REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Département de Génie des procédés et Environnement

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme Master en Génie des Procédés

Option: Génie chimique

Thème

Étude et caractérisation d'un biomatériau local: noyaux de dattes. Application à l'élimination de polluants organiques

---

Présenté par

BENAISSA Meriem
ROUBAHIE Wafaa

Proposé et Dirigé par

Pr : NEDJHIOUI .M

Promotion 2025

Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant, qui nous a donné la force, la patience et la santé nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements aux membres du jury par leurs gardes et leurs noms, pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant d'évaluer ce travail, Nous remercions tout particulièrement : Madame ***KARMET SAID*** *Présidente du jury, Madame* ***FERGANI*** *Examinatrice et Monsieur* ***NEDJIOUI.M*** *notre encadrant, pour ses conseils avisés, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de ce projet.*

Nous remercions également l'ensemble du corps enseignant du département de Génie des procédés et Environnement pour la qualité de l'enseignement dispensé et leur soutien durant notre parcours universitaire.

Nos remerciements vont également à nos familles, pour leur soutien moral, leurs encouragements constants et leur présence bienveillante.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance à nos camarades et amis pour leur aide précieuse, leur bonne humeur et les moments de partage vécus ensemble.

Dédicace

À mon père

Tu as toujours été mon pilier et mon refuge contre les épreuves de la vie.
Merci pour ta patience, ton soutien constant, et ta foi en moi même dans mes moments de doute.Tu es mon modèle et ma source inépuisable de force.
Chaque pas que j'ai fait sur ce chemin est grâce à tes prières et tes conseils.

À ma mère

Tu as veillé sur mes nuits, sacrifié ta santé et ton temps pour mon bien-être.
Ton amour est incommensurable, et ta générosité infinie.
Tes prières ont éclairé mon chemin, et ton sourire a apaisé mes fatigues.
Aucun mot ne peut vraiment te remercier, que Dieu te récompense au centuple.

*À ma sœur bien-aimée **SAMIA***

Tu es mon deuxième refuge après maman, une compagne de cœur irremplaçable.
Tu as toujours été un soutien dans mes moments difficiles, partageant amour, conseils et encouragements sans compter.
Ta présence dans ma vie est une bénédiction pour laquelle je rends grâce chaque jour.

À mes chers noveux et nièces **RAYANE**, **TASNIME** et **AÏCHA**

Vous êtes la joie qui illumine mon cœur et les rires qui allègent mes fatigues.
Votre innocence et votre bonheur ont toujours été une source d'énergie et de réconfort pour moi.

*À mes frères chers **SMAIL**, **SIDALI**, **HAMZA** et **MOHAMED***

Vous avez été mon appui dans mes faiblesses et mon encouragement dans mes doutes.
Votre présence est un rempart solide contre les aléas de la vie.
Nos rires, nos disputes et nos souvenirs ont tissé un amour immense dans mon cœur.
Merci d'avoir toujours été à mes côtés, et pour chaque parole gentille offerte sans que je la demande.

À ma binôme **WAFAA**

Merci pour ta complicité, ton aide et ta bonne humeur qui ont rendu chaque jour plus agréable.

À ma chère famille élargie

Merci pour votre amour, votre soutien et votre présence précieuse qui enrichissent ma vie chaque jour.

*À mes chères petits cousins **KAWETHAR, IMANE** et **MOHAMED***

Merci pour votre amour, votre soutien et votre présence précieuse qui enrichissent ma vie chaque jour.

*À ma chère amie **HANANE***

À mes camarades d'études

Merci pour les moments partagés, l'entraide et les encouragements tout au long de ce parcours.

*À la mémoire de mon enseignant bien-aimé, Monsieur **Mahfoud***

que Dieu lui fasse miséricorde,
Votre bienveillance, votre passion pour l'enseignement, et vos paroles justes résonnent encore dans mon cœur.
Vous avez laissé une empreinte profonde dans mon parcours, et je prie que Dieu vous accorde le repos éternel et une place dans Son vaste paradis.

À tous les enseignants que j'ai aimés

Merci pour votre savoir transmis avec passion, pour votre patience, et pour l'inspiration que vous m'avez offerte.
Chacun de vous a contribué à forger mon chemin avec lumière et humanité.
Je vous suis infiniment reconnaissante.

À tous ceux que j'aime

Vous occupez une place spéciale dans mon cœur.
Votre présence illumine ma vie et donne un sens profond à mes efforts.

MERIEM

Dédicace

À ceux qui, après dieu, ont été la raison de chaque pas que j'ai accompli

À ma chère mère, dont l'amour inconditionnel, les prières sincères et les sacrifices silencieux ont été la lumière qui a guidé mon chemin, merci pour tout ce que tu fais.

À mon cher père, pilier de ma vie, dont le soutien, la sagesse et l'encouragement constant m'ont toujours poussé à donner le meilleur de moi-même.

À mes sœurs adorées, mes complices de toujours celles qui ont partagé mes joies.

À mon fiancé, mon inspiration et mon trésor merci pour ta présence inébranlable tout au long de cette aventure.

À toute ma grande famille, qui a toujours été une source d'amour et qui a partagé avec moi chaque réussite.

À mon amie Meriem, compagnon de route dans cette expérience unique, merci pour ta collaboration, ta persévérance.

À moi-même, à celle qui a rêvé et persévéré, qui est tombée mais s'est relevée, tu as été forte et patiente, sois fière de toi, car ce n'est que le début du chemin.

WAFAA

الملخص :

يواجه العالم تحديًا بيئيًا متزايدًا يتمثل في تلوّث المياه بالملونات العضوية، نظرًا لثباتها وصعوبة تفككها حيويًا. وفي إطار البحث عن حلول مستدامة، تم في هذا العمل استغلال نوى التمر كمادة أولية محلية لتحضير كربون نشط قابل لإزالة هذه الملوثات من المياه.

شمل التحضير مراحل التجفيف، التفحيم، والتنشيط الكيميائي باستخدام حمض الفوسفوريك .(H_3PO_4) ثم تم تقييم فعالية الكربون المحضر عبر تجارب امتزاز استهدفت ملونين صناعيين: أزرق الميثيلين والفوشين، مع دراسة تأثير عدة عوامل مثل درجة الحموضة، حجم الجزيئات، زمن التلامس، الكتلة، وتركيز الملون.

أظهرت النتائج مردودًا عالياً خاصة في الوسط القاعدي بالنسبة لأزرق الميثيلين (99%) وفي الوسط الحمضي للفوشين (90%)، عند تركيز 2 مغ/لتر وزمن تلامس 24 ساعة. كما تبين أن الجزيئات الدقيقة ذات المساحة السطحية الأكبر تحقق أداء أفضل. أما دراسة الإيزوثرمات فقد بيّنت توافقًا مع نموذج فروندليش، ما يشير إلى وجود مواقع امتزاز غير متجانسة.

