



République Algérienne Démocratique Et Populaire
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique
Université Echahid Hamma Lakhdar-El oued
Faculté De La Technologie
Département Génie Des Procèdes Et Pétrochimie



Mémoire De Fin D'étude

En Vue De L'obtention Du Diplôme de :

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Industrie pétrochimique

Spécialité : Génie du pétrochimique

Présenté par :

Ammari Saida

Messioughi Ala Eddine

Thème

L'adsorption préférentielle et améliorée de différents colorants ; rouge de crésol, bleu d'évans, méthyle d'orange et vert de méthyle sur différents nanoparticules d'oxyde de fer dans un milieu aqueux : une étude comparative

Devant le Jury :

Mr Boudouh

Président

Université d'El Oued.

Mr Guerram

Examineur

Université d'El Oued.

Mr Ahmouda Kaouthar

Rapporteur

Université d'El Oued.

2017/2018

Remerciements

Au terme de ce travail, nous aimerions exprimer notre profonde gratitude à notre cher professeur et encadrant AHMOUDA KAOUTHER pour son suivi et pour son énorme soutien, qu'il n'a cessé de nous prodiguer tout au long de la période du projet et pour les précieuses informations qu'elle m'a prodiguées avec intérêt et compréhension.

Nous aimerions également remercier les membres du jury pour leur révision et jugement de ce travail.

Nous remercions vont à tout le personnel de laboratoire que nous avons contacté durant notre expérimentation au sein auprès desquelles nous trouvons l'accueil chaleureux, l'aide et l'assistance dont nous avons besoin.

Et particulièrement ceux de la section chimique pour leur aide et leurs précieux conseils et pour l'intérêt qu'ils portent à nous formation.

Enfin, nous remercions à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce projet.

sommaires

Sommaires

Introduction Générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I Nanoparticules définition et caractérisation

I-1- INTRODUCTION	6
I-2- Définition.....	6
I-3- Nanoparticules d'oxyde de fer	6
I-4- Les types des nanoparticules métalliques d'oxyde de fer	7
I-5- Les applications des nanoparticules d'oxyde de fer.....	9
I-6- Synthèse de nanoparticules en solution.....	11
I-7- La théorie classique de formation de nanoparticules ; nucléation et croissance	14
I-8- Facteurs influencent la taille et la morphologie.....	18
I-9- conclusion.....	18
Les références bibliographiques:	19

Chapitre II Les Plantes Médicinales De Notre Région, utilisées dans la synthèse de nanoparticules d'oxyde de fer, définition et caractérisation

II-1- Introduction.....	22
II-2- Juniperus L	22
II-3- Rosmarinus L	23
II-4- Anacyclus valentins L.....	25
II-5- Artemisia.....	27
II-6- Conclusion	29
Les références bibliographiques:	30

CHAPITRE III Les Colorants Industriels

III-1- Introduction	33
III-2- Définition de colorants	33
III-3- Classification de colorants.....	33
III-4- Classification tinctoriale	35
III-5- Les utilisations des colorants.....	36
III-6- Rôles des colorants	37
III-7- Bleu Evans.....	37
III-8- Vert de méthyle	38
III-9- Rouge de Crésol.....	39

III-10-Méthyl d'orange	40
III-11-La toxicité de colorants.....	41
Les références bibliographiques	42

Chapitre IV le phénomène de L'adsorption

IV-1- Introduction	45
IV-2- Définition.....	45
IV-3- Les types de l'adsorption.....	46
IV-4-Mécanisme de l'adsorption	46
IV-5- Approches thermodynamiques	47
IV-6- Conclusion	48
Les références bibliographiques	49

Chapitre V Les Méthodes Physiques D'analyse Spectroscopiques

V -1- Introduction.....	51
V -2- Les méthodes physiques d'analyse spectroscopiques radiatives	51
V -2-1-Spectroscopie UV-visible	51
V-2-2-Spectroscopie vibrationnelle infra-rouge IR.....	52
V -2-3-Diffraction de rayons X	53
V -3-Conclusion	54
Les références bibliographiques	55

Chapitre VI La Partie Expérimentale

VI-1- Introduction	57
VI-2- Matériels.....	57
VI-3- Matériaux.....	57
VI-4- Outils	57
VI-5- Caractérisation de l'adsorbant et de l'adsorbat	57
VI-6- Analyse de spectres Rayons X	70
VI-7- Préparation des solutions standards.....	81
VI-8- Etude de la cinétique de l'adsorption	81
VI-9-Thermodynamique de l'adsorption	91
VI-10- Etude thermodynamique	95
VI-11-Photosensibilité	96
VI-12-Discussion	101
VI-13-Etude comparative.....	103

Sommaires

VI-14-Conclusion.....	107
Les références bibliographiques-	108
Conclusion générale	110

Liste des figures

Figure I.1 :Représentation schématique de la stabilisation électrostatique de nanoparticules.....	12
Figure I. 2: Représentation schématique de la stabilisation stérique de nanoparticules[13].....	13
Figure I.3: Représentation schématique du mode de stabilisation électrostériques.....	13
Figure I.4 : Théorie classique de la nucléation : dépendance de l'énergie libre du nucleus en fonction de son rayon. Figure tirée de[13].	15
Figure I.5 : Mécanisme de nucléation propose par LaMer pour des nanoparticules de soufre. Figure tirée de[13].....	16
Figure I.6: Représentation schématique du mûrissement d'Ostwald[15].....	17
Figure (II .1): Plante juniperus[1].	22
Figure (II .2): Rosmarinus officinalis L	24
Figure (II .3) : La fleur de Rosmarinus officinalis L.....	25
Figure (II-4) : Photo de la plante Anacyclus valentins L	26
Figure II-5 : Une photographie de l'usine d'absinthe	28
Figure III.1: Formule chimique d'azoïque[6].	34
Figure III.2: Formule chimique de l'anthraquinone[7].	34
Figure III.3: Formule chimique d'indigoïdes[8].	34
Figure III.4: Formule développée du Bleu Capri	35
Figure III.5 : Formule développée du rouge Congo.....	35
Figure III.6: Structures moléculaires de colorants a complexes métallifères	36
Figure V.1: Courbe l'absorbance en fonction de la longueur[1]. d'onde[19].	51
Figure V.2: Famille de plans cristallins en condition de Bragg	53
Figure VI.7 : Spectre IR du orange méthyl à 25 °C	61
Figure VI.8 : Spectre IR du vert de méthyle à 25 °C	61
Figure VI. 25: modèle XRD de nanoparticules d'oxyde de fer de Artemisia L radiation Cu K α , calcinées à 550 °C	70
Figure VI.26 : modèle XRD de nanoparticules d'oxyde de fer de anacyclus valentinus L radiation Cu K α , calcinées à 550 °C	71
Figure VI. 27 : modèle XRD de nanoparticules d'oxyde de fer de rosmarinus L radiation Cu K α , calcinées à 550 °C	71
Figure VI.28 : modèle XRD de nanoparticules d'oxyde de fer de juniperus L, radiation Cu K α , calcinées à 550 °C	72

Figure VI.30 : Représentation de variation de la capacité d'adsorption de $\square$ NPOFAna, $\blacksquare$ NPOFRos, $\blacktriangle$ NPOFJun et $\blacklozenge$ NPOFArm à adsorber le bleu d'Evans dans les conditions de travail ; à l'obscurité $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=5$, $C_{\text{nano}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{colorant}}=250\text{ mg/L}$ et $C_{\text{NaCl}}=0,01\text{M}$	78
Figure VI.31 : Représentation de variation de la capacité d'adsorption de $\square$ NPOFAna, $\blacksquare$ NPOFRos, $\blacktriangle$ NPOFJun et $\blacklozenge$ NPOFArm à adsorber le vert de méthylène dans les conditions de travail ; à l'obscurité $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=5$, $C_{\text{nano}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{colorant}}=250\text{ mg/L}$ et $C_{\text{NaCl}}=0,01\text{M}$	79
Figure VI. 32 : Représentation de variation de la capacité d'adsorption de $\square$ NPOFAna, $\blacksquare$ NPOFRos, $\blacktriangle$ NPOFJun et $\blacklozenge$ NPOFArm à adsorber le vert de méthylène dans les conditions de travail ; à l'obscurité $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=5$, $C_{\text{nano}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{colorant}}=250\text{ mg/L}$ et $C_{\text{NaCl}}=0,01\text{M}$	80
Figure VI. 33 : Comparaison des rendements de l'adsorption isotherme de RC sur sur ; NPOFAna, NPOFJun, NPOFRos et NPOFArm, en premier, $\text{pH}=5$, $C_{\text{NPOF}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{Colorant}}=25\text{mg/L}$, au milieu à $T=45^{\circ}\text{C}$, et au dernier cas sous l'effet de la lumière UV pendant 4 h	96
Figure VI. 34 : Comparaison des rendements de l'adsorption isotherme de BE sur sur ; NPOFAna, NPOFJun, NPOFRos et NPOFArm, en premier, $\text{pH}=5$, $C_{\text{NPOF}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{Colorant}}=25\text{mg/L}$, au milieu à $T=45^{\circ}\text{C}$, et au dernier cas sous l'effet de la lumière UV pendant 4 h	97
Figure VI. 35 : Comparaison des rendements de l'adsorption isotherme de OM sur sur ; NPOFAna, NPOFJun, NPOFRos et NPOFArm, en premier, $\text{pH}=5$, $C_{\text{NPOF}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{Colorant}}=25\text{mg/L}$, au milieu à $T=45^{\circ}\text{C}$, et au dernier cas sous l'effet de la lumière UV pendant 4 h	98
Figure VI. 36 : Comparaison des rendements de l'adsorption isotherme de VM sur sur ; NPOFAna, NPOFJun, NPOFRos et NPOFArm, en premier, $\text{pH}=5$, $C_{\text{NPOF}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{Colorant}}=250\text{mg/L}$, au milieu à $T=45^{\circ}\text{C}$, et au dernier cas sous l'effet de la lumière UV pendant 4 h	99
Les figures VI. 37 : Tubes photo pour tester les couleurs (Référence ; Avant la chaleur ; Après la lumière)	101
Figure VI. 38 : Comparaison de rendements d'adsorption des colorants ; RC, BE, MO, et VM sur NPOFAna, NPOFArm, NPOFRos et NPOFJun, $T=25^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=5$, $C_{\text{nano}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{col}}=250\text{ mg/L}$, $V_{\text{sol}}=4\text{ ml}$ et à l'abri de la lumière (dans l'obscurité)	105
Figure VI.39 : Comparaison de rendements d'adsorption des colorants ; RC, BE, MO, et VM sur NPOFAna, NPOFArm, NPOFRos et NPOFJun, $T=45^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=5$, $C_{\text{nano}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{col}}=250\text{ mg/L}$, $V_{\text{sol}}=4\text{ ml}$ et à l'abri de la lumière (dans l'obscurité)	105

Figure VI.40 : Comparaison de rendements d'adsorption des colorants ; RC, BE, MO, et VM sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun, $T=45^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=5$, $C_{\text{nano}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{col}}=250\text{ mg/L}$, $V_{\text{sol}}=4\text{ ml}$ et sous 4h de la lumière UV 106

Liste des tableaux

Tableau I.1: les propriétés physico-chimiques des différents types des nanoparticules d'oxyde de fer [2][3][4].	7
Tableau (II-1) : Classification systématique du genre Rosmarinus L	24
Tableau (II-2) : Classification Systématique de genre Anacyclus valentins L[6].	26
Tableau.III.1 : Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante	33
Tableau III-2: les caractéristiques physico-chimiques du Bleu d'Evans[19].	38
Tableau III-3: les caractéristiques physico-chimiques du VM.	38
Tableau III-4: les caractéristiques physico-chimiques du Rouge de Crésol	39
Tableau III-5: Caractéristiques physico-chimiques du Méthyl orange	40
Tableau VI.1 : Données expérimentales de diamètres de NPOF _{Ros} calculés par la loi de debye-scherrer.	73
Tableau VI.2 : Données expérimentales de diamètres de NPOF _{Jen} calculés par la loi de debye-scherrer.	73
Tableau VI.3 : Données expérimentales de diamètres de NPOF _{Ros} calculés par la loi de desye-scherrer	73
Tableau VI.4 : Données expérimentales de diamètres de NPOF _{Art} calculés par la loi de desye-scherrer	74
Tableau VI. 5 : Représentation de courbes d'étalonnage $abs=f(c)$, de RC, BE, MO et VM	74
Tableau VI. 6 : données de l'adsorption de rouge de crésol RC sur à 25 °C, $abs_0=2,347$, pH= 5 , $C_{nano}= 2g/L$, $C_{colorant}= 250 mg/L$ et $C_{NaCl}=0,01M$	77
Tableau VI.7 : Données de l'adsorption de Bleu d'Evans BE sur les NPOF _{Ana} , NPOF _{Ros} ,NPOF _{Jun} , NPOF _{Arm} , à l'obscurité, T= 25 °C, $abs_0= 2,959$, pH= 5 , $C_{nano}= 2g/L$, $C_{colorant}= 250 mg/L$ et $C_{NaCl}=0,01M$.	78
Tableau VI. 8 : Données de l'adsorption de vert de méthyl VM sur les NPOF _{Ana} , NPOF _{Ros} ,NPOF _{Jun} , NPOF _{Arm} à l'obscurité, T= 25 °C, $abs_0= 0,863$, pH= 5 , $C_{nano}= 2g/L$, $C_{colorant}= 250 mg/L$ et $C_{NaCl}=0,01M$	79
Tableau VI.9 : Données de l'adsorption méthyl d'orange MO sur NPOF _{Ana} , NPOF _{Ros} ,NPOF _{Jun} , NPOF _{Arm} à l'obscurité, T= 25 °C, $abs_0= 0,763$, pH= 5 , $C_{nano}= 2g/L$, $C_{colorant}= 250 mg/L$ et $C_{NaCl}=0,01M$	80
Tableau VI. 10 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOF _{Ana} , NPOF _{Arm} ,NPOF _{Ros} et NPOF _{Jun} ,modèle pseudo premier ordre, eq (VI.3).	81

Tableau VI. 11: Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOFAna , NPOFArm ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo premier ordre, eq(VI.4).....	82
Tableau VI. 12 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du Bleu d'Evans sur NPOFAna , NPOFArm ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo premier ordre, eq (VI.3).....	83
Tableau VI. 13 : représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du Bleu d'Evans sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo second ordre, eq (VI.4).....	84
Tableau VI. 14 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl d' orange 85 sur NPOFAna , NPOFArm ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo premier ordre, eq (VI.3)...85	85
Tableau VI.15 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl d'orange sur NPOFAna , NPOFArm ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo premier ordre, eq (VI.4).....	85
Tableau VI.16 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du vert de methyl86 sur NPOFAna , NPOFArm ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo premier ordre, eq (VI.3)...86	86
Tableau VI. 17 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl de vert87 sur NPOFAna , NPOFArm ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo premier ordre, eq (VI.4)...87	87
Tableau VI.18 : Représentation de la cinétique de la diffusion intra-particulaire du Rouge de crésol sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèle diffusion intra-particulaire, (eq VI.5)	88
Tableau VI.19 : Représentation de la cinétique de la diffusion intra-particulaire du Bleu d'Evans sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèle diffusion intra-particulaire, (eq VI.5)	89
Tableau VI. 20 : Représentation de la cinétique de la diffusion intra-particulaire d' orange de méthyl sur NPOFAna , NPOFArm ,NPOFRos et NPOFJun , modèle diffusion intra-particulaire, (eq VI.5)	90
Tableau VI.21 : Représentation de la cinétique de la diffusion intra-particulaire du vert de méthyl sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèle diffusion intra-particulaire, (eq VI.5)	91
Tableau VI.22 : Représentation de la thermodynamique de l'adsorption du RC sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèle diffusion intra-particulaire, (eq VI. 6 - 7)	92
Tableau VI.23 : Représentation de la thermodynamique de l'adsorption du Bleu d'Evans sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèles, (eq VI. 6 - 7)	93
Tableau VI.24 : Représentation de la thermodynamique de l'adsorption du orange de méthyl sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèles, (eq VI. 6 - 7)	93
Tableau VI.25 : Représentation de la thermodynamique de l'adsorption du vert de mthyl sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèles, (eq VI. 6-7)	94

Liste des tableaux

Tableau VI.26: Enthalpie, entropie et l'énergie libre de la réaction de l'adsorption de RC sur , eq (VI.8).	95
Tableau VI.27: Enthalpie, entropie et l'énergie libre de la réaction du Bleu d'Evans, eq (VI.8). 95	
Tableau VI. 28: Enthalpie, entropie et l'énergie libre de la réaction de l'adsorption de OM sur , eq (VI.8).	95
Tableau VI.29: Enthalpie, entropie et l'énergie libre de la réaction de l'adsorption de VM sur , eq (VI.8).	95
Tableau VI.30 : Données expérimentales du phénomène de l'adsorption isotherme de RC sur ; 1 NPOF _{Ana} , 2 NPOF _{Jun} , 3 NPOF _{Ros} et 4 NPOF _{Arm} sous l'effet de la lumière UV, pH= 5, C _{NPOF} = 2g/L, C _{colorant} =25mg/L	96
Tableau VI.31: Données expérimentales du phénomène de l'adsorption isotherme de BE sur ; 1 NPOF _{Ana} , 2 NPOF _{Jun} , 3 NPOF _{Ros} et 4 NPOF _{Arm} sous l'effet de la lumière UV, pH= 5, C _{NPOF} = 2g/L, C _{colorant} =25mg/L	96
Tableau VI.32: Données expérimentales du phénomène de l'adsorption isotherme de MO sur ; 1 NPOF _{Ana} , 2 NPOF _{Jun} , 3 NPOF _{Ros} et 4 NPOF _{Arm} sous l'effet de la lumière UV, pH= 5, C _{NPOF} = 2g/L, C _{colorant} =25mg/L	97
Tableau VI.33: Données expérimentales du phénomène de l'adsorption isotherme de VM sur ; 1 NPOF _{Ana} , 2 NPOF _{Jun} , 3 NPOF _{Ros} et 4 NPOF _{Arm} sous l'effet de la lumière UV, pH= 5, C _{NPOF} = 2g/L, C _{colorant} =250mg/L	98
Tableau VI. 34 : Comparaison de rendements de l'élimination de RC, BE, OM et VM, T= 25 °C, pH= 5 , C _{nano} =2g/L, C _{col} =250 mg/L, V _{sol} = 4 ml, T= 45°C et sous 4h de la lumière UV	104

SYMBOLES UTILISES POUR LE CALCUL DE L'ÉCHANGEUR

Symbole	Signification
NPOF _{Ana}	nanoparticules d'oxyde de fer de Anacyclus valentinus L
NPOF _{Ros}	nanoparticules d'oxyde de fer de Rosmarinus L.
NPOF _{Jun}	nanoparticules d'oxyde de fer de Juniperus L.
NPOF _{Arm}	nanoparticules d'oxyde de fer de Artemisia L.
BE	Bleu d'Evans
VM	Vert de méthyle.
RC	Rouge de Crésol.
MO	Méthyl d'orange.
$\lambda_{\max}$	maximum d'absorption.
C	concentration molaire de la solution (mol.L ⁻¹).
V	Volume de soluté (L).
m	la masse de l'adsorbant (nanoparticules) (g).
UV	La spectroscopie UV –visible.
IR	Spectroscopie vibrationnelle infra-rouge.
T	Température (°C).

Introduction générale

Introduction Générale

Un grand intérêt a été suscité dans l'utilisation de nanoparticules dans la purification des milieux aqueux. Ces matériaux présentent une sélectivité élevée à éliminer un polluant d'un autre. En petites quantités, peuvent fournir une récupération élevée des polluants, même dans une solution de grand volume. Les NPs permettent un isolement facile et rapide des polluants [1].

Dans le processus de purification basant sur le phénomène de l'adsorption, il n'est pas toujours possible d'obtenir une récupération satisfaisante des polluants. En plus, l'isolement et l'enrichissement des composés individuels peuvent être laborieux et longs. En effet, Les nanoparticules sont une alternative parfaite aux adsorbants classiques. Elles (NPs) permettent de surmonter ces limitations. En raison de leur petite taille de particule, les NPs se caractérisent par une grande surface spécifique et une grande capacité d'adsorption, ainsi qu'une grande sélectivité de polluants. L'utilisation de NPs peut diminuer considérablement la durée du processus d'extraction. Une petite quantité de l'adsorbant (NPs) permet d'atteindre un équilibre thermodynamique rapide entre la phase solide ; l'adsorbant et la phase fluide ; le polluants ou l'adsorbat , même avec un grand volume de solution à purifier.

les nanoparticules possèdent des propriétés physiques, chimiques et biologiques nouvelles et significativement modifiées en raison de leurs structures. le rapport plus élevé de surface / volume influence le traitement, la détection et la prévention [2] de NPs. Ces propriétés uniques des nanoparticules, par exemple, une forte réactivité et une forte sorption, sont explorées pour une application dans le traitement d'eaux usées en fonction de leurs fonctions. Les nanoparticules sont souvent utilisées dans la purification dans plusieurs domaines ; filtration des eaux usées [3] , des métaux, des colorants [4] [5] , des acides organiques , des aliments, biochimie analyse des médicaments [6]. les nanoparticules sont démontrées une grande performance dans le traitement des eaux usées [7] mieux que des autres techniques grâce à leur surface d'échange grande (le rapport de la surface au volume), leur réactivité supérieure, et leur photocatalyse [8].

Les colorants modernes ont une variété multiple. ils sont souvent fabriqués pour résister à la rupture de l'exposition à long terme à la lumière du soleil, l'eau et d'autres conditions. leurs élimination des eaux usées colorées soient plus difficile. Dans la catégorie globale de colorants textiles synthétiques, les colorants constituent environ la moitié de la production mondiale (700 000 tonnes par an), et environ 15% d'entre eux participe à la pollution de l'environnement [9].

Dans le cadre de sauver notre environnement, une étude scientifique préférentielle de purification par l'adsorption solide/ liquide dans un milieu aqueux, de 4 colorants (polluants) ; rouge de crésol, bleu d'Evans, vert de méthyl et le méthyl d'orange sur 4 types des nanoparticules d'oxyde de fer ; les nanoparticules d'oxyde de fer de *Anacyclus valentinus* L, les nanoparticules d'oxyde de fer de *Rosmarinus* L, les nanoparticules d'oxyde de fer de *Juniperus* L, et les nanoparticules d'oxyde de fer de *Artemisia* L, synthétisées dans notre laboratoire en utilisant des plantes médicinales de notre région de Oued Souf, a été faite.

Cette étude de purification préférentielle a nécessité six chapitres présentés dans notre mémoire dont;

Le premier chapitre présente de définition et caractérisation des nanoparticules et des nanoparticules d'oxyde de fer ; ses propriétés, ses applications, ses structures, ses formes, ses différents méthode de synthèse ...etc,

Puis, le second chapitre présente de définition et caractérisation des plantes médicinales de région de Oued Souf utilisées dans le biosynthèse de les adsorbants (NPs) ; *Juniperus* L , *Rosmarinus* L, *Anacyclus valentinus* L , et *Artemisia* L,

Alors que, le chapitre 3 présente de définition et caractérisation de les adsorbats ; les colorants sont : rouge de crésol, Bleu d'Evans, Vert de méthyl, et Méthyl d'orange,

Le chapitre 4 présente les principes de base du phénomène de l'adsorption ; ses types, ses principales applications, ses mécanismes,

Ensuite, le chapitre 5 présente les principes des méthodes physiques d'analyse: UV, IR , et les Rayons X,

Enfin, le chapitre 6 représente l'étude expérimentale de processus de purification préférentielle de RC, BE, MO et VM (polluants) dans l'eau par l'adsorption sur 4 types des nanoparticules d'oxyde de fer, en utilisant un plan des expériences et l'étude de l'effet de plusieurs facteurs incluant le temps, la lumière et la chaleur sur le rendement de l'adsorption.

Les références bibliographies

1. **G. Giakisikli, A.N. Anthemidis.** (Magnetic materials as sorbents for metal/ metalloid preconcentration and/or separation. A review, *Anal. Chim. Acta* 789 (2013) 1–16).
2. **Morrison, D. G. Rickerby and M.** [“Nanotechnology and the environment: a European perspective,” *Science and Technology of Advanced Materials*, vol. 8, no. 1-2, pp. 19–24, 2007.
3. **M. T. Amin, A. A. Alazba, and U. Manzoor.** (; A Review of Removal of Pollutants from Water/Wastewater Using Different Types of Nanomaterials (2014)), .
4. **Bedabrata Saha et al .** (. Preferential and Enhanced Adsorption of Different Dyes on Iron Oxide Nanoparticles: A Comparative Study (2011) .
5. **T. Shahwan et al.** Green synthesis of iron nanoparticles and their application as a Fenton-like catalyst for the degradat.
6. **Mya Khin et al.** A review on nanomaterials for environmental remediation (2012) .
7. **Piao Xu et al.** Use of iron oxide nanomaterials in wastewater treatment: A review (2012).
8. **Amit KumarDutta et al.** (Nanoparticles photo-catalyst . γ -Fe₂O₃ nanoparticles: An easily recoverable effective photo-catalyst for the degradation of rose bengal and methylene blue dyes in the waste-water treatment plant (2014).
9. **H. Park, W. Choi.** Visible light and Fe(III)-mediated degradation of acid Orange.

Etude bibliographique

Chapitre I : Nanoparticules

définition et caractérisation

I-1- INTRODUCTION

Michael Freddie, a fait la première étude de nanoparticules de l'or. Il a découvert que la cause du passage du couleur jaune au couleur rouge était due à un changement dans la structure de ses molécules en nanostructures.

La proportion de les atomes de surface augmente par rapport aux atomes de volume, à mesure que la taille des particules diminue. Lorsque la taille des particules devient inférieure à 50 nm. Les propriétés physiques et chimiques des nanoparticules deviennent différentes de celles des matériaux massifs correspondant. Ce phénomène résulte de la modification de la structure électronique du matériau. Ainsi, lorsque la taille décroît, il y a passage de la structure de bandes du métal massif à une structure comprenant des niveaux électroniques discrets, non rencontrées avec les matériaux de plus grande taille (échelle micrométrique). A l'échelle nanométrique, les matériaux présentent des caractéristiques différentes de celles des mêmes matériaux à l'état massif ; la distance entre les atomes de la matière est de l'ordre de 10^{-6} m, ce qui réduit l'efficacité de la surface d'échange et les propriétés des matériaux. Néanmoins, à l'échelle nanométrique, l'efficacité de la surface d'échange est plus importante ; la distance entre les atomes de la matière est de l'ordre de 10^{-9} m rend le pourcentage des atomes augmente au niveau de la surface de la particule. Par exemple pour un cube de fer de 1 cm de côté, le pourcentage des atomes à la surface est de 10^{-5} % et pour un cube de 10 nm de côté, le pourcentage des atomes à la surface est de 10 %). La proportion d'atomes influence les propriétés des échanges à l'interface entre la particule et son environnement telles que la tension superficielle et la réactivité chimique des nanoparticules. Ainsi que la forme d'équilibre d'un cristal. En effet, dans les conditions d'équilibre thermodynamique, la forme d'un cristal est unique [1].

Grace à leurs propriétés utiles, les nanoparticules sont utilisées dans plusieurs domaines; médical, biologique, catalytique, optique, extraction ...ect.

I-2- Définition

Une nanoparticule est de taille comprise entre 1 et 100 nm. Les matériaux de cette taille confèrent souvent des propriétés physiques et chimiques uniques. la diminution de taille provoque une augmentation du rapport surface / volume, dit l'amélioration de leurs propriétés[2].

I-3- Nanoparticules d'oxyde de fer

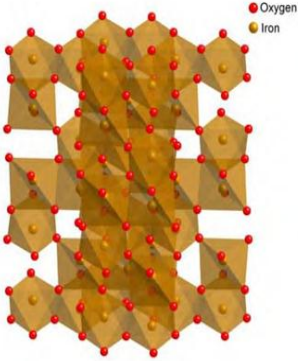
Un grand nombre de polymorphe d'oxy-hydroxydes de fer existent dans la nature, presque toutes les phases composés d'ions ferriques, ferreux et même les composés mixtes ont été trouvés. Deux facteurs permettent la richesse et l'abondance des oxy-hydroxyde de fer: les deux degrés d'oxydations de fer (+II et +III) et la réactivité de ses complexes .

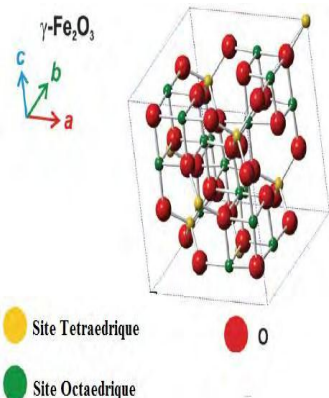
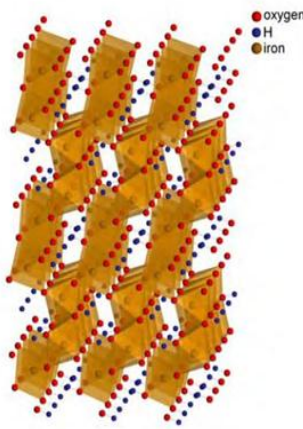
les nanoparticules métalliques d'oxyde de fer sont des excellents exemples de l'intérêt de diminuer la taille pour accéder à des propriétés d'usages nouvelles ou améliorées. Divers propriétés des nanoparticules d'oxyde de fer (magnétique, électrique, optique et réactivité), permettent une large gamme de domaines d'applications tels que le biomédical, le traitement des eaux, la catalyse, les capteurs de gaz, les accumulateurs lithium-ion, la décoration et la cosmétique[1].

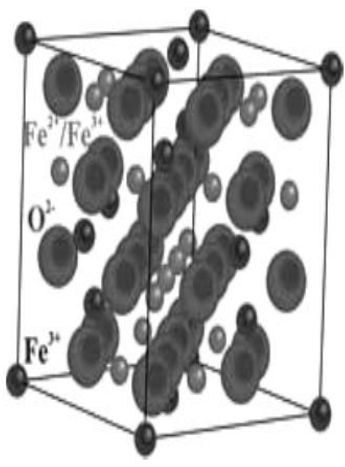
I-4- Les types des nanoparticules métalliques d'oxyde de fer

Des différentes phases des oxy-hydroxydes de fer peuvent se former en fonction du taux d'hydroxylation et de la composition dans le système ferreux–ferrique, dont ; magnétite, Ferro-magnétite, hématite et goethite

Tableau I.1: les propriétés physico-chimiques des différents types des nanoparticules d'oxyde de fer [2][3][4].

Nanoparticules d'oxyde de fer	Structure cristalline	couleur	Autres propriétés physico-chimiques
Hématite, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, est le principal minéral pour produire du fer. sa structure, déterminée par Pauling et Hendricks en 1925, il a la même structure que le corindon, $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. les paramètres de réseau indiqués dans la cellule hexagonale sont les suivants: $a = b = 5,0346 \text{ \AA}$ et $c = 13,752 \text{ \AA}$.		Rouge à noir	Masse molaire :160 g/mol Masse volumique : 5260 kg/m ³ Température de fusion : 1350 °C

Maghemite, *présente une structure spinelle. *contient que le Fe^{3+}. *la neutralité de sa cellule est garantie par la présence de lacunes cationique. * la structure de la Maghemite peut être approchée comme une cellule cubique de composition $(Fe^{3+})^8(Fe^{3+} 5/6)16O_{32}$.		marron	Masse molaire: 160 g/mol volumique :--- kg/m³ Température de fusion : 4870 °C
Goethite, α-FeOOH, La goëthite : *a une symétrie orthorhombique de groupe spatial Pnma. Ses paramètres de maille son: $a = 9,95 \text{ \AA}$; $b = 3,01 \text{ \AA}$; $c = 4,62 \text{ \AA}$. *Elle est construite avec des entités comprenant deux octaèdres $FeO_3(OH)_3$, reliés entre eux par une arête OH-OH. Chaque entité ainsi définie est reliée à quatre autres par quatre atomes d'oxygène, *Par arrangement de ces doubles octaèdres, en quinconce dans le plan (a,c),définissant ainsi des lacunes où sont placés les atomes d'hydrogène. *suivant la direction b, chaque octaèdre est connecté, de part et d'autre, à deux autres octaèdres par une arête O-OH. *naissance à des tunnels suivant cette direction et à une structure		noir et marron	Masse molaire : 88.8517 g/mol Masse volumique : 4300kg/m³ Température de fusion >1000 °C

tridimensionnelle .			
Magnétite *La cellule unitaire de la magnétite peut être représenté par $(Fe^{3+})_8 [Fe^{2.5+}]_{16} O_{32}$, où les parenthèses () et [] désignent des sites tétraédriques et octaédriques. *La magnétite est le minéral magnétique responsable des plus fortes aimantations. Elle est ferrimagnétique à la température ambiante et a une température de Curie de 850 K. Son aimantation à saturation est de 90-92 A.m².kg⁻¹ à la température ambiante.		noir	Masse molaire : 232 g/mol Masse volumique : 5400 kg/m³ Température de fusion : 1538 °C

I-5-Les applications des nanoparticules d'oxyde de fer

I-5-1- Biomédicales

les nanoparticules d'oxyde de fer super paramagnétique ont été utilisées comme vecteurs biomédicaux. Le fonctionnement de ces vecteurs consiste à délivrer, sous l'effet d'un champ magnétique, le médicament externe vers la zone à traiter où il sera libéré localement. Ceci permet de réduire la dose de médicament et d'éviter d'éventuels effets secondaires. L'application de particules possédant un comportement super paramagnétique permet d'avoir une stabilité de ces particules dans les vaisseaux sanguins à la température ambiante. En effet, une aimantation spontanée conduit à l'agglomération des particules qui peut entraîner le blocage dans la circulation sanguine [5].

I-5-2- Traitement des eaux usées

Les nanoparticules d'oxyde de fer (magnétite, maghémite et hématite) sont utilisées dans le domaine du traitement des eaux usées en tant qu'adsorbants de métaux lourds et de polluants organiques. Elles présentent une importance potentielle d'adsorption et d'élimination des métaux lourds et de la matière organique, et un post traitement facilité par une séparation liquide/solide aisée à l'aide d'un champ magnétique [6].

I-5-3-catalyse

De nombreuses recherches portent sur l'utilisation de nanoparticules d'oxyde de fer

(magnétite, maghémite et hématite) comme catalyseur dans plusieurs réactions chimiques en raison de leur grande réactivité de surface. Ces nanoparticules sont utilisées dans le procédé Fischer Tropsch et les procédés d'oxydation des alcools, du formaldéhyde, du CO et des particules produites par les véhicules à moteur diesel [7].

I-5-4-Capteurs de gaz

Les capteurs de gaz sont des dispositifs composés de matériaux capables de réagir et de nous avertir de la présence d'une espèce gazeuse (telle que CO₂, N₂, CH₄). Ceci est lié à la modification des propriétés des matériaux telles que la conductivité électrique ou l'absorption spectroscopique. Les capteurs à base de semi-conducteur d'oxyde de fer (hématite et maghémite) sont largement utilisés dans ce domaine. En effet, la variation de la concentration d'un gaz présent dans le milieu ambiant induit une variation de sa conductivité électrique [8].

I-5-5-Photo-catalyse des nanoparticules d'oxyde de fer

La photo-catalyse, l'une des technologies avancées applicables photo-dégradation des polluants organiques, a attiré beaucoup d'attention ces dernières années.

De nombreuses espèces d'oxydes de Fe (III) ont été proposées, telles que α -Fe₂O₃, γ -Fe₂O₃, α -FeOOH, β -FeOOH et γ -FeOOH, pour dégrader les polluants organiques et réduire leur toxicité grâce à l'effet photo-catalytique accru. Ces NM illustrent une nouvelle façon de manipuler les propriétés catalytiques de l'oxyde de fer pour la photo-catalyse, vers une nanotechnologie de traitement des eaux usées sûre et efficace. Un exemple est la photo-dégradation du colorant rouge Congo (CR) par des nanoparticules d'oxyde de fer qui ont été synthétisées par évaporation thermique et approche de Co-précipitation. L'efficacité de retrait maximale était de 96% à une taille de 100 nm, mais le taux de dégradation était rapide en présence de lumière [9]. La taille et la morphologie des nanoparticules influencent les propriétés magnétiques [10].

I-6-les méthodes de Synthèse des nanoparticules d'oxyde de fer par précipitation ou par Co précipitation

Le principe de cette méthode repose sur la formation d'une phase solide au sein d'une solution liquide. Différents protocoles ont été proposés dans la littérature pour former des nanoparticules, dans lesquels un agent du type solution de soude, de potasse, de carbonate d'ammonium, est additionné à une solution aqueuse d'un précurseur du type de sel de fer (nitrate de fer non hydraté, chlorure de fer hexa hydraté ou sulfate de fer monohydrate). Lors de l'ajout de cet agent, le changement de pH induit un état de sursaturation dans lequel la concentration en soluté (sel de fer) est supérieure à la limite de la solubilité. Cet état de sursaturation est la force motrice de la précipitation. Des noyaux précipitent alors par condensation des précurseurs. Ces

noyaux subissent ensuite une étape de croissance, tant que l'état de sursaturation persiste. Dans cette étape, le cristal tend vers un état de plus grande stabilité en augmentant sa taille. La croissance s'arrête lorsque l'équilibre est atteint. L'opération est menée pendant quelques minutes à une température variant de l'ambiante à 80 °C. Le précipité formé par cette méthode est ensuite filtré par centrifugation pour être récupéré. Puis, il est lavé plusieurs fois avec de l'eau distillée ou de l'éthanol. Finalement, il est séché à basse température (inférieure à 90 °C) pendant une longue durée qui peut atteindre 12 h. Cette méthode de synthèse permet de former un produit intermédiaire qui est ensuite calciné pour obtenir de l'hématite. Cette étape de calcination est effectuée sous air à une température supérieure à 300 °C pendant une durée de deux à cinq heures [11].

I-6- Synthèse de nanoparticules en solution

Cette méthode consiste en la précipitation en milieu aqueux à des températures d'un maximum de 350 °C à des pressions élevées d'environ 5 MPa durant plusieurs heures à pH contrôlé. Les réactifs donnent l'oxyde de fer, qui en fonction de la température, la pression, le pH et le temps de réaction, cristalliseront en différentes formes, de différentes grosseurs^{10,8}. À la suite de la réaction, il ne suffit que de récupérer les cristaux par filtrage, rinçage et séchage[12].

