

## GREEN SYNTHESIS OF IRON NANOPARTICULES USING LEAF EXTRACT FROM *PHOENIX DACTYLIFERA. L*

S. E. Laouini<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Valorization and Technology of Saharian Resources, Echahid Hamma Lakhdar University, 39000 El-Oued, Algeria

<sup>2</sup>Department of Process Engineering, Faculty of Technology, Hamma Lakhdar University, El-Oued, 39000 Algeria

Received: 31 December 2018 / Accepted: 21 April 2019 / Published online: 01 May 2019

### ABSTRACT

In this research paper, the synthesis of iron nanoparticles by a simple and eco-friendly method using extract leaves from *Phoenix Dactylifera L* with different concentration of  $\text{FeCl}_3$  was investigated. The nanoparticles synthesis were characterized using a different methods Uv-Visible spectrophotometer, infrared spectroscopy and XRD. The first result was found for the size of nanoparticles and relationship with the concentration of  $\text{FeCl}_3$ , the high concentration (0.03 M) product the nanoparticles with size 2.3 nm and the low concentration product the nanoparticles with size 22.16 nm. The FTIR analysis confirmed the biosynthesis of nanoparticles with absorption from 500 to 800  $\text{cm}^{-1}$ . The crystalline structure of NPs was confirmed by X-ray diffraction (XRD) analysis. The antioxidant properties of the obtained biomaterial were assessed in vitro, using the DPPH and PPM test. The  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  showed high antioxidant activity against them to test. The results suggest that *Phoenix Dactylifera L* extract assisted to synthesis NPs present promising antioxidant capacity and hence have an important interest in the development of therapeutic agents against oxidative tissue injuries.

**Keywords :** Nanoparticules,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Gree synthesis, *Phoenix Dactylifera.L*, DPPH, DRX.

Author Correspondence, e-mail: [salah\\_laouini@yahoo.fr](mailto:salah_laouini@yahoo.fr)

doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v11i2.28>



## 1. INTRODUCTION

Au cours des dernières années, la synthèse des nanomatériaux et leurs utilisations sont en train de devenir une technologie essentielle avec des applications dans de nombreux secteurs industriels. Les nanoparticules, en raison de leurs propriétés électriques, optiques, magnétiques, chimiques et mécaniques spécifiques, sont actuellement utilisées dans de nombreux domaines de haute technologie. Tels que le secteur médical pour le diagnostic, l'antimicrobien, la délivrance de médicaments [1], ainsi que dans l'industrie électronique et optoélectronique [2] ou dans le secteur chimique pour la catalyse [3], pour la protection de l'environnement [4] et la conversion de l'énergie [5]. La synthèse des nanoparticules s'effectue habituellement par divers procédés physiques et chimiques tels que l'ablation par laser, la pyrolyse, le dépôt chimique ou physique de vapeur, le sol gel, l'électrodéposition par lithographie, la plupart étant coûteux et / ou nécessitant l'utilisation de solvants toxiques [6]. Récemment, de grands efforts sont faits pour utiliser des méthodes respectueuses de l'environnement pour la synthèse des nanoparticules de métaux nobles [7].

Ceci est principalement obtenu par l'utilisation d'extraits de plantes ou de fruits [8] et de bio-organismes [9]. Ces méthodes vertes sont peu coûteuses, rapides, efficaces et conduisent généralement à la formation de nanoparticules cristallines avec une variété de formes (sphères, tiges, prismes, plaques, aiguilles, feuilles ou dendrites), avec des tailles comprises entre 1 et 100 nm. Ces caractéristiques dépendent principalement des paramètres du processus, tels que la nature de l'extrait végétal et les concentrations relatives de l'extrait et du sel métallique, le pH, la température et le temps de réaction, ainsi que le rapport entre l'extrait végétal et sel métallique [10]. Les nanoparticules d'oxyde de fer s'intéressent particulièrement à la recherche moderne de nanotechnologie en raison de ses propriétés uniques, qui peuvent être intégrées à une large gamme d'applications étendues telles que les agents antiseptiques dans l'industrie médicale, les cosmétiques, les emballages alimentaires, la bio ingénierie, l'électrochimie, la catalyse et l'environnement. Dans ce contexte, l'objectif global de ce travail est d'étudier la possibilité de synthèse des nanoparticules d'oxyde de fer à l'aide d'extrait des feuilles de *Phoenix Dactylifera.L.*, et la caractérisation de ces nanoparticules par XRD, UV visible, FTIR. Ainsi l'évaluation de l'activité antioxydante des nanoparticules par DPPH et

l'activité antioxydante totale.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

La synthèse verte des nanoparticules métalliques (NPs) est attiré une attention considérable sans ces dernières années car ces protocoles sont peu coûteux et plus respecté de l'environnement par rapport les méthodes de synthèse standard. Nous rapportons une méthode simple, la synthèse verte des NPs d'oxyde de fer en utilisant une solution aqueuse d'extrait de des feuilles de *Phoenix Dactylifera.L* en tant que bioréducteur.