تؤكد هذه الدراسة جدوى استخدام نوى التمر كمصدر محلي لإنتاج كربون نشط فعال، مما يشكل حلاً بيئيًا واقتصاديًا لمعالجة المياه الملوثة بالملونات العضوية.

الكلمات المفتاحية: نوى التمر – امتزاز – أزرق الميثيلين – الفوشين – إيزوثرم فروندليش .

Résumé:

Le monde est confronté à un défi environnemental croissant : la pollution de l'eau par les colorants organiques, en raison de leur stabilité et de leur faible biodégradabilité. Dans le cadre de la recherche de solutions durables, ce travail a exploité les noyaux de dattes comme matière première locale pour la préparation d'un charbon actif capable d'éliminer ces polluants des eaux.

La préparation a inclus les étapes de séchage, de carbonisation, puis d'activation chimique à l'aide de l'acide PhosPhorique (H_3PO_4). L'efficacité du charbon actif obtenu a été évaluée à travers des essais d'adsorption sur deux colorants synthétiques : le bleu de méthylène et la fuchsine, en étudiant l'influence de plusieurs paramètres tels que le Ph, la taille des particules, le temps de contact, la masse utilisée et la concentration du colorant.

Les résultats ont révélé un rendement élevé, notamment en milieu basique pour le bleu de méthylène (99 %) et en milieu acide pour la fuchsine (90 %), à une concentration de 2 mg/L et un temps de contact de 24 heures. Il a également été constaté que les particules plus fines, disposant d'une plus grande surface spécifique, présentent de meilleures performances. L'étude des isothermes d'adsorption a montré une bonne concordance avec le modèle de Freundlich, indiquant la présence de sites d'adsorption hétérogènes.

Cette étude confirme la faisabilité de l'utilisation des noyaux de dattes comme ressource locale pour la production d'un charbon actif performant, constituant ainsi une solution écologique et économique pour le traitement des eaux contaminées par les colorants organiques.

Mots-clés : Noyaux de dattes – Adsorption – Bleu de méthylène – Fuchsine – Isotherme de Freundlich .

Abstract:

The world is facing an increasing environmental challenge: water pollution caused by organic dyes, due to their stability and resistance to biodegradation. As part of the search for sustainable solutions, this study explored the use of date pits as a local raw material for the preparation of activated carbon capable of removing these pollutants from water.

The preparation process included drying, carbonization, and chemical activation using PhosPhoric acid (H_3PO_4). The efficiency of the resulting activated carbon was evaluated through adsorption experiments using two synthetic dyes: methylene blue and fuchsin. Several factors were studied, such as Ph, particle size, contact time, adsorbent mass, and dye concentration.

The results showed high removal efficiencies, especially in basic medium for methylene blue (99%) and in acidic medium for fuchsin (90%), at a concentration of 2 mg/L and a contact time of 24 hours. Smaller particle sizes provided better performance due to their larger surface area. The adsorption isotherm study showed good agreement with the Freundlich model, indicating heterogeneous adsorption sites on the carbon surface.

This study confirms the potential of using date pits as a local resource for producing efficient activated carbon, offering an eco-friendly and cost-effective solution for treating water polluted with organic dyes.

Keywords: Date pits – Adsorption – Methylene blue – Fuchsine – Freundlich isotherm.

Sommaire :

remerciements.....

dedicace .....

resume .....

liste des tableaux .....

liste des figures .....

liste des abreviations .....

introduction generale 1

chapitre I : Les colorants : usages, toxicité et impacts environnementaux dans différents domaines 3

I.1 introduction.....4

I.2 definition d'un colorant.....4

I.3 historique des colorants 5

I.3.1. classement historique des colorants 5

I.4 classification des colorants.....6

I.4.1. classification technique 6

I.4.1.1. les colorants d'origine synthétique 6

I.4.1.2. les colorants naturels 7

I.4.2. classification chimique.....7

I.4.2.1. colorants azoïques 7

I.4.2.2. les colorants anthraquinoniques.....8

I.4.2.3. colorants polyméthiniques.....8

I.4.3. classification tinctoriale 8

I.4.3.1. colorants acides ou anioniques.....8

I.4.3.2. colorants basiques ou cationiques 9

I.4.3.3. colorants de cuve.....9

I.4.3.4. colorants réactifs 9

I.5 le bleu de methylene.....9

I.5.1. definition 9

I.5.2. utilisation de bm 10

I.5.3. les dangers de bm 10

I.6 fuchsine acide.....11

I.6.1. definition 11

I.6.2. caracteristiques 11

I.6.3. les dangers de fuchsine acide 12
I.7 utilisations des colorants 12
I.8 l'impact environnemental des colorants textiles 12
I.8.1. l'effet sur les milieux aquatiques 12
I.8.2. effets sur la sante humaine 13
I.9 techniques des traitements des colorants 13
I.9.1. traitements Physiques 14
I.9.1.1. filtration sur membrane 14
I.9.1.2 adsorption (sur charbon actif) 14
I.9.1.3 méthode Physico-chimique de coagulation - floculation 14
I.9.2. traitements chimiques 14
I.9.2.1. quelques procédés d'oxydation avancée (poa) 14
I.9.3. traitements biologiques 16
I.9.3.1. décoloration par les champignons 16
I.9.3.2. décoloration par les actinomycètes 16
I.9.3.3. décoloration par des algues 16
I.9.3.4. décoloration par les levures 16
I.9.3.5. décoloration par les bactéries 17
I.10.coInclusion 17
chapitre II : Biosorption des colorants: aspects cinétiques et revue bibliographiques 18
II.1. introduction 19
II.2. definition de l'adsorption 19
II.3. definition de la biosorption 19
II.4. les avantages de la biosorption 19
II.5. types d'adsorption 20
II.5.1. adsorption Physique 20
II.5.2. adsorption chimique (chimisorption) 20
II.6. description du mecanisme d'adsorption 21
II.7. isothermes d'adsorption 22
II.7.1. classification des isothermes d'adsorption 22
II.7.2. modeles d'isothermes 23
II.7.2.1. isotherme de langmuir 23
II.7.2.2. isotherme de freundlich 24
II.8. les facteurs influençant l'adsorption 25
II.8.1. la temperature 25