I-6-1 Avantages de la méthode

I-6-1-1 la stabilisation

L'un des défis associé à la synthèse de nanoparticules par voie chimique concerne la stabilisation des solutions colloïdales obtenues. En effet, dispersées dans un solvant, les nanoparticules sont constamment soumises à l'action de différentes forces qui ont tendances à les agréger ou bien à les disperser. Parmi ces forces, on peut citer la gravité (qui tend à faire précipiter les nanoparticules), l'agitation thermique (qui tend à s'opposer à la précipitation), et les interactions attractives/répulsives entre particules (exemple : interactions magnétiques, électrostatiques, Van der Waals). Pour des nanoparticules de petite taille (~ 10 nm pour des nanoparticules de fer), l'agitation thermique suffit à compenser l'effet de la gravité. Cependant, les interactions attractives telles que les interactions magnétiques et Van der Waals (prédominante) entre particules sont plus difficiles à maîtriser. Le système considéré est donc particulièrement complexe, et en l'absence « d'agents stabilisants », les nanoparticules finissent inévitablement par s'agréger et précipiter. Pour s'affranchir de ces forces, il est possible d'introduire dans la solution des molécules ayant pour rôle de stabiliser les nanoparticules et d'éviter leur agrégation. Suivant la nature des molécules introduites, la stabilisation sera obtenue de différentes façons. Nous

nous intéresserons ici aux stabilisations électrostatique, stérique et électro stérique.

I-6-1-2-Stabilisation électrostatique

La stabilisation électrostatique est basée sur l'introduction de composés ioniques à la solution (souvent aqueuse) colloïdale. L'adsorption de ces ligands à la surface des nanoparticules entraîne la formation de charges électriques qui génèrent une barrière électrostatique autour des nanoparticules. Dans ce cas, la surface des nanoparticules est constituée d'une couche d'ions immobilisés (appelée couche de Stern) et d'une couche tampon d'ions plus ou moins mobiles (dite couche de Gouy-Chapman ou double couche).

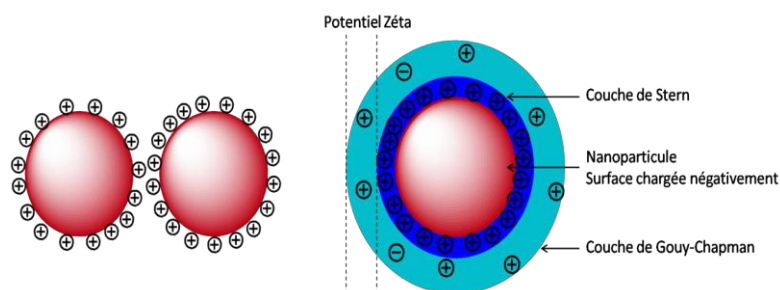
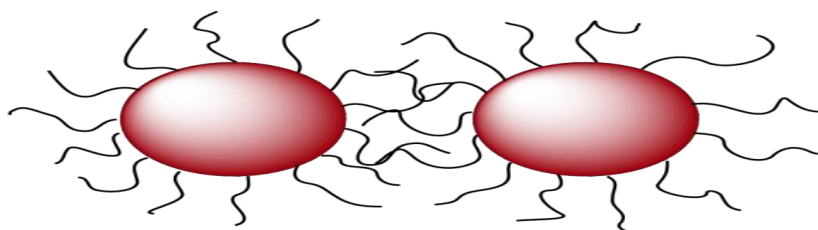


Figure I.1 :Représentation schématique de la stabilisation électrostatique de nanoparticules[13].

De manière simplifiée, la stabilité d'un tel système peut être décrite par la théorie DLVO (Deryagin-Landau-Verwey-Overbeek) et est déterminée par la somme de la répulsion électrostatique et de l'attraction de Van der Waals. La densité de charge en surface des nanoparticules est représentée par le potentiel Zéta qui correspond à la différence de potentiel entre la couche de Stern et le plan de cisaillement (interface milieu / couche de Gouy- Chapman). Ainsi, plus ce potentiel est élevé (en valeur absolue), plus la densité de charge en surface des nanoparticules est grande et meilleure est la répulsion entre nanoparticules. Il est important de noter que la stabilisation électrostatique est un processus réversible et grandement dépendant de la force ionique et du pH du milieu étudié.

I-6-1-3-Stabilisation stérique

Pour des milieux possédant une constante diélectrique plus faible que l'eau – typiquement les milieux organiques – la stabilisation électrostatique est moins efficace. Il est alors possible de stabiliser les nanoparticules en introduisant des molécules encombrantes (polymères, ligands, dendrimères, etc.) qui vont s'adsorber à la surface des nanoparticules. Introduits en quantité suffisante, ces ligands forment une barrière mécanique prévenant l'aggrégation et la coalescence des nanoparticules (Figure I.2). C'est ce qu'on appelle la stabilisation stérique.



2: Représentation schématique de la stabilisation stérique de Figure I. .[13]nanoparticules

Ces ligands sont choisis non seulement pour leur affinité pour les nanoparticules, mais aussi pour le solvant utilisé. Ils permettent ainsi d'améliorer la stabilité et la dispersabilité des nanoparticules en solution.

I-6-1-4-Stabilisation électrostérique

Ce mode de stabilisation combine les avantages des deux cités précédemment. Dans le cas de solvants apolaires, les ligands choisis sont souvent amphiphiles. Ils sont constitués d'une part d'une extrémité polaire amenant les charges électrique à la surface des nanoparticules pour laquelle ils ont une grande affinité. D'autre part, ils contiennent une longue chaîne apolaire fournissant l'encombrement stérique et la solubilité dans le solvant considéré (Figure I.3). Typiquement, les acides carboxyliques et amines à longues chaînes font partie des ligands les plus utilisés pour la stabilisation (allant de purement stérique à électrostérique) de nanoparticules métalliques en solvants apolaires.

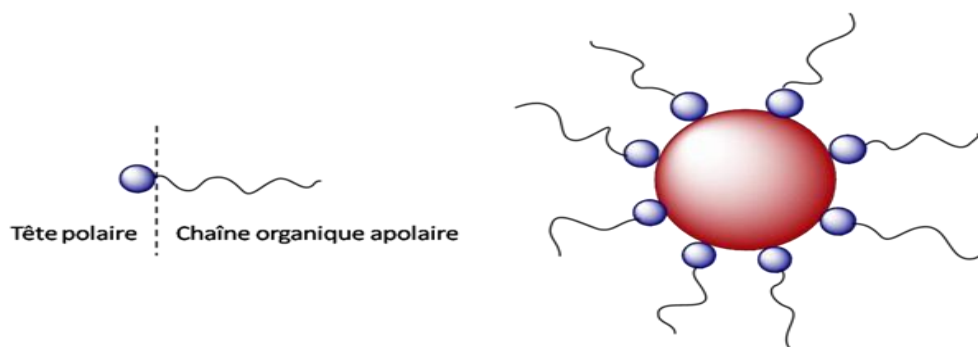


Figure I.3: Représentation schématique du mode de stabilisation électrostériques[13].

En effet, la stabilisation doit être sélectionné en fonction du système [nanoparticule-solvant] considéré. Alors que la stabilisation électrostatique est généralement très efficace en milieux aqueux, les stabilisations stérique et électrostérique sont souvent préférées pour des solvants organiques de faible polarité (toluène, mésitylène, alcanes, dichlorométhane,...).

I-7-La théorie classique de formation de nanoparticules ; nucléation et croissance

La théorie classique de nucléation et croissance repose sur le changement d'énergie libre d'un système donné après la formation de nucleus. En partant d'une phase homogène (phase liquide) dans laquelle les atomes des nanoparticules futures sont dispersés, nous passons à la formation de nanoparticules (phase solide). Alors que la force conduisant à la création de volume (formation de liaisons entre atomes pour former la phase solide) contribue à diminuer l'énergie libre du système et est donc favorable à la formation de nucleus. La création d'une interface solide / liquide mène quant à elle à une augmentation de l'énergie libre du système et tend à déstabiliser les nucleus formés. La compétition entre ces deux forces est directement liée à la taille du nucleus considéré[13]. Ainsi, on peut définir un rayon critique de nucleus r_c , si;

- $r < r_c$, l'énergie d'interface est dominante et conduit à la dissolution du nucleus.
- $r > r_c$, l'énergie de liaison prend le dessus. Le nucleus est stable et peut croître pour former les germes qui vont conduire aux nanoparticules par l'étape suivante de croissance.

Le calcul de l'énergie libre du système prend alors la forme suivante :

$$\Delta G = 4\pi r^2 \gamma - \frac{4}{3}\pi r^3 |\Delta G_V| \quad \text{I.1}$$

Avec r le rayon du nucleus, γ l'énergie de surface par unité d'aire et $|\Delta G_V|$ la différence d'énergie libre de Gibbs par unité de volume. Ainsi, le rayon critique d'un nucleus est défini par:

$$r_c = \frac{2\gamma}{|\Delta G_V|} \quad \text{I.2}$$

Une représentation simple est donnée ci-dessous (Figure I.4)

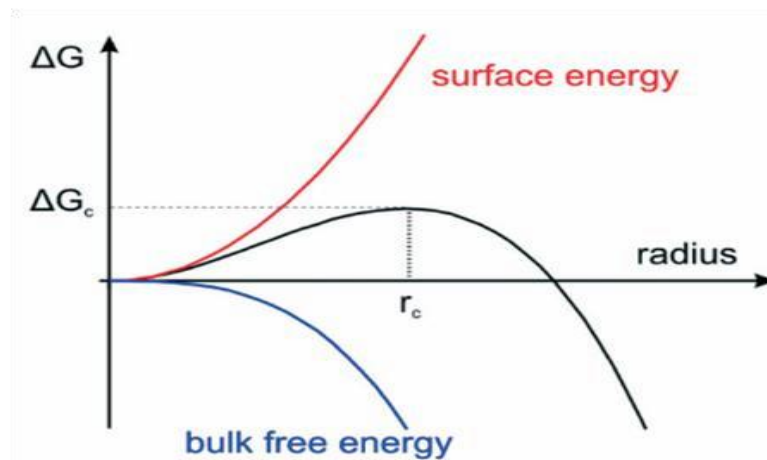


Figure I.4 : Théorie classique de la nucléation : dépendance de l'énergie libre du . [13]nucleus en fonction de son rayon. Figure tirée de

Une fois la taille critique atteinte, la croissance des germes peut se dérouler soit par addition progressive d'atomes aux germes existants (croissance atome par atome), soit par coalescence entre germes. Dans les deux cas, la croissance est limitée par la diffusion des atomes ou noyaux dans la solution (limitation cinétique).

Ce modèle de nucléation / croissance peut être utilisé pour une approche quantitative du rayon critique de germes, mais il est important de garder à l'esprit qu'il affiche de sérieuses limitations, en particulier dans le cas de nanoparticules :

- L'approche thermodynamique considère un système à l'équilibre, alors que les systèmes étudiés sont hors l'équilibre.
- La théorie est basée sur des objets macroscopiques, alors que les germes considérés sont micro/nanoscopiques.
- La théorie néglige les fluctuations de concentration dans le système.

I-7-1 Modèle de Lamer

Le modèle de LaMer est inspiré de la théorie classique de la croissance afin de décrire la formation de nanoparticules de soufre à partir de thiosulfate de sodium[14]. Le modèle de croissance qu'il propose est divisé en trois étapes distinctes et dépendantes de la concentration en soufre de la solution au cours du temps (Figure I.5).

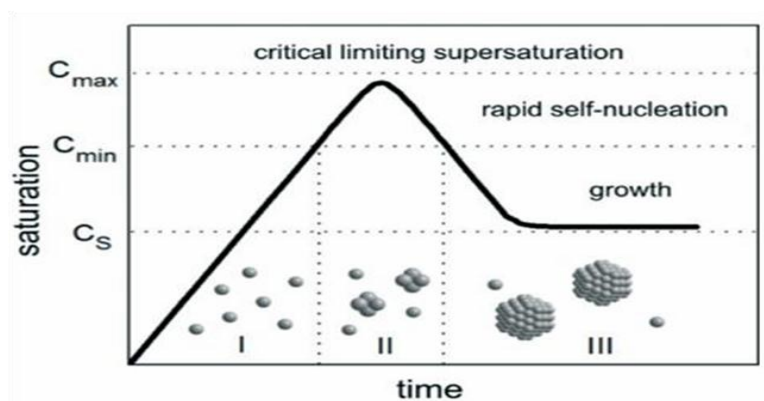
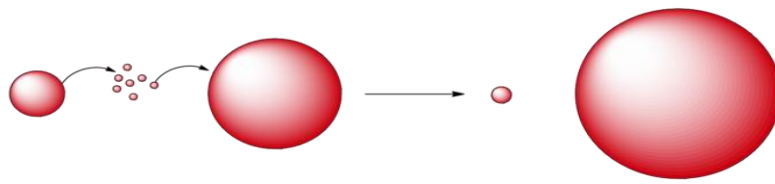


Figure I.5 : Mécanisme de nucléation proposé par LaMer pour des nanoparticules de soufre. Figure . [13]tirée de

À la place de la notion de rayon critique, LaMer utilise la concentration de sursaturation en monomère (le soufre dans ce cas) afin de délimiter la formation de nuclei stables et instables. Lors de la première étape (I), la décomposition du précurseur entraîne une augmentation rapide de la concentration en soufre du système. Une fois la concentration de sursaturation atteinte, la nucléation homogène peut débuter (étape II). Pendant l'étape de nucléation, la concentration en soufre tend à diminuer et à repasser sous le seuil de sursaturation. L'étape de nucléation est alors terminée, et l'étape de croissance peut intervenir (étape III). Cette dernière se déroule de manière classique soit par addition progressive d'atomes de soufre aux germes existants (croissance atome par atome), soit par coalescence entre germes. Dans les deux cas, la croissance est limitée par la diffusion des atomes ou nucleus dans la solution (limitation cinétique).

I-7-2 Mûrissement d'Ostwald

Le phénomène de mûrissement d'Ostwald fut décrit pour la première fois en 1900. La croissance des germes est dans ce cas gouvernée par la différence de solubilité des nanoparticules en fonction de leur taille. Ainsi, les petites nanoparticules présentant une grande solubilité et une énergie de surface très importante, elles ont tendance à se redissoudre en solution au profit des nanoparticules plus grosses, qui bénéficient alors des monomères rendus disponibles pour croître encore davantage (Figure I.6).



[15]Figure I.6: Représentation schématique du mûrissement d'Ostwald

Les détails concernant la théorie mathématique du mûrissement d'Ostwald sont disponibles dans les travaux de Lifshitz [15] et Wagner[16].

I-9-Mécanisme de Finke-Watzky

Dans le mécanisme proposé par Finke-Watzky,[17] les étapes de nucléation et de croissance se déroulent simultanément. L'étape de nucléation homogène est lente et continue, tandis que la croissance des germes est rapide, autocatalytique et non contrôlée par la diffusion. C'est la différence de cinétique entre les deux étapes qui permet de séparer la nucléation et la croissance, et ainsi d'assurer le contrôle de la taille des nanoparticules. Enfin, une dernière étape de croissance par mûrissement d'Ostwald[18].

D'après les différents mécanismes présentés précédemment, la croissance des germes se déroule principalement de deux façons : par croissance atome par atome (croissance homogène) ou par coalescence de deux germes.

La distribution en taille des nanoparticules obtenues dépend grandement du type de croissance mis en jeu. Si les nanoparticules croissent de manière homogène avec ajouts successifs d'atomes, leur distribution en taille pourra être modélisée par une fonction de type Gaussien caractérisée par une taille moyenne et une largeur à mi-hauteur σ . Si la croissance des nanoparticules se fait plutôt par coalescence entre les germes, leur distribution pourra être modélisée par une fonction de type log-Normal et caractérisée par une taille moyenne et une déviation standard w . Dans les deux cas, la rapidité/durée de l'étape de nucléation a une grande influence sur la dispersion en taille des nanoparticules puisque de l'homogénéité en taille des germes dépendra l'homogénéité en taille des nanoparticules finales. Plus précisément, une nucléation rapide paraît avantageuse pour obtenir des nanoparticules mono-dispersées. En effet, une étape de nucléation lente peut conduire à des germes de tailles différentes et donc à plusieurs populations de nanoparticules. Une croissance atome par atome sans mûrissement d'Ostwald est préférable afin d'éviter une délocalisation de la distribution en taille [19].

I-8-Facteurs influencent la taille et la morphologie

La température et le temps de réaction, la nature et la concentration du précurseur, la présence de tensioactif et la température de calcination peuvent être ajustés pour le contrôle de la morphologie (telles que nanotige, nanoplaquette, nanosphère, nanoellipsoïde, nanocube), la taille, la cristallinité et les propriétés magnétiques des produits formés. Par exemple, Srivastava et al. (2010) ont étudié la synthèse des nanoparticules d'hématite à partir de différents types de précurseurs (le chlorure de fer hexahydraté $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ et le nitrate de fer nonahydraté $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$). Ils ont remarqué que le choix du précurseur influence la taille des nanoparticules. La taille moyenne des particules élémentaires formées en utilisant $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ et $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ est respectivement de 60 et 87 nm. Le choix du précurseur a également affecté les propriétés magnétiques des nanoparticules. L'aimantation à saturation des nanoparticules d'hématite obtenues en utilisant le $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ comme précurseur est plus faible que celle obtenue en partant de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ [20].

I-9- conclusion

les nanoparticules présentent actuellement un grand débat quant à leurs risques toxicologiques. En effet, elles peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé. Cette inquiétude est issue de l'utilisation croissante des nanoparticules dans différentes applications comme les appareils électroniques, le textile, l'alimentation, les produits cosmétiques ou encore les protections solaires.

Les références bibliographies

1. **Cao, G. Z., Wang, Y.** *Nanostructures and nanomaterials: synthesis, properties, and applications, Second Edition, World Scientific Publishing, Singapore. 2011.*
2. **Cornell, R. M., Schwertmann, U.** *The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses, Second Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2003.*
3. **Schwertmann, U., Cornell, R. M.** *Iron Oxides in the laboratory preparation and characterization, Second Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim. 2000.*
4. **Teja, A. S., Koh, P.-Y.** *Synthesis, properties, and applications of magnetic iron oxide nanoparticles, Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials, 55(1-2): 22-45. 2009.*
5. **Marcu, A., Pop, S., Dumitrache, F., Mocanu, M., Niculite, C. M., Gherghiceanu, M., Lungu, C. P., Fleaca, C., Ianchis, R., Barbut, A., Grigoriu, G., Morjan, I.** *Magnetic iron oxide nanoparticles as drug delivery system in breast cancer, Applied Surface Science, 281: 60-65. 2013.*
6. **Gupta, A. K., Gupta, M.** *Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications, Biomaterials, 26(18): 3995-4021. 2005.*
7. **Chowdhury, S. R., Yanful, E. K.** *Arsenic and chromium removal by mixed magnetite– maghemite nanoparticles and the effect of phosphate on removal, Journal of Environmental Management, 91(11): 2238-2247. 2010.*
8. **Mahajan, D., Gütlich, P., Stumm, U.** *The role of nano-sized iron particles in slurry phase Fischer–Tropsch synthesis, Catalysis Communications, 4(3): 101-107. 2003.*
9. **Suri, K., Annapoorni, S., Sarkar, A. K., Tandon, R. P.** *Gas and humidity sensors based on iron oxide–polypyrrole nanocomposites, Sensors and Actuators B: Chemical, 81(2-3): 277- 282. 2002.*
10. **Khedr M, Abdelhalim K, Soliman N.** *Synthesis and photocatalytic activity of nano-sized iron oxides; 63(6–7):598–601. 2009.*
11. **Gubin, S. P., Koksharov, Y. A., Khomutov, G. B., Yurkov, G. Y.** *Magnetic nanoparticles: preparation, structure and properties, Russian Chemical Reviews, 74(6): 489- 520. 2005.*
12. **Sabari Arul, N., Mangalaraj, D., Nandha Kumar, P., Eunju Kim, Pooja Devi, Jeong In Han.** *Synthesis and characterization of α -Fe₂O₃ micro-/nanorods-modified glassy carbon electrode for electrochemical sensing of nitrobenzene, Ceramics International, 41: 5568-5573. 2015.*
13. **J. Polte, Cryst Eng Comm. 17, 6809-6830. 2015.**

14. **V. K. LaMer, R. H. Dinegar.** *Journal of the American Chemical Society*, 72, 4847-4854. 1950.
15. **I. M. Lifshitz, V.V. Slyozov.** *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 19, 35-50. 1961.
16. **Wagner., C.** *Zeitschrift für Elektrochemie*, 65, 581-591. 1961.
17. **M. A. Watzky, R. G. Finke.** *Journal of the American Chemical Society*, 119, 10382-10400. 1997.
18. **B. J. Hornstein, R. G. Finke.** *Chemistry of Materials*, 16, 139-150. 2004.
19. *Journal of the American Chemical Society*, 125, 9090-9101. **E. V. Shevchenko, D. V Talapin, H. Schnablegger, A. Komowski, O. Festin, P. Svedlinh, M. Haase, H. Weller,.** 2003.
20. **Guo, P., Wei, Z., Wang, B., Ding, Y., Li, H., Zhang, G., Zhao, X. S.** *Controlled synthesis, magnetic and sensing properties of hematite nanorods and microcapsules, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 380(1-3): 234-240. 2001.

Chapitre II: Les Plantes
Médicinales
De Notre Région, utilisées
dans la synthèse
de nanoparticules d'oxyde de fer,
définition et caractérisation

II-1- Introduction :

Les plantes médicinales sont utilisées en médecine populaire et ces domaines ont été étendus aux cosmétiques, aux épices et aux conservateurs alimentaires. Leur activité est attribuée à la présence d'antioxydants et d'antigènes dans les tissus.

Le règne végétal représente une source importante d'une immense variété de molécules bioactives. Cette matière végétale contient un grand nombre de molécules (polyphénols) qui ont des intérêts multiples. Parmi ces composés nous retrouvons les coumarines, les alcaloïdes, les acides phénoliques, les tannins, les terpènes et les flavonoïdes [1].

II-2- Juniperus L :

I-2-1-Définition

Juniperus L (Juniperus, fig II-1) est une plante vivace appartenant au sérotype. elle a plus de cinquante espèces. Les larves se développent sous la forme d'arbustes à feuilles persistantes, jusqu'à 10 pieds de long, avec des feuilles nacrées et des graines de conifères ou des cônes, et se trouvent dans de nombreuses régions sauvages d'Europe, d'Amérique du Nord et d'Asie.

Les poux sont une plante médicinale commune, et la partie la plus bénéfique est médicalement le fruit, qui tend du bleu foncé au noir [1].



]. 1Figure (II .1): Plante juniperus[

II-2-2-Caractérisation

Les baies contiennent des huiles volatiles, avec de nombreux composés organiques avec des propriétés médicinales, y compris les monoterpènes, les diterpènes, les monocides et demi-terpsis Sesquiterpene et lignanes : Lignans), flavonoïdes, et beaucoup d'autres [1].

Juniper a un pilote et le sucre des matières Aneulen et les résines et les résines et l'huile de goût cireuse plus, qui contient de nombreux véhicules jusqu'à 80 composés et a été le plus important lion Beinin, Ballnak, camphène, Sdral, Sideren et Sescutrbine comme où alcaloïdes et Gelokozydat acides cardiaques et organiques, en plus des sels des plus importants calcium, les composés les plus importants et séparés, ce qui donnait un effet anti-bactérien, en particulier pour la séparation des bactéries de la tuberculose Mrakban par rapport à des antibiotiques qui sont donnés pour traiter la tuberculose et ont constaté que ces deux composés sont plus forts que ces formulations.

L'huile aromatique des feuilles de genévrier contient également de la saphénine, du thujon et du Karin dans sa composition [2].

II-3- Rosmarinus L

II-3-1-Définition

Le genre *rosmarinus* (fig II-2) regroupe deux espèces de plantes de la famille des Lamiacées originaires du bassin méditerranéen: le *rosmarinus eriocalyx* Jordan et Fourre. et le *Rosmarinus officinalis* L [3].

II-3-2-Origin du nom *rosmarinus officinalis* L

Le nom latin *rosmarinus* L est habituellement interprété, comme dérivé "ros" de la rosée et "marinus" d'appartenir à la mer, bien qu'elle se développe habituellement loin de la mer. On a affirmé que cette interprétation est un produit d'étymologie traditionnelle, mais probablement le nom original est dérivé du grec "rhops" arbuste et "myron" baume [4].

Nom vernaculaire: La dénomination se diffère d'une région à l'autre: par exemple l'espèce Romarin est appelé en Maroc yazir [5] (يزير) et ikkil al jabal (اكيل الجبل) ou lazir (لزير) en Algérie [6].

Chapitre II Les Plantes Médicinales De Notre Région utilisées dans la synthèse de nanoparticules d'oxyde de fer, définition et caractérisation

Tableau (II-1) : Classification systématique du genre *Rosmarinus* L [7].

Règne	Plante
Division	Magnoliopta
Classe	Magnoliopsida
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiaceae
Genre	<i>Rosmarinus</i>
Espèce	<i>Rosmarinus officinalis</i>
Nom Arabe	Iklil Al Jabal
Nom Français	Romarin
Nom Anglais	Rosmary



Figure (II .2): *Rosmarinus officinalis* L [1].

II-3-3-Caractéristiques botaniques

Cette plante appartient à la famille des Lamiaceae ou Labiées. Elle se présente sous forme d'arbuste, sous arbrisseau ou herbacée [8], mesurant environ de 0.8 à 2m de hauteur.

Les feuilles sont étroitement lancéolées linéaires, friables et coriaces, les fleurs d'un bleu pâle, maculées intérieurement de violet sont disposées en courtes grappes denses s'épanouissent presque tout au long de l'année [9].



Figure (II .3) : La fleur de *Rosmarinus officinalis* L [5].

II-3-5- Composition chimique

a) Acides phénoliques

Le romarin contient les acides phénoliques dont les plus importants sont : acide rosmarinique [10], acide vanillique, acide caféique et acide p-coumarique [11].

b) Flavonoïdes

Les flavonoïdes qui ont été identifiés dans cette plante sont: genkwanine, cirsimaritrine ériocitrine, hespérédine, diosmine et lutéoline [11].

II-4- *Anacyclus valentins* L

II-4-1-Définition

Nombreuses familles de *Anacyclus valentins* L sont incluses dans ces plantes aromatiques. On signale la famille des Astéracées, cette famille de plus de 13 tribus, 1000 genres et 23000 espèces [15]. En Algérie, il en existe 109 genres et 408 espèces et en France 111 genres et 638

espèces [12]. Les Astéracées sont économiquement importante, vu que plusieurs de ses plantes sont cultivées pour leur valeur alimentaire (le tournesol, le topinambour, la laitue, la chicorée, la camomille, etc.) ou comme plantes décoratives (les dahlias, les asters, les rudbeckies, les gaillardes, etc).

Plusieurs espèces sont utilisées en pharmacie, En effet, il a été rapporté que les fleurs et les feuilles de certaines plantes de cette famille, tels que l'Arnica (*Arnica montana* L.) , la Camomille (*matricaria camomilla* L et *Anthemis nobilis* L) possèdent des propriétés antibactériennes, antifongiques, antiviraux et anti-inflammatoires. De ce fait, de nombreuses espèces de cette famille sont utilisées en médecine traditionnelle [6]. Le tableau (I.1) montre les différentes espèces des Astéracées dans le Sud d' Algérie et leur usage thérapeutique.



Figure (II-4) : Photo de la plante *Anacyclus valentini* L [13][14].

II-4-1-1- Systématique

Tableau (II-2) : Classification Systématique de genre *Anacyclus valentini* L[6].

Règne	Plante
Ordre	Asterales
Famille	Astéracées
Sous-famille	Astéracées
Tribu	Anthemideae
Sous-tribu	Matricariinae
Genre	Matricaria

II-4-2. Répartition géographique et caractéristiques botaniques

La plupart des matricaires sont très fréquents dans les régions tempérées d'Europe, d'Asie, et en Amérique, ainsi que dans le nord et le sud de l'Afrique, et certaines sont naturalisées en Australie.

Les matricaires L (*Anacyclus valentins* L) sont des plantes annuelles de 50 centimètres à 1,5 m de hauteur, à tige dressée (rameuse). Les feuilles, alternes, sessiles, épaisses, charnues, sont très divisées, en lanières. Les fleurs, jaunes au centre, blanches à la circonférence, très odorantes, sont groupées en capitules solitaires au sommet des rameaux. Le fruit est très petit, blanc jaunâtre, légèrement arqué.

II-4-2-4-Présentation de la plante

Matricaria pubescens (*Anacyclus valentins* L) est une plante spontanée, elle pousse en abondance dans les régions sahariennes, elle est très utilisée en médecine et préparations traditionnelles [10].

II-4-2-5-Caractéristiques botaniques

Matricaria pubescens est une espèce endémique, appartenant à la famille des astéracées, très connue en Afrique du Nord. C'est une plante herbacée à tiges nombreuses couchées puis redressées et sous forme de touffes. Les feuilles découpées et velues sont d'un vert sombre. Involucres à bractées et ayant une marge membraneuse large, les fleurs toutes en tubes, de coloration jaune, sont groupées en capitules dont le diamètre est de 6 à 7 mm [12].

II-4-2-6-La croissance et la floraison

La croissance de *Matricaria pubescens* commence en fin d'hiver, et après une courte période de croissance et de développement apparaissent les fleurs jaunes. La plante se dessèche et meurt quand approche de l'été [15].

II-5-Artemisia

II-5-1-Définition

Armoise des plantes ou d'herbes, (en anglais : Mugworts), le nom scientifique « *Artemisia* L », une espèce de plante appartenant au véhicule, et l'odeur aromatique saveur piquante et amère. Les plantes vivaces à base de plantes plante *Artemisia* L, où la période de sa vie jusqu'à 3-4 ans, et une longueur d'environ 60 cm, quitte le véhicule Richier successives, et ses fleurs est capitules sont jaunes appelé « Guenabh », et leur nombre varie entre 14-20 Guenabh.

Elle sont cultivées dans les armoises zones sauvages et des jardins avec un sol sablonneux, et appris de toutes les parties de la plante, y compris les graines, les feuilles et les racines pour

l'industrie pharmaceutique, et extrait de l'huile d'armoise avec des avantages médicaux thérapeutiques. Développer l'armoise herbe dans de nombreux domaines, comme Maghreb-Orient et la série des montagnes de l'Atlas, et certaines régions d'Asie, en Australie et en Amérique latine, et il existe de nombreux types de armoise plus de 300 espèces le plus célèbre armoise municipal, qui se répand en Syrie, la Turquie, l'Iran, l'Afrique du Nord et l'île du Sinaï, ainsi que dans La plupart des régions de l'Arabie Saoudite, mais le pays d'origine est le bassin méditerranéen [16].



Figure II-5 : Une photographie de l'usine d'absinthe [16].

II-5-2- Caractérisation

L'absinthe contient de l'huile essentielle, de la santonine, du cyanol, de l'artémisinine, des composés flavonoïdes et d'autres éléments et minéraux [16].

Selon Degui (1996), la plante contenant du "santonine gloside" est une colorante rouge croissance précoce, tandis que la plante qui ne contient pas cette substance a une couleur verte et lorsque la croissance est complète la couleur de la tige devient brune dans les deux cas [17].

L'absinthe est utilisée dans le traitement du diabète. Twaij et Al-Badr (1988) ont trouvé que Les extraits aqueux de la partie aérienne de l'usine d'absinthe réduisent la concentration en sucre chez les lapins plasmatiques à forte teneur en sucre normal et autres alcalins induits par le sucre. AL-Waili (1986) a constaté que les extraits d'eau jouent un rôle important d'abaisser l'hypertension artérielle et la concentration de sucre dans le sang, et il possède également une activité anti-anxiété et anti arythmique [18].

II-6-Conclusion

Les plantes médicinales sont une source très importantes de polyphénols. Elles sont encore sous le contrôle des scientifiques afin de découvrir les substances naturelles efficaces utilisées en médecine et en pharmacie et la beauté, où plus de la moitié de la population mondiale utilise ces médicaments et les cosmétiques les plus populaires. Fait de rebondissements naturels.

Les références bibliographies

- 1 - «Juniper (Juniperus communis)", Sigma Aldrich, Retrieved 11-6-2016.
- 2 - Biodiversity Heritage Library: <http://biodiversitylibrary.org/page/651469> - Auteur: Carolus Lennios - La cinquième édition - Page : 461
- 3 - Abdel-Basset Mohamed El-Sayed et Abdel-Tawab Abdullah Hussein (2010), L'Encyclopédie Mère de la Médecine des Herbes et des Herbes (4ème édition), Le Caire: Alpha Publishing and Distribution, page : 176.
- 4- Heinrich, M., Kufer, J., Leonti, M., Pardo-de-Santayana, M. (2006), "Ethnobotany and Ethnopharmacology-Interdisciplinary links with the historical sciences".J Ethnopharmacol.**107**: 157-160.
- 5- Riyaha, H. (2013)," Valorisation des plantes aromatiques et médicinales: étude du potentiel chimique et antibactérien des huiles essentielles de Rosmarinus officinalis (sauvage et domestiqué)." These master UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH, p14.
- 6- Belkhiri, F. Z. (2015),"Etude de l'activité antibactérienne des huiles Essentielles de Rosmarinus officinalis L." these de Master Université Mohamed Khider – Biskra, p21.
- 7- Zeghad, N. (2009),"Etude du contenu polyphénolique de deux plantes médicinales d'intérêt économique (Thymus vulgaris, Rosmarinus officinalis) et évaluation de leur activité antibactérienne."THÈSE de magister, Université Mentouri Constantine, p9.
- 8- Atik, B., Bousmaha, F., Taleb bendiab, L., Boti, S.A., J.B., Casanova J. (2007), "Composition chimique de l'huile essentielle de Rosmarinus officinalis L poussant à l'état spontané et cultivé de la région de Tlemcen." Biologie & Santé. 7: 6-11.
- 9- Athamina, S. (2009),"Etude quantitative des flavonoides des graines de cuminum cyminum et les feuilles de Rosmarinus officinalis et l'évaluation de l'activité biologique", THÈSE de magister, Universite EL-hadj lakhdar-batna, p7.
- 10- حواء ابراهيم 2013 . دراسة الفعالية البيولوجية لبعض النباتات الشفوية والفعالية ضد الأكسدة. مذكرة ماجستير . جامعة قاصدي مرباح ورقلة ص 39.
- 11-Madjour, S. (2014)," Etude phytochimique et évaluation de l'activité antibactérienne d'une labiée rosmarinus officinalis". These de Master Université Med Khider Biskra, p2.
- 12- Makhloufi Ahmed ," Etude des activités antimicrobienne et antioxydante de deux plantes médicinales poussant à l'état spontané dans la région de bechar(Matricaria pubescens (Desf.) et Rosmarinus officinalis L) et leur impact sur la conservation des dattes et du beurre cru. " Thèse Doctorat, Universite Aboubaker Belkaid , p 13,14,15,16,17.
- 13- Djellouli Mohammed, Moussaoui Abdellah, Benmehdi Houcine., Ziane Laid, Belabbes Abdelghani , Badraoui Messaouda, Slimani Nawel, Hamidi Nourddine ,(2003)," Importance des

Plantes Spontanees Medicinales dans La Pharmacopee Traditionnelle de La Région de Ouargla (Sahara Septentrional - Est Algerien)", Sciences et Technologie C – N°20, Décembre (2003), pp. 73-78.

14- Zarrour Brahim, (2012), "Etude phytochimique de quelques extraits obtenus de la plante *Matricaria pubescens* (Asteracées) et évaluation de leur activité antioxydante." Mémoire de Master Academique, Université Kasdi Merbah Ouargla, p 01.

15- Hadi M ,(2004)" La quercétine et ses dérivés: molécules à caractères pro-oxydants ou capteurs de radicaux libres; études et applications thérapeutiques." Mémoire doctorat, Université Louis Pasteur Strasbourg, p 155

16- أ.د عبد الباسط محمد السيد و أ.عبد التواب عبد الله حسين (2010)، الموسوعة الأم للعلاج بالنباتات والأعشاب الطبية (الطبعة الرابعة)، القاهرة: الفا للنشر والتوزيع، صفحة 176. بتصرّف

17- ***Abou El-Hamd H. M., El-Sayed M. A. , El-Hegazy M., Helaly S. E., Esmail A. M. and Mohamed E. N.**(2010). Chemical composition and biological activities of *Artemisia herba alba* .Rec. Nat. Prod.**4**(1):1-25.

18- **Al-waili N. S.**,(1986). Treatment of diabetes mellitus by *Artemisia herba-alba* extract: preliminary study. Clinic.and Experim. Pharmacol.and Physiol., **13**: 569-573.

CHAPITRE III :

Les Colorants Industriels

III-1- Introduction

L'industrie des colorants constitue aujourd'hui un domaine principal de la chimie. Les colorants sont utilisés dans l'impression et la teinture des fibres textiles, des papiers, des cuirs, des fourrures, des bois, des matières plastiques et des élastomères., à colorer des produits alimentaires et pharmaceutiques. Ils sont utilisés aussi dans l'industrie des cosmétiques, la coloration des métaux, la photographie, la biologie, les indicateurs colorés, et certains d'entre eux sont employés en thérapeutique (antiseptiques, anti malariques, etc...) [1].

III-2- Définition de colorants

Les colorantes sont un assemblage de groupes chromophores, auxochromes et de structures aromatiques conjuguées (cycles benzéniques, anthracène, perylène,...) tableau (III.1).

Ces groupements sont capables de transformer la lumière blanche dans le spectre visible (de 380 à 750 nm), en lumière colorée par réflexion sur un corps, ou par transmission ou diffusion [2] :

- **Chromophores** : Ce sont des groupements chimiques insaturés covalents qui donnent lieu à une absorption dans le visible.
- **Auxochromes** : Ce sont des groupements saturés qui, lorsqu'ils sont liés à un chromophore, modifient la longueur d'onde $\lambda_{\max}$ et l'intensité du maximum d'absorption.

Tableau.III.1 : Principaux groupes chromophores et auxochromes, classés par intensité croissante [3-4]

Groupes chromophores	Groupes auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso(-NO ou -N-OH)	Méthylamino (-NHCH ₃)
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂)
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-HO)
Nitro (-NO ₂ ou =NO-OH)	Alkoxy (-OR)
Sulphure (> C=S)	Groupes donneurs d'électrons

III-3- Classification de colorants

Les principes de classification les plus couramment rencontrés dans les industries textiles, sont basés sur les structures chimiques des colorants synthétiques et sur les méthodes d'application aux différents substrats (textiles, papier, cuir, matières plastiques, etc...) [2-5].

III-3-1-Classification chimique de colorants

Le classement de colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupe Chromophore.

III-3-1-1 Colorants azoïques

Les colorants azoïques sont des composés caractérisés par le groupe fonctionnel azo ($-N=N-$), unissant deux groupements alkyle ou aryles identiques ou non (azoïque symétrique et dissymétrique). Suivant le nombre de groupement azo rencontre dans la structure du colorant, nous distinguons: les monoazoïques, les biasazoïques et les polyazoïques [6].