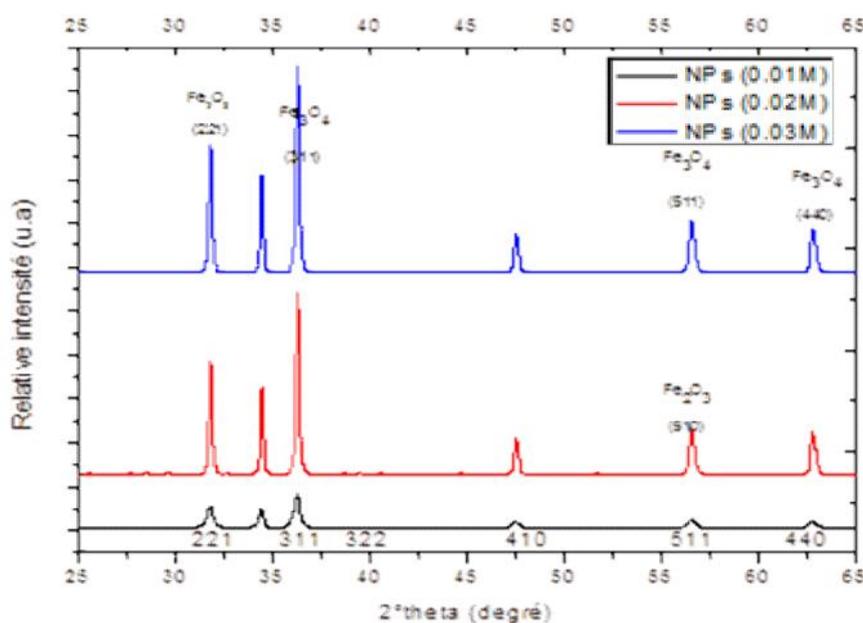
### 2.1. Caractérisation des NPs

#### 2.1.1. Caractérisation par diffraction des rayons X (DRX)

Les nanoparticules de différentes tailles ont été caractérisées par diffraction des rayons X (DRX) afin de déterminer plus précisément de quelle phase cristalline les nanoparticules constituées. La DRX permet également de déterminer le paramètre de maille de l'oxyde de fer formé, ainsi que la taille moyenne des domaines diffractant. Le paramètre de maille de la maghémite stœchiométrique est de 8,338 Å (fiche JPCDS 00-013-0458), alors que celui de la magnétite stœchiométrique est de 8,396 Å (fiche JCPDS 00-019-0629). Yang et al [11] montré que le paramètre de maille varie linéairement en fonction de la déviation de stœchiométrie de la magnétite  $Fe_3O_4$ . Le paramètre de maille pourra donc être qualitativement utilisé pour savoir si les nanoparticules sont plutôt constituées de magnétite ou de maghémite.

L'objectif ici est de vérifier que plus la taille des nanoparticules augmente, plus la composition de la phase spinelle est proche de celle de la magnétite [12, 13] ainsi que dans la littérature [4]. Afin d'étudier l'effet de concentration de précurseur sur la taille des NPs, Trois échantillons de  $FeSO_4$  utilisées pour la synthèse verte. Par l'application de la relation de Debye-Scherrer, l'échantillon de concentration 0,01 M pour le maghémite présentant une taille moyenne de  $22,16 \pm 0,70$  nm est obtenu dans des conditions similaires à celles utilisées pour magnétite. L'échantillon de concentration 0,02 M pour le maghémite présente de taille moyenne de  $6,7 \pm 0,6$  nm est obtenu dans les mêmes conditions de synthèse que magnétite. Par conséquent, L'échantillon de concentration 0,03 M pour le maghémite présente une taille moyenne de  $2,3 \pm 0,1$  nm a été obtenu dans des conditions similaires à celles utilisées pour

magnétite. La figure 1 présente les diffractogrammes des rayons X (DRX) des nanoparticules. Les nanoparticules sont mélangées avec le silicium pour effectuer la DRX. Les pics de diffraction du silicium servent d'étalon interne afin de déterminer le décalage du zéro du diffractogramme (zero shift). Les données sont traitées avec le logiciel Fullprof, qui utilise la méthode de Le Bail [15]. Tous les pics de diffraction observés dans le diffractogramme peuvent être attribués à la structure spinelle. Les diffractogrammes des rayons x des poudres synthétisées par *Phoenix Dactylifera* L à 70 °C traitées thermiquement à 400 °C sont présentées dans la figure 2. Tous les pics observés sur les angles 32, 56,16° sont attribués aux plans cristallographiques (221), (510) de la structure corindon de la phase cristalline  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> par contre les pics observés sur les angles 35, 57, 62° sont attribués aux plans cristallographiques (311), (511), et (440) de la structure corindon de la phase cristalline Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. L'intensité des pics de diffraction indiquent une bonne cristallinité des nanoparticules.