II .8.2. la surface specifique 25
II.8.3. le Ph 25
II.9. la cinetique d'adsorption 25
II.10. modeles cinetiques d'adsorption 26
II.10.1. modele pseudo-premier ordre 26
II.10.2. modele pseudo-second ordre 26
II.11. facteurs caracterisant l'adsorbant 27
II.11.1. proprietes chimiques 27
II.11.2. proprietes Physiques 27
II.12. generalite sur le charbon actif 27
II.12.1. definition de charbon actif 27
II.12.2. les differentes formes du charbon actif 28
II.12.3. structure de ca 29
II.12.3.1. la structure Physique (surface spécifique) 29
II.12.3.2. la structure chimique (fonctions de surface) 29
II.12.3. les utilisations du charbon actif 30
II.12.4. la zeolithe 30
II.12.5. l'argile 30
II.12.6. les dechets industriels 31
II.13. la fabrication de charbon actif 31
II.13.1. activation Physique 31
II.13.2. activation chimique 31
II.14. les types de charbon 32
II.14.1. d'origine vegetale 32
II.14.2. d'origine animale 32
II.14.3. d'origine minerale 32
II.15. conclusion 32
chapitre III Noyaux de dattes : propriétés et composition 33
III.1. introduction 34
III.2. definition de biomateriau 34
III.3. historique des dattes 34
III.4. formation et evolution de la datte 35
III.5. classification 35
III.6. repartition geograPhique du palmier dattier 36
III.6.1. dans le monde 36

III.6.1.1. les pays producteurs de dattes 37
III.6.2. en l'algerie 39
III.7. les varietes des dattes 39
III.8. noyau de datte 40
III.8.1. generalites sur le noyau de datte 40
III.8.2. caracteristiques Physico-chimiques de nd 40
III.8.2.1. caractéristiques Physiques (morPhologie) du nd 40
III.8.2.2. composition chimique du nd 41
III.8.3. les processus de preparation de ca 41
III.8.3.1. fabrication 41
III.8.3.2. carbonisation (pyrolyse) 41
III.8.3.3. activation 41
III.9. conclusion 42
chapitre IV : experiences, interpretations et conclusions 43
IV.1 introduction 44
IV.2. materiels et methodes 44
IV.2.1. preparation du materiau 44
IV.2.2. les etapes de preparation du charbon actif 45
IV.2.3. reactifs et produits 47
IV.3. la caracterisation des noyaux de dattes 48
IV.3.1. humidite des noyaux des dattes 48
IV.3.2. le Ph et la conductivite 48
IV.3. 3. la masse specifique reelle 49
IV.3.4. la masse specifique apparente 49
IV.3.5. volume poreux total 50
IV.3.6. la porosite 50
IV.3.7. spectre infrarouge des noyaux de dattes 50
IV.3.8. les adsorbats 51
IV.3.9. la methode du bte 52
IV.4. preparation des solutions 52
IV.4.1. preparation des solutions meres et filles 52
IV.4.2. etalonnage des solutions 53
IV.4.3. methode de determination des concentrations 54
IV.4.4. analyse du bleu de methylene, fushine par uv-visible 54
IV.5. courbe d'etalonnage 55

IV.5.1. essais d’adsorption du bm et fa sur les noyaux de dattes 55
IV.5.1.1. mode opératoire d’adsorption 55
IV.5.1.2. cinétique d’adsorption..... 55
IV.5.2. isotherme d’adsorption 56
IV.5.3. influence du Ph 56
IV.6. resultat et discussion..... 56
IV.6.1. les caracterisations des noyaux de dattes 56
IV.6.2. la courbe d’etalonnage 56
IV.8. cinetique d’adsorption 60
IV.9. Interprétation des résultats..... 71
IV.10. modeles cinetiques d'adsorption 74
IV.11. determination des parametres d’adsorption 76
IV.12. conclusion 88
conclusion générale 89
référence
Annexe 1
Annexe 2

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Classement historique des colorants.....5

Tableau I.2 : Classification des colorants.....6

Tableau II. 1 : Différences entre l'adsorption Physique et chimique.....21

Tableau II. 2 : Différentes formes de charbon actif 28

Tableau III.1 : Classification des dattes selon la consistance et ces cas caractéristiques.....36

Tableau III.2 : La production mondiale de datte en 2015 38

Tableau IV.1 : Caractéristiques Physico-chimiques du Bleu de Méthylène 51

Tableau IV.2 : Caractéristiques Physico-chimiques du Fushine acide.....52

Tableau IV.3 : caractérisation des noyaux de dattes 56

Tableau IV.4: Valeurs de R^2 pour les modèles cinétiques : pseudo-premier ordre 76

Tableau IV.5: Valeurs de R^2 pour les modèles cinétiques : pseudo-second ordre.....76

Tableau IV.6 : les paramètres de l'isotherme de Freundlich. Cas du BM PH=4 ; dm=250 80

Tableau IV.7: les paramètres de l'isotherme de Freundlich. Cas de la FA : PH=4, d_m=250.....83

Tableau IV.8 : les paramètres de l'isotherme de Freundlich. Cas du BM 4 750.....84

Tableau IV.9: les paramètres de l'isotherme de Freundlich. FA : PH=4, d_m=750 µm.....86

Tableau IV.10 : les paramètres de l'isotherme de Freundlich.....87

Tableau IV.11: les paramètres de l'isotherme de Freundlich. FA : PH=9, d_m=250 µm.....87

Tableau IV.12: les paramètres de l'isotherme de Freundlich.....87

Tableau IV.13: les paramètres de l'isotherme de Freundlich. FA: PH=9, d_m=750 µm 88

Liste des figures :

Figure I.1 : Formule développée du colorant azoïque 7
Figure I.2 : La molécule anthraquinone 8
Figure I.3 : Molécule de bleu de méthylène : BM 10
Figure I.4 : Formule de Fuchsine acide.....11
Figure I.5 : Une rivière polluée par la teinture et les déchets.....13
Figure II.1 : schéma de l'adsorption Physique.....20
Figure II.2 : mécanisme de transport d'un adsorbat au sein d'un grain 21
Figure II.3 : classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al 23
Figure II.4 : Isotherme d'adsorption selon Langmuir.....24
Figure II.5 : Isotherme d'adsorption selon Freundlich 25
Figure III.1 : Présentation morPhologique de la datte Présentation morPhologique de la datte.....35
Figure III.2 : évolution de la production des dattes.....39
Figure III.3 : Noyau de dattes 40
Figure IV.1 Présentation du Matériau brut : les noyaux des dates.....44
Figure IV.2 : Les étapes de préparation de charbon actif.....45
Figure IV.3 : La poudre obtenue après carbonisation 46
Figure IV.4 : L'activation de charbon actif avec H_3PO_4 (agitation).....46
Figure IV.5 : L'activation de charbon actif avec H_3PO_4 (filtration).....47
Figure IV.6 : Etapes de préparation du charbon actif 47
Figure IV.7 : étapes de détermination de la masse spécifique 49
Figure IV.8 : spectroPhotomètre infrarouge. 50
Figure IV.9 : Structures chimiques bleu de méthylène 51
Figure IV.10 : Structures chimiques de Fushine acide.....51
Figure IV.11 : la loi de Beer Lambert 53
Figure IV.12 : SpectroPhotomètre UV. Visible 54
Figure IV. 13 : Courbe d'étalonnage BM densité optique en fonction de la concentration.....57
Figure IV. 14 : Courbe d'étalonnage FA densité optique en fonction de la concentration. 57
Figure IV. 15 : Spectre infrarouge de noyaux des dattes 58
Figure IV.16: Variation du rendement en fonction du temps BM (PH=4, d_m=250) 61
Figure IV.17: Courbes d'équilibre d'adsorption x/m=f(t) BM (PH=4, d_m=250).....61
Figure IV.18: Cinétique d'adsorption C_t=f(t) BM (PH=4, d_m=250).....62
Figure IV.19: Variation du rendement en fonction du temps BM (PH=4, d_m=750).....62
Figure IV.20: Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t) BM (PH=4, d_m=750).....63
Figure IV.21: Cinétique d'adsorption C_t=f(t) BM (PH=4, d_m=750).....63