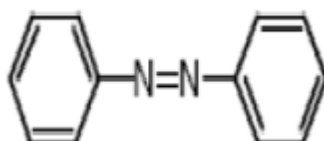


Figure III.1: Formule chimique d'azoïque[6].

III-3-1-2 Colorants anthraquinoniques

Ces colorants sont les plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'anthracène montre que le chromophore est un noyau quinonique sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amines [7].

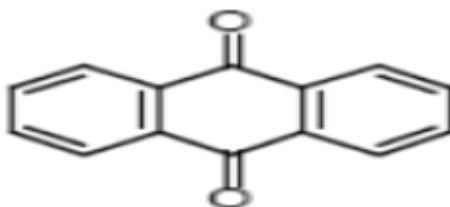


Figure III.2: Formule chimique de l'anthraquinone[7].

III-3-1-3 Colorants indigoïdes

Leur appellation de l'Indigoïdes dont ils dérivent. Ainsi, les homologues sélénié, soufré et oxygéné du Bleu Indigo provoquent d'importants effets hypsochromes avec des coloris pouvant aller de l'orange au turquoise [8].

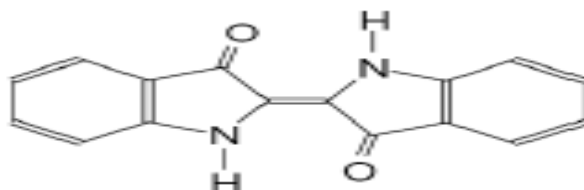


Figure III.3: Formule chimique d'indigoïdes[8].

III-4-Classification tinctoriale

le teinturier est renseigné sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant/substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes [9].

II-4-1-Colorants basiques ou cationiques

C'est une classe des colorants porteurs d'ions positifs et reconnus pour leurs nuances brillantes. Les colorants basiques se composent de grosses molécules et ce sont des sels solubles dans l'eau. Ils ont une affinité directe pour la laine et la soie et peuvent être utilisés sur le coton. La solidité des colorants basiques sur ces fibres est très faible. Ces colorants bénéficient d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur lesquelles ils permettent des nuances très vives et résistantes [10]

Comme exemple de colorant basique fournissant des teintes très brillantes, nous citerons Le Bleu Capri34 [11].

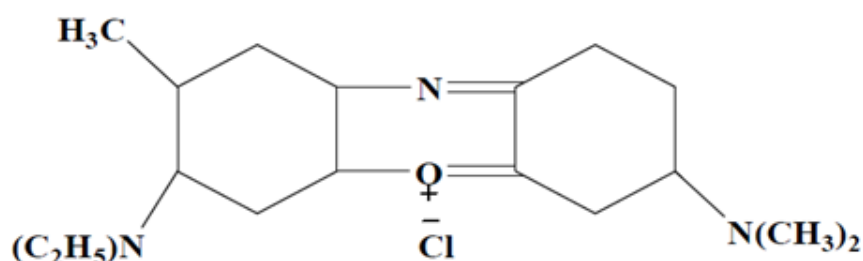


Figure III.4: Formule développée du Bleu Capri[11].

III-4-2-Colorants acides ou anioniques

Ils sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonates ou, ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laine et soie) et quelques fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant/fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupements amino des fibres textiles [12].

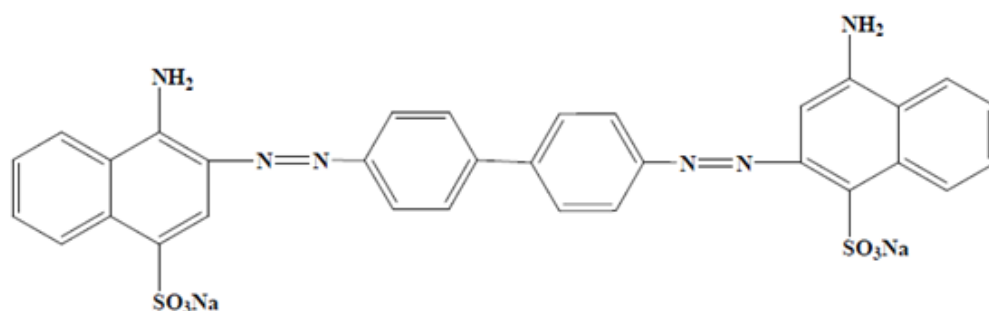


Figure III.5 : Formule développée du rouge Congo[12].

III-4-3-Colorants à complexe métallique

Les colorants à complexe métallique appartenant à la classe des azoïques et des anthraquinoniques sont des composés organiques qui présentent des groupes suffisamment voisins pour former des complexes par chélation avec des sels de chrome, de cobalt, de calcium, d'étain ou d'aluminium. Ces sels sont appelés **mordants**. Un mordant est donc un produit chimique, habituellement un sel métallique ou un acide, avec lequel est traitée avant teinture la fibre à teindre. Durant le processus de teinture il se forme le complexe insoluble au sein des pores de la fibre ce qui aide à retenir le colorant sur cette fibre [11].

Plus de 65 % de la laine est aujourd'hui teinte à l'aide de colorants au chrome (voir section suivante) ou de colorants à complexes métallifères et environ 30 % du polyamide est teint à l'aide de colorants à complexes métallifères 1:2 [13] et sa formulation représente dans la figure (III.6).

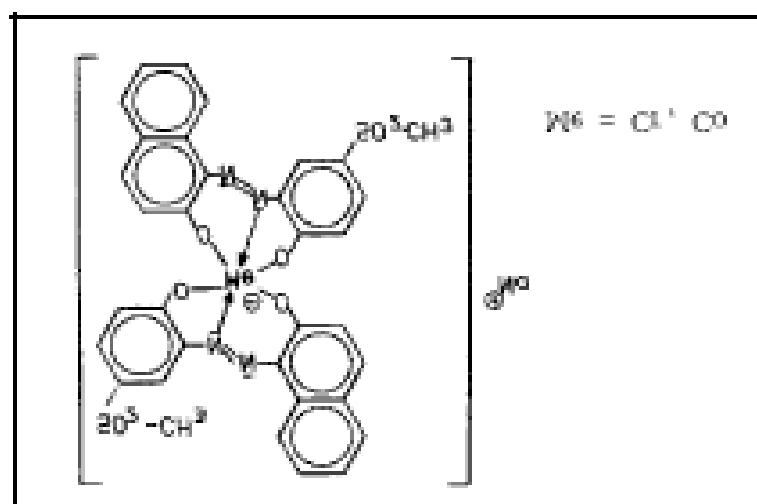


Figure III.6: Structures moléculaires de colorants a complexes métallifères 1:2[13].

III-4-4- Colorants réactifs

Les colorants réactifs contiennent des groupes chromophores issus essentiellement des familles azoïques, anthraquinonique et phthalocyanine. Leur appellation est liée à la présence d'une fonction chimique réactive, de type triazinique ou vinylsulfone assurant la formation d'une liaison covalente forte avec les fibres. Solubles dans l'eau, ils entrent dans la teinture du coton et éventuellement dans celle de la laine et des polyamides [14].

III-5-Les utilisations des colorants

Pour voir l'importance de matières colorantes il suffit d'examiner l'ensemble des produits manufacturés dans les différents domaines d'application comme :

Textiles 60%, Papiers 10%, Matières plastiques et élastomères 10%, Cuire et fourrures 3%. Les autres applications concernent les produits alimentaires, le bois, la photographie [11].

III-6-Rôles des colorants

Les colorants sont des additifs qui permettent d'améliorer et/ou de modifier l'aspect d'un aliment. Ils n'ont aucune valeur nutritive mais permettent, en améliorant l'aspect, et de donner envie de consommer cet aliment. Les colorants sont donc des additifs essentiels pour la consommation et sont ainsi utilisés à différents niveaux par l'industrie alimentaire : redonner l'apparence originale à un aliment, assurer l'uniformité de la couleur et intensifier la couleur naturelle de l'aliment qui a une influence sur le consommateur [15].

III-7-Bleu Evans

III-7-1-Définition

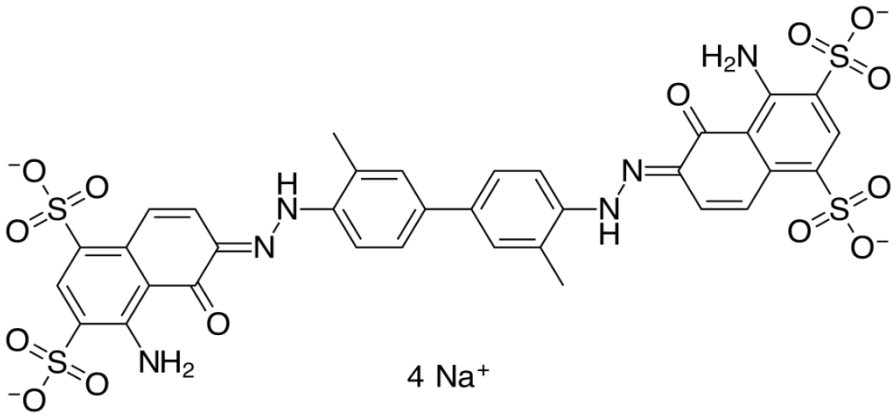
Bleu Evans ou T-1824, est un colorant azoïque qui a une très grande affinité pour l'albumine sérique. Pour cette raison, il peut être utile en physiologie pour estimer la proportion d'eau corporelle contenue dans le plasma sanguin [16]. Il est fluorescent avec des pics d'excitation à 470 et 540 nm et un pic d'émission à 680 nm [17].

Le colorant bleu Evans a été utilisé comme test de viabilité sur la base de sa pénétration dans des cellules non viables, bien que la méthode soit sujette à erreur car elle suppose que les cellules endommagées ou altérées ne sont pas capables de réparation et ne sont donc pas viables [18].

Le bleu Evans est également utilisé pour évaluer la perméabilité de la barrière hémato-encéphalique aux macromolécules. Parce que la sérumalbumine ne peut pas traverser la barrière et pratiquement tout le bleu d'Evans est lié à l'albumine, normalement le tissu neural reste sans coloration [19]. Lorsque la barrière hémato-encéphalique est compromise, le bleu d'Evans lié à l'albumine pénètre dans le SNC.

Le bleu d'Evans (BE), est pharmacologiquement actif, agissant en tant que modulateur allostérique négatif des récepteurs d'AMPA et de kaïnate et en tant qu'inhibiteur des transporteurs vésiculaires de glutamate. Il agit également sur les récepteurs P₂.

Tableau III-2: les caractéristiques physico-chimiques du Bleu d'Evans[19].

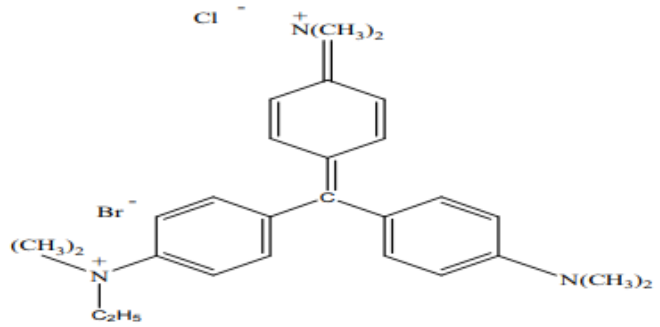
Nom	Bleu d'Evans
Structure	 4 Na⁺
Absorption maximale	602.0 nm
Formule chimique	C ₃₄ H ₂₄ N ₆ O ₁₄ S ₄ Na ₄
point d'ébullition	101°C

III-8-Vert de méthyle

III-8-1- Définition

Vert de méthyle (VM), vert solide, ou Methyl green est un triphénylméthane du groupe des rosanilines il dérive de l'hexaméthylpararosanilin, sa formule moléculaire brute est C₂₆H₃₃BrClN₃[20].

Tableau III-3: les caractéristiques physico-chimiques du VM [20].

Nom	Vert de méthyle
Structure	

Aspect	Cristaux verts
Absorption maximale	436 nm
Odeur	Inodore
Masse Molaire (g/mol)	458.32
Solubilité dans l'eau	60g/l dans l'eau à 20°C

III-9-Rouge de Crésol

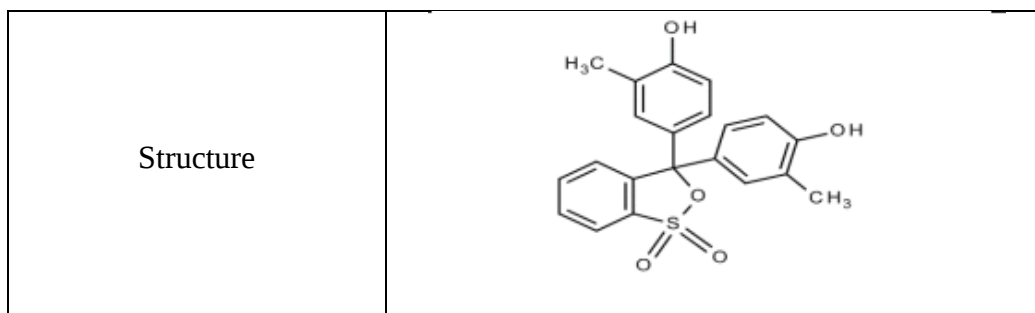
III-9-1-Définition

Le rouge de crésol (ou ortho-Crésolsulfonephthaléine) est un colorant de la famille des sulfonephthaléines utilisé comme indicateur de pH.

Le rouge de crésol est utilisé, à l'instar du bleu de bromophénol comme marqueur coloré afin de vérifier le bon déroulement d'une électrophorèse sur gel de polyacrylamide ou d'une électrophorèse en gel d'agarose [21].

Tableau III-4: les caractéristiques physico-chimiques du Rouge de Crésol [21].

Nom	Rouge de Crésol
Famille	Triphénylméthanes
Formule brute	$C_{21}H_{18}O_5S$
Appellation chimique	o-crésolsulfonephthaléine.
Masse molaire (g/mol)	382
Solubilité dans l'eau (g/L)	4



III-10-Méthyl d'orange

III-10-1-Définition

L'hélianthine, autrement appelée méthylorange (MO), orangé III⁵ ou encore orangé de méthyle, est un indicateur coloré utilisé en chimie pour marquer la présence d'un milieu e acide (il vire en rose-rouge) ou d'un milieu basique (il vire en jaune-orangé). On l'utilise donc pour les dosages acido-basiques.

Sa formule chimique est $C_{14}H_{14}N_3O_3SNa$ lorsqu'il est sous forme de sel. Le couple acide-base correspondant est $C_{14}H_{14}N_3O_2S-OH / C_{14}H_{14}N_3O_2S-O^-$. Le pKa de ce couple est 3,39 [22].

Tableau III-5: Caractéristiques physico-chimiques du Méthyl orange [22]

Structure moléculaire	
Formule moléculaire	$C_{16}H_{11}N_2NaO_4S$
Poids Moléculaire (g/mole)	350.32
Point de fusion °C	164
solubilité dans l'eau (g/l)	116
Synonymes	Orange Acide 7 ; 4-(2-hydroxy-1-naphthylazo) benzènesulfonique sel de sodium acide; Sodium 4-[(2-hydroxy-1-naphtyl)azo benzènesulfonate]

III-11-La toxicité de colorants

Les colorants sont toxiques. La toxicité des colorants est due à la présence de groupements phtalogènes, de cyanures, des sels de baryum et de plomb, dans leurs molécules [23].

En effet les colorants jetés dans les effluents menace l'environnement et nécessite des recherches sérieuses dont l'objectif est de les éliminer de l'environnement.

Les références bibliographies

1. **Djebri manel yasmine.** Preparation de membranes chitosan montnorillonite application a la retention du vert de malachile. Master.Universite Abou Belkaid – Tlemcen.(2014).
2. **Chouat M. laboubi F.** Etude de l'adsorption du bleu méthylène par charbon actif, Mémoire de Master, Université Mohamed Khaider-Biskra, Juin 2013.
3. **Emna E.** Réactivité de surface d'argiles naturelles étude de l'adsorption de colorants anioniques, Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, 21/03/2011.
4. **Chebli D.** Traitement Des Eaux Usées Industrielles: Dégradation Des Colorants Azoïques Par Un Procédé Intégré Couplant Un Procédé D'oxydation Avancée Et Un Traitement Biologique, Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas, 18/02/2012.
5. **Ben Aissa A.** Etude de la dégradation photo catalytique d'un colorant synthétique et d'un tensioactif, Thèse de Doctorat, Université Mentouri -Constantine-, 2010/2011.
6. **Guettari S. Benkhatou K.** Elimination D'un Mélange De Colorants Par Les Procèdes D'oxydation Avancée, Mémoire De Master, Université des Sciences et de la technologie d'Oran - Mohamed Boudiaf-, 2013/2014
7. **Hammami S.** Étude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels, Thèse de doctorat,l'université Paris-Est et Tunis el Manar, 12/12/2008.
- 8.**Bengrine A.** Dépollution des eaux usées sur un support naturel Chitosane- Bentonite, Mémoire de Magistère, Universite Abou Bekr Belkaid – Tlemcen, 2011.
- 9.**Lamri N.** Elimination du colorant orange ii en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption, Mémoire de Magister, Université Mentouri- Constantine, 02/12/2010.
10. **Ben Mansour H. Boughzalaa O. Dridic D. Barilliera D. Chekir-Ghedirab L. Mosratia R.** Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : CRI BLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement, Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 24, n° 3, 2011, p. 209-238, 2010.
11. **Reffas A.** Etude de l'adsorption de colorants organiques (rouge nylosan et bleu de méthylène) sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café, Thèse de Doctorat, Université Mentouri-Constantine-,5/12/2010.
12. **Boulal A. Bouachema M.** Etude cinétique de la dégradation d'un colorant par oxydation, Mémoire de Master, Université des sciences et de la technologie d'oranMohamed Boudiaf, 2013/2014.
13. **Industrie textile,** Document de référence sur les meilleures techniques disponibles, Commission Européenne,Novembre 2002. PDF.

14. **Lemlikchi W.** Elimination de la pollution des eaux industrielles par différents procedes d'oxydation et de Co-précipitation, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri-Tizi Ouzou-, 31/10/2012.
15. **Chloé B.** Les Colorants Artificiels Dans Les Denrées Alimentaires Destinées Aux Enfants, Travail de Maturité, Le 7/11/2011.
16. **Physiology:** 7/7ch02/7ch02p17 - Essentials of Human Physiology
17. **Jump up ^ Hed J, Dahlgren C & Rundquist I** (1983). "A Simple Fluorescence Technique to Stain the Plasma Membrane of Human Neutrophils". *Histochemistry*. 79 (1): 105–10. doi:10.1007/BF00494347. PMID 6196326.
18. **Jump up ^ Crutchfield A**, Diller K, Brand J (1999). "Cryopreservation of *Chlamydomonas reinhardtii* (Chlorophyta)". *European Journal of Phycology*. 34 (1): 43–52. doi:10.1080/09670269910001736072.
19. **Jump up ^ Hawkins BT**, Eggleton RD (2006). "Fluorescence imaging of blood–brain barrier disruption". *Journal of Neuroscience Methods*. 151 (2): 262–7. doi:10.1016/j.jneumeth.2005.08.006. PMID 16181683.
20. **BOUSNOUBRA Ibtissem.** Contribution à l'élimination de colorants (Vert de méthyle et Bromocrésol pourpre) par procédés photochimiques en phase homogène (séparés et mélangés), en phase hétérogène en milieu aqueux et par adsorption (Vert de méthyle) sur ZnO. DOCTORAT. UNIVERSITE DES FRERES MENTOURI-CONSTANTINE1.(2017).
21. **SOUMIA FASSI.** Elimination de deux colorants (*Vert de Bromocrésol et Rouge de Crésol*) de structure semblable, par des techniques photochimiques et sonochimiques en milieu aqueux homogène et hétérogène. DOCTORAT. UNIVERSITE CONSTANTINE 1.(2014).
22. **Lamri NAIDJA.** ELIMINATION DU COLORANT ORANGE II EN SOLUTION AQUEUSE, PAR VOIE PHOTOCIMIQUE ET PAR ADSORPTION. MAGISTER. UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE.(2010).
23. **BENDOU S.** Utilisation des argiles traitées pour la décoloration des bains de teinture, Mémoire de Magistère, Universite M'hamed Bougara-Boumerdes-, 12/2009.

*Chapitre IV: le phénomène
de L'adsorption*

IV-1- Introduction

Les solides sont souvent utilisés pour extraire certaines substances de solutions gazeuses ou liquides dans les procédés de décoloration ou purification. Ce processus, connu comme étant un traitement d'adsorption, implique un transfert préférentiel des substances de la phase gazeuse ou liquide sur la surface d'un substrat solide. Le phénomène d'adsorption est un outil utile pour la purification et la séparation de toute substance indésirable (références). Il trouve son application dans différentes industries (pétrolière, chimique, pharmaceutique, etc...), et contribue amplement à résoudre des problèmes de pollution et notamment l'eau. Beaucoup de matériaux adsorbants comme les charbons actifs et les zéolithes sont utilisés depuis longtemps. De nombreuses recherches ont été entreprises pour développer des alternatives nouvelles de fabrication et d'utilisation d'adsorbants économiques comme par exemple des matériaux naturels abondant ou des sous-produits ou de déchets de l'industrie qui exigent peu de transformation. Dans la littérature on trouve un certain nombre d'application de matériaux dans le traitement des eaux comme la sciure de bois, les céréales, les épis de maïs modifié, pelures de fruits. Ces matériaux sont constitués principalement de cellulose et de lignine. L'explication du phénomène d'adsorption avec ces matériaux, des mécanismes mis en jeu ainsi que les modèles théoriques permettant de décrire ce phénomène sont largement décrit dans la littérature [1].

D'après **Weber et Morris, 1963** «tout solide est un adsorbant potentiel », mais on cherche à l'exploiter en le magnifiant par l'emploi de solide de porosités élevées.

IV-2- Définition

L'adsorption est un phénomène d'interface ; phénomène physique de fixation des molécules de l'adsorbat sur la surface du solide ; l'adsorbant, influe sur la distribution et les propriétés des substances dissoutes ou en suspension. Il peut se dérouler entre un solide et un fluide (gaz ou liquide). La fixation des molécules de l'adsorbat sur la surface du solide (l'adsorbant) provient de l'affinité entre l'adsorbant et l'adsorbat, s'exprime de liaisons de VANDER WAALS ; liaisons du type électrostatique de faible intensité, avec des énergies d'interaction entre 5 et 40 KJ/mole » [2].

IV-3- Les types de l'adsorption

Nous pouvons classer l'adsorption en deux types : l'adsorption physique et l'adsorption chimique.

IV-3-1- L'adsorption physique (ou physisorption)

L'adsorption physique se produit à des températures basses. Les molécules s'adsorbent sur plusieurs couches (multicouches) avec des chaleurs d'adsorption souvent inférieures à 20 kcal/mol. Les interactions entre les molécules du soluté (adsorbat) et la surface du solide (adsorbant) sont assurées par des forces électrostatiques type dipôles, liaison hydrogène ou Van der Waals (La liaison physique est plus faible). La physisorption est rapide et réversible [3].

IV-3-2- L'adsorption chimique (ou chimisorption)

La chimisorption est un phénomène d'adsorption qui met en jeu une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant.

La chimisorption est généralement irréversible, produisant une modification des molécules adsorbées. Ces dernières ne peuvent pas être accumulées sur plus d'une monocouche. Par ce type d'adsorption, les molécules directement liées au solide La chaleur d'adsorption, relativement élevée est comprise entre 20 et 200 Kcal/mol.

IV-4-Mécanisme de l'adsorption

Au cours de l'adsorption d'une espèce sur un solide, le transfert de masse des molécules se fait de la phase fluide vers le centre de l'adsorbant telle que : C-à-d ; ce processus s'opère au sein d'un grain d'adsorbant en plusieurs étapes [5] :

1. Transfert de masse externe (diffusion externe) qui correspond au transfert du soluté du sein de la solution à la surface externe des particules,
2. Transfert de masse interne dans les pores (diffusion interne) qui a lieu dans le fluide remplissant les pores. En effet, les molécules se propagent de la surface des grains vers leur centre à travers les pores,
3. Diffusion de surface : pour certains adsorbants, il peut exister également une contribution de la diffusion des molécules adsorbées le long des surfaces des pores à l'échelle d'un grain d'adsorbant [4].

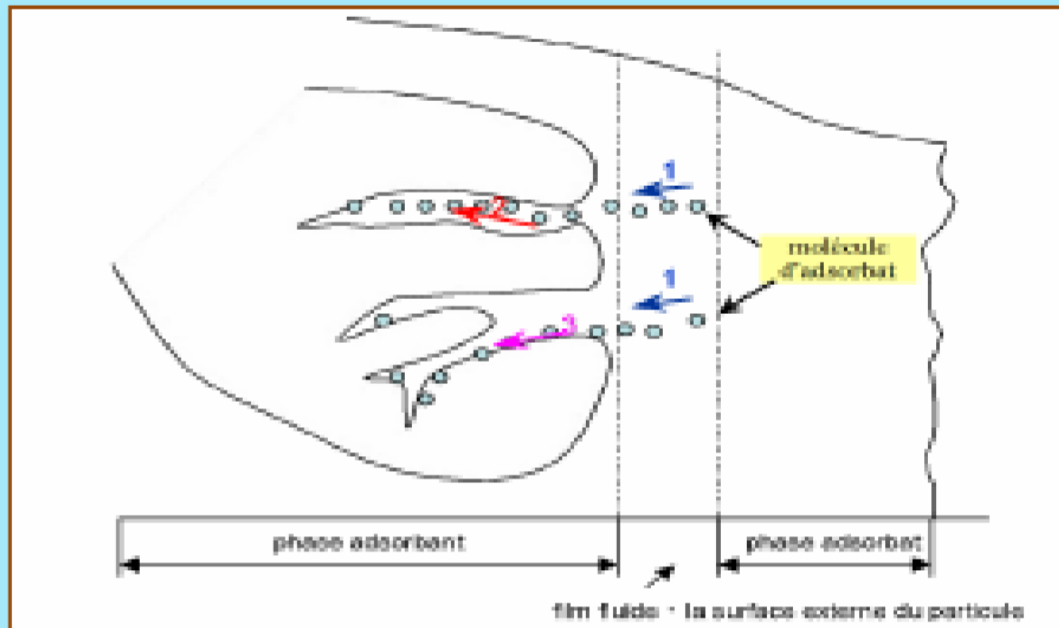
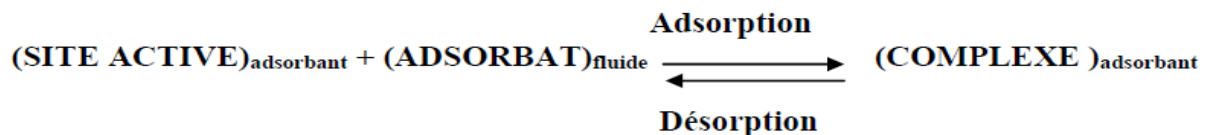


Figure IV.1 : Schéma du mécanisme de transport d'un adsorbat au sein d'un grain [5].

IV-5- Approches thermodynamiques

L'**adsorption** d'un adsorbat sur la surface d'un adsorbant peut être représentée par l'équation de l'équilibre thermodynamique suivante :



L'étude thermodynamique d'un processus d'adsorption consiste en la détermination des constantes ci-dessous :

La constante d'équilibre K_C : exprimée en concentration, la constante d'équilibre prend la forme suivante :

$$K_C = \frac{C_a}{C_e} \quad (\text{IV. 1})$$

C_a : Concentration de l'adsorbat adsorbée à l'équilibre (mg/l),

C_e : Concentration de l'adsorbat à l'équilibre d'adsorption (mg/l).

$$\Delta G^0 = RT \ln K_C = \Delta H^0 - T \Delta S^0 \quad (\text{IV. 2})$$

ΔG^0 : L'énergie libre du processus de l'adsorption (KJ/mol),

ΔH^0 : L'enthalpie du processus de l'adsorption (KJ/mol),

ΔS^0 : L'entropie du processus de l'adsorption (KJ/mol),

R : constante des gaz parfait (KJ/mol °K),

T : température du processus de l'adsorption (°K).

Le processus de l'adsorption est spontané lorsque la valeur de ΔG^0 est négative, reflète une haute affinité entre l'adsorbant et l'adsorbat

ΔH^0 et ΔS^0 : nous les détermine à partir de la pente et l'ordonnée de la courbe de variation de $\ln K_c = f(1/T)$, selon l'équation suivante :

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^0}{R} - \frac{\Delta H^0}{RT} \quad (\text{IV. 3})$$

- La valeur de ΔS^0 (KJ/mole) donne une indication sur le degré de liberté de la substance adsorbée à l'interface solide-liquide,
- La valeur et le signe de ΔH^0 (KJ/mole K) décrivent l'aspect énergétique du processus d'adsorption [6].

IV-6- Conclusion

L'adsorption solide- fluide reste l'une des principales techniques de dépollution des milieux contaminées par certains polluants solubles. Plusieurs types de matériaux sont utilisés comme adsorbants dont le coût est un facteur limitant [8].

Les références bibliographiques

- 1- Sana NOUACER. Application des tiges de dattes dans l'adsorption de métaux toxiques de l'eau. Doctorat. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR – ANNABA (2015).
- 2- NAIT MERZOUG Nesrine. APPLICATION DES TIGES DE DATTES DANS L'ADSORPTION DE POLLUANTS ORGANIQUES. Magister. Université Mohamed Cherif Massaadia Souk-Ahras. (2014).
- 3 - Benamraoui Faouzia. Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture. MAGISTER. UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF-1. (2014).
- 4 - Kanouri R. Labide A. Adsorption du phénol sur la bentonite de Maghnia, Mémoire master Académique, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2012/2013.
- 5- Cherraye R. Préparation par voie chimique d'un charbon actif à partir des déchets de café (Effet de taux d'adjuvant), Mémoire Master Académique, Université Kasdi Merbah-Ouargla, 16/06/2012.
- 6 - CHAOUCH Noura. Utilisation des sous-produits dupalmier dattier dans le traitement physico-chimique des eaux polluées. DOCTORAT. UNIVERSITE HADJ LAKHDAR – BATNA. (2014).
- 7 - KHALFAOUI AMEL Épouse DERBAL. Etude Expérimentale de L'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels: Application aux Peaux d'Orange et de Banane. DOCTORAT. UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE. (2012)
- 8 - Benamraoui Faouzia. Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture. MAGISTER. UNIVERSITE FERHAT ABBAS SETIF-1. (2014)

Chapitre V: Les Méthodes

Physiques D'analyse

Spectroscopiques

V -1- Introduction

Les méthodes physiques d'analyse spectroscopiques structurales qualitatives et/ou quantitatives (dosage spectrophotométries) ou de la cinétique d'une transformation chimique), se basent sur les interactions matière/matière ; la spectroscopie de masse (CCM, HPLC, CPG), et sur les interactions rayonnement matière ; Les spectroscopies radiatives (UV- visible, IR, les rayons X).

V -2- Les méthodes physiques d'analyse spectroscopiques radiatives

V -2-1-Spectroscopie UV-visible

Principe

La spectroscopie UV –visible consiste à analyser, qualifier une substance de détecter son maximum d'absorption (λ_{max}) et de quantifier l'intensité du rayonnement absorbé par la substance à analyser à son maximum d'absorption (λ_{max}). Dont la longueur d'onde des rayonnements exposés sur la substance varie entre 300 à 650 nm, la collecte des données cherchées nécessite l'interprétation du spectre intensité de l'absorbance en fonction de longueur d'onde des rayonnements exposés sur la substance, $\text{abs} = f(\lambda)$. Le spectre se caractérise par un Maximum d'absorption (λ_{max}) et un minimum d'absorption (λ_{min}) [1]. (Figure V-1)

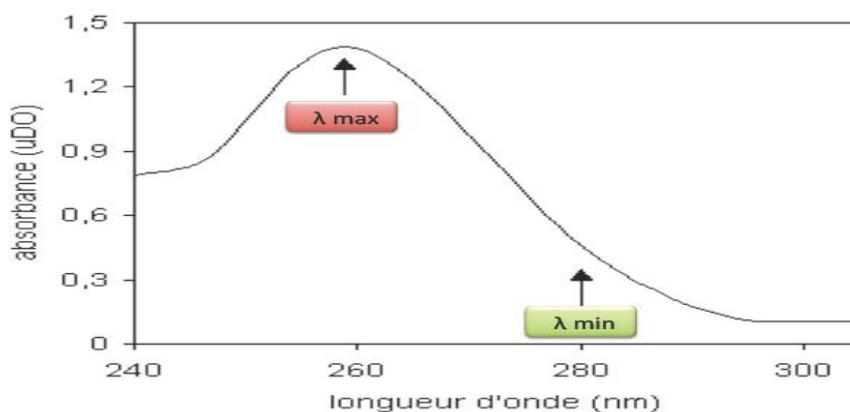


Figure V.1: Courbe l'absorbance en fonction de la longueur[1].

❖ Loi de Lambert Béer

l'absorbance A, définie par la loi de Beer-Lambert:

$$A = -\log \frac{I}{I_0} = \epsilon l C \quad (\text{V.1})$$

Avec ;

A : absorbance à une longueur d'onde donnée (sans unité),

I/I_0 : transmittance de la solution (sans unité),

ε : coefficient d'extinction molaire ($L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$),

l : longueur du trajet optique, c'est-à-dire épaisseur de la cuve (cm), et

C : concentration molaire de la solution ($mol \cdot L^{-1}$)

- **Des paramètres influencent les mesure de l'UV**

- **solvant**

La polarité (polaire ; élargissement des bandes, apolaire ; rétrécissement des bandes) et le PH du solvant influencent les mesures de l'UV, sur les positions des bandes d'absorption, leur intensités et leur formes. Un bon solvant ne doit pas absorber à la longueur d'onde d'étude ; λ_{max} .

- **La matrice**

Les composantes de la matrice du substance à analyser peuvent influencer les mesures de l'UV par ses absorbantes parasites qui sont mesurés simultanément[2] .

V-2-2-Spectroscopie vibrationnelle infra-rouge IR[3]

Ces spectroscopies caractérisent les transitions vibrationnelles au sein des molécules ou cristaux. Le rayonnement infrarouge (IR) fut découvert en 1800 par Frédéric Wilhelm Hershel. Ces radiations localisées au-delà des longueurs d'onde dans le rouge, sont situées entre la région du spectre visible et des ondes hertziennes. Le domaine infrarouge s'étend de $0,8\mu m$ à $1000\mu m$. Il est arbitrairement divisé en 3 catégories,

le proche infrarouge ($0,8$ à $2,5\mu m$) soit $12500-4000\text{ cm}^{-1}$),

le moyen infrarouge ($2,5$ à $25\mu m$ soit $4000-400\text{ cm}^{-1}$) et,

le lointain infrarouge (25 à $1000\mu m$ soit $400-10\text{ cm}^{-1}$).

- **Principe**

La spectroscopie IR se base sur l'interaction de la lumière IR avec le nuage électronique des liaisons chimiques. Généralement dans la majorité des spectroscopies optiques comme la spectroscopie de fluorescence, l'absorption d'énergie permet à un électron d'une liaison chimique de passer d'un état fondamental à un état excité. Dans le cas de la spectroscopie d'absorption IR, le rayonnement émis par la source polychromatique n'est généralement pas assez énergétique pour provoquer des transitions électroniques, mais il induit des transitions

entre les niveaux d'énergie vibrationnelle. Lors de cette interaction il y a émission de radiations à des longueurs d'onde différentes de celle de la radiation incidente. L'analyse des substances d'étude nécessite l'interprétation du spectre, Il est possible de faire des spectres de solides, de liquides ou de gaz. Suivant l'état de l'échantillon, on utilise soit des pastilles à base de KBr, soit des cuves, soit on dépose une goutte de liquide entre deux lames de KBr[3].

V -2-3-Diffraction de rayons X [4]

L'analyse par diffraction de rayons X est une méthode physique d'analyse non destructive, permet d'identifier les phases cristallines des solides.

○ Principe

Lorsqu'un échantillon est irradié à l'aide d'un faisceau de rayons X, il en résulte des faisceaux diffractés dans une direction donnée par chacun des plans réticulaires à chaque fois que la condition de diffraction est satisfaite (figure V-3).

En effet, les corps cristallins peuvent être considérés comme des assemblages de plans réticulaires parallèles dont la distance qui les sépare est appelée distance inter-réticulaire .

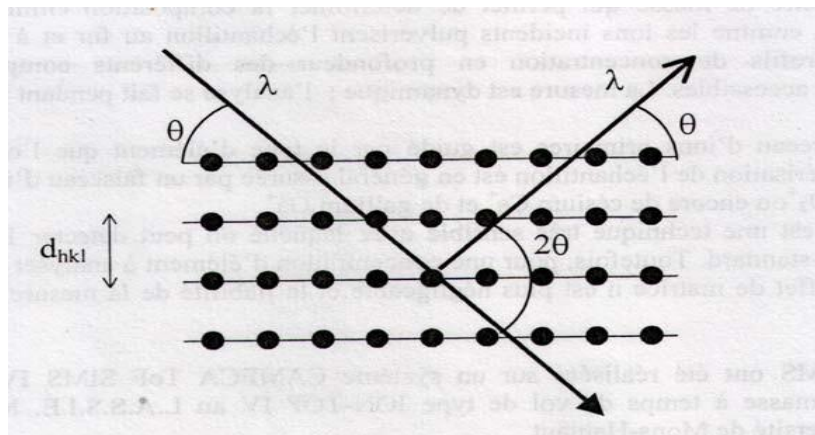


Figure V.2: Famille de plans cristallins en condition de Bragg[4].

○ La loi de Bragg

La loi de Bragg qui relie l'espacement entre les plans réticulaires (d_{hkl}) à l'angle d'incidence :

$$2 \cdot d_{hkl} \cdot \sin\theta = n \cdot \lambda \quad , n = 1, 2, \dots \text{ordre de la diffraction}$$

d_{hkl} : la distance inter-réticulaire des plans d'indice de Miller (hkl) diffractant.

θ : l'angle d'incidence du faisceau des rayons X arrivants sur l'échantillon.

λ : la longueur d'onde des rayons X incidents .

n : un nombre entier.

Si nous connaissons la longueur d'onde du faisceau des rayons X, nous pouvons, à partir de la mesure de l'angle θ , déterminer les distances inter-réticulaires d_{hkl} caractéristiques du

matériau étudié. Nous pouvons alors identifier les phases et les structures cristallines du matériau en les comparants avec des bases de données dans le fichier du Centre international de données sur la diffraction (ICDD).

○ La loi de Debye-Scherrer

Le diffractogramme de rayons X peut être aussi exploité afin de calculer la taille moyenne des cristallites constituant les particules. À cet effet, nous appliquons la formule de Debye-Scherrer :

$$D = 0.9 \frac{\lambda}{\beta \cos(\theta)}$$

D : la taille de nanoparticules en nm,

λ : la longueur d'onde des rayons X utilisées en nm,

β : la largeur à mi-hauteur exprimée en radian,

θ : la position du pic de diffraction considéré en radian.