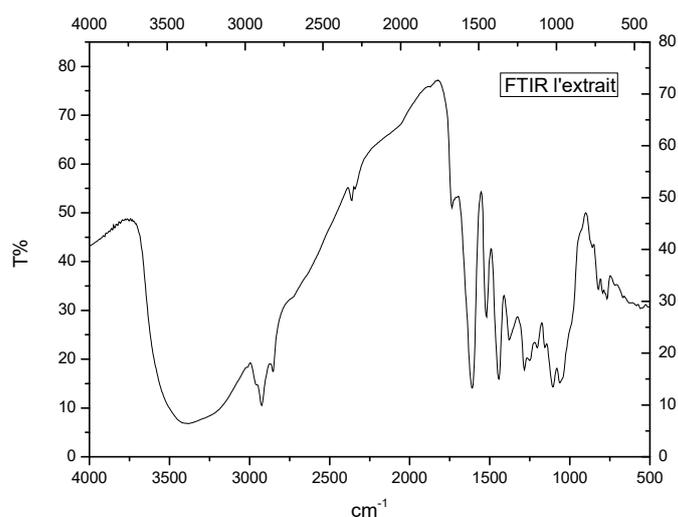


**Fig.1.** Spectre DRX des NPs synthétisées par l'extrait de *Phoenix Dactylifera* L avec 0.01, 0.02 et 0.03 M de FeCl<sub>3</sub>

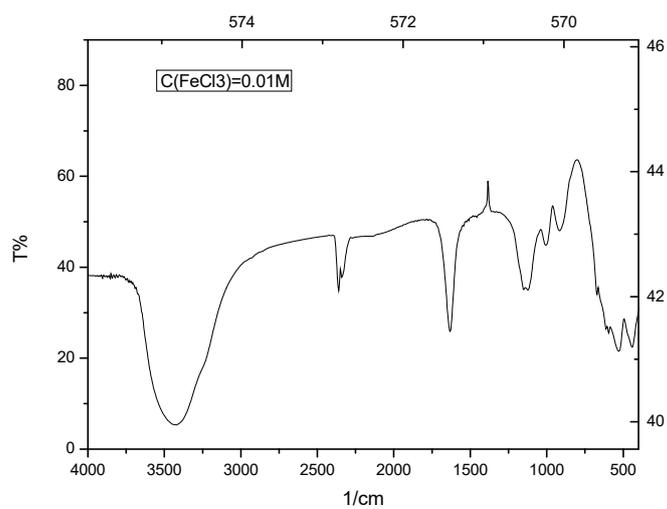
### 2.1.2. Caractérisation par spectroscopie infrarouge

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) permet d'obtenir des informations sur la structure des nanoparticules à partir des modes de vibration des liaisons.

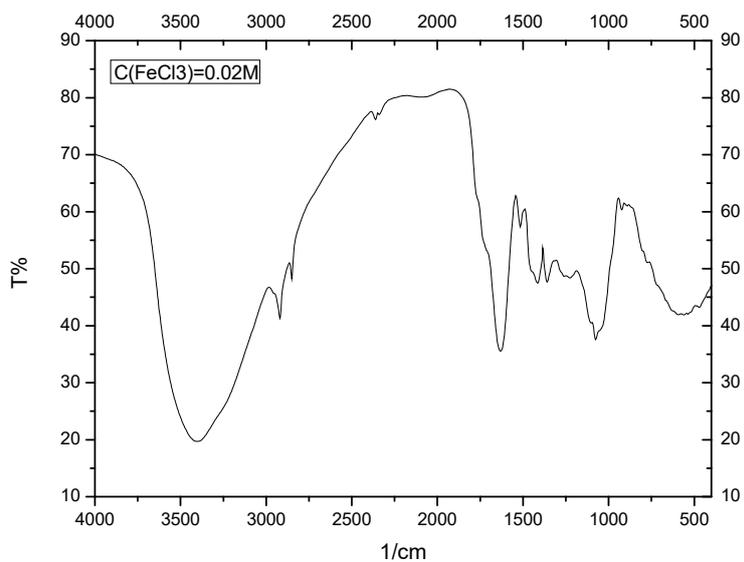
Les nanoparticules NPs (0.03M), NPs (0.02M) et NPs (0.01M) sont caractérisées par FTIR et comparées avec l'extrait de *Phoenix Dactylifera*. L. On peut distinguer globalement trois zones dont les bandes d'absorbance peuvent être attribuées aux chaînes alkyles de surface (3000-2800  $\text{cm}^{-1}$ ), au groupement  $\text{COO}^-$  des oléates (1800-900  $\text{cm}^{-1}$ ) et aux liaisons Fe-O (800-400  $\text{cm}^{-1}$ ) de Fe-O. Nous allons dans un premier temps nous intéresser à la zone 400-800  $\text{cm}^{-1}$  caractéristique des liaisons Fe-O, la description des autres bandes sera donnée dans la partie dédiée à la caractérisation de la couche organique d'oléate. Les phases maghémite et magnétite présentent chacune des bandes Fe-O caractéristiques qui peuvent être identifiées. Absorption constituée uniquement de magnétite présente un spectre avec une seule bande localisée à 580-590  $\text{cm}^{-1}$  contrairement à la maghémite qui présente plusieurs bandes très proches dans la zone 400-800  $\text{cm}^{-1}$  [16,17]. Les figures 2, 3 et 4 représentent le spectre infrarouge des nanoparticules NPs (0.01M), NPs (0.02M) et NPs (0.03M).