Figure IV.22: Variation du rendement en fonction du temps BM (PH=9, d_m=250) 64
Figure IV.23: Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t) BM (PH=9, d_m=250) 64
Figure IV.24: Cinétique d'adsorption C_t=f(t) BM (PH=9, d_m=250) 65
Figure IV.25: Variation du rendement en fonction du temps BM (PH=9, d_m=750) 65
Figure IV.26: Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t) BM (PH=9, d_m=750) 66
Figure IV.27: Cinétique d'adsorption C_t=f(t) BM (PH=9, d_m=750) 66
Figure IV.28: Variation du rendement en fonction du temps FA(PH=4, d_m=250) 67
Figure IV.29: Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t) FA (PH=4, d_m=250) 67
Figure IV.30: Cinétique d'adsorption C_t=f(t) FA (PH=4, d_m=250) 68
Figure IV.31: Variation du rendement en fonction du temps FA(PH=4, d_m=750) 68
Figure IV.32: Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t) FA (PH=4, d_m=750) 68
Figure IV.33: Cinétique d'adsorption C_t=f(t) FA (PH=4, d_m=750) 69
Figure IV.34: Variation du rendement en fonction du temps FA (PH=9, d_m=250) 69
Figure IV.35: Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t) FA (PH=9, d_m=250) 70
Figure IV.36: Cinétique d'adsorption C_t=f(t) FA (PH=9, d_m=250) 70
Figure IV.37: Variation du rendement en fonction du temps FA (PH=9, d_m=750) 70
Figure IV.38: Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t) FA (PH=9, d_m=750) 71
Figure IV.39: Cinétique d'adsorption C_t=f(t) FA (PH=9, d_m=750) 71
Figure IV.40: Modélisation des données cinétiques : modèle du pseudo-second ordre BM 74
Figure IV.41: Modélisation des données cinétiques : modèle du pseudo-second ordre FA 75
Figure IV.42: Isotherme D'adsorption X/m=f(c), cas du BM : PH=4, d_m=250 µm.....78
Figure IV.43: paramètres de l'équation de Freundlich log X/m=f (log c), cas du BM 4-250.....79
Figure IV.44: Isotherme D'adsorption X/m=f(c), cas de la FA : PH=4 ; dm=250 81
Figure IV.45: Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c), cas de la FA : PH=4 ; dm=250 ...82
Figure IV.46: Isotherme d'adsorption X/m=f(c) cas du BM PH=4, d_m=750 µm.....83
Figure IV.47: Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c) cas du BM : PH=4, d_m=750 µm ...84
Figure IV.48: Isotherme d'adsorption X/m=f(c) FA : PH=4, d_m=750 µm.....85
Figure IV.49: Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c) FA : PH=4, d_m=750 µm.....86

Liste des abréviations :

abs : absorbance

ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

BET : Brunauer-Emett-Teller

BM : Bleu de Méthylène

C : concentration

CA : charbon actif

d_m : diamètre moyenne

DO : densité optique

FA : Fushine acide

H : humidité

HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques

I : intensité du faisceau immergent

I_0 : intensité du faisceau incitant

m : masse d'adsorbant

MEB : Microscope Electronique à balayage

ND : noyaux de dattes

Ph : Potentiel Hydrogène

POA : procédés d'oxydation avancée

R : rendement

UV : Ultra-violet

V : volume

λ : longeur d'onde

λ_{max} : longeur d'onde maximale

Introduction Générale :

Introduction Générale :

L'augmentation des rejets industriels contenant des colorants synthétiques constitue une menace majeure pour l'environnement et la santé humaine. Parmi ces colorants [1], le bleu de méthylène est largement utilisé dans diverses industries (textile, papier, cosmétique), mais sa présence dans les eaux usées pose des problèmes de pollution en raison de sa toxicité et de sa faible biodégradabilité. Face à cette problématique, le développement de matériaux adsorbants efficaces et écologiques est une priorité pour le traitement des eaux contaminées [2].

Le charbon actif est l'un des adsorbants les plus efficaces grâce à sa grande surface spécifique et sa structure poreuse, qui lui permettent de capturer une large gamme de polluants organiques [3]. Cependant, la production conventionnelle du charbon actif repose souvent sur des matériaux coûteux et des procédés énergivores. C'est dans ce contexte que l'utilisation de résidus agro-industriels comme précurseurs de charbon actif représente une alternative durable et économique [4].

Les noyaux de dattes, issus des déchets de l'industrie des dattes, sont une ressource abondante et peu valorisée. Riches en carbone et dotés d'une structure adaptée à la formation de pores, ils constituent un excellent candidat pour la préparation de charbons actifs à haut pouvoir adsorbant [5]. Leur transformation en charbon actif par des procédés de carbonisation et d'activation permet d'obtenir un matériau performant pour l'élimination des polluants organiques comme le bleu de méthylène [6].

Ce travail consiste à étudier la préparation du charbon actif obtenu à partir des noyaux des dattes, ainsi que son efficacité dans l'adsorption du bleu de méthylène et Fushine en solution aqueuse.

Notre mémoire est subdivisé en quatre chapitres :

- Dans le chapitre un nous avons donné les définitions des colorants ainsi que leurs utilisations, toxicité et impact environnemental sur différences domaines.
- dans le chapitre deux, les notions de la biosorption, de la cinétique d'adsorption ont été données.

- le chapitre trois et consacré aux revues sur le biomatériau utilisé : les noyaux de dattes, leurs caractéristiques et leurs composition chimique.
- le chapitre quatre est réservé aux interprétations et aux discussions des résultats obtenus.
- Enfin, ce travail est terminé par une conclusion générale et des perspectives.