V -3-Conclusion

les méthodes physiques d'analyse spectroscopique de la chimie moléculaire ; UV, IR, et le diffraction de rayons X, sont les différentes techniques utilisées pour la caractérisation de nanoparticules.

Les références bibliographiques

1. **Vallée, F.** *Les Nanosciences. 2. Nanomatériaux et nanochimie.* Editions Belin : s.n., 2006.
2. **Taleb, A., Petit, C., et al. (1997).** *Synthesis of highly monodisperse silver nanoparticles from AOT reverse micelles: A way to 2D and 3D self-organization.* "Chemistry of Materials 9(4): 950-959.
3. **Korgel, B. A., Fullam, S., et al. (1998).** *"Assembly and self- organization of silver nanocrystal superlattices: Ordered "soft spheres".* "Journal of Physical Chemistry B 102(43): 8379-8388.
4. **P. Scherrer, Gottinger Nachr., 2 (1918) 98.**

PARTIE

EXPERIMENTALE

VI.1. Introduction

La partie expérimentale est la partie qui représente tous les étapes de l'étude scientifique de processus de l'adsorption préférentielle de RC, BE, MO, et du VM sur les 4 nanoparticules d'oxyde de fer de l'étude dans un milieu aqueux.

En premier temps, nous allons étudier le processus de l'adsorption dans l'obscurité, dans des conditions de T, pH, C_{adsorbat} et $C_{\text{adsorbant}}$ optimales, en étudiant l'équilibre thermodynamique et la cinétique de l'adsorption ; l'ordre de la cinétique et la détermination de l'étape limitant dans le mécanisme réactionnelle de l'adsorption,

Ensuite, nous allons refaire les expériences dans les conditions de travail optimales, mais à des températures différentes et sous l'effet de la lumière UV pour bien vérifier l'effet de la chaleur ainsi que la lumière sur le rendement de l'élimination de colorants (polluants),

Puis, le collecte de résultats et discussion,

Enfin, comparaison de résultats et conclusion.

VI.2. Matériels

Les verreries (béchers), micropipette, plaque chauffante, lampe UV; ultra-violet radiation , balance, pH mètre; PHM210 standard Meterlab, SP-UV 500DB spectrophotomètre, IR; Nicolet iS5, rayons X; radiation Cu K α .

VI.3. Matériaux

- Adsorbants : 4 nanoparticules d'oxyde de fer,
- Adsorbats : 4 colorant,.
- Solvant : L'eau bi-distillée, et
- Hcl, NaoH (pour l'ajustement du PH) et Nacl (ajustement de la normalité de la solution).

VI.4. Outils

Excel, World, High score, et l'origine 9.

VI.5. Caractérisation de l'adsorbant et de l'adsorbat :

VI.5.1. Biosynthèse des nanoparticules d'oxyde de fer

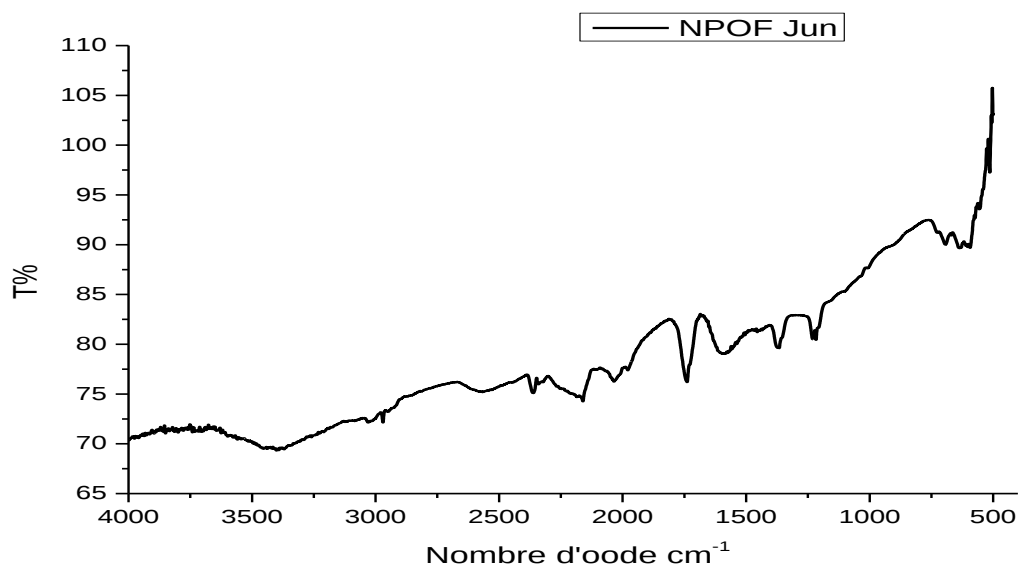
Le biosynthèse des nanoparticules consiste à utiliser le O-H dans les polyphénols des plantes pour synthétiser des nanoparticules. [1] [2] [3] [4].

4 plantes de notre région de Oued Souf (désert de l'Algérie), anacyclus valentinus L, Artemisia L, Juniperus L et Rosmarinus L , ont été utilisées pour synthétiser les nanoparticules de l'oxyde de fer.

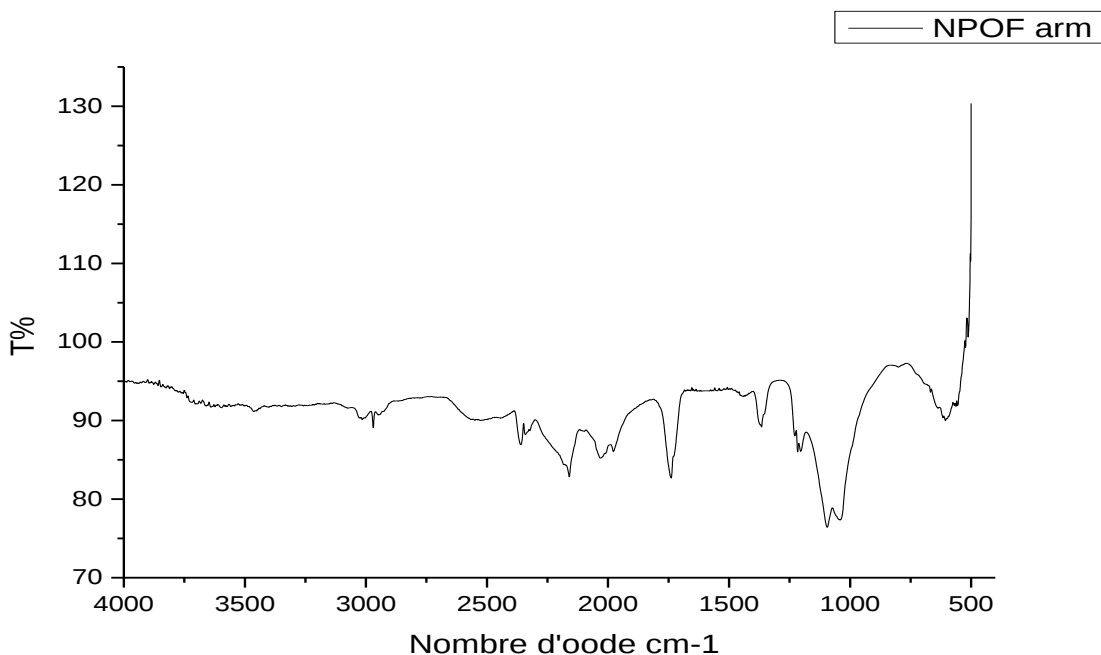
Ces 4 nanoparticules d'oxyde de fer ont été utilisées comme des adsorbants à éliminer les 4 couleurs de l'étude.

Dans le cadre de caractériser notre adsorbants ainsi que les adsorbats, deux méthodes physiques d'analyse ; IR (identification) et les rayons X (taille de nanoparticules) ont été utilisées.

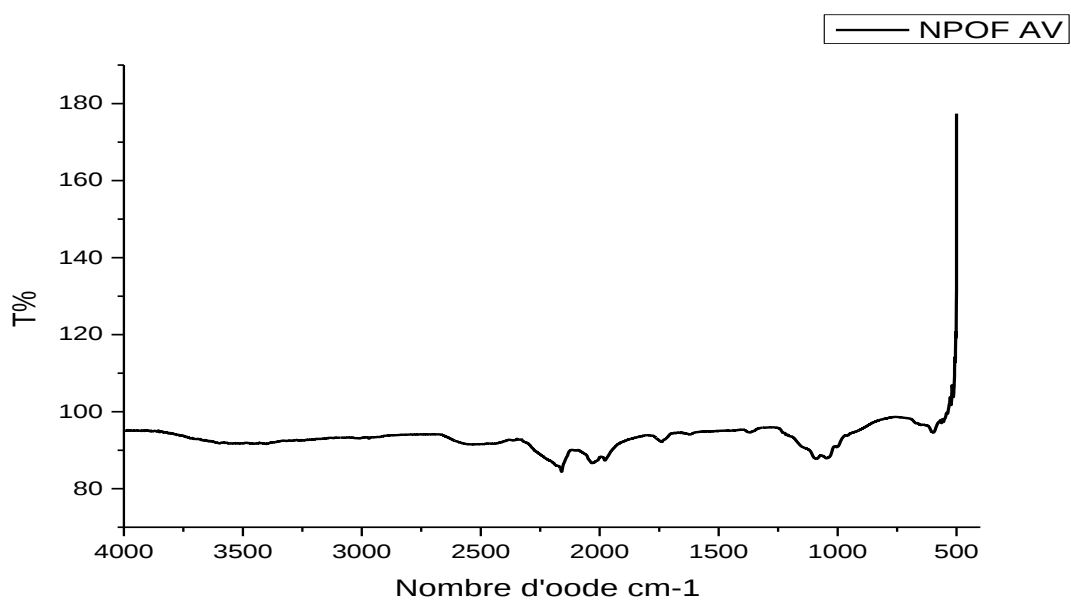
VI.5.2. Identification de nanoparticules d'oxyde de fer par IR



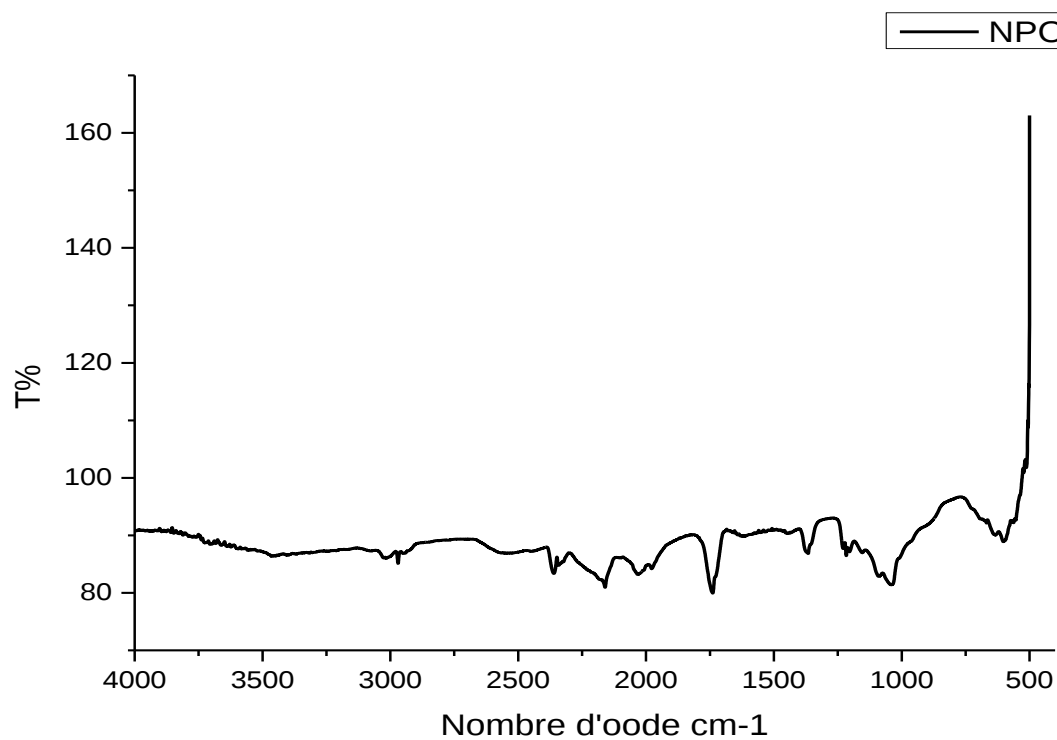
La figure VI.1 : Spectre IR de nanoparticules oxyde de fer Juniperus L, calcinées à 550° C



La figure VI. 2 : Spectre IR de nanoparticules d'oxyde de fer Artemisia L, calcinées à 550° C



La figure VI.3 : Spectre IR de nanoparticules d'oxyde de fer anacyclus valentins L, calcinées à 550° C



La figure VI.4 : Spectre IR des nanoparticules oxyde de fer Rosmarinus L, calcinées à 550° C

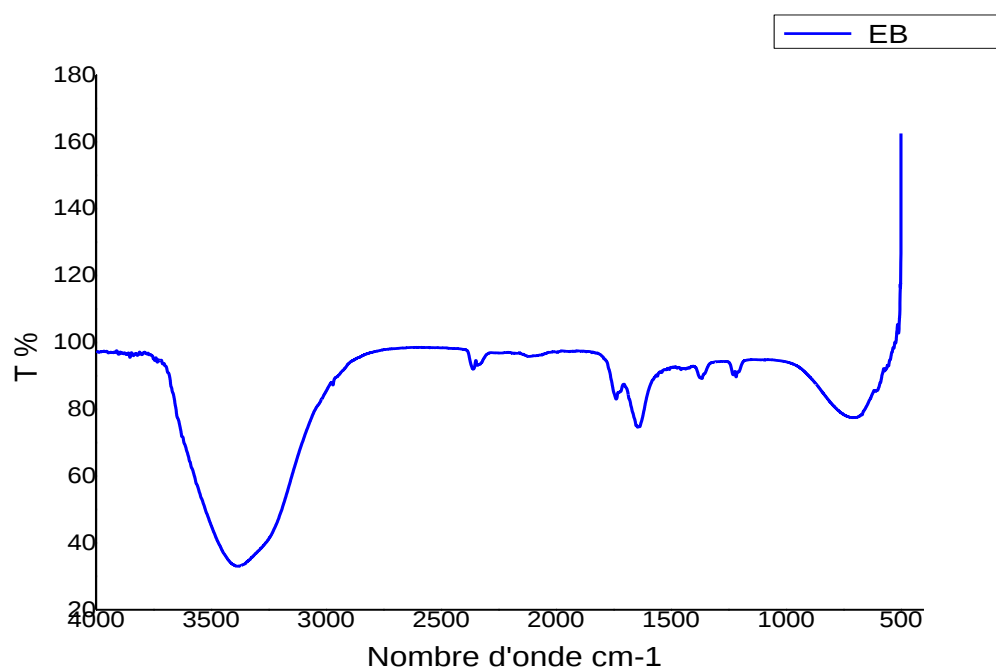


Figure VI.5: Spectre IR de l'Evans Blue à 25 °C

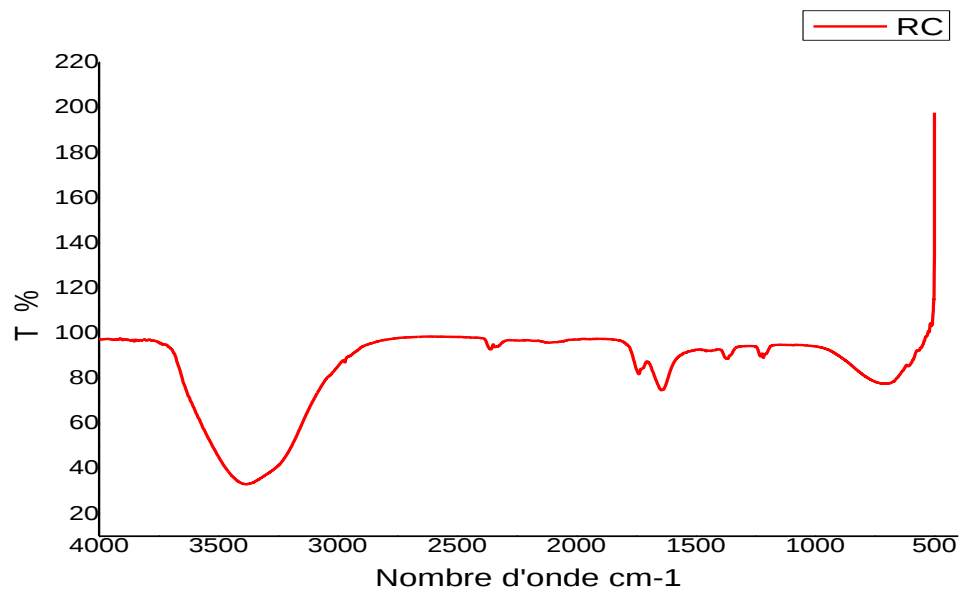


Figure VI.6: Spectre IR du crésol red à 25 °C

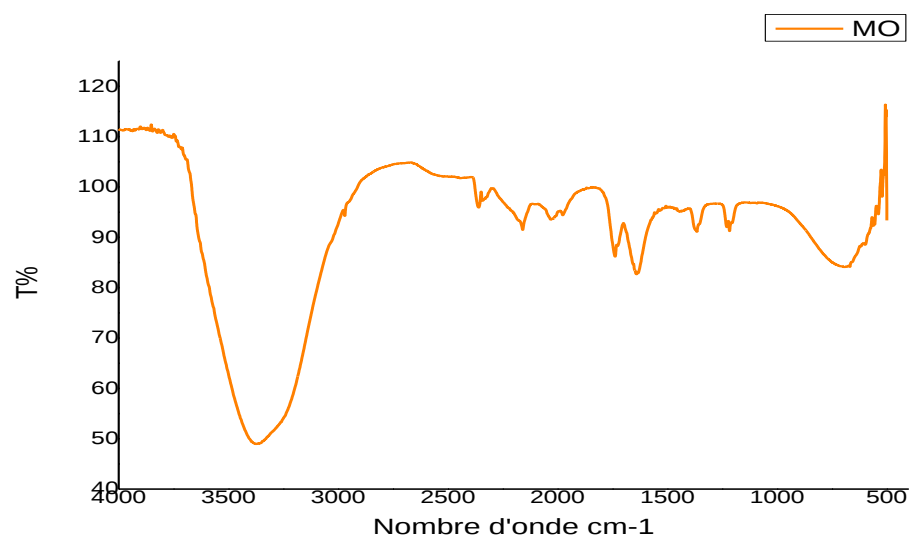


Figure VI.7 : Spectre IR du orange méthyl à 25 °C

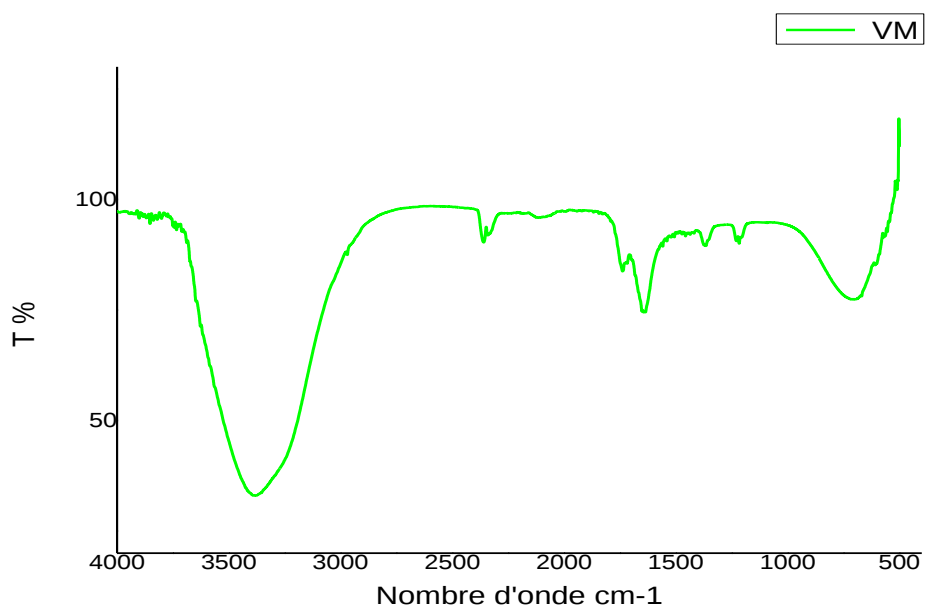


Figure VI.8 : Spectre IR du vert de méthyle à 25 °C

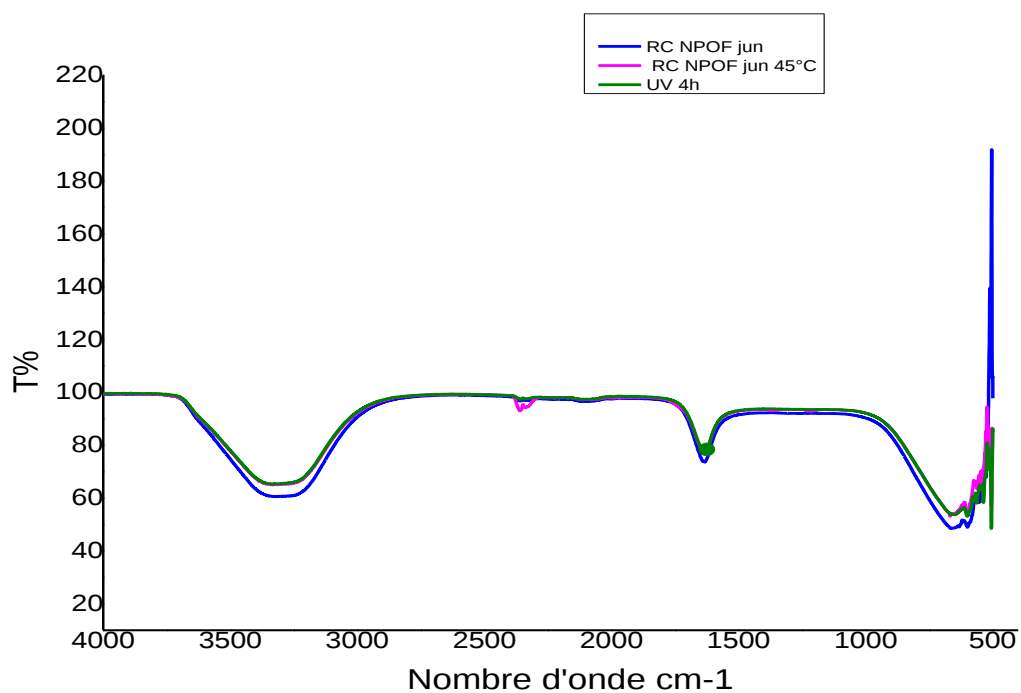


Figure VI.9 : Spectres IR du couleur RC, complexe nano Jun / RC à 25 °C et dans l'obscurité, complexe NPOF_{Jun}/RC à 45°C et du complexe NPOF_{Jun}/ RC sous UV 4 h.

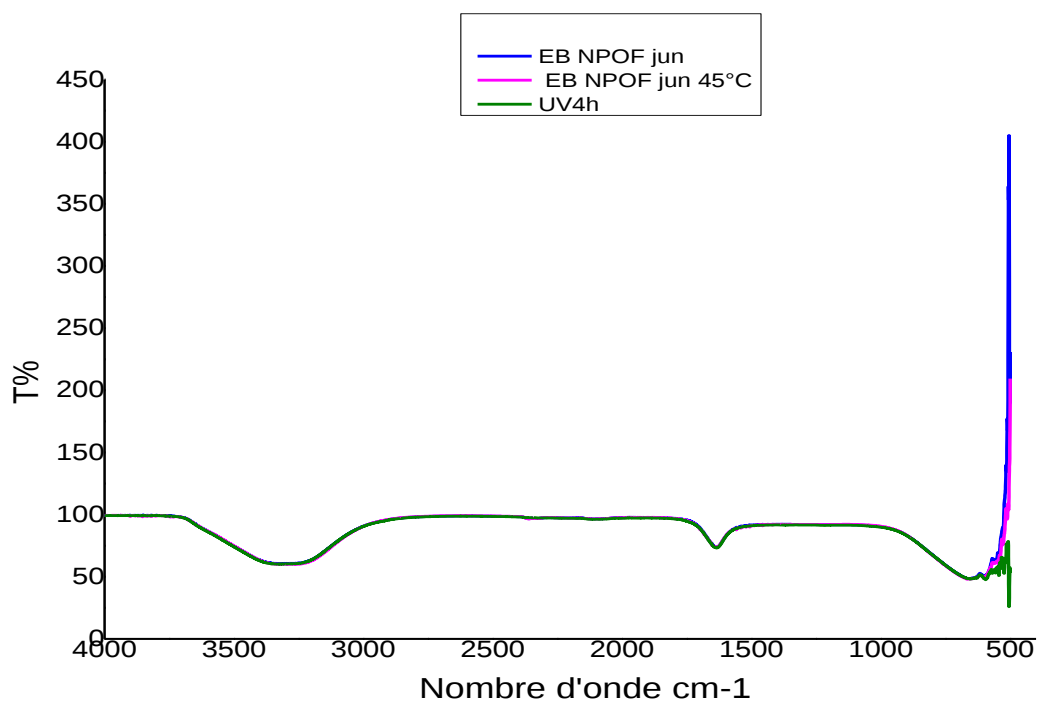


Figure VI.10 : Spectres IR du couleur RC, complexe nano Jun / EB à 25 °C et dans l'obscurité, complexe NPOF_{Jun}/EB à 45°C et du complexe NPOF_{Jun}/ EB sous UV 4 h.

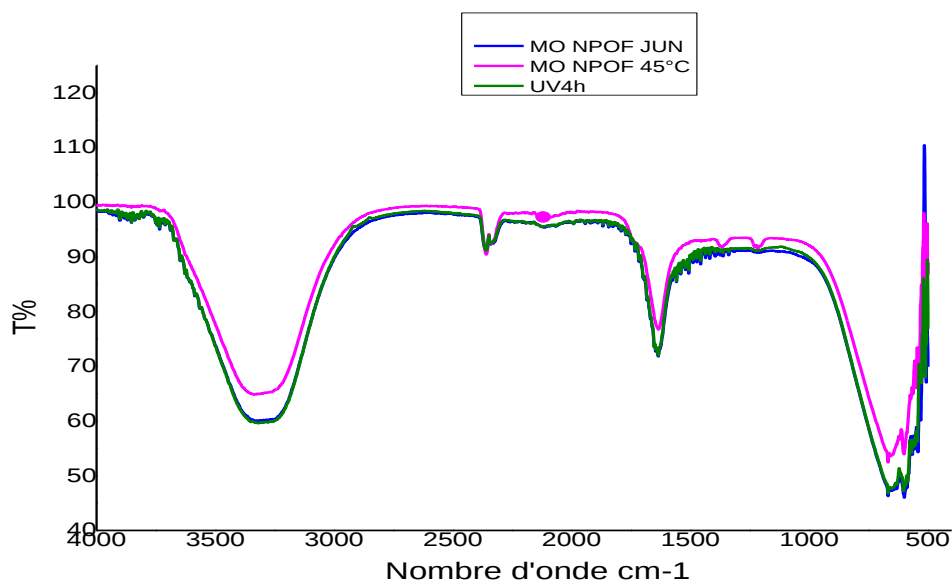
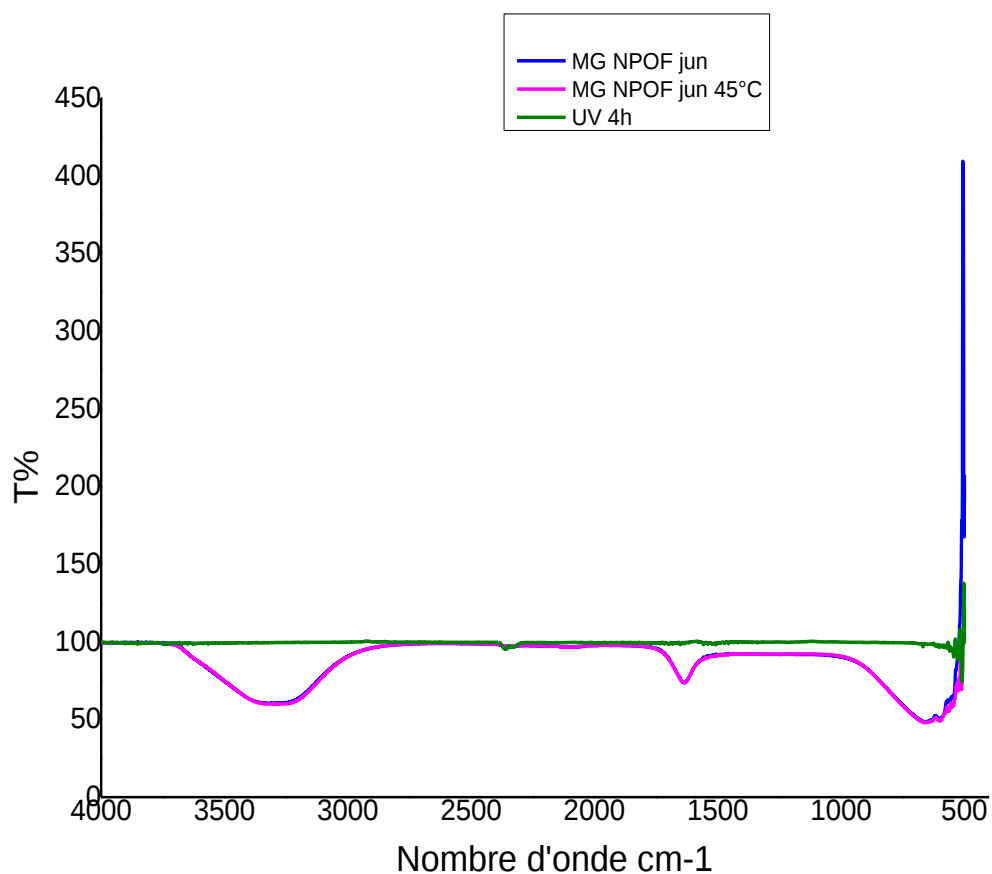


Figure VI.11 : Spectres IR du couleur MO, complexe NPOF Jun / MO à 25 °C et dans l'obscurité, complexe NPOF_{Jun}/MO à 45°C et du complexe NPOF_{Jun}/ MO sous UV 4 h.



La figure VI. 12 : Spectres IR du couleur MG, complexe nano Jun / MG à 25 °C et dans l'obscurité, complexe NPOF_{Jun}/MG à 45 °C et du complexe NPOF_{Jun}/ MG sous UV 4 h.

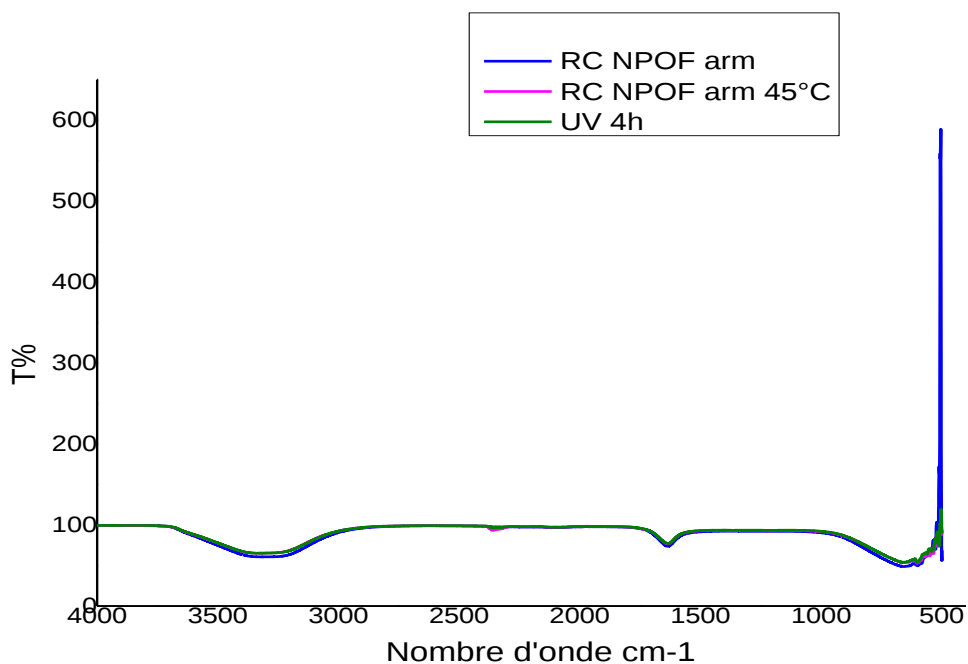


Figure VI. 13 : Spectres IR du couleur RC, complexe NPOF Arm / RC à 25 °C et dans l'obscurité, complexe NPOF_{Arm}/RC à 45 °C et du complexe NPOF_{Arm} / RC sous UV 4 h.

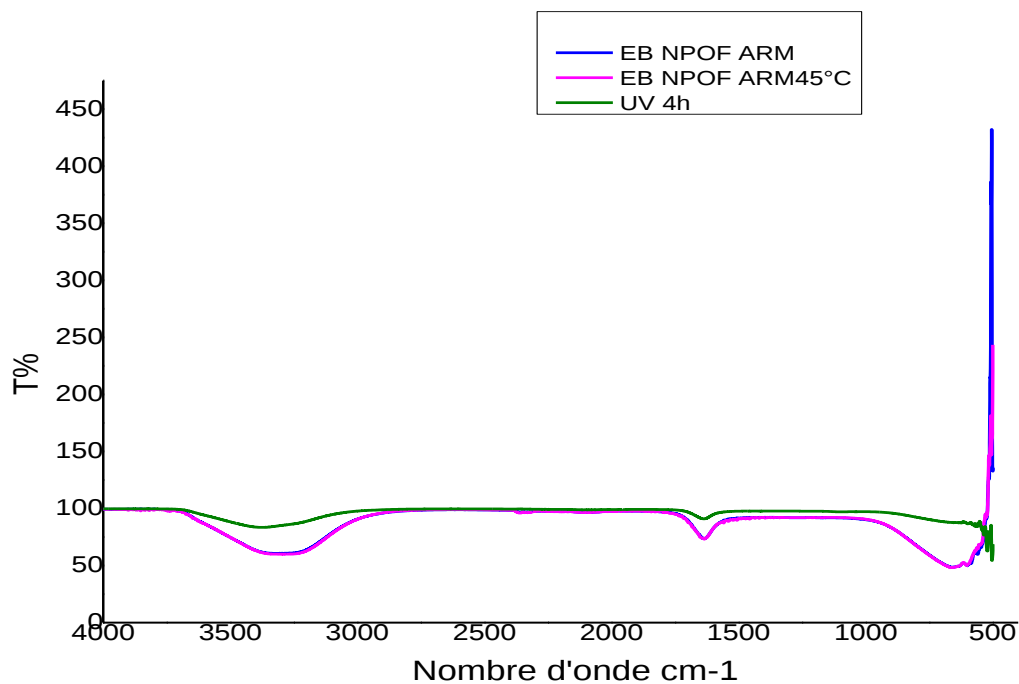
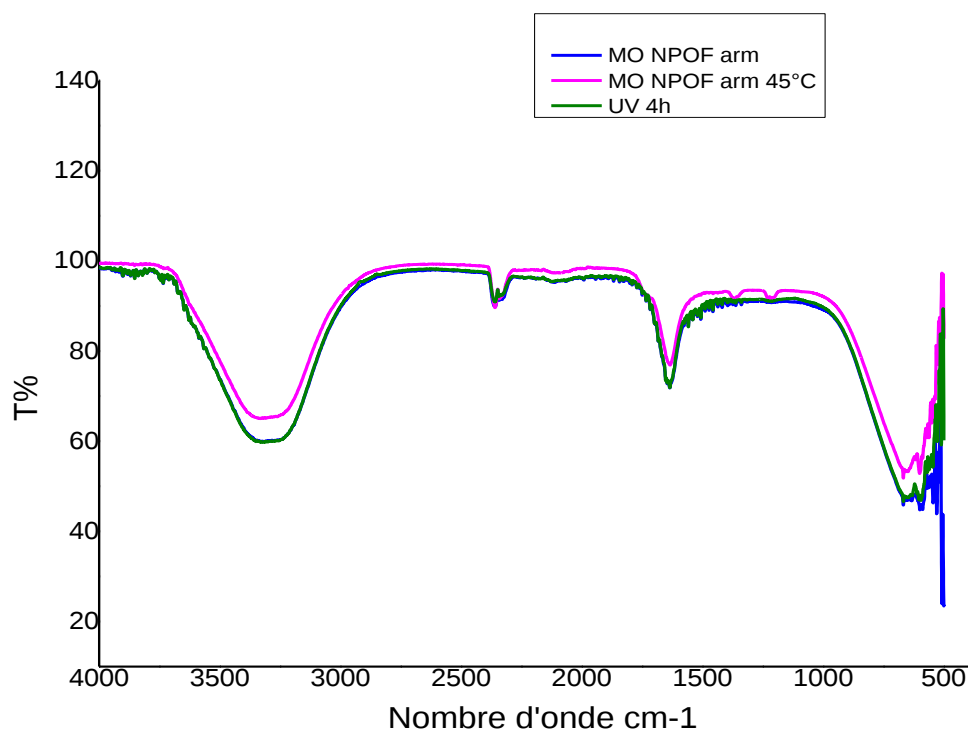
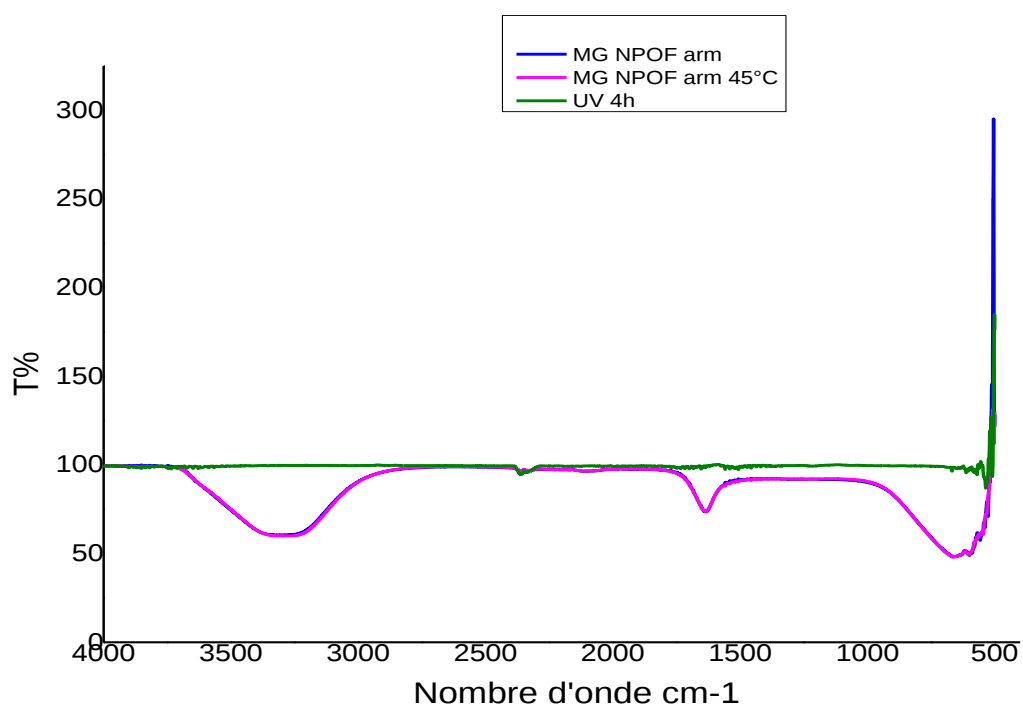


Figure VI.14 : Spectres IR du couleur EB, complexe nano Arm / EB à 25 °C et dans l'obscurité, complexe NPOF_{Arm}/EB à 45°C et du complexe NPOF_{Arm} / EB sous UV 4 h.