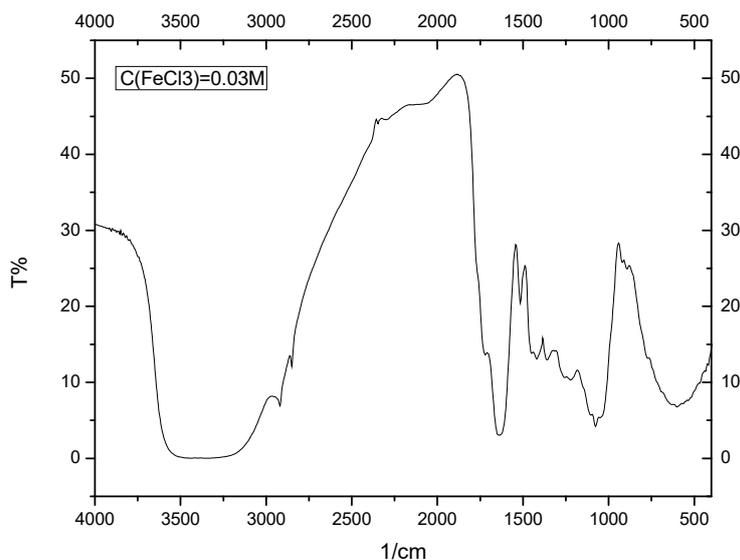
**Fig.2.** Spectre FTIR d'extrait des feuilles de *Phoenix Dactylifera* L



**Fig.3.** Spectre FTIR des NPs synthétisée avec concentration  $\text{FeCl}_3 = 0.01\text{M}$



**Fig.4.** Spectre FTIR des NPs synthétisée avec concentration de  $\text{FeCl}_3 = 0.02\text{M}$



**Fig.5.** Spectre FTIR des NPs synthétisée avec concentration  $\text{FeCl}_3=0.03\text{M}$

La magnétite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) présente une large bande avec un maximum à  $573\text{ cm}^{-1}$  et un épaulement vers  $700\text{ cm}^{-1}$  attribué à l'oxydation superficielle. Le spectre de la maghémite est plus complexe, avec six bandes dans la gamme  $800\text{-}500\text{ cm}^{-1}$ , dont la bande la plus intense à  $638\text{ cm}^{-1}$ . Les spectres des nanoparticules NPs ( $0,01\text{M}$ ), NPs ( $0,02\text{M}$ ) et NPs ( $0,03\text{M}$ ) présentent tous une large bande dont le minimum est centré à une longueur d'onde intermédiaire à celles de la magnétite et de la maghémite. De plus, les nanoparticules présentent deux pics assez intenses à  $719$  et  $729\text{ cm}^{-1}$  qui ne sont pas présents dans les spectres de la magnétite, de la maghémite. Ces pics sont attribués aux liaisons Fe-O dans le stéarate de fer ce qui montre la difficulté et l'importance des lavages. Il peut rester une fraction du précurseur de la synthèse dans les suspensions de nanoparticules. La spectroscopie infrarouge ne permet pas de quantifier précisément la proportion de chaque phase, mais ces comparaisons permettent une appréciation qualitative de la proportion de magnétite et de maghémite dans les nanoparticules formées. On résulte que les nanoparticules ont une composition intermédiaire entre celle de la magnétite et celle de la maghémite, et que la taille des nanoparticules augmente avec l'augmentation du taux de magnétite augmente.

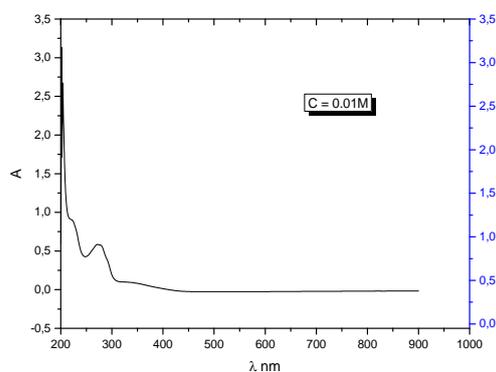
### **2.1.3. Caractérisation par spectroscopie UV-visible**

Les propriétés optiques des nanoparticules synthétisées à l'aide d'extrait des feuilles

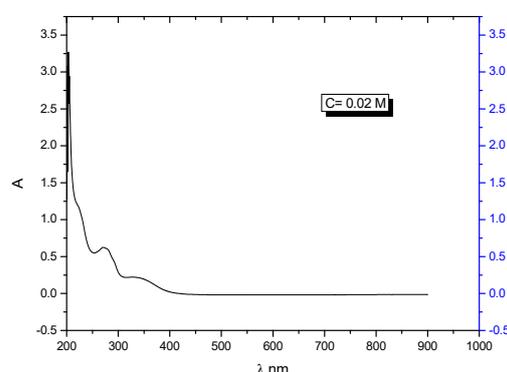
Phoenix *Dactylifera* L traitées à 400 °C sont représentées dans les figures 6, 7 et 8. Les figures représentent la réflectance diffuse des nanoparticules dans l'UV-Visible, on remarque une large bande d'absorption dans toute la gamme spectrale spécialement entre 350 et 500 nm. Cependant, les Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> NPs synthétisées apparaissent une absorption continue dans la gamme visible de 300 à 800 nm [16].