Chapitre I

LES COLORANTS : USAGES, TOXICITE ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DANS DIFFERENTS DOMAINES.

I.1 Introduction :

De nos jours, les colorants synthétiques représentent un groupe relativement large de composés organique rencontrés dans pratiquement toutes les sPhères de notre vie quotidienne. La production mondiale de colorants synthétiques organiques est estimée à **700000** tonnes, dont **140000** sont rejetées dans les effluents au cours des différentes étapes d'application et de confection [1-2]. Ces rejets organiques posent un problème environnemental double, d'un point de vue esthétique (détection de coloration à partir de **0,005** mg/L [3]) et sur le plan de leur toxicité potentielle. La nature xénobiotique des colorants les rend persistants dans l'environnement et réfractaires aux dégradations dans le milieu naturel où ils peuvent séjourner pendant des années.

La pollution est une dégradation de l'environnement par l'introduction dans l'air, l'eau ou le sol de matières n'étant pas présentes naturellement dans le milieu. Elle entraine une perturbation de l'écosystème dont les conséquences peuvent aller jusqu'à la migration ou l'extinction de certaines espèces incapables de s'adapter au changement [4].

Les besoins technologiques actuels nécessitent des matériaux adsorbants, communément appelés charbons actifs ce sont des composés carbonés que l'on a traités, afin d'accroître leur pouvoir adsorbant [5].

I.2 définition d'un colorant :

On appelle un colorant tout substance coloré ou non qui mise au contact de façon appropriée avec un support (se fixe ou se dissout dans ce dernier de façon durable, en lui conférant une nouvelle propriété : la couleur) [6].

L'opération qui conduit à ce résultat est appelée suivant le cas teinture, impression, enduction, peinture ou encore coloration dans la masse. L'industrie des colorants constitue aujourd'hui un domaine capital de la chimie. Les colorants servent aussi à préparer des peintures, des encres d'imprimerie, des vernis et comme additifs, à colorer des produits alimentaires et Pharmaceutiques. Ils sont utilisés dans l'industrie des cosmétiques, la coloration des métaux, la PhotograPhie, la biologie (coloration des préparations microscopiques), les indicateurs colorés, et certains d'entre eux sont employés en thérapeutique (antiseptiques, antis malariques, etc.) [7].

I.3 Historique des colorants:

Au dix-neuvième (**XIX**) siècle, les progrès de la chimie étaient liés à celui de l'industrie textile.

Avant **1840**, les seuls colorants étaient d'origine naturelle : minérale, végétale et animale. En France, on cultivait la garance (colorant rouge) en Alsace et dans le Vaucluse. L'indigo pour le bleu, le bois de Campeche pour le noir, le rocou pour l'orangé-rouge et les cochenilles pour le rouge [8].

I.3.1. Classement historique des colorants :

Tableau I.1 : *classement historique des colorants. [8]*

Année	Type de colorant	Description
1856	Colorants basiques	Premiers colorants synthétiques, se fixent bien sur les fibres acides.
1863	Colorants acides	Solubles dans l'eau, utilisés pour les fibres protéiques
1868	Colorants à mordant	Nécessitent un mordant pour fixer la couleur sur le tissu.
1884	Colorants directs	Peuvent teindre le coton directement sans mordant, mais ont une faible solidité au lavage.
1893	Colorants au soufre	Utilisé pour teindre le coton en noir ou en couleurs sombres.
1897	Colorants de cuve	Colorants insolubles, se fixent après oxydation.
1923	Colorants réactifs	Réagissent chimiquement avec les fibres. Bonne solidité des couleurs.
1951	Colorants réactifs pour laine	Adaptés pour laine, réagissent à PH acide.
1956	Colorants réactifs pour coton	Optimisés pour le coton à PH alcalin. Bonne fixation des couleurs.

I.4 classification des colorants :

Les colorants peuvent être catégorisés en fonction de leur structure chimique ou des méthodes employées pour leur application sur divers substrats, tels que les fibres textiles, le papier, le cuir ou encore les matières plastiques.

Toutefois, notre étude se limitera ici à leur classification selon leur structure chimique.

Tableau I.2 : *classification des colorants.*

Classe des colorants	Fixation (%)	Fibres utilisées
Acide	80_93	Laine, nylon
Azoïque	90_95	Cellulose
Basique	97_98	Acrylique
Soufré	60_70	Cellulose
De cuve	80_95	Cellulose
Direct	70_95	Cellulose
Dispersé	80_92	Synthétique
Réactif	50_80	Cellulose

I.4.1. Classification technique:

I.4.1.1. Les colorants d'origine synthétique :

Les colorants d'origine synthétique sont des molécules complexes qui peuvent être de type anionique ou cationique. Ils appartiennent à une douzaine de familles chimiques différentes. Au point de vue chimique, on est amené à grouper les produits présentant le même squelette ou les mêmes éléments constitutifs [9].

Les colorants synthétiques furent tout d'abord baptisés de noms de plantes (amarante, fuchsine, garance, etc..), puis des noms de noms de minerai (vert malachite, auramine, etc..). Les colorants furent ensuite désignés selon leur constitution chimique bleu de méthylène, violet de méthyle, vert naPhtalène, etc.). Actuellement les fabricants de matières colorantes déposent des marques protégées pour les différentes classes de colorants en fonction de leur procédé d'application. Ainsi, chaque colorant est désigné par sa couleur, sa marque commerciale est un code le caractérisant. Ce code est composé de

chiffres et de lettres pouvant avoir différentes significations (par exemple : **B = bleuâtre, R = rougeâtre, Y ou G ou J = jaunâtre**) [10].

Ils sont commercialisés sous différentes formes : solide (poudres, granulés) ou liquide (solutions concentrées, dispersions ou pâtes). La mise en œuvre des préparations liquides est plus aisée, en particulier dans le cas des colorants insolubles dans l'eau [10].

I.4.1.2. Les colorants naturels:

Ils sont très répandus, surtout dans les plantes (bois, racines, graines, fleurs et fruits) et même dans les micro-organismes et le corps des animaux. On les trouve à l'état libre ou liés à des glucides ou des protéines, exemple : garance, cochenille, indigo, pourpre. Aujourd'hui, l'importance économique des colorants organiques naturels a beaucoup diminué. Du fait de leur cherté, on ne les utilise dans l'industrie textile, du cuir et du papier que pour des traitements spéciaux. Ils restent, en revanche très utilisés dans les produits alimentaires, cosmétiques et Pharmaceutiques soumis à des réglementaires plus strictes [11].