La figure VI.15 : Spectres IR du couleur MO, complexe nano Arm / MO à 25 °C et à l'abri de la lumière, complexe NPOF_{Arm}/MO à 45°C et du complexe NPOF_{Arm} / MO sous UV 4 h.



La figure VI.16 : Spectres IR du couleur MO, complexe NPOF Arm / MG à 25 °C et dans l'obscurité, complexe NPOF_{Arm}/MG à 45°C et du complexe NPOF_{Arm} / MG sous UV 4 h.

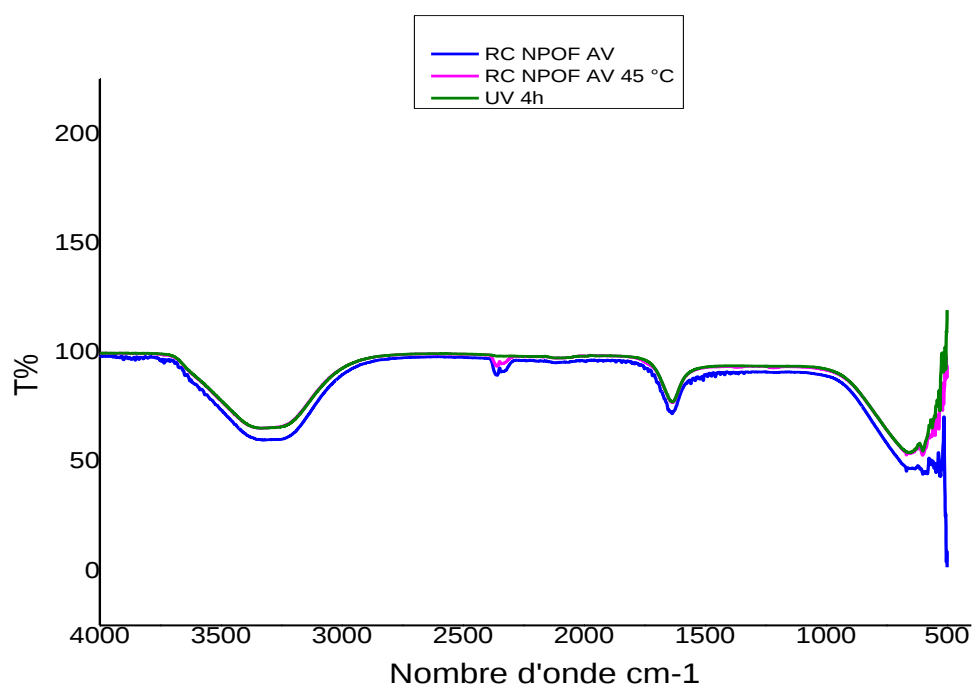


Figure VI.17 : Spectres IR du couleur RC, complexe NPOF Ana / RC à 25 °C et à l'abri de la lumière, complexe NPOF_{Ana}/RC à 45 °C et du complexe NPOF_{Ana} / RC sous UV 4 h

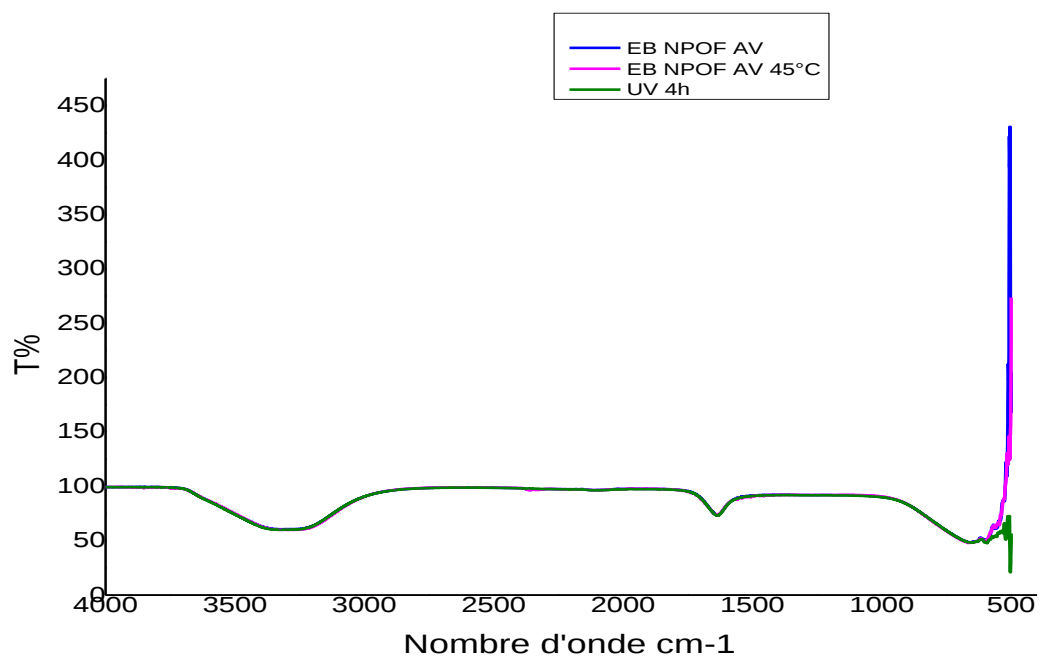


Figure VI.18 : Spectres IR du couleur EB, complexe NPOF Ana / EB à 25 °C et dans l'obscurité, complexe NPOF_{Ana}/EB à 45 °C et du complexe NPOF_{Ana} / EB sous UV 4 h.

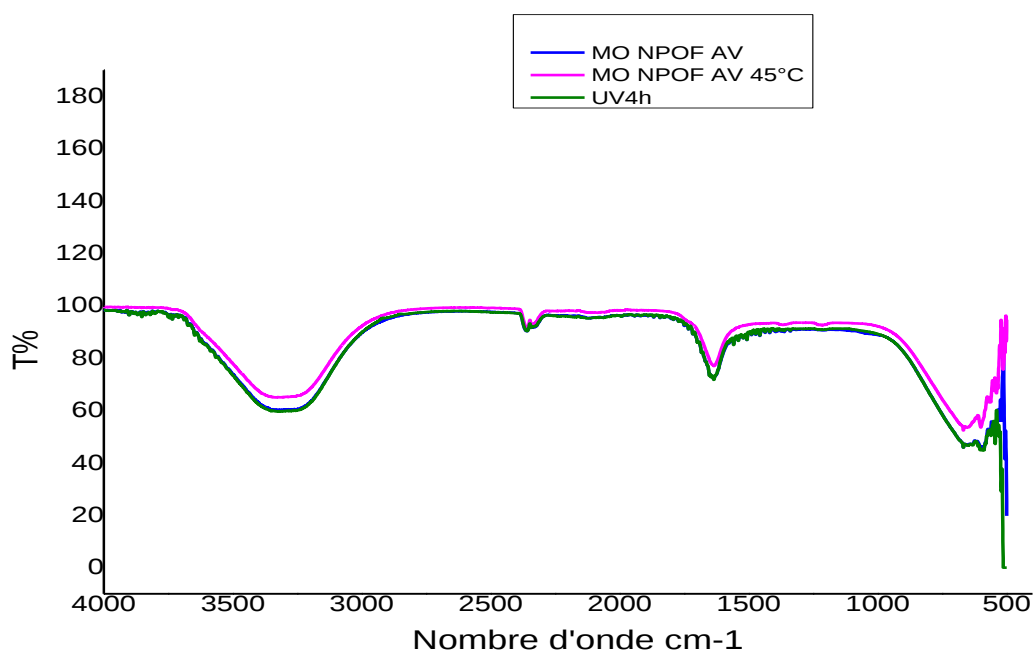


Figure VI. 19 : Spectres IR du couleur MO, complexe NPOF Ana / MO à 25 °C et dans l'obscurité, complexe NPOF_{Ana} /MO à 45 °C et du complexe NPOF_{Ana} / MO sous UV 4 h.

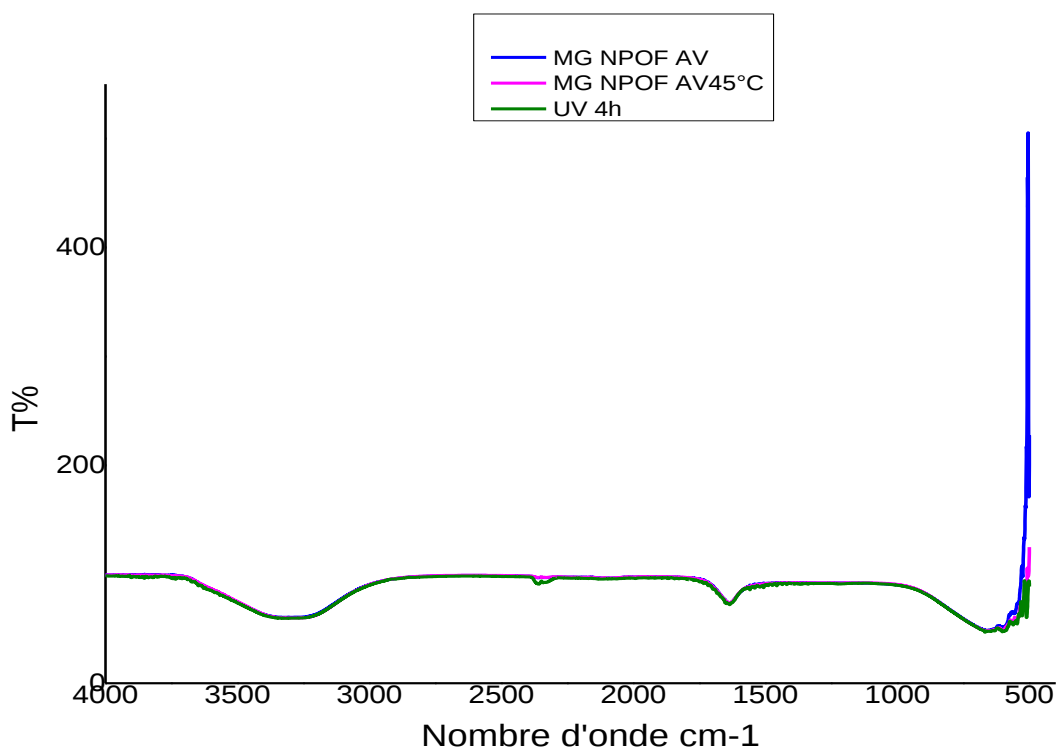
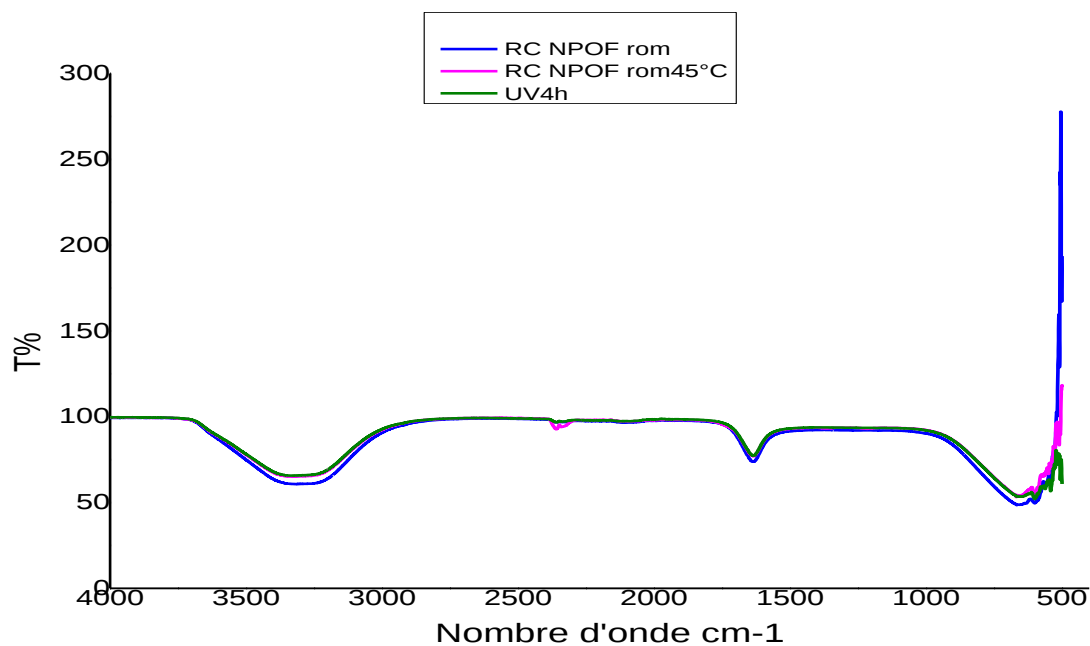


Figure VI.20 : Spectres IR du couleur VM, complexe NPOF Ana / VM à 25 °C et dans l'obscurité, complexe NPOF_{Ana} /VM à 45 °C et du complexe NPOF_{Ana} / VM sous UV 4 h.



La figure VI.21 : Spectres IR du couleur RC, complexe NPOF Ros / RC à 25 °C et dans l'obscurité, complexe NPOF_{Ros} / RC à 45 °C et du complexe NPOF_{Ros} / RC sous UV 4 h.

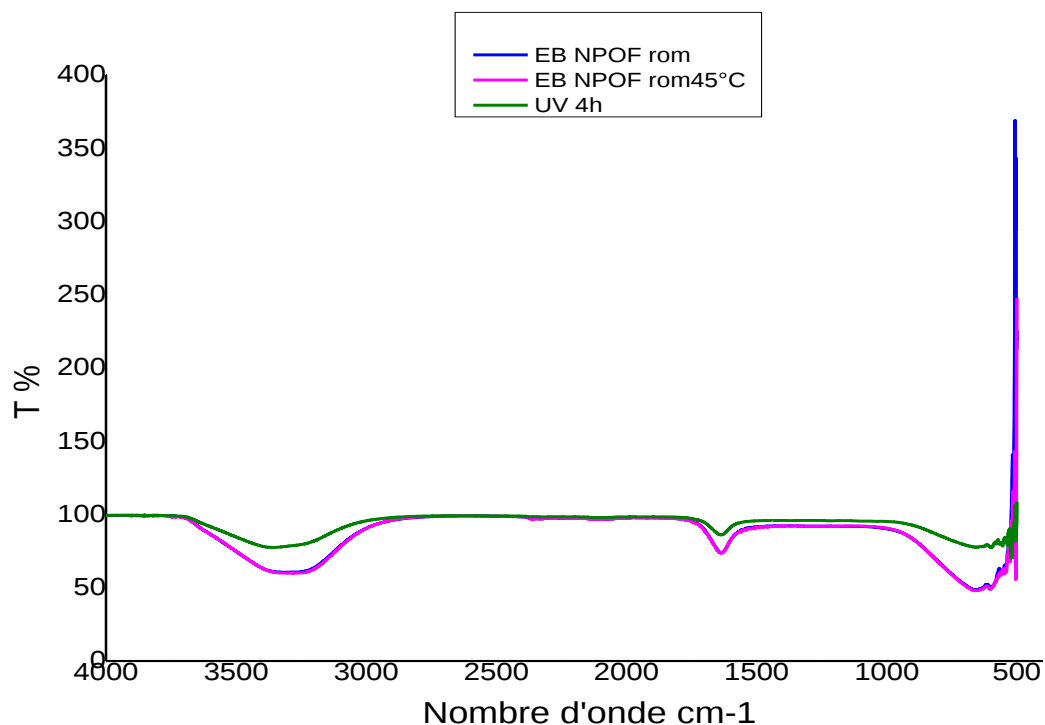


figure VI.22 : Spectres IR du couleur EB, complexe NPOF_{Ros} / EB à 25 °C, dans l'obscurité, complexe NPOF_{Ros} / BE à 45 °C et du complexe NPOF_{Ros} / BE sous UV 4 h.

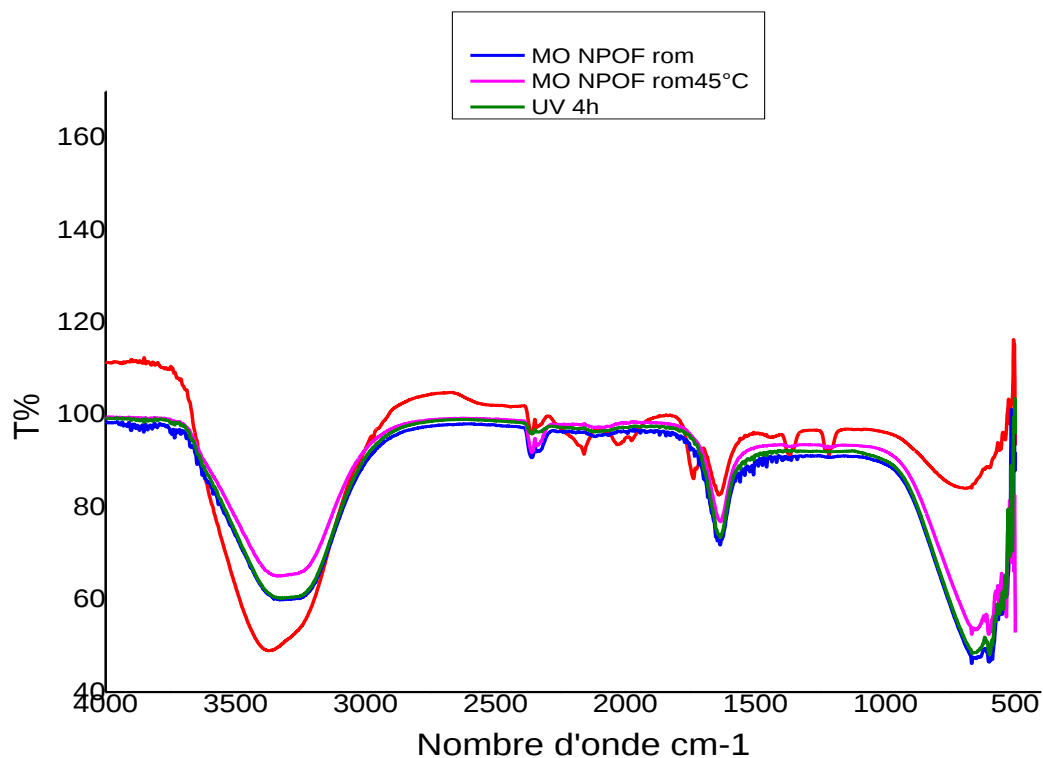


figure VI.23 : Spectres IR du couleur MO, complexe NPOF_{Ros} / MO à 25 °C, dans l'obscurité, complexe NPOF_{Ros} / MO à 45 °C et du complexe NPOF_{Ros} / MO sous UV 4 h.

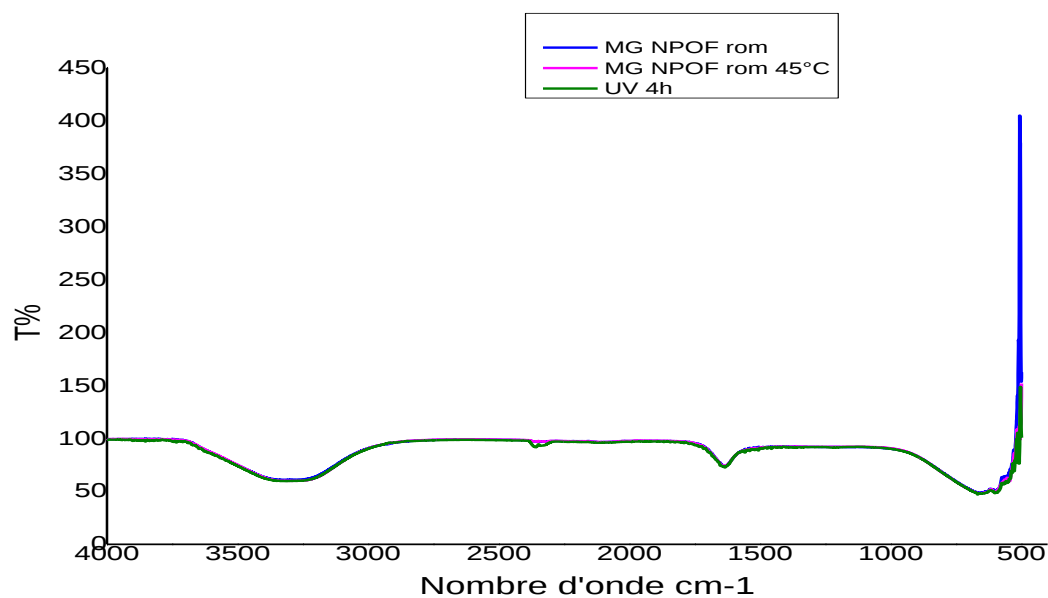


figure VI.24 : Spectres IR du couleur VM, complexe NPOF_{Ros} / VM à 25 °C, dans l'obscurité de; complexe NPOF_{Ros} / VM à 45 °C et du complexe NPOF_{Ros} / VM sous UV 4 h.

VI.5.3. Analyse de spectres IR

Les figures 1, 2, 3, et 4 représentent les spectres IR des nanoparticules ana, jun, ros et arm. les spectres sont caractérisés par pic à 580 cm^{-1} qui réfère à la liaison Fe-O dans les nanoparticules d'oxyde de fer. [5].

Nous remarquons l'absence de transmission dans la zone de la liaison O-H, dans 3500 cm^{-1} . En effet la consommation totale d'O-H des polyphénols.

La concentration de précurseur FeCl_3 et le volume de l'extrait de la plante (source de polyphénols) sont parfaitement choisis.

Les nanostructures sont magnétisées et nous avons réalisé qu'en les exposant à un champ magnétique nous l'avons trouvé se déplaçant dans la direction de l'aimant

Les figures de 5 au 20 représentent les spectres IR des couleurs, complexe nano /couleur, complexe nano/couleur à 45°C et complexe nano/couleur sous complexe la lumière de UV pendant 4 h respectivement.

La bande près de 3395 cm^{-1} et 1620 cm^{-1} réfèrent la liaison O-H [6].

Nous remarquons que la transmission de la bande O-H s'est diminuée sous l'effet de la température et la lumière UV. Nous concluons que l'adsorption est de type chimique, car une destruction de la liaison O-H est fait pour fixer les molécules de l'adsorbat sur la surface externe de l'adsorbant.

VI.6. Analyse de spectres Rayons X

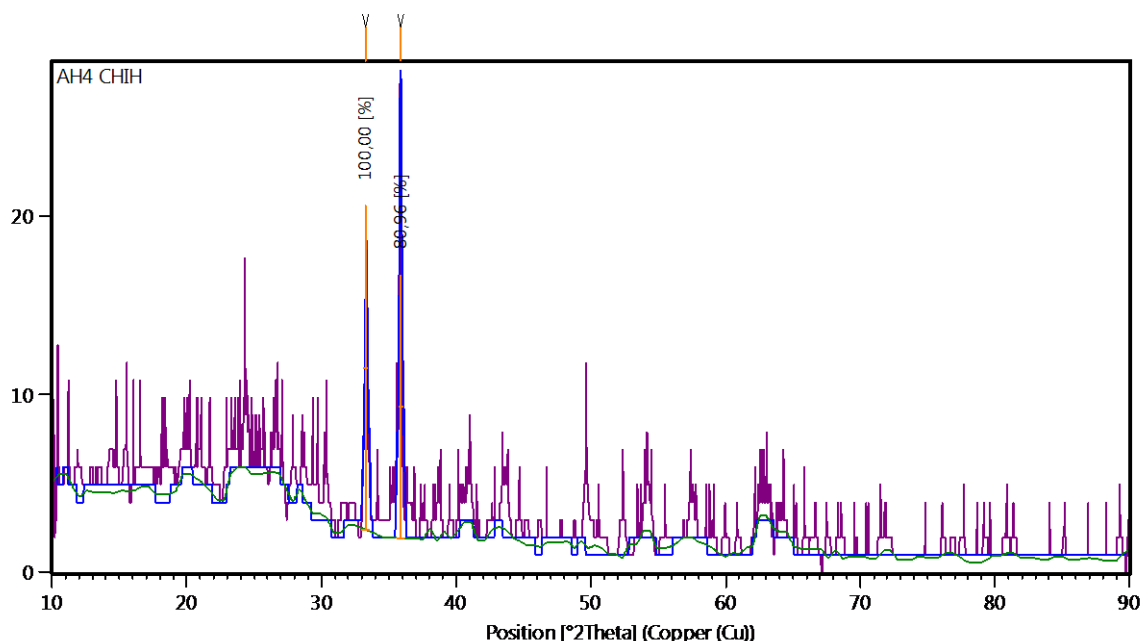


Figure VI. 25: modèle XRD de nanoparticules d'oxyde de fer de Artemisia L radiation $\text{Cu K}\alpha$, calcinées à 550°C

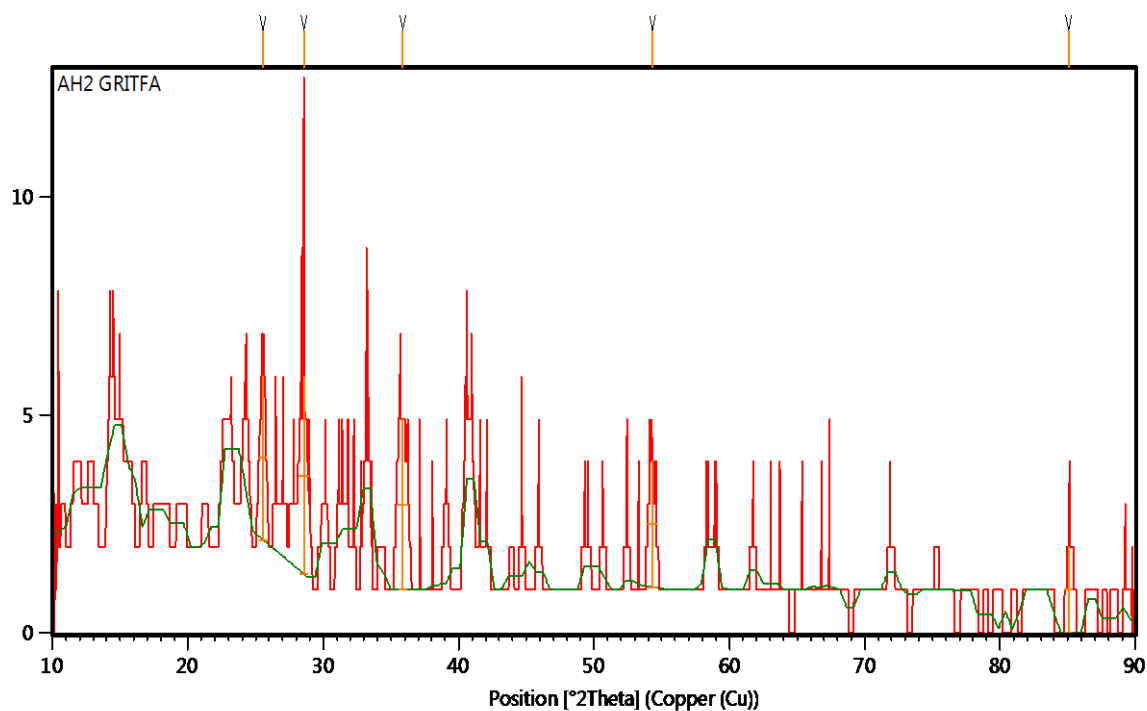


Figure VI.26 : modèle XRD de nanoparticules d'oxyde de fer de anacyclus valentinus L radiation Cu K α , calcinées à 550 °C

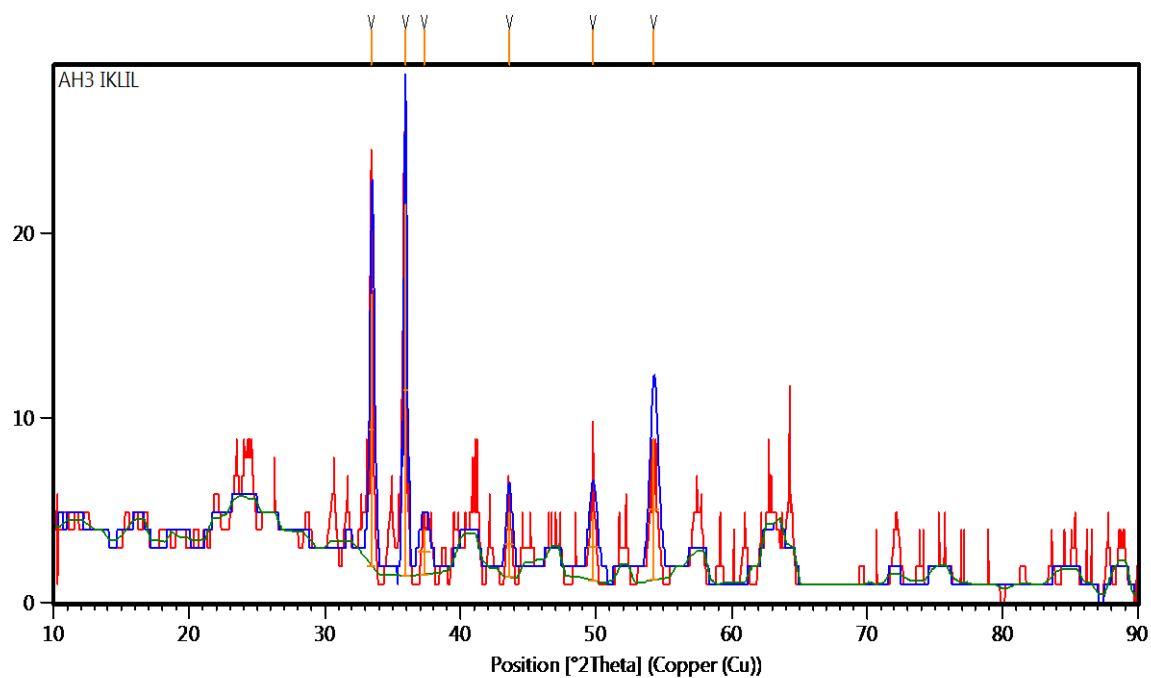


Figure VI. 27 : modèle XRD de nanoparticules d'oxyde de fer de rosmarinus L radiation Cu K α , calcinées à 550 °C

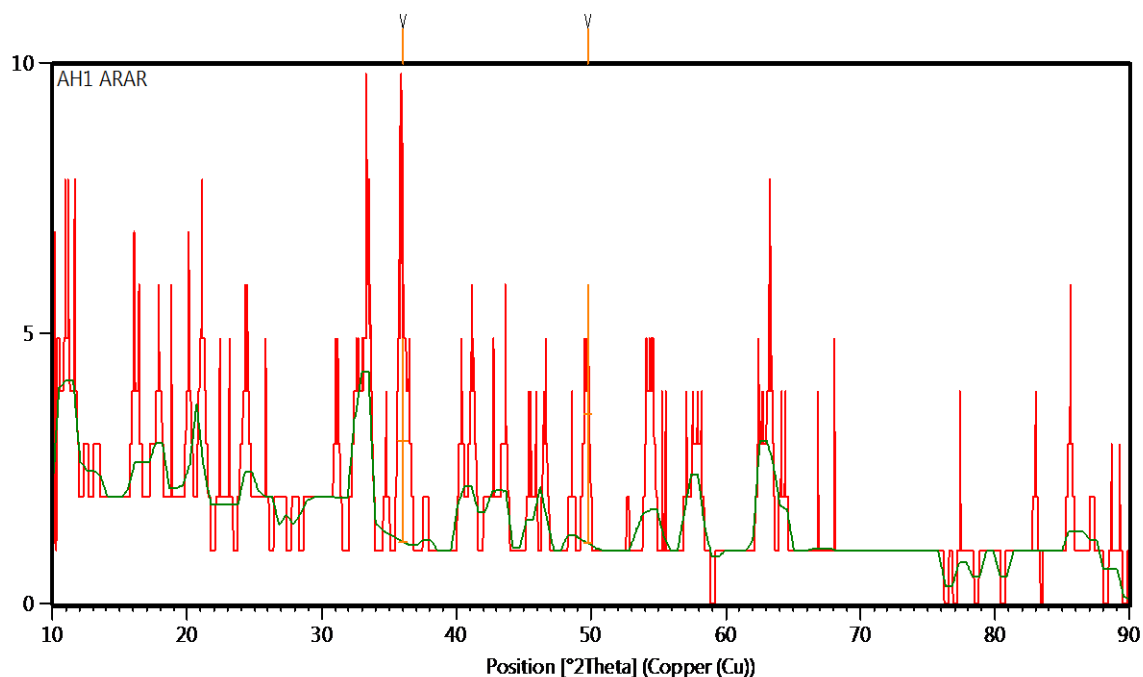


Figure VI.28 : modèle XRD de nanoparticules d'oxyde de fer de juniperus L, radiation Cu K α , calcinées à 550 °C

VI.6.1. La loi de Debye-Scherrer

Le diffractogramme de rayons X peut être aussi exploité afin de calculer la taille moyenne des cristallites constituant les particules. À cet effet, nous appliquons la formule de Debye-Scherrer :

$$D = 0.9 \frac{\lambda}{\beta \cos(\theta)}$$

λ : est la longueur d'onde des rayons X utilisées = 0.154 nm (radiation Cu K α)

β : est la largeur à mi-hauteur exprimée en radian

θ : la position du pic de diffraction considéré.

VI.6.2. Les nanoparticules de Rosmarinus L

Les diagrammes XRD des échantillons d'oxyde de fer sont montrés dans la figure 3a, qui a révélé la nature cristalline de l'oxyde de fer. Les modèles XRD représentent différents oxyde de fer avec cinq caractéristique pics à $2\theta = 33,4521$; $35,9245$; $37,3377$; $43,5803$; $49,7596$, correspondant aux plans de cristal de (220), (311), (400), (511), et (440), respectivement (JCPDS file no. 00-001-1111) [6].

Pour calculer la taille des nanoparticules d'oxyde de fer de Rosmarinus L, l'équation de Scherrer été appliquée.

Tableau VI.1 : Données expérimentales de diamètres de NPOF_{Ros} calculés par la loi de debye-scherrer.

2θ (rad)	θ (rad)	$\cos \theta$	β (rad)	d (nm)
0,58385	0,291925	0,957692	0,006182	23,41054
0,627001	0,313501	0,95126	0,004122	35,34326
0,651666	0,325833	0,947384	0,014427	10,14061
0,76062	0,38031	0,92855	0,009275	16,09382
0,868469	0,434235	0,907192	0,012366	12,35511

VI.6.3. Les nanoparticules d'oxyde de fer de juniperus L

Les diagrammes XRD des échantillons d'oxyde de fer sont montrés dans la figure 3a, qui a révélé la nature cristalline de l'oxyde de fer. Les modèles XRD représentent différents oxyde de fer avec cinq caractéristique pics à $2\theta = 35,9521$ et $49,7695^\circ$, correspondant aux plans de cristal de (311), (440), respectivement. (JCPDS file no. 00-001-1111) [4].

Tableau VI.2 : Données expérimentales de diamètres de NPOF_{Jen} calculés par la loi de debye-scherrer.

2θ (rad)	θ (rad)	$\cos \theta$	β (rad)	d (nm)
0,627483	0,313741	0,951186	0,012366	11,78367
0,868642	0,434321	0,907156	0,010304	14,82714

VI.6.4. Les nanoparticules d'oxyde de fer de Anacyclus valentins L

Les diagrammes XRD des échantillons d'oxyde de fer sont montrés dans La figure 3a, qui a révélé la nature cristalline de l'oxyde de fer. Les modèles XRD représentent différents oxyde de fer avec cinq caractéristiques pics à $2\theta = 25,5593$; $28,5648$; $35,8511$; $54,3108$; et $85,0242^\circ$, correspondant aux plans de cristal de (-), (-), (311), (-), (-), respectivement. (JCPDS file no. 00-001-1111) [4].

Tableau VI.3 : Données expérimentales de diamètres de NPOF_{Ros} calculés par la loi de desye-scherrer

2θ (rad)	θ (rad)	$\cos \theta$	B (rad)	D nm
0,49855	0,249275	0,969092	0,009275	15,42053
0,446094	0,223047	0,975228	0,012366	11,49317
0,62572	0,31286	0,951457	0,012366	11,78031
0,947903	0,473951	0,889772	0,012366	12,597
1,483953	0,741976	0,737134	0,010304	18,24705

VI.6.5. Les nanoparticules d'oxyde de fer de Artemisia L

Les diagrammes XRD des nanoparticules d'oxyde de fer sont montrés dans les figures.... , qui a révélé la nature cristalline de l'oxyde de fer. Les modèles XRD représentent différents oxyde de fer avec les pics caractéristiques à $2\theta = 33,2902^\circ$; et $35,8539^\circ$, correspondant aux plans cristallographiques de (220), (311), respectivement. (JCPDS file no. 00-001-1111) [4].

Tableau VI.4 : Données expérimentales de diamètres de NPOF_{Art} calculés par la loi de desye-scherrer

2θ (red)	θ (red)	$\cos \theta$	β (red)	d (nm)
0,581024	0,290512	0,958097	0,004122	35,09103
0,625769	0,312884	0,95145	0,004122	35,33621

VI.7. Préparation des solutions standards

Nous avons préparé des solutions standards pour les 4 colorants de concentration 25 g/L. une dilution avec de l'eau bidistillée est faite à chaque solution d'étude.