Les énergies de gaps calculés par la loi de Kubelka-Munk sont de l'ordre de 2.36, 2.27 et 2.52 eV pour Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. En particulier, les NPs obtenues à différentes concentrations sont sûrement dû à l'effet du confinement quantique lié à sa taille nanométrique.

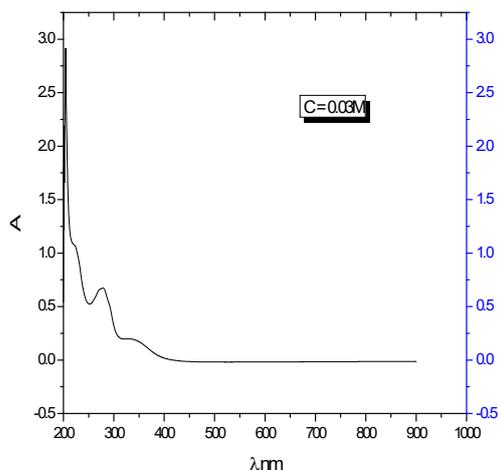
La position des bandes de résonance varie significativement avec cette taille. Les figures 6, 7 et 8 montrent le spectre d'absorption des trois types de particules préparés NPs (0.01M), NPs (0.02M) et NPs (0.03M), Les trois spectres présentent une bande d'absorption au tour de 350 nm qui correspond au gap de la magnétite (~3,25eV) [17,18].



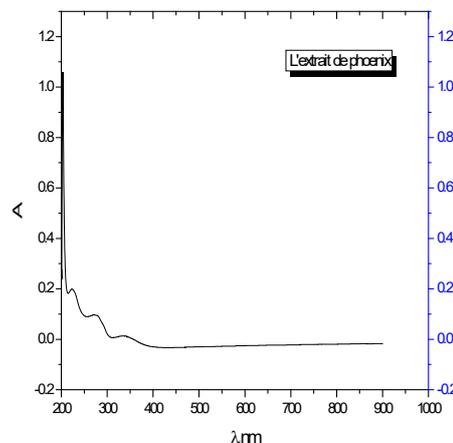
**Fig.6.** Spectre UV-visible des NPs de fer synthétisés avec une concentration de FeCl<sub>3</sub> =0.01M.



**Fig.7.** Spectre UV-visible des NPs de fer synthétisés avec une concentration de FeCl<sub>3</sub> =0.02 M.



**Fig.9.** Spectre UV-visible d'extrait des feuilles de *Phoenix dactylifera* L



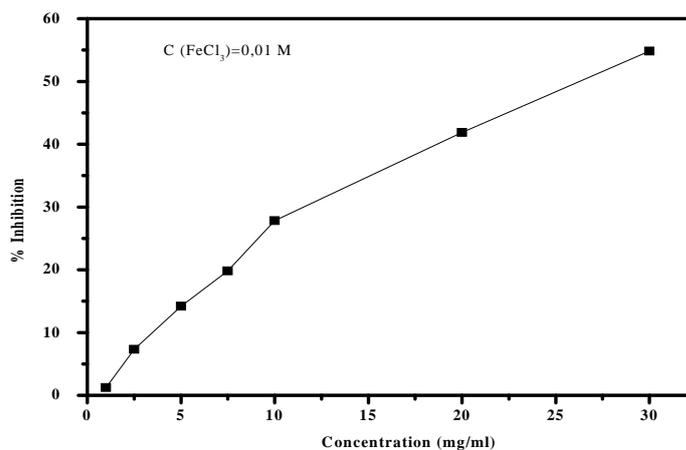
**Fig.8.** Spectre UV-visible des NPs de fer synthétisés avec concentration de  $\text{FeCl}_3 = 0.03 \text{ M}$ .

#### 2.1.4 Evaluation de l'activité antioxydante totale (PPM)

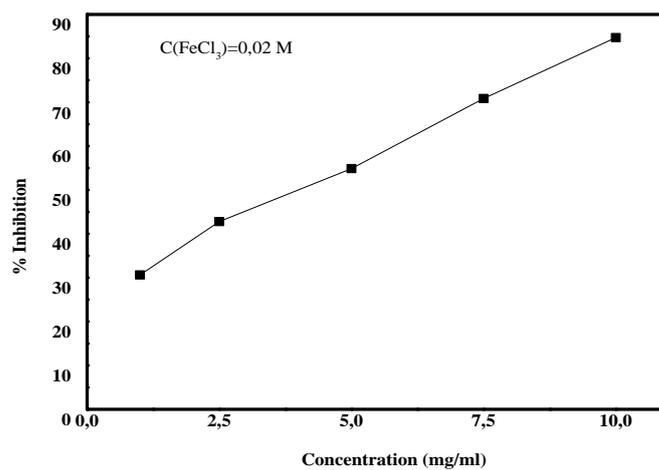
L'activité antioxydante totale des nanoparticules des différentes concentrations variée entre 180 et 76.66 mg EAG /g NPs, on trouve la valeur plus élevée pour les NPS de (0.01M), la valeur intermédiaire (170 mgEAG /gNPs) pour les NPs de (0.02M), et la plus faible valeur pour les NPs de fer de concentration 0.03M (70 mgEAG /gNPs). Ces capacités confirment l'activité antioxydante élevée des nanoparticules de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  [19,20,21]