I.4.2. Classification chimique :

I.4.2.1. Colorants azoïques:

Les colorants azoïques sont caractérisés par la présence au sein de la molécule d'un groupement azoïque **(-N=N-)** reliant deux noyaux benzéniques [12]. Cette catégorie de colorants est actuellement la plus répondue sur le plan d'application, ils représentent plus de **50%** de la production mondiale [13]. Selon le nombre de chromoPhores azo rencontrés dans la molécule on distingue les mono-azoïques, les bi azoïques et les polyzoïques [14].

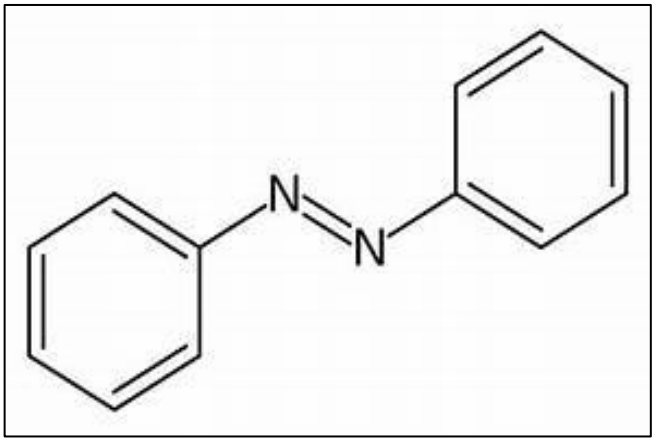


Figure I.1: *formule développée du colorant azoïque [15]*

I.4.2.2. Les colorants anthraquinoniques :

D'un point de vue commercial, les plus importants après les colorants azoïques. Leur formule générale dérivée de l'anthracène montre que le chromoPhore est un noyau quiconque sur lequel peuvent s'attacher des groupes hydroxyles ou amino [16].

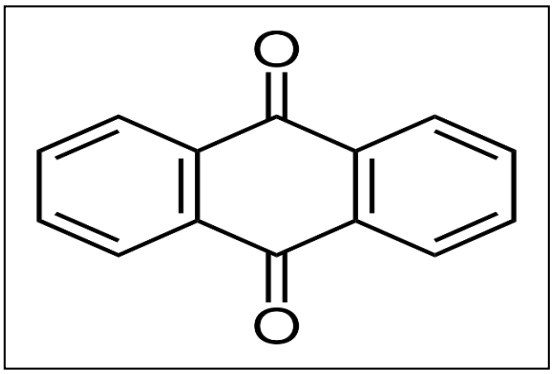


Figure I.2 : *La molécule anthraquinone [17].*

I.4.2.3. Colorants polyméthiniques :

Dans cette catégorie de colorants, on peut remplacer un ou plusieurs groupes chromoPhores méthane par un groupe azométhine **(N)** substitué [14].
Un exemple important de colorant polyméthinique pour lequel le groupe chromoPhore est **(-CH=)** ou **(-CR=)** est le jaune **11** [13].

I.4.3. Classification tinctoriale:

La classification des colorants repose non seulement sur leur composition chimique mais aussi sur leur solubilité et leur interaction avec les fibres textiles. La fixation du colorant peut se faire via différents types de liaisons, notamment ioniques, hydrogènes, de Vander Waals ou covalentes.

I.4.3.1. Colorants acides ou anioniques :

Les colorants acides ou anioniques sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupes anioniques sulfonâtes **($NaSO_3$-)** ou carboxylates **(NaCOO-)** [18].

Ces colorants sont vendus sous forme de sels de sodium ou de potassium. La fonction acide joue le rôle d'élément solubilisant, car elle facilite l'ionisation de la molécule de colorant au sein du solvant [19].

I.4.3.2. Colorants basiques ou cationiques :

Les colorants basiques sont des sels, des composés présentant des groupes amino **(-NH_2)** ou imino **(=NH)**, salifiés par un acide pour donner un sulfate ou un oxalate soluble dans l'eau [19]. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques les fibres [20].

I.4.3.3. Colorants de cuve:

Les colorants de cuve sont des colorants insolubles dans l'eau. Cependant, sous l'action d'un réducteur, le dithionite de sodium **($Na_2S_2O_8$)**, un colorant de cuve donne son leuco-dérivé c'est-à dire le produit de réduction incolore ou blanc et soluble dans l'eau. Le leuco-dérivé présente une affinité pour certaines fibres textiles telles que le coton, le lin, la laine et la soie. Par oxydation à l'air ou à l'aide d'un agent oxydant, le colorant initial insoluble dans l'eau est régénéré au sein de la fibre. Les colorants de cuve appartiennent à la classe chimique des anthraquinones et à celle des indigoïdes, leurs qualités de résistance notamment en font un des groupes les plus importants des colorants synthétiques [21].

I.4.3.4. Colorants réactifs:

Les colorants réactifs constituent la dernière classe de colorant apparue sur le marché. Leur utilisation est très importante, notamment dans le domaine de l'habillement (la solidité à la lumière n'est suffisante que pour des applications en ameublement). Ce sont des colorants de synthèse constitués d'une partie colorante chromogène (groupe chromoPhore) sur laquelle est (sont) fixé(s) un (ou plusieurs) groupement (s) réactifs(s) électroPhile(s) destiné(s) à former une liaison chimique stable, covalente, solide avec les fonctions hydroxyles de la cellulose et les **NH2** et **NH** des polyamides, voire plus rarement avec les fonctions amines ou sulfures des protéines de la laine [22].

I.5 Le bleu de méthylène :

I.5.1. Définition:

Le bleu de méthylène est une molécule organique de formule brute **$C_{16}H_{18}ClN_3S$**. Il est aussi appelé méthylthioninium ou chlorure de tétraméthylthionine. Cette molécule existe sous deux formes:

- Une forme oxydée bleue.
- Une forme réduite incolore.

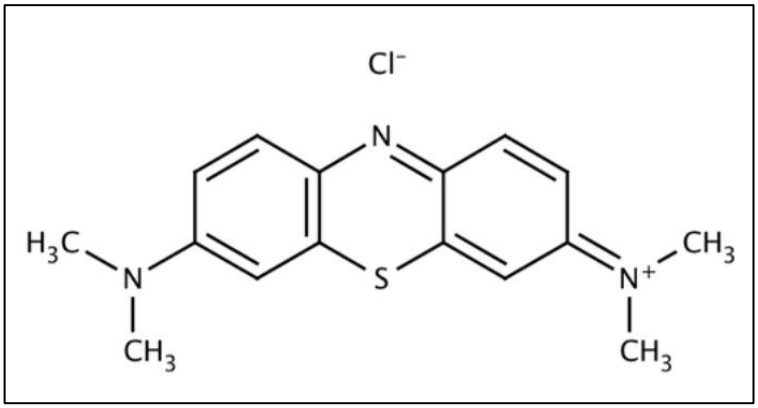


Figure I. 3 : *molécule de BM [24].*

I.5.2. Utilisation de BM :

Le BM est utilisé intensivement dans différents domaines tel que :

En médecine d'urgence, le BM traite efficacement la méthémoglobinémie avec un taux de réussite dépassant **95%**. Les chirurgiens l'utilisent également comme colorant pour améliorer la visualisation des structures anatomiques, réduisant ainsi les complications post-opératoires de **40%** [25].

