16. Ben Hmamou D., Salghi R., Zarrouk A., Hammouti B., Al-Deyab S.S., Bazzi Lh., Zarrok H., Chakir A., Bammou L.; *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 2361 – 2373.
17. Archana S., Anurag S., Deepti S., Praveen J., *E-Journal of Chemistry* 9(4) (2012) 2044
18. Ating E.I., Umoren S.A., Udousoro I.I., Ebenso E.E., Udoh A.P., *Green Chem. Let. Rev.* 3(2) (2010) 61
19. Senhaji B., Ben Hmamou D., Salghi R., Zarrouk A., Chebli B., Zarrok H., Warad I., Hammouti B., Al-Deyab S. S.; *Int. J. Electrochem. Sci.* 8 (2013) 6033 – 6046.
20. Leelavathi S., Rajalakshmi R.; *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (2013) 625-638.
21. Dahmani M., Al-Deyab S.S., Et-Touhami A., Hammouti B., Bouyanzer A., Salghi R., ElMejdoubi A., *Int. J. Electrochem. Sci.* 7 (2012) 2513 – 2522
22. Singh A. , Ishtiaque A. , Singh V. K., Quraishi M.A., *J Solid State Electrochem* 15 (2011) 1087-1097
23. Singh A., Singh V. K., Quraishi M. A., *J. Mater. Environ. Sci.* 1 (3) (2010) 162-174
24. Benali O., Benmehdi H., Hasnaoui O., Selles C., Salghi R., *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (1) (2013) 127-138
25. N'Guessan K., Kadja B., Zirihi N.G., Traoré D., Aké-Assi L., *Sciences & Nature* 6 (2009) 1 – 15.
26. S. Ilboudo, M. Ouedraogo, N. Some, M. Ouedraogo, M. Ouedraogo, P.I. Guissou; *J. sci. pharm. biol.*, 10(2009) 6-13.
27. Slinkard, K., Singleton, V., *Am. J. Enol. Viticult.* 28(1977) 49-55.
28. Ahn, M.-R., Kumazawa, S., Usui, Y., Nakamura, J., Matsuka, M., Zhu, F., Nakayama, T., *Food Chem.* 101(2007) 1383-1392.
29. Burits M., Bucar F., *Phytotherapy Research* 14 (2000) 323-328.
30. Sharififar F., Moshafi M.H., Mansouri S.H., Khodashenas M., Khoshnoodi M., *Food Control* 18 (2007) 800-805.
31. Fan Zhang, Jinshan Pan, Changjian Lin, *Corrosion Science* 51 (2009) 2130 – 2138

(2014) <http://www.jmaterenvirosnci.com>