VI.7.1.Préparation des courbes d'étalonnage

la méthode d'étalonnage relie une propriété physico chimique d'un échantillon à la quantité (concentration) d'un composé dans l'échantillon. Le dosage de ce composé nécessite à comparer l'échantillon à un ensemble des étalons de concentrations connues. En effet 5 solutions de chaque colorant dans l'eau bidistillée de concentrations 250, 125, 83.5, 62.5 et 50 mg/L, ont été préparées. Les données sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau VI. 5 : Représentation de courbes d'étalonnage $\text{abs}=f(c)$, de RC, BE, MO et VM

C (mg/L)	abs RC	abs BE	abs MO	abs VM	Courbe d'étalonnage
250	2,347	2,959	0,666	0,825	
125	1,500	1,543	0,335	0,226	
83,5	1,045	1,159	0,209	0,208	
62,5	0,691	0,918	0,156	0,108	
50,0	0,538	0,700	0,151	0,105	

Etude du phénomène d'adsorption de nanoparticules d'oxyde de fer : magnétique de colorants industriels

Adsorption isotherme ; $T=25^{\circ}\text{C}$, à $\text{pH}= 5$ et a une force ionique de solutions étudiées $=0,01\text{M}$

Bedabrata Saha et al., ont étudié la capacité de l'adsorption de magnétique nanoparticules d'oxyde de fer synthétisées ...à adsorber différentes colorants (7 colorants) industriels, et ils ont trouvé que à une température de 25°C , à une valeur de $\text{pH}= 5$, la concentration de nano dans la solution $= 2\text{g/L}$, la concentration de colorant $= 250 \text{ mg/L}$, et la force ionique de la solution $=0,01\text{M}$, les magnétique nanoparticules d'oxyde de fer donne une capacité d'adsorption max.

En effet, nous avons considérés leur étude et nous avons fait notre étude à ces conditions ; $T= 25^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}= 5$, $C_{\text{nano}}= 2\text{g/L}$, $C_{\text{colorant}}= 250 \text{ mg/L}$, et la force ionique de la solution $=0,01\text{M}$.

VI.7.2. Protocole du travail

L'étude l'adsorption de nano magnétique d'oxyde de fer à les conditions optimale consiste à réaliser 9 étapes :

1. Préparation de solutions de colorants de concentration de 25 mg/L , en diluant 100 fois un volume de $0,1 \text{ ml}$ de la solution standard,
2. Mesure de PH des solutions,
3. Préparation des solutions de HCL et NAOH de normalité 1M ,
4. L'ajout de Nacl
5. Ajustement du PH de solution à une valeur de 5, avec du HCL et NAOH, selon le PH du solution,
6. L'ajout de $0,008 \text{ g}$ de nanoparticules d'oxyde de fer à un volume de 4 ml de solution de colorant, de concentration de 25 mg/L , une concentration de 2g/L de nanos est atteinte,
7. Lecture de l'absorbance des échantillons de l'étude tous les 5 à 10 minute pendant une heure (60 min),
8. Analyse par IR de tous les échantillons de l'étude,
9. collecte des données, calcul, analyse et discussion.

20 solutions ; 4 blancs contiennent que des nanoparticules d'oxyde de fer dissoute dans l'eau-bi-distillée et 16 solutions à analyser contiennent du colorant et des nanoparticules d'oxyde de fer dissoute dans l'eau bi-distillée. En effet, 4 types des solutions de colorants ; rouge de crésol, bleu d'Evans, orange de méthyl et vert de méthylène de concentration 25 mg/L , ont été préparées. Une quantité de $0,008 \text{ g}$ de nanoparticules d'oxyde de fer ;est ajoutée à un volume de 4 ml de

solution. Alors nous avons obtenu des solutions de colorant (25 mg/L) dont la concentration de nanoparticules d'oxyde de fer est de 2 g/L.

VI.7.3.Méthode d'analyse

Après avoir collecté les données (absorbances) en analysant les échantillons par UV à la longueur d'onde maximale adéquat, nous avons passé à l'étape calcul dont le calcul de la capacité de rétention et du taux d'élimination des adsorbats (4 colorants) a été effectué par les équations 1 et 2 :

$$Q_{ads} = \frac{(C_0 - C_f) * v}{m} \quad (VI. 1)$$

Q_{ads} : Capacité d'adsorption (mg/g),

C_0 et C_f : Concentration initiale et la concentration de l'échantillon après avoir ajouté des nanoparticule d'oxyde de fer (mg/L),

v : Volume de soluté (L),

m : la masse de l'adsorbant (nanoparticules) (g).

$$R\% = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} * 100 \quad (VI. 2)$$

$R\%$: le rendement ou le taux de l'élimination de l'adsorbat (colorant).

VI.7.4.Résultats et discussion

Les paramètres de control du phénomène de l'adsorption ont été calculés en appliquant l'equation 1 et l'équation 2.

Données: $m_{adsorbant} = 0,008g$, $v_{soluté} = 0,004L$, $C_0 = 250 \text{ mg/L}$, $abs_0 = 2,347$, $a = 0,0129$ et $b = 0,0947$

VI.7.5.Rouge de crésol

Les résultats obtenues ; absorbances, concentrations restantes, $NPOF_{Ana}$, $NPOF_{Ros}$, $NPOF_{Jun}$, $NPOF_{Arm}$ les capacités d'adsorption et les taux de l'élimination de l'adsorbat (rouge crésol), sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau VI. 6 : données de l'adsorption de rouge de crésol RC sur à 25 °C, $abs_0=2,347$, pH= 5 , $C_{nano}= 2g/L$, $C_{colorant}= 250 mg/L$ et $C_{NaCl}=0,01M$.

Color 435 nm	t mn	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{An} a	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{Ro} s	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{Jun}	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{Ar} m	R%
Rouge de crésol	5	2,05	166,4	42,01	33,6	1,66	136,64	56,6	45,34	1,37	106,74	71,62	57,30	2,32	187,6	31,17	24,94
	10	1,99	162,1	44,17	35,3	1,54	127,03	61,4	49,18	1,29	107,65	71,17	56,93	2,09	163,07	43,46	33,40
	15	1,83	149,6	50,39	40,3	1,48	122,30	63,8	51,07	1,21	101,21	74,39	59,51	1,95	158,50	45,74	36,60
	20	1,80	147,4	51,51	41,2	1,42	117,96	66,0	52,81	1,18	99,27	75,36	60,28	1,75	143,07	53,46	42,77
	30	1,66	136,0	57,19	45,7	1,27	105,79	72,1	57,68	1,07	90,82	79,58	63,66	1,59	130,82	59,58	47,67
	45	1,61	132,6	58,86	47,0	1,24	103,93	73,0	58,42	1,07	90,82	79,58	63,66	1,52	125,24	62,37	49,90
	60	1,59	130,9	59,71	47,7	1,21	101,75	74,1	59,29	1,05	89,04	80,47	64,38	1,45	119,20	65,39	52,32

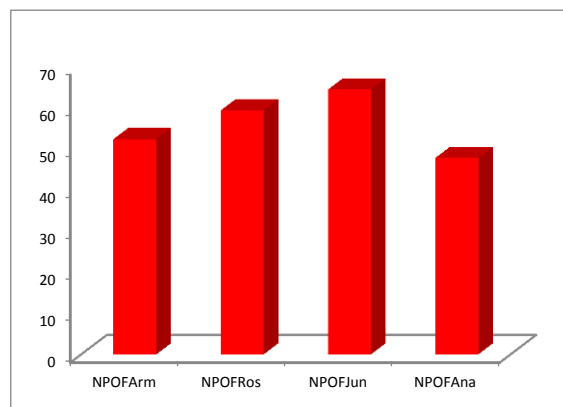
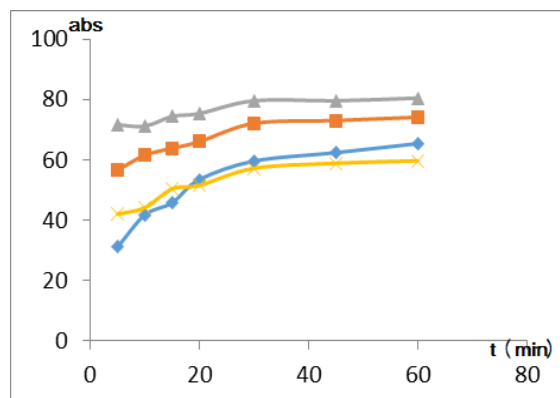


Figure VI.29 : Représentation de variation de la capacité d'adsorption de □NPOFAAna, ■NPOFRos, ▲NPOFJun et ♦NPOFAr à adsorber le rouge de crésol dans les conditions de travail ; T= 25 °C, pH= 5 , $C_{nano}= 2g/L$, $C_{colorant}= 250 mg/L$ et $C_{NaCl}=0,01M$. 60 min

VI.7.6.Bleu d'Evans

Tableau VI.7 : Données de l'adsorption de Bleu d'Evans BE sur les NPOFAna , NPOFRos ,NPOFJun , NPOFArm, à l'obscurité, T= 25 °C, abs0= 2,959, pH= 5 , Cnano= 2g/L , Ccolorant= 250 mg/L et CNacl=0,01M.

λ 602 nm	t mn	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{An} _a	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{Ro} _s	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{Jun}	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{Ar} _m	R%
Bleu d'Eva ns	5	1,687	116,2	66,89	53,51	1,721	118,45	65,77	52,61	1,937	132,6	58,66	46,93	1,649	113,7	68,1	54,51
	10	1,44	99,96	75,01	60,01	1,7	117,07	66,46	53,17	1,904	130,49	59,75	47,80	1,424	98,91	75,54	60,43
	15	1,086	76,67	86,66	69,32	1,574	108,78	70,6	56,48	1,883	129,11	60,44	48,35	1,075	75,95	87,02	69,61
	20	1,072	75,75	87,12	69,69	1,572	108,65	70,67	56,53	1,851	127,00	61,49	49,19	1,002	71,15	89,42	71,53
	30	1,069	75,55	87,22	69,77	1,563	108,05	70,97	56,77	1,831	125,69	62,15	49,72	0,869	62,40	93,79	75,03
	45	1,063	75,16	87,41	69,93	1,547	107,00	71,49	57,19	1,812	124,44	62,77	50,22	0,825	59,50	95,24	76,19
	60	1,056	74,70	87,64	70,11	1,544	106,80	71,59	57,27	1,798	123,51	63,24	50,59	0,719	52,53	98,73	78,98

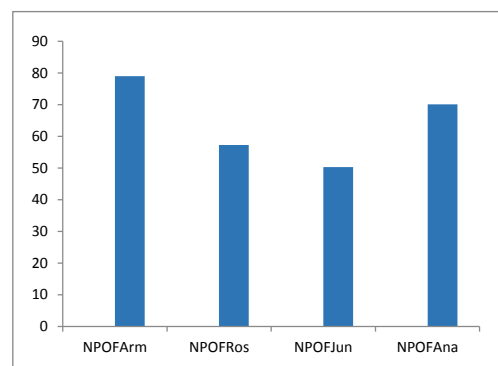
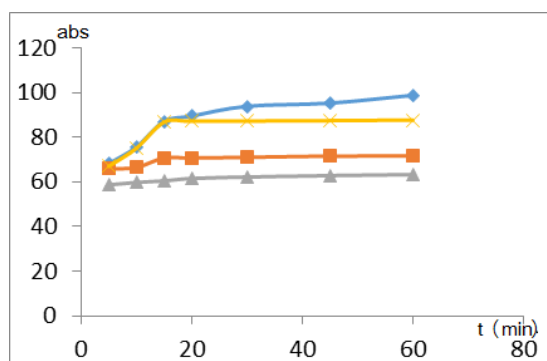


Figure VI.30 : Représentation de variation de la capacité d'adsorption de □NPOFAna, ■NPOFRos, ▲NPOFJun et ◆NPOFArm à adsorber le bleu d'Evans dans les conditions de travail ; à l'obscurité T= 25 °C, pH= 5 , Cnano= 2g/L , Ccolorant= 250 mg/L et CNacl=0,01M

VI.7.7.Vert de méthyl

Tableau VI. 8 : Données de l'adsorption de vert de méthyl VM sur les NPOF_{Ana}, NPOF_{Ros}, NPOF_{Jun}, NPOF_{Arm} à l'obscurité, T= 25 °C, abs₀= 0,863, pH= 5 , C_{nano}= 2g/L , C_{colorant}= 250 mg/L et C_{NaCl}=0,01M

λ 249 nm	t mn	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{Ana}	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{Ros}	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{Jun}	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{Arm}	R%
Vert de méthyl	5	0,630	201,86	24,06	19,25	0,826	248,35	0,82	0,66	0,817	249,70	0,15	0,12	0,754	235,38	07,31	05,85
	10	0,543	178,35	35,82	28,65	0,780	242,41	3,80	03,04	0,792	245,65	2,18	1,74	0,698	220,24	14,88	11,90
	15	0,517	171,32	39,33	31,47	0,734	229,97	10,01	08,01	0,769	239,43	5,28	4,23	0,607	195,65	27,18	21,74
	20	0,491	164,29	42,85	34,28	0,657	209,16	20,42	16,34	0,743	232,41	8,80	7,04	0,548	179,70	35,15	28,12
	30	0,362	129,43	60,28	48,23	0,5	166,73	41,64	33,31	0,645	205,92	22,04	17,63	0,382	134,84	57,58	46,06
	45	0,329	120,51	64,74	51,79	0,485	162,68	43,66	34,93	0,633	202,68	23,66	18,93	0,326	119,70	65,15	52,12
	60	0,328	120,24	64,87	51,90	0,482	161,86	44,07	35,25	0,630	201,86	24,07	19,25	0,314	116,46	66,77	53,42

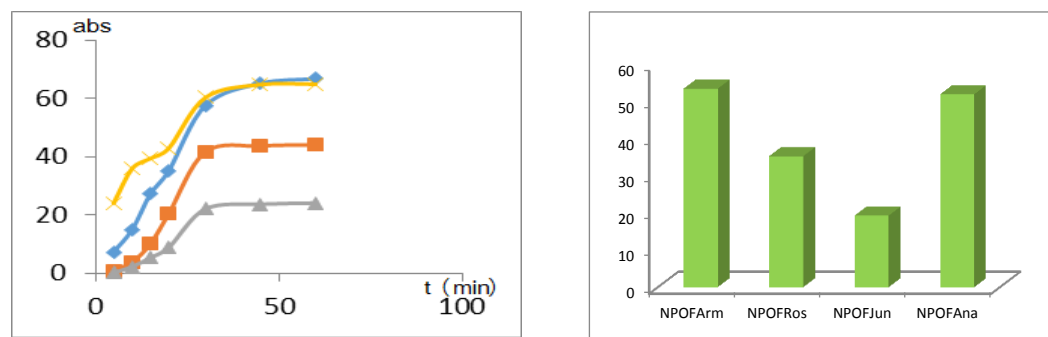


Figure VI.31 : Représentation de variation de la capacité d'adsorption de □NPOF_{Ana}, ■NPOF_{Ros}, ▲NPOF_{Jun} et ◆NPOF_{Arm} à adsorber le vert de méthylène dans les conditions de travail ; à l'obscurité T= 25 °C, pH= 5 , C_{nano}= 2g/L , C_{colorant}= 250 mg/L et C_{NaCl}=0,01M

VI.7.8.Méthyl d'orange

Tableau VI.9 : Données de l'adsorption méthyl d'orange MO sur NPOFAna , NPOFRos ,NPOFJun , NPOFArm à l'obscurité, T= 25 °C, abs0= 0,763, pH= 5 , Cnano= 2g/L , Ccolorant= 250 mg/L et CNacl=0,01M

Λ 436 nm	t mn	Abs _i	C _i	Cap NPO F _{Ana}	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOFR _o	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOF _{Jun}	R%	Abs _i	C _i	Cap NPOFA _r	R%
Méthyl d'orange	05	0,496	168,7	40,65	32,52	0,524	177,18	36,41	29,13	0,680	224,45	12,77	10,22	0,614	204,45	22,77	18,22
	10	0,395	138,09	55,95	44,76	0,519	175,67	37,17	29,73	0,649	215,06	17,47	13,98	0,439	151,42	49,29	39,43
	15	0,379	133,24	58,38	46,70	0,489	166,58	41,71	33,37	0,643	213,24	18,38	14,70	0,409	142,33	53,83	43,07
	20	0,301	109,61	70,20	56,16	0,457	156,88	46,56	37,25	0,617	205,36	22,32	17,85	0,336	120,21	64,89	51,92
	30	0,292	106,88	71,56	57,25	0,338	120,82	64,59	51,67	0,609	202,94	23,53	18,82	0,298	108,70	70,65	56,52
	45	0,276	102,03	73,98	59,19	0,326	117,18	66,41	53,13	0,596	199,00	25,50	20,40	0,296	108,09	70,95	56,76
	60	0,271	100,52	74,74	59,79	0,323	116,27	66,86	53,49	0,592	197,79	26,11	20,88	0,292	106,88	71,56	57,25

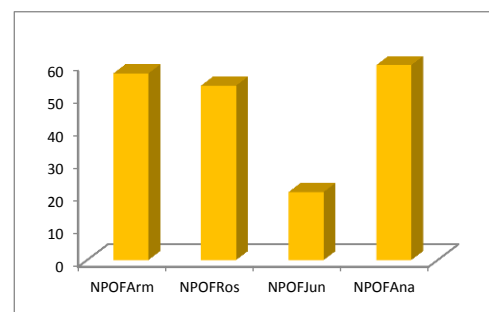
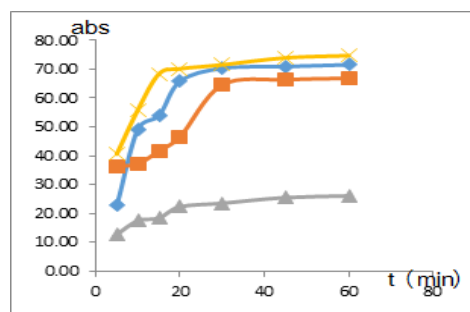


Figure VI. 32 : Représentation de variation de la capacité d'adsorption de □NPOFAna, ■NPOFRos, ▲NPOFJun et ◆NPOFArm à adsorber le vert de méthylène dans les conditions de travail ; à l'obscurité T= 25 °C, pH= 5 , Cnano= 2g/L , Ccolorant= 250 mg/L et CNacl=0,01M

VI.8.Etude de la cinétique de l'adsorption

La modélisation cinétique de l'adsorption (rétention) du RC, BE, VM, et MO par NPOF_{Ana}, NPOF_{Arm}, NPOF_{Ros} et NPOF_{Jun} a été réalisée selon les trois modèles suivants :

- La forme linéaire du modèle cinétique du pseudo premier ordre ;

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - K_1 t \quad (\text{VI. 3})$$

- La forme linéaire du modèle cinétique du pseudo second ordre ;

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{K_2 Q_e^2} + \frac{t}{Q_e} \quad (\text{VI. 4})$$

- La forme linéaire du modèle cinétique de diffusion intra particulaire ;

$$Q_t = K_i t^{1/2} + C \quad (\text{VI. 5})$$

K_1 : constante cinétique du pseudo premier ordre (min^{-1}),

K_2 : constante cinétique du pseudo seconde ordre (mg/g min),

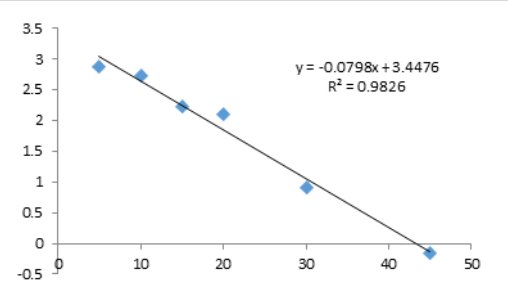
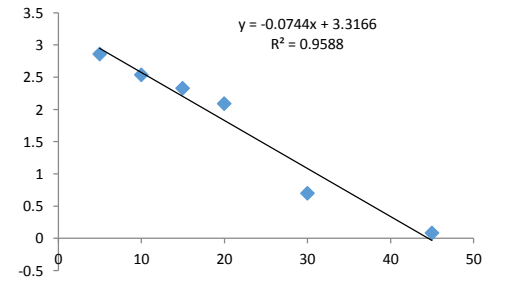
K_i : constante diffusion intra-particulaire. ($\text{mg/g min}^{1/2}$),

Q_t : la quantité du colorant adsorbée à un instant t (mg/g),

Q_e : la quantité du colorant adsorbée à l'équilibre thermodynamique (mg/g),

C : épaisseur de la couche limite (mg/g)

Tableau VI. 10 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOF_{Ana}, NPOF_{Arm}, NPOF_{Ros} et NPOF_{Jun}, modèle pseudo premier ordre, eq (VI.3).

t (min)	Q _e calculé (mg/g)	Q _t	Ln(Q _e - Q _t)	Q _e Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOF _{Ana} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)
05	59,71	42,01	2,87	31.42		0,079
10		44,18	2,74			
15		50,40	2,23			
20		51,52	2,10			
30		57,20	0,92			
45		58,86	-0,16			
t (min)	Q _e calculé (mg/g)	Q _t	Ln(Q _e -Q _t)	Q _e Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOF _{Ros} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)
05	74,12	56,68	2,86	27.56		0,074
10		61,48	2,54			
15		63,85	2,33			
20		66,02	2,09			
30		72,10	0,70			
45		73,03	0,08			

t (min)	Q _e calculé (mg/g)	Qt	Ln(Qe-Qt)	Q _e Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOF _{Jun} , modèle pseudo premier ordre	K1 (g/min)
05 10 15 20 30 45	80,47	71,63 71,17 74,39 75,36 79,59 79,59	2,18 2,23 1,81 1,63 -0,11 -0,11	15.14		0,069
t (min)	Q _e calculé (mg/g)	Qt	Ln(Qe-Qt)	Q _e Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOF _{Arm} , modèle pseudo premier ordre	K1 (g/min)
05 10 15 20 30 45	65,40	31,17 41,76 45,75 53,46 59,59 62,38	3,53 3,16 2,98 2,48 1,76 1,11	44.813		0,062

Tableau VI. 11: Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOFAna , NPOFArm ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo premier ordre, eq(VI.4)

T (min)	Qt (mg/g)	t/ Qt	Q _e calculée (mg/g)	Cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOF _{Ana} , modèle pseudo second ordre	K2 (g/mg min)	Q _e Exp =1/a
05 10 15 20 30 45	42,01 44,18 50,40 51,52 57,20 58,86	0,12 0,23 0,30 0,39 0,52 0,76	59,71		0,0048	62,5
T (min)	Qt (mg/g)	t/ Qt	Q _e calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOF _{Arm} , modèle pseudo second ordre	K2 (g/mg min)	Q _e Exp =1/a
05 10 15 20 30 45	31,17 41,76 45,75 53,46 59,59 62,38	0,16 0,24 0,33 0,37 0,50 0,72	65,40		0,003	72,99
t (min)	Qt (mg/g)	t/ Qt	Q _e calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOF _{Jun} , modèle pseudo second ordre	K2 (g/mg min)	Q _e Exp =1/a
05 10 15 20 30 45	71,63 71,17 74,39 75,36 79,59 79,59	0,07 0,14 0,20 0,27 0,38 0,57	80,47		0,010	81,96

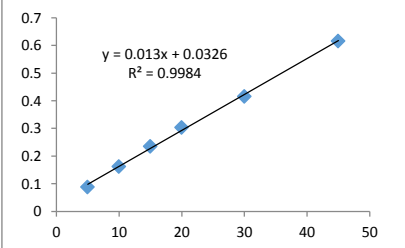
t (min)	Qt (mg/g)	t/ Qt	Qe calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme du RC sur NPOF _{Ros} , modèle pseudo second ordre	K2 (g/gmin)	
05	56,68	0,09	74,12		0,0056	76,92
10	61,48	0,16				
15	63,85	0,23				
20	66,02	0,30				
30	72,10	0,42				
45	73,03	0,62				

Tableau VI. 12 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du Bleu d'Evans sur NPOFAna , NPOFarm ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo premier ordre, eq (VI.3).

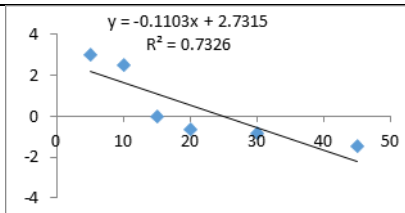
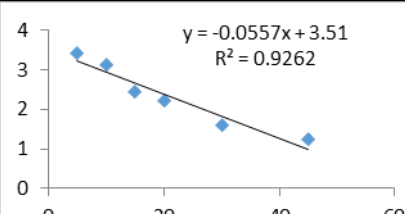
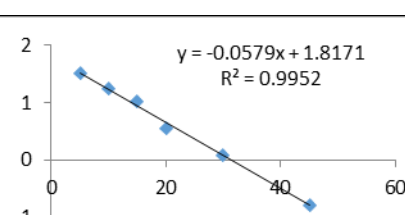
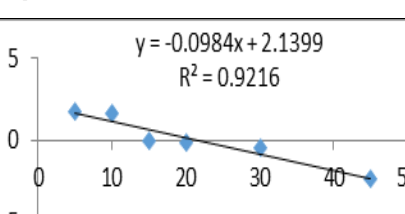
t (min)	Q _e calculée (mg/g)	Q _t	Ln(Q _e - Q _t)	Q _e Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{Ana} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)
05	87,64	66,89	3,03	15.36		0,1103
10		75,02	2,53			
15		86,66	-0,01			
20		87,12	-0,64			
30		87,22	-0,84			
45		87,42	-1,46			
t (min)	Q _e calculée (mg/g)	Q _t	Ln(Q _e -Q _t)	Q _e Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{Arm} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)
05	98,73	68,14	3,42	33.45		0,055
10		75,54	3,14			
15		87,02	2,46			
20		89,42	2,23			
30		93,80	1,60			
45		95,25	1,25			
t (min)	Q _e calculée (mg/g)	Ln(Q _e -Q _t)	Q _e Expérimentale EXP(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{Jun} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)	
05	63,24	1,52	6.15		0,058	
10		1,25				
15		1,03				
20		0,56				
30		0,08				
45		-0,78				
t (min)	Q _e calculée	Ln(Q _e -Q _t)	Q _e Expérimentale EXP(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{Ros} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)	
05	71,59	1,76	8.49		0,098	
10		1,64				
15		-0,01				
20		-0,08				
30		-0,47				
45		-2,30				

Tableau VI. 13 : représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du Bleu d'Evans sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo second ordre, eq (VI.4)

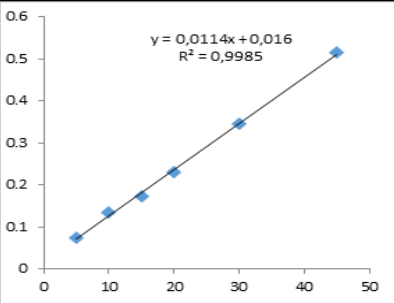
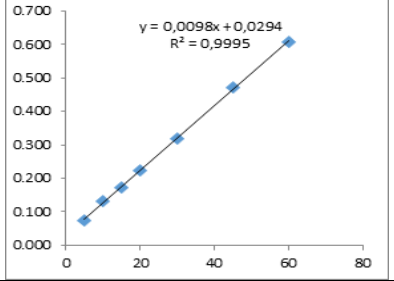
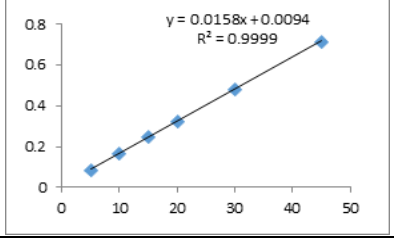
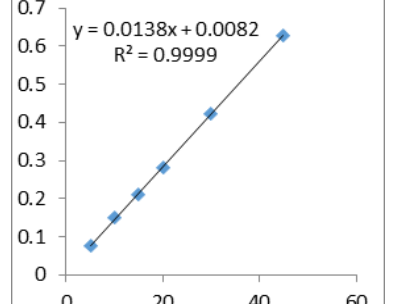
t (min)	Qt (mg/g)	t/ Qt	Qe calculée (mg/g)	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{Ana} , modèle pseudo second ordre	K2=1/Q _e ² *b (g/g min)	Q _e Exp =1/a
05	66,89	0,07	87,64		0,0081	87,72
10	75,02	0,13				
15	86,66	0,17				
20	87,12	0,23				
30	87,22	0,34				
45	87,42	0,51				
t (min)	Qt (mg/g)	t/ Qt	Qe calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{Arm} , modèle pseudo second ordre	K2=1/Q _e ² *b (g/g min)	Q _e Exp =1/a
05	68,14	0,07	98,74		0,003	102,04
10	75,54	0,13				
15	87,02	0,17				
20	89,42	0,22				
30	93,80	0,32				
45	95,25	0,47				
t (min)	Qt (mg/g)	t/ Qt	Qe calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{jun} , modèle pseudo second ordre	K2=1/Q _e ² *b (g/mg min)	Q _e Exp =1/a
05	58,67	0,09	63,25		0,026	63,29
10	59,75	0,17				
15	60,44	0,25				
20	61,50	0,33				
30	62,15	0,48				
45	62,78	0,72				
t (min)	Qt (mg/g)	t/ Qt	Qe calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{Ros} , modèle pseudo second ordre	K2 (g/gmin)	
05	65,77	0,08	71,60		0,024	72,46
10	66,46	0,15				
15	70,61	0,21				
20	70,67	0,28				
30	70,97	0,42				
45	71,50	0,63				

Tableau VI. 14 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl d' orange sur NPOFAna , NPOFArm ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo premier ordre, eq (VI.3).

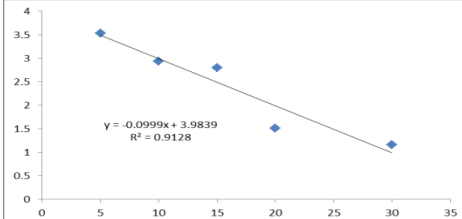
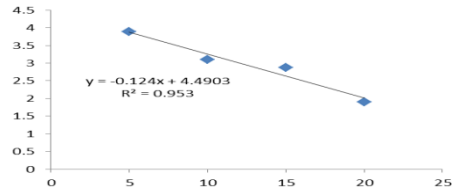
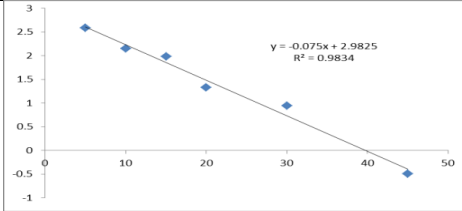
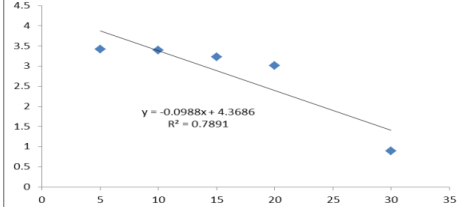
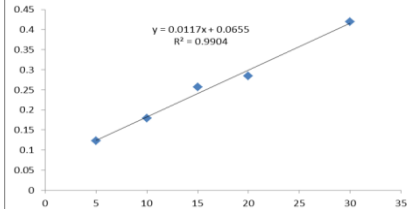
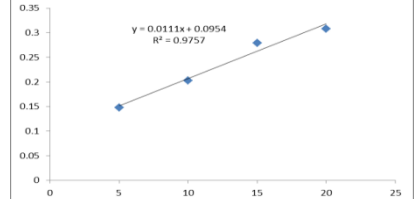
t (min)	Q _e calculée (mg/g)	Q _t (mg/g)	Ln(Q _e - Q _t)	Q _e Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{Ana} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)
05	74.74	40.65	3.52	54.02		-0.0999
10		55.95	2.93			
15		58.38	2.79			
20		70.2	1.51			
30		71.56	1.15			
t (min)	Q _e calculée (mg/g)	Q _t (mg/g)	Ln(Q _e -Q _t)	Q _e Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{Arm} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)
05	71.56	22.77	3.88	89.14819		-0.124
10		49.29	3.10			
15		53.83	2.87			
20						
		64.89	1.89			
t (min)	Q _e calculée (mg/g)	Q _t (mg/g)	Ln(Q _e -Q _t)	Q _e Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{Jun} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)
05	26.11	12.77	2.59	19.7371		-0.075
10		17.47	2.15			
15		18.83	1.98			
20		22.32	1.33			
30		23.53	0.94			
t (min)	Q _e calculée (mg/g)	Q _t (mg/g)	Ln(Q _e -Q _t)	Q _e Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du BE sur NPOF _{Ros} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)
05	66.86	36.41	3.41	78.93305		-0.0988
10		37.17	3.39			
15		41.71	3.22			
20		46.56	3.01			
30		64.41	0.89			
40			0.30			

Tableau VI.15 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl d'orange sur NPOFAna , NPOFArm ,NPOFRos et NPOFJun ,modèle pseudo premier ordre, eq (VI.4).

t (min)	Q _t (mg/g)	t/ Q _t	Q _e calculée (mg/g)	Cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl d'orange sur NPOF _{Ana} , modèle pseudo second ordre	K ₂ (g/mg min)	Q _e Exp =1/a
05	40.65	0.12	74.74		0.002	85.47009
10	55.95	0.17				
15	58.38	0.25				
20	70.2	0.88				
30						
	71.56	0.41				
t (min)	Q _t (mg/g)	t/ Q _t	Q _e calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl d'orange sur NPOF _{Arm} , modèle pseudo second ordre	K ₂ (g/mg min)	Q _e Exp =1/a
05	33.77	0.21	71.56		0.0029	90.09
10	49.29	0.20				
15	53.83	0.27				
20						
	64.89	0.30				

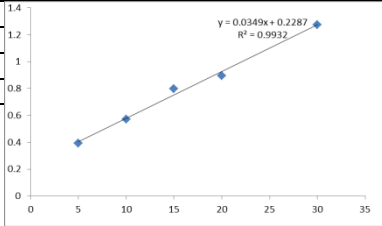
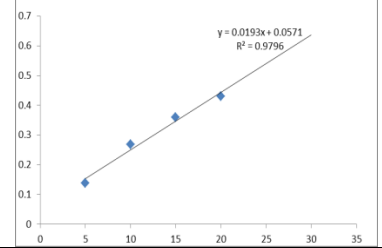
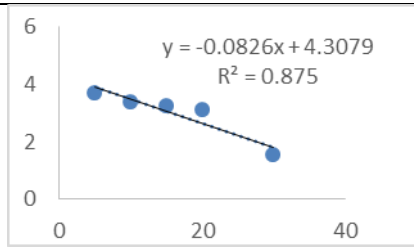
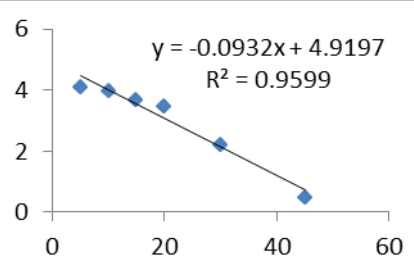
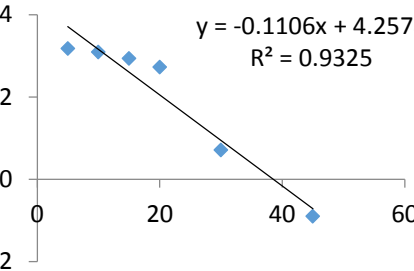
t (min)	Qt (mg/g)	t/ Qt	Qe calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl d'orange sur NPOF _{Jun} , modèle pseudo second ordre	K2 (g/mg min)	Qe Exp =1/a
05	12.77	0.39			0.0053	28.65
10	17.47	0.57				
15	18.83	0.79	26.11			
20	22.32	0.89				
30	23.53	1.27				
t (min)	Qt (mg/g)	t/ Qt	Qe calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl d'orange sur NPOF _{Ros} , modèle pseudo second ordre	K2 (g/gmin)	
05	36.41	0.13	66.86		0.0065	51.81
10	37.17	0.26				
15	41.71	0.35				
20	46.56	0.42				
30	64.41	0.46				
45	36.41	0.13				

Tableau VI.16 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du vert de methyl sur NPOF_{Ana}, NPOF_{Arm}, NPOF_{Ros} et NPOF_{Jun}, modèle pseudo premier ordre, eq (VI.3).

t (min)	Qe calculée (mg/g)	Qt (mg/g)	Ln(Qe- Qt)	Qe Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du VM sur NPOF _{Ana} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)
05	64.87	24.06	3.70	74.28		0.0826
10		35.82	3.36			
15		39.33	3.24			
20		42.85	3.09			
30		60.28	1.52			
t (min)	Qe calculée (mg/g)	Qt (mg/g)	Ln(Qe-Qt)	Qe Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du VM sur NPOF _{Arm} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)
05	66.77	7.31	4.08	136.96		0.0932
10		14.88	3.94			
15		27.18	3.67			
20		35.15	3.45			
30		57.58	2.21			
45		65.15	0.48			
t (min)	Qe calculée (mg/g)	Qt (mg/g)	Ln(Qe-Qt)	Qe Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du VM sur NPOF _{Jun} , modèle pseudo premier ordre	K ₁ (g/min)
05	24.07	0.15	3.17	70.65		0.1106
10		2.18	3.08			
15		5.28	2.93			
20		8.8	2.72			
30						
		22.04	0.70			

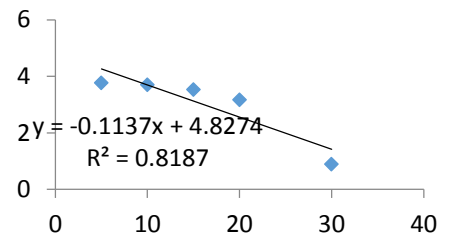
t (min)	Q _e calculée (mg/g)	Q _t (mg/g)	Ln(Q _e -Q _t)	Q _e Expérimentale Exp(b)	Cinétique de l'adsorption isotherme du VM sur NPOF _{Ros} , modèle pseudo premier ordre	K1 (g/min)
05	44.07	0.82	3.76	124.88		0.1137
10		3.8	3.69			
15		10.01	3.52			
20		20.42	3.16			
30						
		41.64	0.88			

Tableau VI. 17 : Représentation de la cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl de vert sur NPOF_{Ana}, NPOF_{Arm}, NPOF_{Ros} et NPOF_{Jun}, modèle pseudo premier ordre, eq (VI.4)