Dans le domaine neurologique, les recherches démontrent ses propriétés neuroprotectrices remarquables. Il combat le stress oxydatif cérébral et améliore significativement la mémoire chez les personnes âgées, avec des résultats mesurables après une dose unique de 2mg/kg. [25].

Le bleu de méthylène s'utilise pour arrêter l'action de certaines molécules prises comme stimulant sexuel, vasodilatatrices et à l'origine de méthémoglobinémie. Ce dépassement du taux normal de méthémoglobine dans le sang, entraine ce que l'on appelait jadis la maladie bleue. Ce sont les symptômes tels que la difficulté respiratoire, l'accélération cardiaque ou la coloration bleue de la peau qui mettent en alerte. C'est en milieu hospitalier que le traitement est administré [26].

I.5.3. Les dangers de BM [27] :

Bien que le bleu de méthylène soit généralement sûr lorsqu'il est utilisé correctement, il présente certains risques:

- Diarrhée.
- Changement de couleur de l'urine ou des selles en bleu ou vert.
- Mal de ventre.
- Changement de couleur de la peau en bleu-vert.
- Douleur dans les bras ou les jambes.
- Sensation de chaud ou de froid.
- Changement de goût.
- Douleur musculaire.
- Douleur là où le coup a été donné.

I.6 Fuchsine acide :

I.6.1. Définition:

Est un colorant magenta acide de formule chimique $\mathbf{C_{20}H_{17}N_3Na_2O_9S_3}$. La fuchsine acide est utilisée en histologie, dans les colorations de van Gieson et trichrome de Masson. Cette méthode est fréquemment utilisée sur des coupes de tissus animaux pour faire la distinction entre le muscle et le collagène [28].

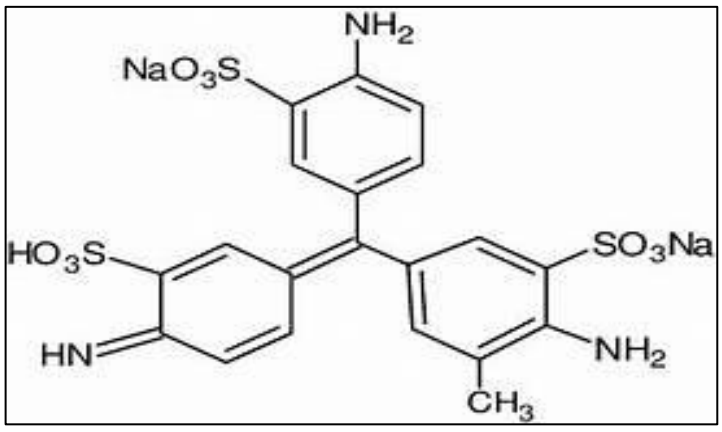


Figure I.4 : Formule de Fuchsine acide [29].

I.6.2. Caractéristiques : [30]

- Soluble dans l'eau et l'alcool.
- Se fixe sur les composants basiques des cellules .
- Il utilise dans la coloration de contraste dans divers techniques histologiques et bactériologiques comme la coloration de van Gieson.

I.6.3. Les dangers de Fuchsine acide : [30]

- Peut provoquer des irritations en cas de contact prolongé avec la peau ou les yeux .
- L'inhalation des vapeurs ou des poussières peut entrainer des irritations des voies respiratoires.
- Certains dérivés de la fuchsine sont classés comme possiblement cancérogènes pour l'homme .
- Causer une pollution des eaux si elle n'est pas correctement éliminée.

I.7 Utilisations des colorants :

Les colorants présentent de nombreuses applications dans différents domaines, dont voici quelques-unes essentielles :

- Pigments (industrie des matières plastiques).
- Encre, papier (imprimerie).
- Colorants alimentaires (industrie agro-alimentaire).
- Pigments des peintures, matériaux de construction, céramiques (industrie du bâtiment).
- Colorants capillaires (industrie des cosmétiques).
- Colorants et conservateurs (industrie Pharmaceutique).
- Carburants et huiles (industrie automobile etc..).
- Colorants textiles à usage vestimentaire, de décoration, du bâtiment, du transport, colorants textiles à usage médical etc..[31].

I.8 L'impact environnemental des colorants textiles :

Les colorants textiles, largement utilisés pour teindre les vêtements, posent des risques significatifs pour l'environnement et la santé humaine. Leur composition chimique complexe et les procédés de teinture contribuent à diverses formes de pollution et d'effets néfastes sur la santé.

I.8.1. L'effet sur les milieux aquatiques :

Selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (**ADEME**), environ **20 %** de la pollution mondiale de l'eau est attribuée aux opérations de teinture et de traitement des textiles. Ces procédés consomment entre **6 000** et **9 000** milliards de litres

d'eau par an, soit l'équivalent de plus de **2 millions** de piscines olympiques. Dans de nombreux pays producteurs, tels que la Chine et le Bangladesh, les eaux usées contenant des colorants toxiques et des métaux lourds sont souvent déversées sans traitement adéquat dans les rivières, entraînant la destruction des écosystèmes aquatiques et rendant l'eau impropre à la consommation [32]



Figure I.5 : *Une rivière polluée par la teinture et les déchets. Source : River Blue*

I.8.2. Effets sur la santé humaine :

Les travailleurs de l'industrie textile sont particulièrement exposés aux dangers des colorants synthétiques. Les colorants azoïques, par exemple, sont synthétisés à partir d'amines aromatiques, dont certaines sont reconnues cancérogènes, notamment la benzidine et la naPhtylamine. Ces substances peuvent provoquer des cancers de la vessie et d'autres affections graves. De plus, les pigments contenant des métaux lourds tels que le plomb, le nickel, le chrome et le cadmium sont toxiques même à faible dose, entraînant des pathologies respiratoires, des irritations cutanées et des risques accrus de cancers [33].

I.9 Techniques des traitements des colorants [34] :

Le secteur textile fait partie des six branches des activités générant la moitié des flux industriels de pollution. Les effluents issus de ce secteur peuvent être très colorés et difficiles à traiter.