#### 2.1.5. Evaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH

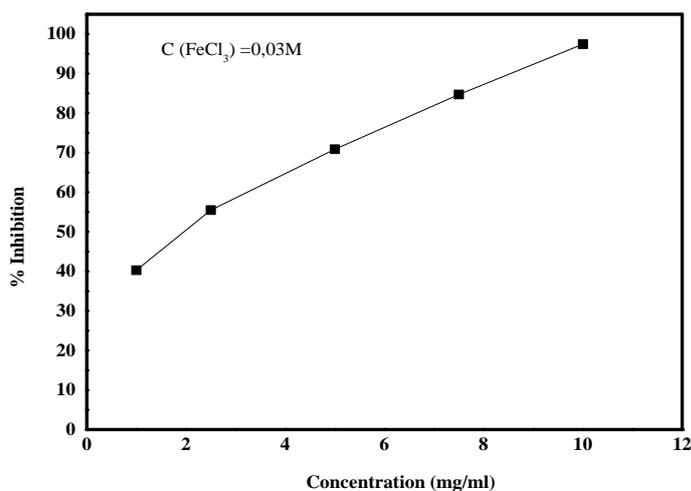
L'activité anti radicalaire est réalisée par la méthode du radical 2,2-diphényl-1-picryl-hydrazyl (DPPH) est une méthode fréquemment utilisée pour sa simplicité. L'inhibition du radical DPPH est fonction de la concentration des différents NPS synthétisés (antioxydant), l'activité antiradicalaire de nos NPS est exprimée en  $\text{IC}_{50}$  déterminée. Comme le test PPM, la plus forte inhibition enregistrée pour les NPs (0.01 M) avec  $\text{IC}_{50} = 1.988 \text{ mg/ml}$ , la valeur intermédiaire pour les NPs (0.02 M) avec  $\text{IC}_{50} = 4.215 \text{ mg/ml}$ , et la valeur faible enregistrée pour les NPs (0.03 M) avec  $\text{IC}_{50} = 7.381 \text{ mg/ml}$ .



**Fig.10.** Activité antioxydant (DPPH) des nanoparticules de fer avec une concentration FeCl<sub>3</sub> 0.01 M



**Fig.11.** Activité antioxydant (DPPH) des nanoparticules de fer avec une concentration FeCl<sub>3</sub> 0.02 M



**Fig.12.** Activité antioxydant (DPPH) des nanoparticules de fer avec une concentration  $\text{FeCl}_3$  0.03 M

### 3. METHODES ET MATERIELS

#### 3.1. Préparation d'extrait et NPs par la synthèse verte

Des feuilles de *Phoenix Dactylifera* L bien séchée sous rayonnement solaire sont broyées à l'aide du broyeur jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Une masse de 100 g de cette poudre est ajoutée à 800 ml de eau/méthanol (1/8, v/v) et mélangés sous agitation magnétique pendant une 24 h. Le mélange est filtré et le filtrat récupéré pour utiliser dans la synthèse verte. Un volume de 50 ml de différentes concentrations de chlorure de fer ( $\text{FeCl}_3$ : 0.01, 0.02 et 0.03 M) est mélangé avec 50 ml de l'extrait préparé précédemment. La réaction résultante est transférée dans un bécher puis chauffé dans un plaque chauffante à  $70^\circ\text{C}$  pendant 1h jusqu'au changement de la couleur de mélange. Après, un traitement thermique à  $400^\circ\text{C}$  pendant 1h pour chaque échantillon.

#### 3.2. Caractérisation des NPs

Pour DRX, L'échantillon est placé en position horizontale sur un porte échantillon. Les bras de la source et le détecteur se déplacent l'un vers l'autre, en tournant du même angle par rapport à la surface de l'échantillon. Cette configuration permet l'immobilité de la poudre et de repérer l'éventuelle orientation préférentielle d'une famille de plans réticulaires ainsi qu'à l'analyse quantitative d'un mélange de phases. La source de rayons X est une anticathode de cuivre ( $\text{CuK} = 1,5418 \text{ \AA}$ ), les diffractogrammes ont été enregistrés entre  $10^\circ$  et  $90^\circ$  en  $2\theta$ .

Pour comparer les résultats obtenus d'un échantillon à l'autre et d'optimiser la précision des résultats, la formule de Scherrer a toujours été appliquée aux pics les plus intenses des phases considérées.

Pour UV Visible, La technique consiste à détecter et quantifier l'intensité du rayonnement dont la longueur d'onde varie entre 200 et 1400 nm, l'échantillon peut absorber, réfléchir ou transmettre les photons émis. Dans le cas des solutions, le spectre électronique est la fonction qui relie l'intensité lumineuse absorbée par l'échantillon analysé en fonction de la longueur d'onde. Dans le cas des échantillons solides (poudre) on doit faire appel à la mesure de la réflectance diffuse. Celle-ci mesure la lumière réfléchie sur la surface de l'échantillon dans toutes les directions. Les valeurs de la réflectance peuvent être reliées à l'absorbance du solide par la méthode de Kubelka-Munk [22].