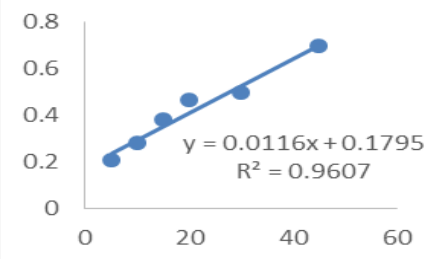
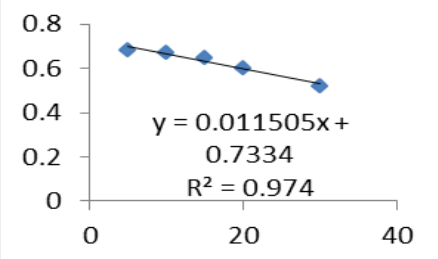
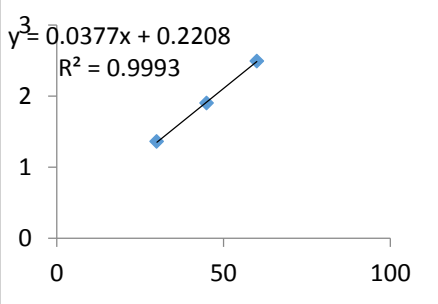
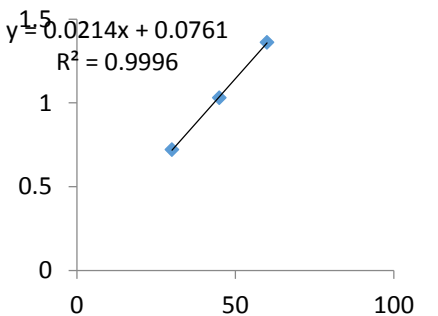
t (min)	Q _t (mg/g)	t/ Q _t	Q _e calculée (mg/g)	Cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl de vert sur NPOF _{Ana} , modèle pseudo second ordre	K2 (g/mg min)	Q _e Exp =1/a
05	24.06	0.20	64.87		0.00075	86.20
10	35.82	0.27				
15	39.33	0.38				
20	42.85	0.46				
30	60.28	0.49				
45	64.74	0.69				
t (min)	Q _t (mg/g)	t/ Q _t	Q _e calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme du méthyl de vert sur NPOF _{Arm} , modèle pseudo second ordre	K2 (g/mg min)	Q _e Exp =1/a
05	7.31	0.68	66.77		0.00018	86.91
10	14.88	0.67				
15	27.18	0.55				
20	35.15	0.56				
30	57.58	0.52				
45	65.15	0.69				
t (min)	Q _t (mg/g)	t/ Q _t	Q _e calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme méthyl de vert sur NPOF _{jun} , modèle pseudo second ordre	K2 (g/mg min)	Q _e Exp =1/a
05	0.15	33.33	24,07		0.0062	27,02
10	2.18	4.58				
15	5.28	2.84				
20	8.8	2.27				
30	22.04	1.36				
t (min)	Q _t (mg/g)	t/ Q _t	Q _e calculée	Cinétique de l'adsorption isotherme du vert de méthyl sur NPOF _{Ros} , modèle pseudo second ordre	K2 (g/gmin)	Q _e Exp =1/a
05	0.82	6.09	44,06		0.006	46,73
10	3.8	2.63				
15	10.01	1.49				
20	20.42	0.97				
30						
	41.64	0.72				

Tableau VI.18 : Représentation de la cinétique de la diffusion intra-particulaire du Rouge de crésol sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèle diffusion intra-particulaire, (eq VI.5)

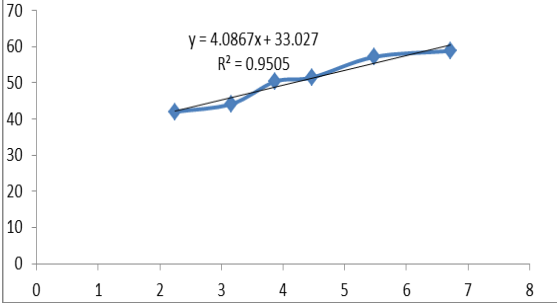
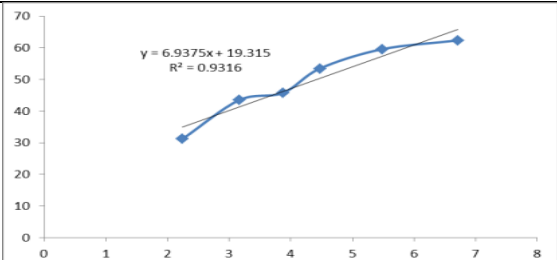
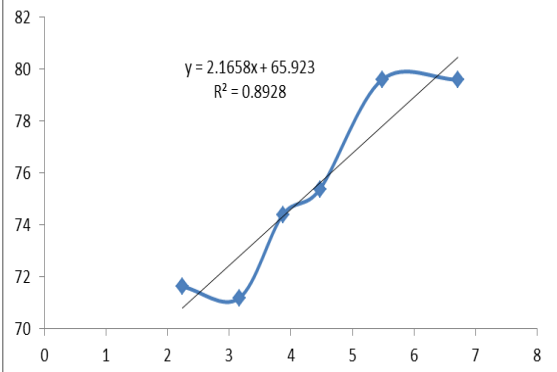
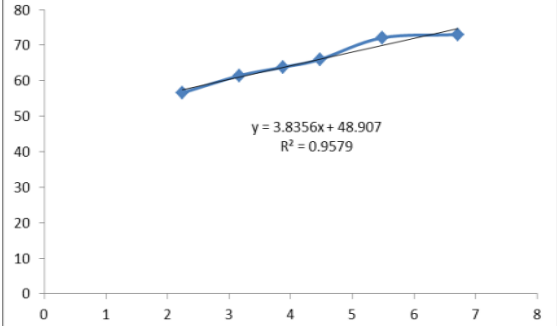
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du RC sur NPOFAna	K (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	42.01 44.17 50.39 51.51 57.19 58.86		4.0857	33.027
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du RC sur NPOFArm	K (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	31.17 43.46 45.74 53.46 59.58 62.37		6.9375	19.315
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du RC sur NPOFJun	K _i (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	71.62 71.17 74.39 75.36 79.58 79.58		2.1658	65.923
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du RC sur NPOFRos	K _i (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	56.6 61.4 63.8 66 72.1 73		3.8356	48.907

Tableau VI.19 : Représentation de la cinétique de la diffusion intra-particulaire du Bleu d'Evans sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèle diffusion intra-particulaire, (eq VI.5)

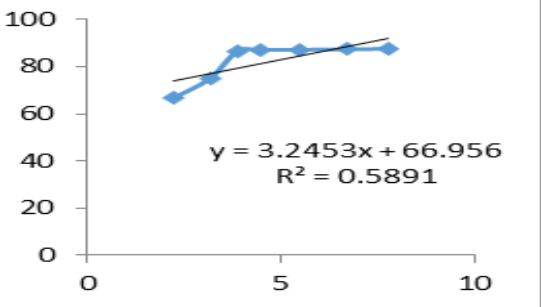
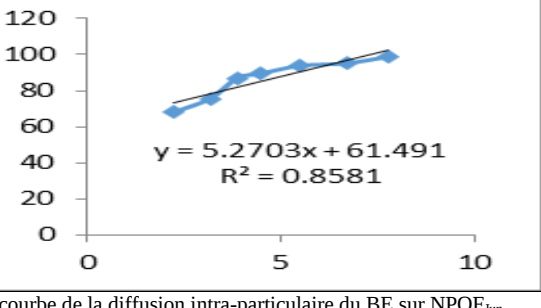
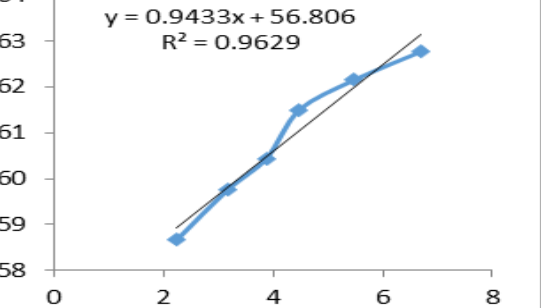
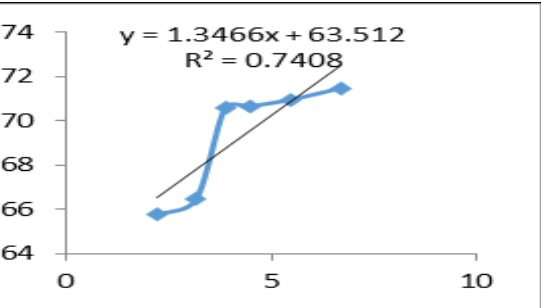
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du BE sur NPOFAna	K (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	66,89 75,02 86,66 87,12 87,22 87,42		3,2453	66,97
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du BE sur NPOF _{Arm}	K (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	68,14 75,54 87,02 89,42 93,80 95,25		5,27	61,49
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du BE sur NPOF _{Jun}	K _i (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	58,66 59,75 60,44 61,49 62,15 62,77		0,943	56,80
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du BE sur NPOF _{Ros}	K _i (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	65,77 66,46 70,60 70,67 70,97 71,49		1,346	63,15

Tableau VI. 20 : Représentation de la cinétique de la diffusion intra-particulaire d'orange de méthyl sur NPOFAna, NPOFArm, NPOFRos et NPOFJun, modèle diffusion intra-particulaire, (eq VI.5)

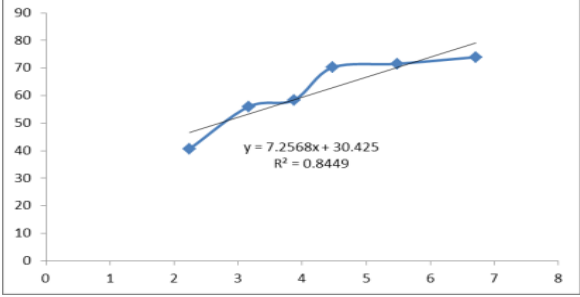
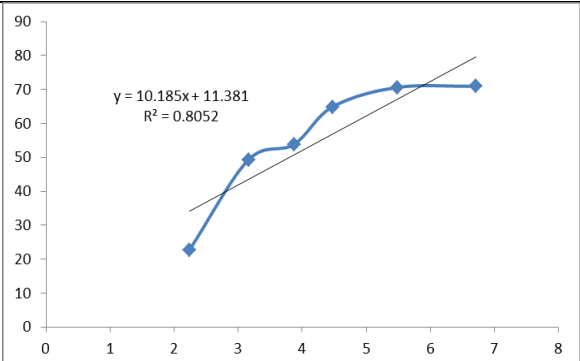
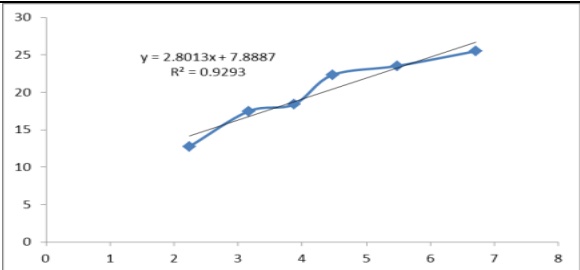
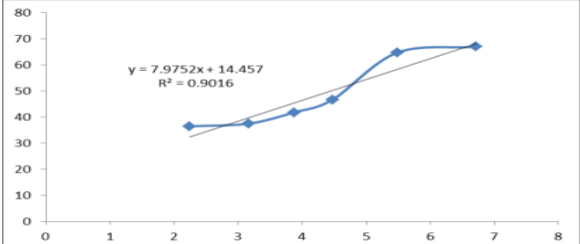
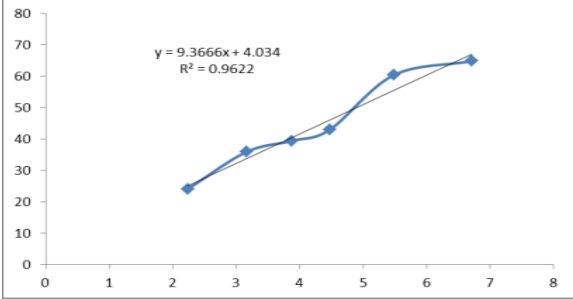
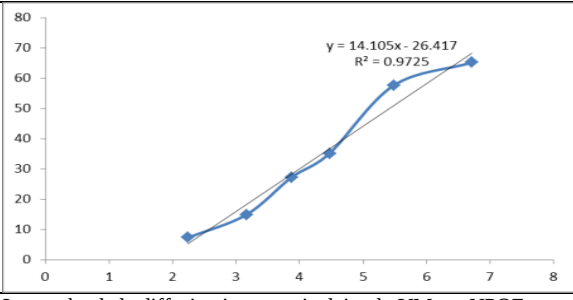
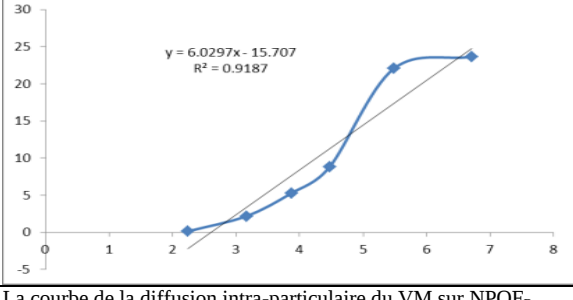
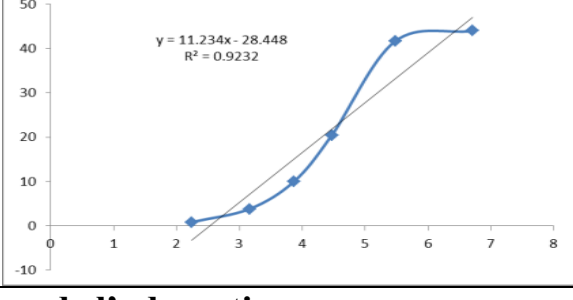
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du OM sur NPOFAna	K (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	40.65 55.95 58.38 70.2 71.56 73.98		7.2568	30.425
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du OM sur NPOF _{Arm}	K (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	22.77 49.29 53.83 64.89 70.65 70.95		10.185	11.381
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du OM sur NPOF _{Jun}	K _i (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	12.77 17.47 18.38 22.32 23.53 25.5		2.8013	7.8887
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du OM sur NPOF _{Ros}	K _i (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	36.41 37.41 41.71 46.56 64.59 66.86		7.9752	14.457

Tableau VI.21 : Représentation de la cinétique de la diffusion intra-particulaire du vert de méthyl sur NPOFAna, NPOFArm, NPOFRos et NPOFJun, modèle diffusion intra-particulaire, (eq VI.5)

t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du VM sur NPOFAna	K (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	24.06 35.82 39.33 42.85 60.28 64.74		9.3666	4.034
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du VM sur NPOFArm	K (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	7.31 14.88 27.18 35.15 57.58 65.15		14.105	26.417
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du VM sur NPOFJun	K _i (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	0.15 2.18 5.28 8.8 22.04 23.66		6.0297	-15.707
t (min)	t ^{1/2}	Qt (mg/g)	La courbe de la diffusion intra-particulaire du VM sur NPOFRos	K _i (mg/g min)	C (mg/g)
5 10 15 20 30 45	2,24 3,16 3,87 4,47 5,48 6,71	0.82 3.8 10.01 20.42 41.64 43.93		11.234	-28.448

VI.9.Thermodynamique de l'adsorption

Les paramètres thermodynamiques de la réaction d'adsorption à l'équilibre : enthalpie libre standard ΔG° , enthalpie standard ΔH° et entropie standard ΔS° sont exprimés par les équations (VI. 6) (VI. 7) et (VI. 8) Les valeurs de ces paramètres sont présentées dans le tableau.

La constante de distribution ;
$$K_d = \frac{Q_e}{C_e} \quad (\text{VI. 6})$$

$$\ln K_d = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (\text{VI. 7})$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_d \quad (\text{VI. 8})$$

Les valeurs de l'enthalpie et l'entropie ont été obtenues à partir du tracé linéaire de la variation de $\ln(K_d)$ en fonction de $1/T$; $\Delta H^\circ/R$ et $\Delta S^\circ/R$ sont respectivement la pente et l'ordonnée à l'origine.

Tableau VI.22 : Représentation de la thermodynamique de l'adsorption du RC sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèle diffusion intra-particulaire, (eq VI. 6 - 7)

T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e (mg/g)	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Ana}
303,15	0,00329	1,478	121,91	64,04	51,23	0,53	-0,64	
308,15	0,00324	1,388	114,94	67,53	54,02	0,59	-0,53	
313,15	0,00319	1,243	103,70	73,15	58,52	0,71	-0,35	
318,15	0,00314	1,167	097,81	76,10	60,88	0,78	-0,25	
T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Ros}
303,15	0,00329	1.158	97,11	76,45	61,16	0,79	-0,24	
308,15	0,00324	1.092	91,99	79,00	63,20	0,86	-0,15	
313,15	0,00319	1.002	85,02	82,49	65,99	0,97	-0,03	
318,15	0,00314	0.978	83,93	83,03	66,43	0,99	-0,01	
T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Jun}
303,15	0,00329	0.975	82.66	83.66	66.93	1.012	0.01	
308,15	0,00324	0.860	73.77	88.11	70.48	1.19	0.17	
313,15	0,00319	0.787	68.13	90.93	72.74	1.33	0.28	
318,15	0,00314	0.725	63.34	93.32	74.66	1.47	0.38	
T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Arm}
303,15	0,00329	1,365	113,16	68,42	54,74	0,60	-0,50	
308,15	0,00324	1,298	107,96	71,02	56,82	0,66	-0,42	
313,15	0,00319	1,139	95,64	77,18	61,75	0,81	-0,21	
318,15	0,00314	1,078	90,91	79,55	63,64	0,88	-0,13	

Tableau VI.23 : Représentation de la thermodynamique de l'adsorption du Bleu d'Evans sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèles, (eq VI. 6 - 7)

T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e (mg/g)	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Ana}
303,15	0,00329	0,950	67,73	91,13	72,91	1,35	0,30	
308,15	0,00324	0,840	60,49	94,75	75,80	1,57	0,45	
313,15	0,00319	0,798	57,73	96,13	76,91	1,67	0,51	
318,15	0,00314	0,719	52,53	98,73	78,99	1,88	0,63	
T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Ros}
303,15	0,00329	1,462	101,41	74,29	59,43	0,73	-0,31	
308,15	0,00324	1,390	96,680	76,66	61,32	0,79	-0,23	
313,15	0,00319	1,301	90,820	79,59	63,67	0,88	-0,13	
318,15	0,00314	1,243	87,010	81,50	65,19	0,94	-0,07	
T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Jun}
303,15	0,00329	1,652	113,91	68,04	54,43	0,60	-0,52	
308,15	0,00324	1,584	109,44	70,28	56,22	0,64	-0,44	
313,15	0,00319	1,460	101,28	74,36	59,49	0,73	-0,31	
318,15	0,00314	1,415	098,32	75,84	60,67	0,77	-0,26	
T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Arm}
303,15	0,00329	0,675	49,64	100,18	80,14	2,02	0,70	
308,15	0,00324	0,622	46,15	101,92	81,54	2,21	0,79	
313,15	0,00319	0,578	43,26	103,37	82,70	2,39	0,87	
318,15	0,00314	0,534	40,36	104,81	83,86	2,60	0,95	

Tableau VI.24 : Représentation de la thermodynamique de l'adsorption du orange de méthyl sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèles, (eq VI. 6 - 7)

T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e (mg/g)	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Ana}
303,15	0,00329	0,23	88,09	80,95	64,76	0,91	-0,08	
308,15	0,00324	0,197	78,09	85,95	68,76	1,10	0,09	
313,15	0,00319	0,155	65,36	92,31	73,85	1,41	0,34	
318,15	0,00314	0,138	60,21	94,89	75,91	1,57	0,45	

T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Ros}
303,15	0,00329	0.248	93.54	78.22	62.58	0.83	-0.17	
308,15	0,00324	0.214	83.24	83.37	66.70	1.001	0.001	
313,15	0,00319	0.185	74.45	87.77	70.21	1.17	0.16	
318,15	0,00314	0.152	64.45	92.77	74.21	1.43	0.36	
T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Jun}
303,15	0,00329	0.515	174.45	37.77	30.21	0.21	-1.53	
308,15	0,00324	0.463	158.69	45.65	36.52	0.28	-1.24	
313,15	0,00319	0.370	130.51	59.74	47.79	0.45	-0.78	
318,15	0,00314	0.175	96.57	76.71	61.36	0.79	-0.23	
T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Arm}
303,15	0,00329	0.249	93.84	78.07	62.46	0.83	-0.18	
308,15	0,00324	0.232	88.69	80.65	64.52	0.90	-0.09	
313,15	0,00319	0.370	80.21	84.89	67.91	1.05	0.05	
318,15	0,00314	0.175	71.42	89.28	71.43	1.25	0.22	

Tableau VI.25 : Représentation de la thermodynamique de l'adsorption du vert de methyl sur NPOFAna , NPOFArm , ,NPOFRos et NPOFJun , modèles, (eq VI. 6-7)

T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e (mg/g)	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Ana}
303,15	0,00329	0.298	119.10	65.44	52.35	0.54	-0.598	
308,15	0,00324	0.267	110.94	69.52	55.62	0.62	-0.467	
313,15	0,00319	0.185	89.36	80.31	64.25	0.89	-0.106	
318,15	0,00314	0.161	83.05	83.47	66.77	1.005	0.005	
T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Ros}
303,15	0,00329	0.412	149.10	50.44	40.35	0.33	-1.08	
308,15	0,00324	0.354	133.84	58.07	46.46	0.43	-0.83	
313,15	0,00319	0.278	113.84	68.07	54.46	0.59	-0.51	
318,15	0,00314	0.22	98.57	75.71	60.56	0.76	-0.26	

T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Jun}
303,15	0,00329	0.602	199.10	25.44	20.35	0.12	-2.05	
308,15	0,00324	0.562	188.57	30.71	24.56	0.16	-1.81	
313,15	0,00319	0.449	158.84	45.57	36.46	0.28	-1.24	
318,15	0,00314	0.387	142.52	53.73	42.98	0.37	-0.97	
T (°K)	1/T	abs	C _e (mg/L)	Q _e	R%	k _d	Ln k _d	La courbe de la thermodynamique de NPOF _{Arm}
303,15	0,00329	0.29	117	66.5	53.2	0.56	-0.56	
308,15	0,00324	0.275	113.05	68.47	54.77	0.60	-0.50	
313,15	0,00319	0.243	104.63	72.68	58.14	0.69	-0.36	
318,15	0,00314	0.212	96.47	76.76	61.41	0.79	-0.22	

VI .10. Etude thermodynamique

Tableau VI.26: Enthalpie, entropie et l'énergie libre de la réaction de l'adsorption de RC sur , eq (VI.8).

Adsorbant	ΔH° (KJ/mol)	ΔS° (J/mol)	R (J/mol K)	ΔG° (KJ/mol)			
				303,15 K	308,15 k	313,15 K	318,15 k
NPOF _{Ana}	21,84	66,61	8,314	+1,620	+1,36	+0,900	+0,660
NPOF _{Ros}	12,30	40,91		+0,600	+0,39	+0,078	+0,028
NPOF _{Jun}	18,67	61,95		-0,082	-0,44	-0,740	-1,020
NPOF _{Arm}	21,056	65,16		+1,27	+1,07	+0,56	+0,350

Tableau VI.27: Enthalpie, entropie et l'énergie libre de la réaction du Bleu d'Evans, eq (VI.8).

Adsorbant	ΔH° (KJ/mol)	ΔS° (J/mol)	R (J/mol K)	ΔG° (KJ/mol)			
				303,15 K	308,15 k	313,15 K	318,15 k
NPOF _{Ana}	17,074	58,90	8,314	-0,73	-1,13	-1,30	-1,64
NPOF _{Ros}	13,344	41,72		+0,77	+0,58	+0,33	+0,17
NPOF _{Jun}	14,457	43,39		+1,27	+1,11	+0,79	+0,67
NPOF _{Arm}	13,398	50,05		-1,74	-1,99	-2,22	-2,47

Tableau VI. 28: Enthalpie, entropie et l'énergie libre de la réaction de l'adsorption de OM sur , eq (VI.8).

Adsorbant	ΔH° (KJ/mol)	ΔS° (J/mol)	R (J/mol K)	ΔG° (KJ/mol)			
				303,15 K	308,15 k	313,15 K	318,15 k
NPOF _{Ana}	29,98	98,00	8,314	+0,21	-0,25	-0,90	-1,12
NPOF _{Ros}	28,89	93,69		+0,45	+0,024	-0,49	-0,96
NPOF _{Jun}	65,02	201,0		+3,86	+3,20	+2,03	+0,088
NPOF _{Arm}	21,99	70,75		+0,46	+0,24	-0,15	-0,59

Tableau VI.29: Enthalpie, entropie et l'énergie libre de la réaction de l'adsorption de VM sur , eq (VI.8).

Adsorbant	ΔH° (KJ/mol)	ΔS° (J/mol)	R (J/molK)	ΔG° (KJ/mol)			
				303,15 K	308,15 k	313,15 K	318,15 k
NPOF _{Ana}	3.483	109.75	8.314	+1.509	+1.197	+0.278	-0.013
NPOF _{Ros}	0.137	44576.34		+2.731	+2.138	+1.338	+0.698
NPOF _{Jun}	61.47	184.08		+5.18	+4.64	+3.25	+2.58
NPOF _{Arm}	1.834	55.62		+1.423	+1.284	+0.948	+0.604

VI.11.Photosensibilité

Tableau VI.30 : Données expérimentales du phénomène de l'adsorption isotherme de RC sur ; 1 NPOF_{Ana}, 2 NPOF_{Jun}, 3 NPOF_{Ros} et 4 NPOF_{Arm} sous l'effet de la lumière UV, pH= 5, C_{NPOF}= 2g/L, C_{colorant}=25mg/L

t (h)	ABs	C _e (mg/g)	R%	Abs	Ce	R%	ABs	Ce	R%	ABs	Ce	R%
1	1,27	106,41	60,37	0,861	74,09	70,37	0,779	67,73	72,91	0,865	74,40	70,24
2	1,15	96,720	61,31	0,748	65,33	73,87	0,705	61,99	75,20	0,745	65,09	73,96
3	1,03	87,340	65,06	0,672	59,43	76,23	0,683	60,29	75,89	0,698	61,45	75,42
4	0,94	80,210	67,92	0,590	53,08	78,77	0,619	55,33	77,87	0,625	55,79	77,68

Figure VI. 33 : Comparaison des rendements de l'adsorption isotherme de RC sur sur ; NPOF_{Ana}, NPOF_{Jun}, NPOF_{Ros} et NPOF_{Arm}, en premier, pH= 5, C_{NPOF}= 2g/L, C_{Colorant}=25mg/L, au milieu à T= 45°C, et au dernier cas sous l'effet de la lumière UV pendant 4 h

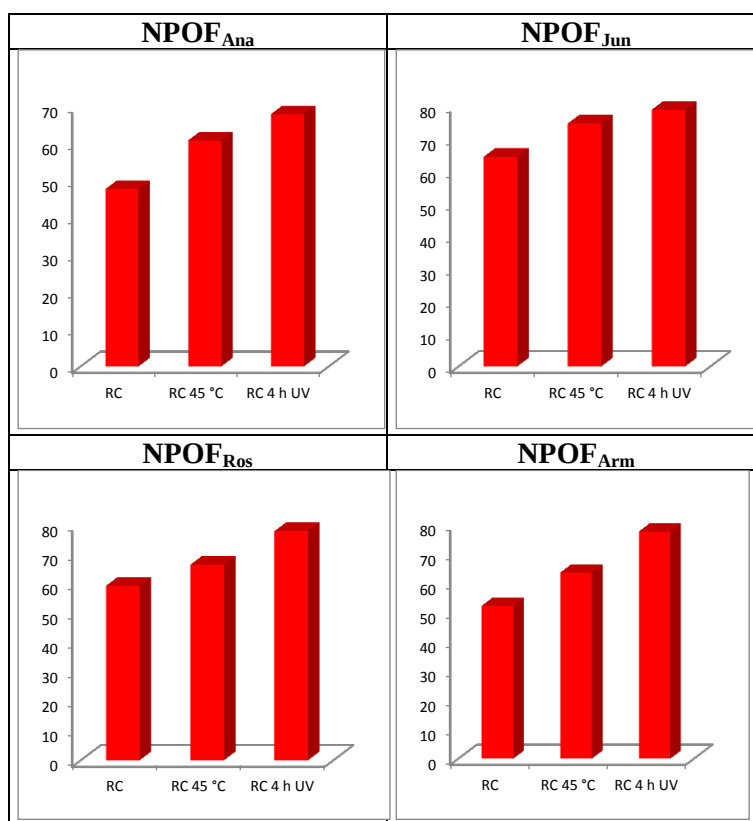


Tableau VI.31: Données expérimentales du phénomène de l'adsorption isotherme de BE sur ; 1 NPOF_{Ana}, 2 NPOF_{Jun}, 3 NPOF_{Ros} et 4 NPOF_{Arm} sous l'effet de la lumière UV, pH= 5, C_{NPOF}= 2g/L, C_{colorant}=25mg/L

T (h)	Abs	C _e (mg/g)	R%	Abs	Ce	R%	ABs	Ce	R%	ABs	Ce	R%
1	1,226	85,89	65,64	1,362	94,84	62,07	1,523	105,4	57,83	1,147	80,69	67,72
2	0,653	48,19	80,72	1,306	91,15	63,54	1,487	103,0	58,78	0,877	62,93	74,83
3	0,598	44,57	82,17	1,276	89,18	64,33	1,360	94,70	62,12	0,620	46,02	81,59
4	0,546	41,15	83,54	1,144	80,49	67,80	1,236	86,55	65,38	0,426	33,26	86,70

Figure VI. 34 : Comparaison des rendements de l'adsorption isotherme de BE sur sur ; NPOFAna, NPOFJun, NPOFRos et NPOFarm, en premier, pH= 5, $C_{NPOF}= 2\text{g/L}$, $C_{Colorant}=25\text{mg/L}$, au milieu à $T= 45^\circ\text{C}$, et au dernier cas sous l'effet de la lumière UV pendant 4 h

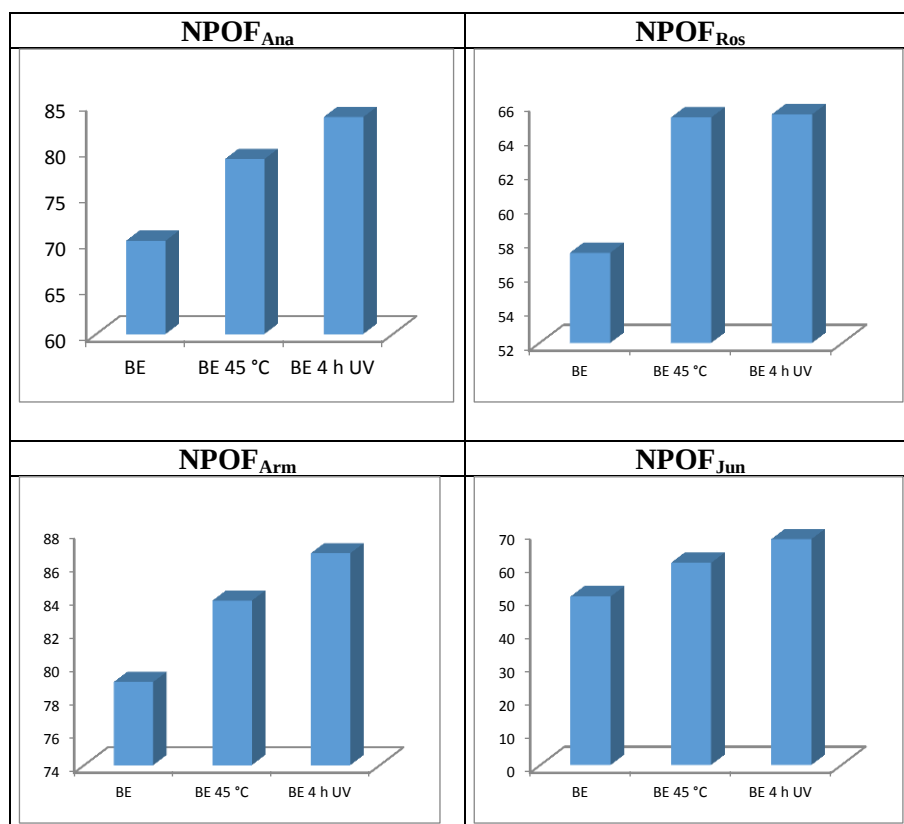


Tableau VI.32: Données expérimentales du phénomène de l'adsorption isotherme de MO sur ; 1 NPOFAna, 2 NPOFJun, 3 NPOFRos et 4 NPOFarm sous l'effet de la lumière UV, pH= 5, $C_{NPOF}= 2\text{g/L}$, $C_{colorant}=25\text{mg/L}$

T (h)	ABs	C _e (mg/g)	R%	Abs	Ce	R%	ABs	Ce	R%	ABs	Ce	R%
1	0,177	72,03	71,19	0,228	87,48	65,01	0,248	93,55	62,58	0,185	74,45	70,21
2	0,158	66,27	73,49	0,203	79,91	68,04	0,216	83,85	66,46	0,169	69,61	72,15
3	0,136	59,61	76,16	0,17	69,91	72,04	0,185	74,45	70,22	0,155	65,36	73,85
4	0,112	52,33	79,07	0,146	62,64	74,95	0,152	64,45	74,22	0,124	55,97	77,61

Figure VI. 35 : Comparaison des rendements de l'adsorption isotherme de OM sur sur ; NPOFAna, NPOFJun, NPOFRos et NPOFArm, en premier, pH= 5, $C_{NPOF}= 2g/L$, $C_{Colorant}=25mg/L$, au milieu à T= 45°C, et au dernier cas sous l'effet de la lumière UV pendant 4 h

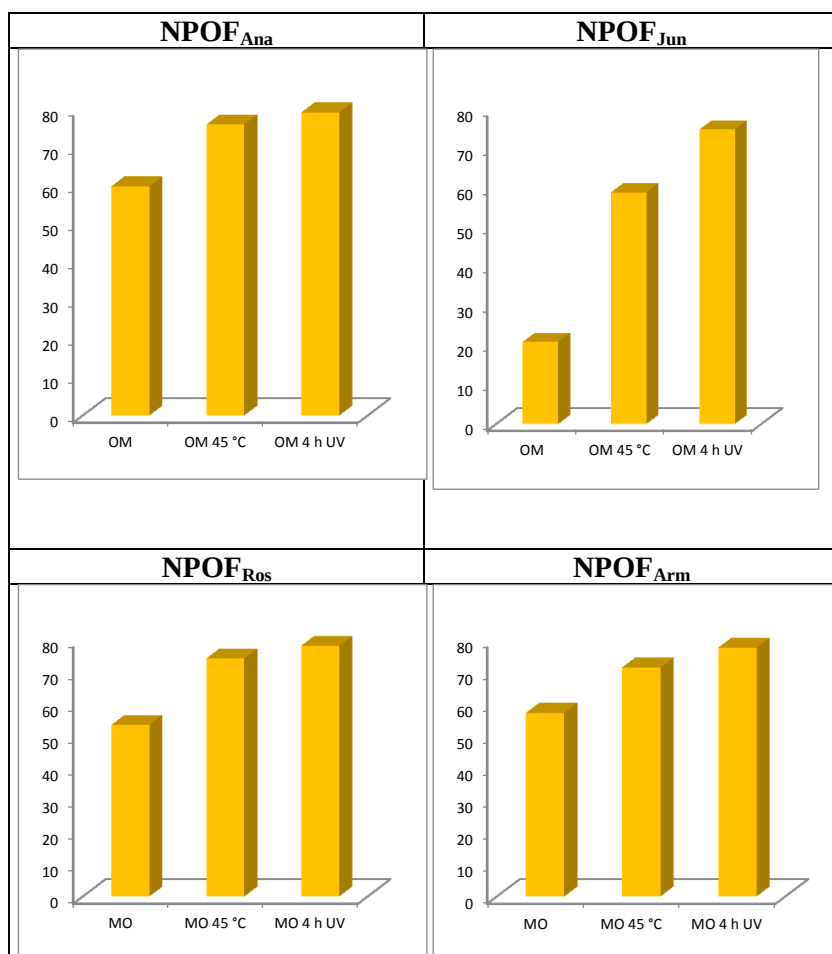
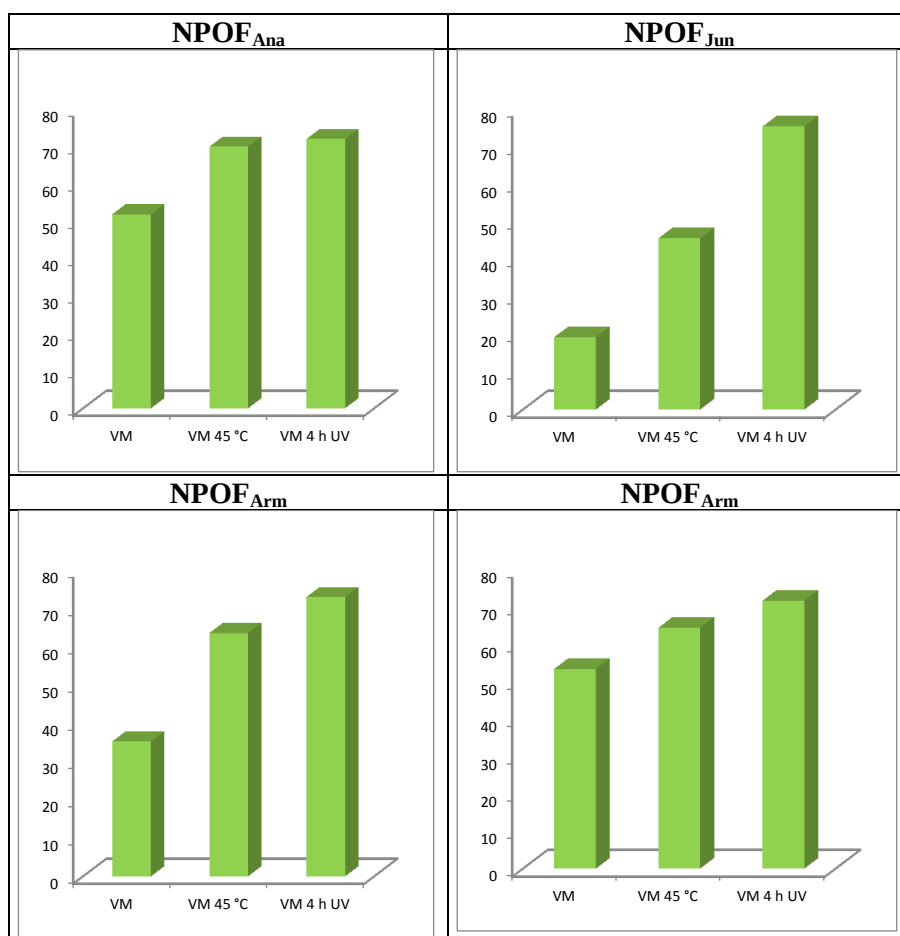


Tableau VI.33: Données expérimentales du phénomène de l'adsorption isotherme de VM sur ; 1 NPOFAna, 2 NPOFJun, 3 NPOFRos et 4 NPOFArm sous l'effet de la lumière UV, pH= 5, $C_{NPOF}= 2g/L$, $C_{colorant}=250mg/L$