Les mesures de spectroscopie d'absorption IR est réalisées à l'aide d'un spectromètre IR à transformée de Fourier en mode de réflexion totale atténuée (ATR). Les échantillons sont analysés dans la gamme de fréquence 400 - 4000  $\text{cm}^{-1}$  avec une source irradiant dans le moyen IR.

### **3.3. Evaluation de l'activité antioxydante totale (PPM)**

Le test du PPM (PhosPhoMolybdate) est une variante du test DPPH. Au cours de ce test, l'hydrogène et l'électron sont transférés du composé réducteur (extrait antioxydant) vers le complexe oxydant (PPM). Ce transfert dépend du potentiel redox, du pH du milieu et de la structure du composé antioxydant. Une solution 0,6 M d'acide sulfurique, 28 mM phosphate de sodium ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ) et 4 mM molybdate d'ammonium est préparée. Après, 0.3 ml de NPs ou le standard (acide gallique) dilué est ajouté à 3ml de la solution précédente. Aussi 0.3ml. Le mélange est placé dans un bain marie à une température de 95°C pendant 60 min, après refroidissement l'absorbance est mesurée à 695 nm [23].

L'évaluation de l'activité antioxydant de nos NPs est comparée par rapport l'acide gallique qui utilisé comme antioxydant standards.

### **3.4. Test d'évaluation d'activité antioxydant DPPH**

Le test DPPH (2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl) est une méthode largement utilisée dans l'analyse de l'activité antioxydant. En effet, le DPPH se caractérise par sa capacité à produire

des radicaux libres stables. Cette stabilité est due à la délocalisation des électrons libres au sein de la molécule. La présence de ces radicaux DPPH<sup>•</sup> donne lieu à une coloration violette foncée de la solution, qui absorbe aux environs de 517 nm. La réduction des radicaux DPPH<sup>•</sup> par un agent antioxydant entraîne une décoloration de la solution à examiner.

0.5 ml d'une solution méthanoïque de DPPH (7.8 mg DPPH dans 100 ml méthanol) est mélangé avec 0.3 ml des nanoparticule avec différentes concentrations. Le mélange obtenu est ensuite gardé à l'abri de la lumière à la température ambiante pendant 30 minutes. Puis l'absorbance est mesurée à 517 nm contre un témoin composé de 0.5 ml de la solution de DPPH et de 0.3 ml de méthanol [24]. L'activité anti radicalaire exprimée en IC<sub>50</sub> (mg / ml), la concentration anti-radicalaire nécessaire pour provoquer 50% d'inhibition.

#### 4. CONCLUSION

Dans ce travail de recherche, une approche de synthèse verte pour la synthèse de NPs Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> utilisant l'extrait des feuilles *Phoenix Dactylifera* L comme un agent réductrice. Nous préparons préparé des NPs Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> hautement cristallins, de forme sphérique et sans utilisation des réactifs chimique. Les résultats montrés que les NPs Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> synthétisées avec trois concentration de FeCl<sub>3</sub> conduit à former des nanoparticules d'oxyde de fer avec particules des tailles différents 6 à 22 nm. Les résultats montre aussi que tous les NPs présentent une activité antioxydante considérables, et que les NPs de taille inferieur apparait une activité supérieur que les NPs de taille supérieur. La synthèse verte des NPs par l'extrait des feuilles *Phoenix Dactylifera* L peut être appliquée pour d'autres NPs métalliques en raison du fait que l'extrait est fortement oxydé dans la nature et est très susceptible de réduire les métaux. Dans le futur travail est d'évaluer l'activité catalytique et antibactérienne les NPs synthétisées à l'aide des feuilles de *Phoenix Dactylifera* L.

#### 5. REFERENCES

- [1] Parveen S, Misra R, Sahoo SK. Nanoparticles. A boom in drug delivery, therapeutics, diagnostics and imaging. *Nanomed-Nanotechnol*, 2012, 8(2):147–66.
- [2] Phillips J, Bowen W, Cagin E, Wang W. Electronic and optoelectronic devices based on

semiconducting zinc oxide. *Comprehensive Semiconductor Science and Technology*, 2011: 101–27.

[3] Gulians VV, Shiju NR. Recent developments in catalysis using nanostructured materials. *Appl Catal A Gen*, 2009, 356:1–17.

[4] Lead JR, Ju-Nam Y. Manufactured nanoparticles: an overview of their chemistry, interactions and potential environmental implications. *Sci Total Environ*, 2008, 400:396-414.

[5] Kim W, Kim K, Jung B, Kim J. Effects of embedding non-absorbing nanoparticles in organic photovoltaics on power conversion efficiency. *Sol Energy Mater Sol Cells*. 2010, 94:1835–9.