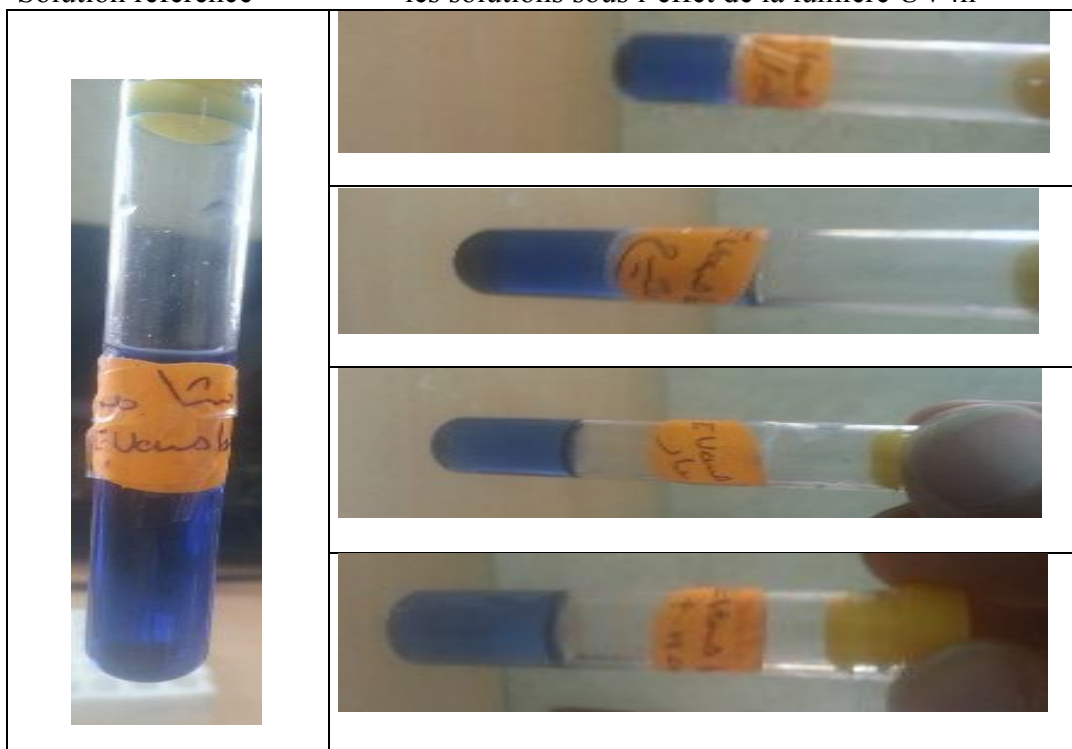
T (h)	ABs	C _e (mg/g)	R%	Abs	C _e	R%	ABs	C _e	R%	ABs	C _e	R%
1	0,266	103,5	58,61	0,176	79,16	68,34	0,287	116,21	53,51	0,455	160,42	35,83
2	0,235	95,11	61,96	0,154	73,22	70,71	0,215	97,26	61,09	0,401	146,21	41,51
3	0,185	81,59	67,36	0,138	68,89	72,44	0,162	83,31	66,67	0,345	131,47	47,41
4	0,142	69,97	72,01	0,112	61,86	75,25	0,133	75,68	69,72	0,269	111,47	55,41

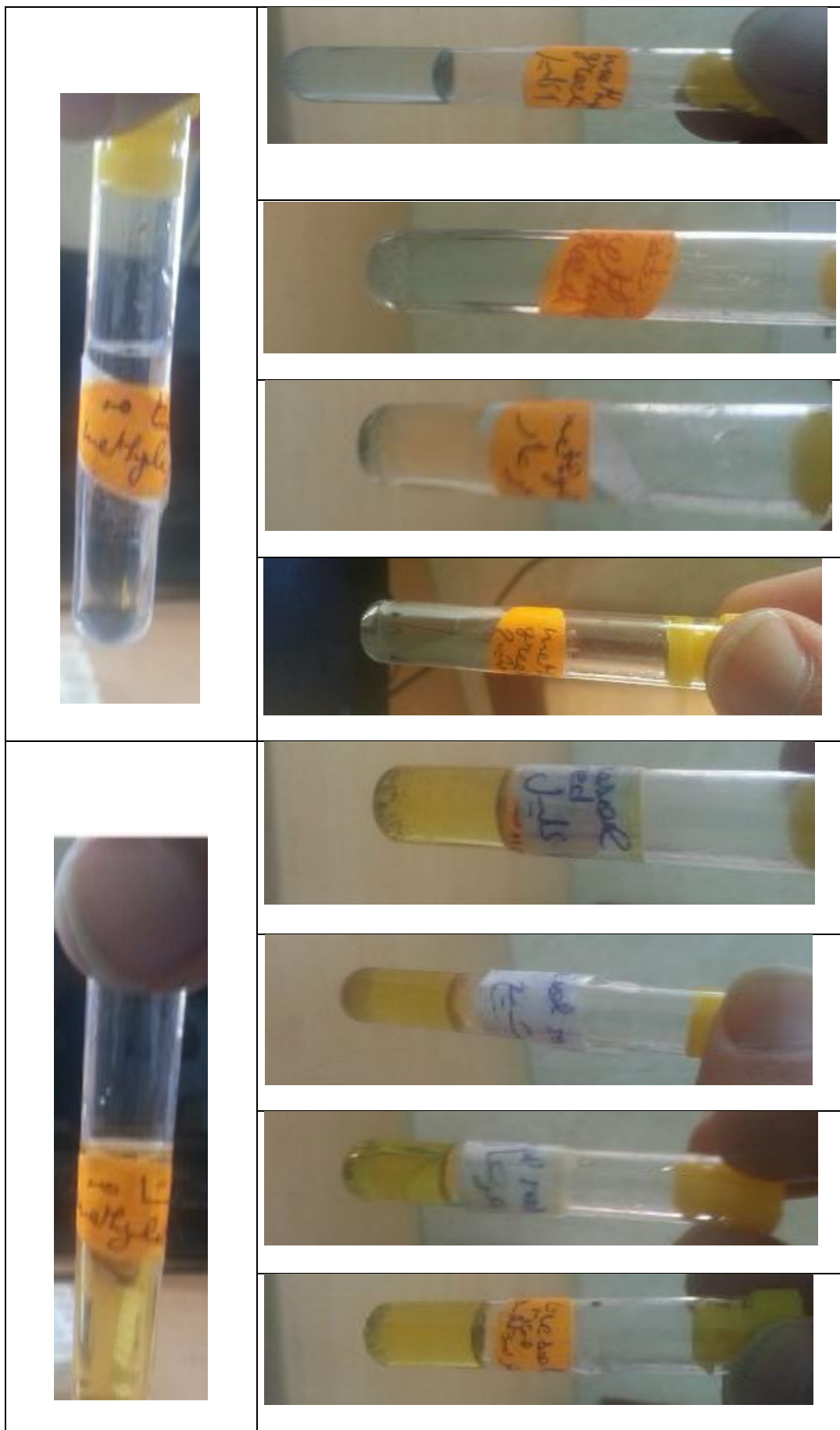
Figure VI. 36 : Comparaison des rendements de l'adsorption isotherme de VM sur sur ; NPOFAna, NPOFJun, NPOFRos et NPOFarm, en premier, pH= 5, CNPOF= 2g/L, C_{Colorant}=250mg/L, au milieu à T= 45°C, et au dernier cas sous l'effet de la lumière UV pendant 4 h

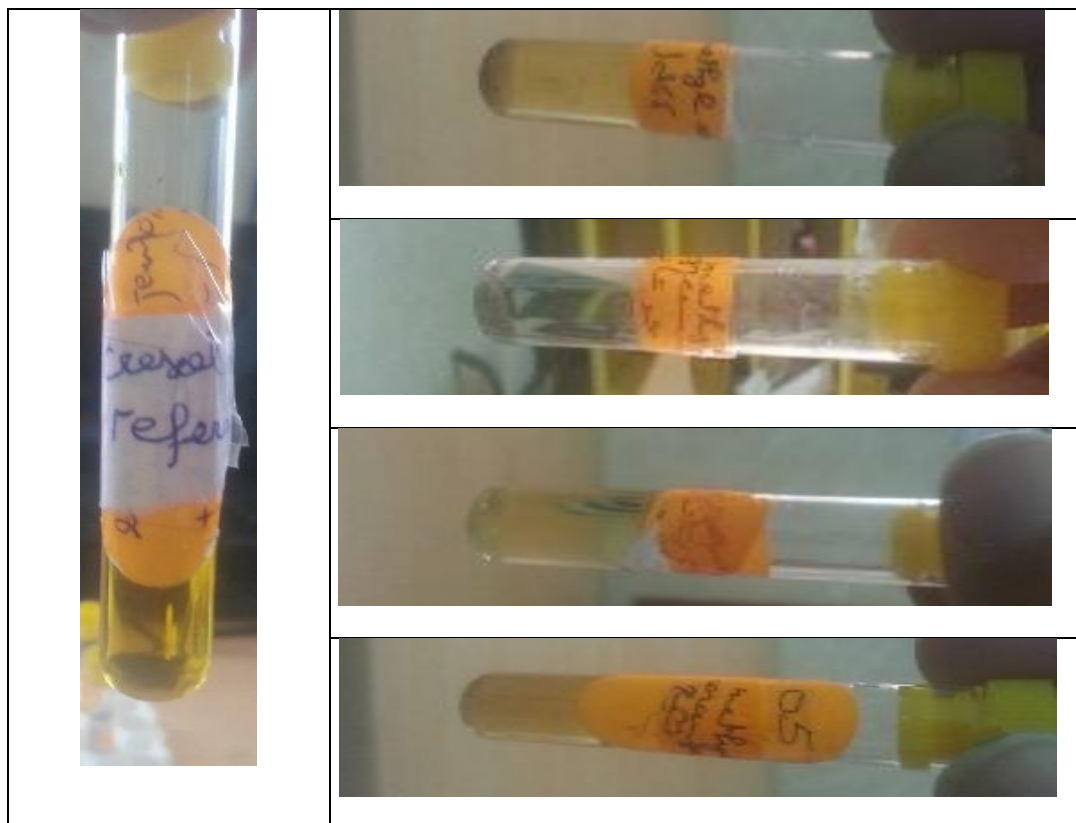


Solution référence

les solutions sous l'effet de la lumière UV4h







Les figures VI. 37 : Tubes photo pour tester les couleurs (Référence ; Avant la chaleur ; Après la lumière)

VI.12.Discussion

Nous avons bien remarqué que l'équilibre thermodynamique est atteint au bout de 15 à 30 min dans tous les cas d'étude, et de 30 à 60 min atteint le régime stationnaire.

La figure VI.25 montre la variation de la capacité de l'adsorption de 4 nanos sur RC, nous avons remarqué que la capacité de l'adsorption de NPOF_{Jun} est la plus importante, puis NPOF_{Ros} , puis NPOF_{Arm} et en fin la capacité d'adsorption la plus faible celle de NPOF_{Ana} . $q_e \text{NPOF}_{\text{Jun}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ros}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Arm}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ana}}$.

La figure VI.26 montre La variation de la capacité de l'adsorption de 4 nanos sur BE, nous avons remarqué que la capacité de l'adsorption de La capacité de l'adsorption des NPOF_{Arm} est la plus importante, puis NPOF_{Ana} , puis NPOF_{Ros} et en fin la capacité d'adsorption la plus faible celle de NPOF_{Jun} . $q_e \text{NPOF}_{\text{Arm}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ana}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ros}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Jun}}$.

La figure VI.27 montre que La variation de la capacité de l'adsorption de 4 nanos sur VM, nous avons remarqué que la capacité de l'adsorption de La capacité de l'adsorption des NPOF_{Arm} est la plus importante, puis NPOF_{Ana} , puis NPOF_{Ros} et en fin la capacité d'adsorption la plus faible celle de NPOF_{Jun} . $q_e \text{NPOF}_{\text{Arm}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ana}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ros}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Jun}}$.

La figure VI.28 montre que La variation de la capacité de l'adsorption de 4 nanos sur MO, nous avons remarqué que la capacité de l'adsorption de La capacité de l'adsorption des NPOF_{Ana} est la plus importante, puis NPOF_{Arm} , puis NPOF_{Ros} et en fin la capacité d'adsorption la plus faible celle de NPOF_{Jun} . $q_e \text{NPOF}_{\text{Ana}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Arm}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ros}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Jun}}$.

Les tableaux VI. 5- 13, représentent les données de l'étude de la cinétique de l'adsorption de 4 nanos sur les 4 couleurs d'étude. Les résultats montrent que la cinétique de l'adsorption dans tous les cas d'étude est de seconde ordre.

Les tableaux VI. 14-17 représentent les données de l'étude du mécanisme de l'adsorption de 4 nanos sur les 4 couleurs. Les résultats montrent que la première portion de la courbe est dans tous les cas est linéaire, qui représente que l'étape première de l'adsorption est instantanée ; adsorption sur la surface externe. Et que La seconde étape représente que l'adsorption est progressive ou diffusion intra-particulaire. La diffusion intra-particulaire est l'étape limitant du mécanisme d'adsorption. Les colorants BE, RC, VM, et MO sont d'abord adsorbés par la surface externe de sorte que la vitesse d'adsorption est très élevée. Une fois que la surface externe est complètement saturée, la molécule de colorant diffuse dans les pores internes au sein des particules, et est finalement adsorbée par la surface interne de l'adsorbant. Lorsque les molécules de colorant diffusent à travers les pores internes ou le long de la paroi de surface des pores dans les particules, la résistance à la diffusion augmente, ce qui entraîne une diminution de la vitesse de diffusion.

Les valeurs des paramètres thermodynamiques d'adsorption des 4 couleurs sont regroupées dans le tableaux VI. 22-25.

Ils montrent que les réactions d'adsorption de BE sur NPOF_{Arm} et NPOF_{Ana} sont Spontanées ($\Delta G^\circ < 0$), mais sur NPOF_{Ros} et NPOF_{Jun} sont non spontanées ($\Delta G^\circ > 0$). Les enthalpies sont ($\Delta H^\circ > 0$), les réactions de l'adsorption sont endothermiques.

-Une interférence aléatoire à l'interface solide-liquide a été montrée par les faibles valeurs positives des variations de l'entropie $\Delta S^\circ = 0,058, 0,050, 0,043$ et $0,041$ kJ/mol K pour le BE sur $\text{NPOF}_{\text{Ana}}, \text{NPOF}_{\text{Arm}}, \text{NPOF}_{\text{Jun}}, \text{NPOF}_{\text{Ros}}$ respectivement. La valeur de l'entropie reflète le degré de l'affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant; les valeurs de l'entropie des réactions de BE avec $\text{NPOF}_{\text{Jun}}, \text{NPOF}_{\text{Ros}}$ sont les plus faible alors la capacité de l'adsorption est plus élevée.

Nous remarquons que la réaction d'adsorption de RC sur NPOF_{Jun} est Spontanée ($\Delta G^\circ < 0$), mais sur NPOF_{Ros} et NPOF_{Arm} et NPOF_{Ana} , les réactions sont non spontanées ($\Delta G^\circ > 0$). Les enthalpies sont ($\Delta H^\circ > 0$), les réactions de l'adsorption sont endothermiques.

-Une interférence aléatoire à l'interface solide-liquide a été montrée par les faibles valeurs positives des variations de l'entropie $\Delta S^\circ = 0.066, 0.065, 0.61$ et 0.40 kJ/mol K pour le RC sur NPOF_{Ana} , NPOF_{Arm} , NPOF_{Jun} , NPOF_{Ros} respectivement. Les valeurs de l'énergie libre et l'entropie reflètent la nature de l'affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant ; les valeurs de l'entropie des réactions de RC avec NPOF_{Jun} , NPOF_{Ros} sont les plus faible alors la capacité de l'adsorption est plus élevée.

Nous remarquons aussi que les réactions d'adsorption de OM sur NPOF_{Ros} , NPOF_{Arm} , et NPOF_{Ana} sont Spontanées ($\Delta G^\circ < 0$) aux températures (313.15K et 318.15K). Néanmoins, les réactions aux températures (33.15K et 308.15K) et sur NPOF_{Jun} . Sont non spontanées ; ($\Delta G^\circ > 0$).

-Une interférence aléatoire à l'interface solide-liquide a été montrée par les faibles valeurs positives des variations de l'entropie $\Delta S^\circ = 0.201, 0.98, 0.93$ et 0.70 kJ/mol K pour le OM sur NPOF_{Jun} , NPOF_{Ana} , NPOF_{Ros} , NPOF_{Arm} respectivement. La valeur de l'entropie reflète le degré de l'affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant ; les valeurs de l'entropie des réactions de OM avec NPOF_{Ros} , NPOF_{Arm} sont les plus faible alors la capacité de l'adsorption est plus élevée.

Nous remarquons que les réactions d'adsorption de OM sur NPOF_{Ros} et NPOF_{Arm} et NPOF_{Ana} sont Spontanées ($\Delta G^\circ < 0$) à la température (313.15K et 318.15K) et est non spontanées ($\Delta G^\circ > 0$) à la température (33.15K et 308.15K) , mais sur NPOF_{Jun} est non spontanées ($\Delta G^\circ > 0$).

Une interférence aléatoire à l'interface solide-liquide a été montrée par les faibles valeurs positives des variations de l'entropie $\Delta S^\circ = 0.201, 0.98, 0.93$ et 0.70 kJ/mol K pour le OM sur NPOF_{Jun} , NPOF_{Ana} , NPOF_{Ros} , NPOF_{Arm} respectivement. La valeur de l'entropie reflète le degré de l'affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant; les valeurs de l'entropie des réactions de OM avec NPOF_{Ros} , NPOF_{Arm} sont les plus faible alors la capacité de l'adsorption est plus élevée.

Nous remarquons que les réactions d'adsorption de VM sur NPOF_{Ana} est Spontanées ($\Delta G^\circ < 0$) Les enthalpies ($\Delta H^\circ > 0$), de les réactions de l'adsorption sont endothermiques.

à la température (318.15K), mais à la température (303.15K et 308.15K, 313.15K) est insponanéés ($\Delta G^\circ > 0$).

$NPOF_{Ros}$ et $NPOF_{Jun}$, $NPOF_{Arm}$ sont non spontanées ($\Delta G^\circ > 0$).

Une interférence aléatoire à l'interface solide-liquide a été montrée par les faibles valeurs positives des variations de l'entropie $\Delta S^\circ = 44.576, 0.184, 0.099$ et 0.055 kJ/mol K pour le VM sur $NPOF_{Ros}$, $NPOF_{Jun}$, $NPOF_{Ana}$, $NPOF_{Arm}$ respectivement. La valeur de l'entropie reflète le degré de l'affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant; les valeurs de l'entropie des réactions de VM avec $NPOF_{Ana}$, $NPOF_{Arm}$ sont les plus faible alors la capacité de l'adsorption est plus élevée.

La diminution des valeurs de l'énergie libre d'adsorption (ΔG°) avec la température indique que l'adsorption de RC, BE, VM, MO est favorisée par l'agitation thermique dans la gamme des températures étudiées. Nous concluons que l'affinité s'augmente avec la température. les enthalpies sont ($\Delta H^\circ > 0$), les réactions de l'adsorption sont endothermiques.

Les tableaux VI.26-29 représentent les données de l'adsorption de 4 nanos sur les 4 couleurs sous l'effet de la lumière de UV. Dans tous les cas d'étude, nous avons remarqué que l'adsorption est favorisée par la lumière de UV. Alors les nanos sont photo-catalyses.

VI.13. Etude comparative

Tableau VI. 34 : Comparaison de rendements de l'élimination de RC, BE, OM et VM, T= 25 °C, pH= 5 , Cnano=2g/L, Ccol=250 mg/L, Vsol= 4 ml, T= 45°C et sous 4h de la lumière UV

NPOF _{Ana}					NPOF _{Jun}			
adsorbat	RC	BE	MO	VM	RC	BE	MO	VM
R% à 25°C	47,76	70,11	59,79	51,90	64,38	50,29	20,88	19,25
R% à 45°C	60,87	78,98	75,91	69,95	74,58	60,67	58,95	45,52
R% sous UV 4h	67,69	83,53	79,07	72,01	77,86	65,38	78,21	72,98
NPOF _{Arm}					NPOF _{Ros}			
adsorbat	RC	BE	MO	VM	RC	BE	MO	VM
R% à 25°C	52,31	78,98	57,24	53,42	59,30	57,27	53,49	35,25
R% à 45°C	63,63	83,85	71,43	64,4	63,58	65,20	74,22	63,58
R% sous UV 4h	77,68	86,69	77,61	71,68	78,76	67,8	74,95	75,25

Les résultats (fig VI.34+ tab VI.30) montrent que les $NPOF_{Ana}$ et les $NPOF_{Arm}$ ont les capacités d'adsorption les plus élevées sur le Bleu d'Evans. Par contre, les $NPOF_{Jun}$ et les $NPOF_{Ros}$ ont les capacités d'adsorption les plus élevées sur le rouge de crésol. Par contre, le méthyle d'orange et le vert de méthyle ont été adsorbés faiblement par les $NPOF_{Jun}$. En effet le

RC et le BE ont une affinité la plus importante avec les NPOF_{Ana} et les NPOF_{Arm} , alors leurs affinités sur NPOF_{Ros} sont presque égales.

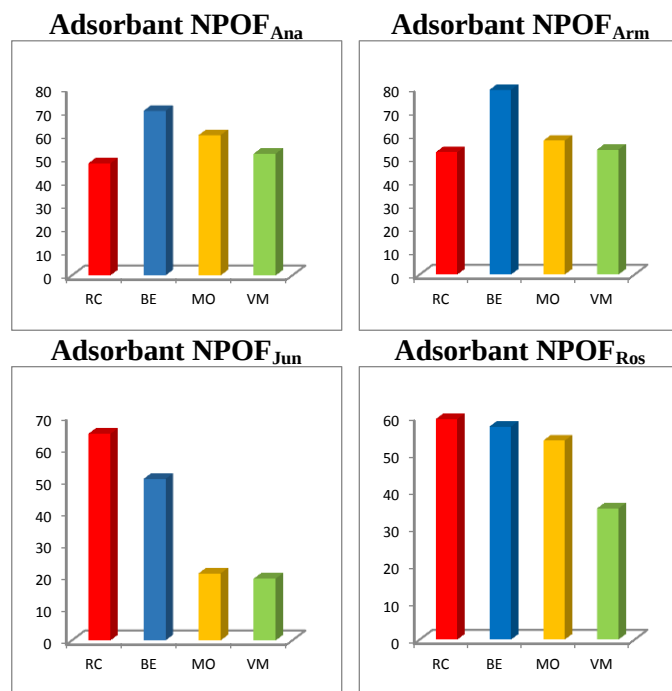


Figure VI. 38 : Comparaison de rendements d'adsorption des colorants ; RC, BE, MO, et VM sur NPOF_{Ana} , NPOF_{Arm} , NPOF_{Ros} et NPOF_{Jun} , $T=25^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=5$, $C_{\text{nano}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{col}}=250\text{ mg/L}$, $V_{\text{sol}}=4\text{ ml}$ et à l'abri de la lumière (dans l'obscurité).

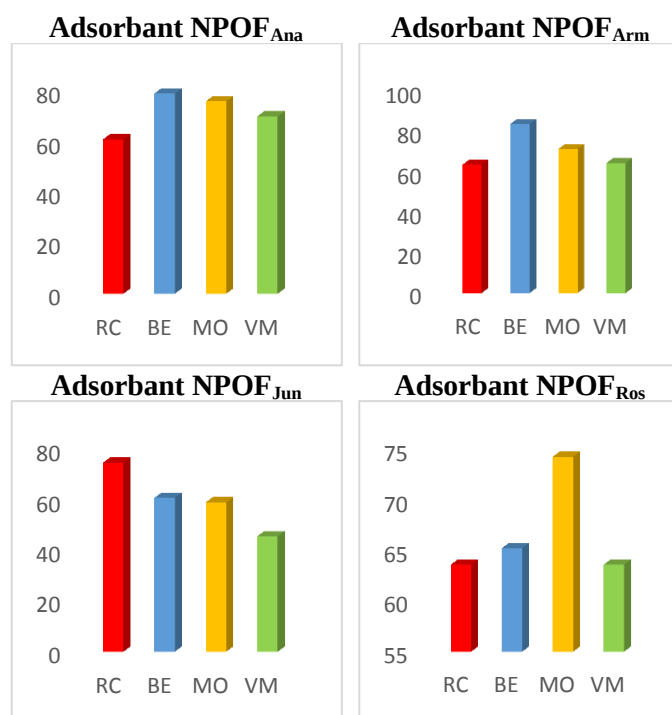


Figure VI.39 : Comparaison de rendements d'adsorption des colorants ; RC, BE, MO, et VM sur NPOF_{Ana} , NPOF_{Arm} , NPOF_{Ros} et NPOF_{Jun} , $T=45^{\circ}\text{C}$, $\text{pH}=5$, $C_{\text{nano}}=2\text{g/L}$, $C_{\text{col}}=250\text{ mg/L}$, $V_{\text{sol}}=4\text{ ml}$ et à l'abri de la lumière (dans l'obscurité).

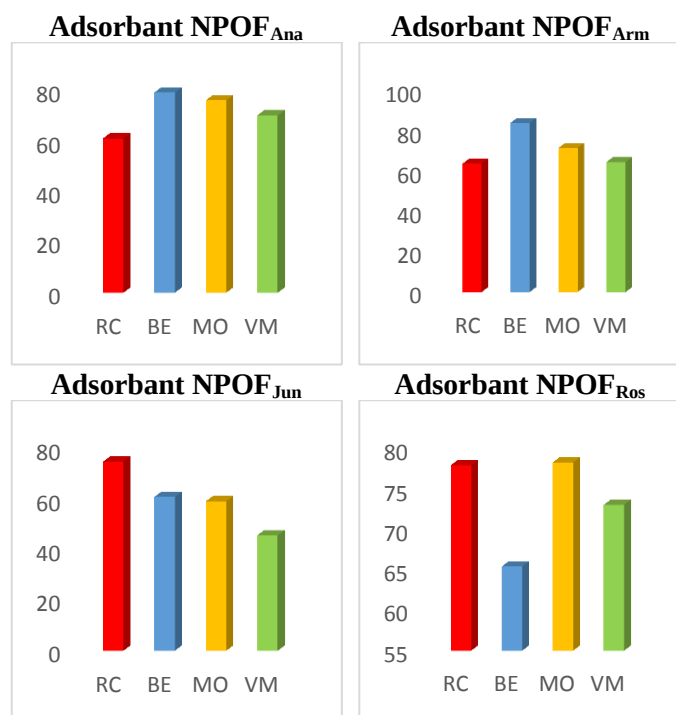


Figure VI.40 : Comparaison de rendements d'adsorption des colorants ; RC, BE, MO, et VM sur NPOF_{Ana} , NPOF_{Arm} , ,NPOF_{Ros} et NPOF_{Jun}, T=45°C, pH=5 , C_{nano}=2g/L, C_{col}=250 mg/L, V_{sol}= 4 ml et sous 4h de la lumière UV.

Les résultats représentés dans les figures VI.35, VI.36 et tab VI.5 montrent que les adsorptions de VM et OM sur NPOF_{Ana} sont les plus favorisés par la chaleur avec une augmentation du rendement de pourcentages de 16,12% et 18,05% respectivement. Alors que 6,82% pour RC et 4,54% pour BE. les adsorptions de MO et VM sur NPOF_{Arm} sont les plus favorisés par la chaleur avec une augmentation du rendement de pourcentages de 38,06% et 26,27% respectivement. Alors que 10,18, % pour RC et 10,38% pour BE. les adsorptions de VM et MO sur NPOF_{Ros} sont les plus favorisés par la chaleur avec une augmentation du rendement de pourcentages de 28,32% et 20,73% respectivement. Alors que 4,28 % pour RC et 7,93% pour BE.

les adsorptions de RC et BE sur NPOF_{Ana} sont les plus favorisés par la lumière UV avec une augmentation du rendement de pourcentages de 6,82% et 4,54% respectivement. Alors que 3,15 % pour MO et 2,05% pour VM. Par contre les adsorptions de RC et VM sur NPOF_{Arm} sont les plus favorisés par la lumière UV avec une augmentation du rendement de pourcentages de 14,04% et 7,24% respectivement. Alors que 6,18 % pour MO et 2,83% pour BE.

Les adsorptions de VM et MO sur NPOF_{Jun} sont les plus favorisés par la lumière UV avec une augmentation du rendement de pourcentages de 27,46% et 19,26% respectivement. Alors

que 4,71 % pour BE et 3,28% pour RC. Par contre les adsorptions de RC et VM sur NPOF_{Ros} sont les plus favorisés par la lumière UV avec une augmentation du rendement de pourcentages de 15,18% et 11,67% respectivement. Alors que 2,6 % pour BE et 0,73% pour MO.

VI-14-Conclusion

D'après notre étude dans ce chapitre, nous concluons que :

- 1- Les analyses de nanos NPOF_{Ana} , NPOF_{Ros} , NPOF_{Arm} , NPOF_{Jun} par les méthodes physiques, IR et les rayons ont confirmé la création de nanoparticules d'oxyde de fer,
- 2- Les nanoparticules d'oxyde de fer sont magnétiques ; bougent en vitesse avec l'aimant,
- 3- L'adsorption de RC, BE, MO et VM sur 4 nanos est très rapide ; le système a atteint l'équilibre thermodynamique dans 20-30 min,
- 4- La cinétique de d'adsorption de RC BE MO et VM sur les NPOF_{Ana} , NPOF_{Ros} , NPOF_{Arm} , NPOF_{Jun} est de seconde ordre,
- 5- L'étape limitant dans tous les mécanismes de l'adsorption des cas d'étude est la diffusion de molécules de l'adsorbat (colorant) sur l'adsorbant (nanoparticules d'oxyde de fer),
- 6- Le type de l'adsorption dans tous les cas est chimie-sorption ; les nanoparticules de l'oxyde de fer ont formé des liaisons d'hydrogène avec les molécules du colorant,
- 7- Toutes les réactions de l'adsorption ont été favorisées par la chaleur ; la diminution de l'énergie libre avec l'augmentation de la température, alors les nanoparticules d'oxyde de fer sont thermo-catalyse,
- 8- Toutes les réactions de l'adsorption ont été favorisées par la lumière UV; alors les nanoparticules d'oxyde de fer sont photocatalyse,
- 9- L'adsorption de colorants sur les nanoparticules d'oxyde de fer est préférentielle ; les NPOF_{Ana} et les NPOF_{Arm} ont la tendance à adsorber BE, par contre les NPOF_{Jun} ont la tendance à adsorber RC. Les NPOF_{Ros} ont la tendance à adsorber RC et BE plus que MO et VM,
- 10- Le rendement d'élimination des colorants est contrôlé par le degré de l'affinité entre l'adsorbat et l'adsorbant ; les propriétés physico chimiques de l'adsorbat et de l'adsorbant gouvernent le rendement.

Les références bibliographiques

- 1- Valentin V et al. Biosynthesis of Stable Iron Oxide Nanoparticles in Aqueous Extracts of *Hordeum vulgare* and *Rumex acetosa* Plants (2014).
- 2- Zhiqiang Wang et al. Characterization of Iron-Polyphenol Nanoparticles Synthesized by Three Plant Extracts and Their Fenton Oxidation of Azo Dye *Eucalyptus tereticornis*, *Melaleuca nesophila*, and *Rosemarinus officinalis* Sima Majidi et al. Current methods for synthesis of magnetic nanoparticles ; review (2014).
- 3- Siavash Iravani Green synthesis of metal nanoparticles using plants review (2011)
- 4- (a) Levin, C. S.; Hofmann, C.; Ali, T. A.; Kelly, A. T.; Morosan, E.; Nordlander, P.; Whitmire, K. H.; Halas, N. J. ACS Nano 2009, 3, 1379. (b) Harris, L. A.; Goff, J. D.; Carmichael, A. Y.; Riffle, J. S.; Harburn, J. J., St.; Pierre, T. G.; Saunders, M. Chem. Mater. 2003, 15, 1367. (c) Senpan, A.; Caruthers, S. D.; Rhee, I.; Mauro, N. A.; Pan, D.; Hu, G.; Scott, M. J.; Fuhrhop, R. W.; Gaffney, P. J.; Wickline, S. A.; Lanza, G. M. ACS Nano 2009, 3, 3917.
- 5- Cornell, R. M.; Schwertmann, U. The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses, 2nd ed.; Wiley-VCH: Weinheim, 2003.
- 6- Ma, M.; Zhang, Y.; Yu, W.; Shen, H.; Zhang, H. Q.; Gu, N. Colloids Surf., A 2003, 212, 219.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les nanoparticules d'oxyde de fer *Juniperus L*, *Rosmarinus L*, *Anacyclus valentinus L*, *Artemisia L*, de taille varie entre 10.14 nm et 35.35 nm, ont montré une grande performance dans l'élimination de colorants; Bleu d'Evans, Vert de méthyle, Rouge de Crésol, Méthyl d'orange, dans l'obscurité, sous l'effet de la chaleur et sous l'effet de la lumière UV.

Nous avons trouvé que: la variation de la capacité de l'adsorption de RC sur les 4 nanos, nous avons remarqué que la capacité de l'adsorption de NPOF_{Jun} est la plus importante, puis NPOF_{Ros} , puis NPOF_{Arm} et en fin la capacité d'adsorption la plus faible celle de NPOF_{Ana} . $q_e \text{NPOF}_{\text{Jun}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ros}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Arm}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ana}}$. Mais, la variation de la capacité de l'adsorption de BE sur 4 nanos, nous avons remarqué que la capacité de l'adsorption de La capacité de l'adsorption des NPOF_{Arm} est la plus importante, puis NPOF_{Ana} , puis NPOF_{Ros} et en fin la capacité d'adsorption la plus faible celle de NPOF_{Jun} . $q_e \text{NPOF}_{\text{Arm}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ana}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ros}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Jun}}$.

Par contre, la variation de la capacité de l'adsorption de VM sur 4 nanos, nous avons remarqué que la capacité de l'adsorption de La capacité de l'adsorption des NPOF_{Arm} est la plus importante, puis NPOF_{Ana} , puis NPOF_{Ros} et en fin la capacité d'adsorption la plus faible celle de NPOF_{Jun} . $q_e \text{NPOF}_{\text{Arm}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ana}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ros}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Jun}}$. Mais, la variation de la capacité de l'adsorption de MO sur les 4 nanos, nous avons remarqué que la capacité de l'adsorption de La capacité de l'adsorption des NPOF_{Ana} est la plus importante, puis NPOF_{Arm} , puis NPOF_{Ros} et en fin la capacité d'adsorption la plus faible celle de NPOF_{Jun} . $q_e \text{NPOF}_{\text{Ana}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Arm}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Ros}} > q_e \text{NPOF}_{\text{Jun}}$.

Les résultats ont montré aussi que les adsorptions de VM et OM sur NPOF_{Ana} sont les plus favorisés par la chaleur avec une augmentation du rendement de pourcentages de 16,12% et 18,05% respectivement. Alors que 6,82% pour RC et 4,54% pour BE. les adsorptions de MO et VM sur NPOF_{Arm} sont les plus favorisés par la chaleur avec une augmentation du rendement de pourcentages de 38,06% et 26,27% respectivement. Alors que 10,18, % pour RC et 10,38% pour BE. les adsorptions de VM et MO sur NPOF_{Ros} sont les plus favorisés par la chaleur avec une augmentation du rendement de pourcentages de 28,32% et 20,73% respectivement. Alors que 4,28 % pour RC et 7,93% pour BE. Alors, les adsorptions de RC et BE sur NPOF_{Ana} sont les plus favorisés par la lumière UV avec une augmentation du rendement de pourcentages de 6,82% et 4,54% respectivement. Alors que 3,15 % pour MO et 2,05% pour VM. Par contre les adsorptions de RC et VM sur NPOF_{Arm} sont les plus favorisés par la lumière UV avec une

Conclusion générale

augmentation du rendement de pourcentages de 14,04% et 7,24% respectivement. Alors que 6,18 % pour MO et 2,83% pour BE.

les adsorptions de VM et MO sur NPOF_{Jun} sont les plus favorisés par la lumière UV avec une augmentation du rendement de pourcentages de 27,46% et 19,26% respectivement. Alors que 4,71 % pour BE et 3,28% pour RC. Par contre les adsorptions de RC et VM sur NPOF_{Ros} sont les plus favorisés par la lumière UV avec une augmentation du rendement de pourcentages de 15,18% et 11,67% respectivement. Alors que 2,6 % pour BE et 0,73% pour MO.

Résumé

L'objectif de notre travail, est d'étudier et comparer l'adsorption préférentielle de quatre types des nanoparticules d'oxydes de fer ; (Juniperus L, Rosmarinus L, Anacyclus valentinus L, Artemisia L) à adsorber 4 colorants synthétiques (polluants) ; Bleu d'Evans, Vert de méthyle, Rouge de Crésol, et Méthyl d'orange dans un milieu aqueux, sous l'effet de la chaleur et sous l'effet de la lumière UV.

Les résultats ont montré que : l'équilibre thermodynamique était rapide dans la réaction de l'adsorption et que sa cinétique est d'ordre 2. Ainsi que la chaleur et la lumière UV ont favorisé la réaction de l'adsorption en diminuant l'énergie libre. Et que l'adsorption était préférentielle ; les propriétés physico-chimiques de influencent l'affinité entre les molécules des nanoparticules d'oxyde de fer et les molécules des colorants. L'affinité entre les molécules de l'adsorbat et les molécules de l'adsorbant reflète le rendement de l'élimination de colorants.

Les mots-clés: Nano particules d'oxyde de fer, colorants, la sélectivité, l'affinité.

المخلص

الهدف من عملنا هو دراسة ومقارنة الامتصاص الانتقائي لأربعة أنواع من جسيمات أكسيد الحديد النانوية، (العرقار، الشيح، القريطفة، الاكليل) لامتصاص 4 ملونات اصطناعية (الملوثات)؛ الإيفانز الازرق، الميثيل الأخضر، كريسول الأحمر، الميثيل البرتقالي في وسط مائي. وذلك تحت تأثير الحرارة وتأثير ضوء الأشعة فوق البنفسجية.

أظهرت النتائج أن: التوازن الحراري الديناميكي كان سريعاً في تفاعل الامتصاص ومن الدرجة 2. بالإضافة إلى الحرارة وضوء الأشعة فوق البنفسجية يميل تفاعل الامتصاص للطاقة الحرة المنخفضة والامتصاص النوعي ; تؤثر الخصائص الفيزيائية-الكيميائية للممتص والمادة الممتصة على الألفة بين جزيئات جسيمات أكسيد الحديد النانوية وجزيئات الأصباغ. يعكس التآلف بين جزيئات الامتزاز والجزيئات الممتزة كفاءة إزالة الملونات.

الكلمات المفتاحية: جزيئات نانو أكسيد الحديد، الملونات، ظاهرة الامتزاز، الانتقائية ، الألفة.