[6] Park HH, Choi YJ. Direct patterning of SnO<sub>2</sub> composite films prepared with various contents of Pt nanoparticles by photochemical metal-organic deposition. *Thin Solid Films*, 2011, 519:6214–6218.

[7] Hubenthal F. Noble metal nanoparticles: synthesis and optical properties. *Comprehensive Nanosci. Technol. Nanomaterials*, 2011: 375–435.

[8] Jin ES, Ghodake GS, Deshpande NG, Lee YP. Pear fruit extract-assisted room temperature biosynthesis of gold nanoplates. *Colloids Surf B*, 2010, 75: 584 – 589.

[9] Sanghi R, Verma P. Biomimetic synthesis and characterization of protein capped silver nanoparticles. *Bioresour Technol*, 2009, 100:501–504.

[10] Noruzi M, Zare D, Khoshnevisan K, Davoodi D. Rapid green synthesis of gold nanoparticles using *Rosa hybrida* petal extract at room temperature. *Spectrochim Acta A*, 2011, 79:1461–1465.

[11] Yang, JB, Zhou X D, Yelon WB, James WJ, Cai Q, Gopalakrishnan KV, Malik SK, Sun X C, Nikles D E. Magnetic and structural studies of the Verwey transition in Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles. *J Appl Phys*, 2004, 95: 7540-7542.

[12] Demortière A., Panissod P, Pichon B, Pourroy G, Guillon D, Donnio B, Bégin-Colin S. Size-Dependent Properties of Magnetic Iron Oxide Nanocrystals. *Nanoscale*, 2011, 3(1), 225-232.

[13] Santoyo Salazar J, Perez L, Abril O, Truonc Phuoc L., Ihiwakrim D, Vazquez M, Greneche J.M, Begin-Colin S, Pourroy G. Uniform Magnetic Iron oxide nanoparticles in

10-40 nm range : composition in terms of magnetite/maghemite ratio, and effect on the magnetic properties. *Chem Mater*, 2011, 23 (6) : 1379-1386.

[14] Park J, An K, Hwang Y, Park J.G, Noh HJ, Kim JY, Park JH, Hwang NM, Hyeon T. Ultra-large-scale syntheses of monodisperse nanocrystals. *Nat Mater* 2004, 3(12): 891.

[15] Le Bail, A, Duroy H, Fourquet JL. Ab-initio structure determination of LiSbWO<sub>6</sub> by X-ray powder diffraction. *Mater Res Bull.*, 1988, 23 (3): 447-452.

Basavegowda N, Magar KBS, Mishra K, Lee YR. Green fabrication of ferromagnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles and their novel catalytic applications for the synthesis of biologically interesting benzoxazinone and benzthioxazinone derivatives. *New J Chem.*, 2014,38(11):5415–5420

[16] Basavegowda N, Mishra K, Lee YR. Sonochemically synthesized ferromagnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles as a recyclable catalyst for the preparation of pyrrolo [3, 4-c] quinoline-1,3-dione derivatives. *RSC Adv.*, 2014, 4(106):61660–61666

[17] Aliev FG, Correa-Duarte MA, Mamedov A, Ostrander JW, M. Giersig LM, Liz-Marzán, N.A. Kotov. Layer-By-Layer Assembly of Core-Shell Magnetite Nanoparticles: Effect of Silica Coating on Interparticle Interactions and Magnetic Properties *Adv Mater.*, 1999, 11(12): 1006.

[18] Belikov VG, Kuregyan AG, Ismailova GK. Standardization of magnetite *Pharma Chem J.*, 2002, 36(6):333-336.

[19] Patra JK, Baek KH. Green biosynthesis of magnetic iron oxide (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles using the aqueous extracts of food processing wastes under photo-catalyzed condition and investigation of their antimicrobial and antioxidant activity. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology.*, 2017,173;291-300.

[20] Kanagasubbulakshmi S, Kadirvelu K. Green synthesis of Iron oxide nanoparticles using *Lagenaria siceraria* and evaluation of its Antimicrobial activity. *Defense Life Sci J.*, 2017, 2(4):422-427.

[21] Gaharwar US, Meena R, Rajamani P. Iron oxide nanoparticles induced cytotoxicity, oxidative stress and DNA damage in lymphocytes. *Journal of Applied Toxicology.*, 2017, 37(10): 1232-1244.

[22] Bragg WH MA, Bragg WLBA. The reflection of X-rays by crystals. Proc R. Soc. Lond. Math. Phys. Eng. Sci., 1913, 88, 428.

[23] Laouini SE, Kelef A, Ouahrani MR. Free radical scavenging activity and phytochemical composition of Artemisia (herba-alba) extract growth in Algeria. J Fund Applied Sci., 2018,10(1):268-280.

[23] Zouari Ahmed R, Ouahrani MR, Laouini SE, Meneceur S. Screening of phenolic compounds from Abelmoschus esculentus L extract fruits and evaluation of antioxidant and antibacterial activities. Res. J. Chem. Environ., 2018, 22(2) ;1-6

**How to cite this article:**

Laouini SE. Green synthesis of iron nanoparticles using leaf extract from *phoenix dactylifera*. L. J. Fundam. Appl. Sci., 2019, 11(2), 978-993.