Le traitement des eaux polluées par ces types de colorants est donc devenu une priorité dans notre monde moderne. La mise au point de méthodes et l'optimisation des procédés existants, qui doivent être aussi efficaces que peu coûteux, font donc l'objet d'un nombre considérable de travaux. Les techniques de dépollution intervenant le plus couramment en deuxième étape dans les industries textiles, d'après Hao et al. (**2000**) et Dos Santos et al. (**2007**) se divisent en trois types : Physiques, chimiques et biologiques.

I.9.1. Traitements Physiques :

I.9.1.1. Filtration sur membrane :

La filtration sur membrane pilotée par pression hydraulique se décline en microfiltration, ultrafiltration, nano filtration et osmose inverse. L'effluent passe à travers une membrane semi-perméable qui retient en amont les contaminants de taille supérieure au diamètre des pores, pour produire un perméat purifié et un concentré qui reçoit les impuretés organiques. Ces procédés, limités dans leurs applications, nécessitent des investissements importants et le retraitement du concentré est jusqu'à six fois plus cher que celui de l'effluent originel.

I.9.1.2 Adsorption (sur charbon actif) :

Lors de l'adsorption, le colorant est transféré de la Phase liquide vers la Phase solide. Le charbon activé est le plus communément utilisé pour réduire la couleur, mais cette technique n'est efficace que sur certaines catégories de colorants (cationiques, à mordant, dispersés, de cuve et réactifs).

I.9.1.3 Méthode Physico-chimique de coagulation - floculation :

Sous le terme de coagulation - floculation, on entend tous les processus Physico-chimiques par lesquels des particules colloïdales ou des solides en suspension fines sont transformés par des floculants chimiques en espèces plus visibles et séparables (les flocs). Les flocs formés sont séparés par décantation et filtration puis évacués. Les coagulants inorganiques tels que l'alun sont les plus satisfaisants pour la décoloration des effluents textiles contenant des colorants de cuve et au soufre, mais sont totalement inefficaces pour les colorants réactifs, azoïques, acides et basiques.

I.9.2. Traitements chimiques :

Dans la littérature, les techniques chimiques d'oxydation sont généralement appliquées (i) pour le traitement des composés organiques dangereux présents en faibles concentrations, (ii) en prétraitement avant des procédés biologiques, (iii) pour le traitement d'eaux usées chargées de constituants résistant aux méthodes de biodégradation et enfin (iv) en post-traitement pour réduire la toxicité aquatique. Parmi les méthodes de traitement chimique, les procédés d'oxydation avancée (POA) restent les plus fréquemment utilisés.

I.9.2.1. Quelques procédés d'oxydation avancée (POA)

I.9.2.1.1. Réactif de Fenton (H2 O2 /Fe2+) :

Fenton avait décrit à la fin du **XIXe** siècle que le fer ferreux favorisait fortement l'oxydation de l'acide maléique par le peroxyde d'hydrogène en milieu acide. Des travaux ultérieurs ont montré que la combinaison **de H_2O_2 et de Fe^{2+},** nommée « réactif de Fenton », était un oxydant efficace pour une grande variété de substrats organiques, notamment les Phénols, les pesticides, les aromatiques polycycliques et des colorants, en particulier les azoïques. Quarante ans plus tard, Haber et Weiss identifiaient le radical hydroxyle comme étant l'espèce oxydante de la réaction présentée ci-dessous et communément appelée réaction de Fenton :

$$Fe^{2+} + H_2O_2 + H^+ \rightarrow \quad Fe^{3+} + H_2O_2 \quad + HO$$

I.9.2.1.2. L'ozonation (O3) :

L'ozone, oxydant puissant, se décompose rapidement en dioxygène et oxygène atomique et doit être produit impérativement « in situ » grâce à l'émission d'une charge électrique sous haute tension dans un courant d'air sec. L'emploi de l'ozone sur les colorants a montré que les effluents chargés réagissent différemment selon leur composition. Les rejets contenant des colorants dispersés et soufrés sont particulièrement difficiles à décolorer, alors que ceux chargés de colorants réactifs, basiques, acides et directs le sont assez rapidement. Bien que le pouvoir oxydant de l'ozone soit élevé, une minéralisation complète par ozonation est très difficile.

I.9.2.1.3. PHotocatalyse de peroxyde d'hydrogène (TiO_2 /UV/H_2O_2) :

L'efficacité de la dégradation Photochimique est considérablement améliorée par l'ajout de catalyseurs semi-conducteurs homogènes ou hétérogènes. Parmi les Photocatalyseurs les plus communément rencontrés, l'oxyde de titane (**TiO_2**) présente une stabilité Photochimique et une activité Photocatalytique favorable au traitement des colorants. L'excitation des électrons à la surface du semi-conducteur par les Photons UV, d'énergie supérieure à l'énergie d'activation du semi-conducteur crée des trous déficients en électrons dans les couches de valence, aboutissant à la formation du radical hydroxyle et de l'anion superoxyde. La décoloration et la dégradation des colorants sont gouvernées par les réactions oxydantes dont l'efficacité dépend de la concentration en oxygène.

I.9.3. Traitements biologiques :

I.9.3.1. Décoloration par les champignons :

Les champignons blancs de putréfaction (white-rot fungi) sont capables de dégrader la lignine, structure polymère des plantes. Phanerochaete chrysosporium est le champignon le plus étudié en regard de la dégradation des xénobiotiques tels que les dioxines, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**HAP**) et autres composés organiques chlorés.

I.9.3.2. Décoloration par les actinomycètes :

Les actinomycètes, en particulier l'espèce Streptomyces, produisent les peroxydases extracellulaires qui jouent un rôle primordial dans la biodégradation de la lignine. Ces peroxydases sont impliquées dans l'oxydation de la lignine aboutissant à la production de composés polymériques hydrosolubles. La capacité des actinomycètes à décolorer mais aussi à minéraliser les colorants textiles, notamment azoïques, a été étudiée initialement par trois groupes de chercheurs.

I.9.3.3. Décoloration par des algues :

L'action décolorante des algues a fait l'objet d'un nombre très limité de travaux. Une étude réalisée par Jinqi et Houtian a montré que les espèces Chlorella, Oscillatoria et Spirogyra étaient capables de dégrader les colorants azoïques. Leur action décolorante dérive de l'expression d'une azoréductase (enzyme responsable de la fission de la liaison azote-azote) aboutissant à la production des amines aromatiques correspondantes qui sont par la suite complètement oxydées.

I.9.3.4. Décoloration par les levures :

Dans la littérature, les études portant sur la dégradation des colorants azoïques par des levures sont très limitées. Récemment, Ramalho et al. (**2002**) ont testé la souche de levure Candida zeylanoides pour réduire des colorants azoïques modèles. En **2004**, cette même équipe a pu caractériser l'activité enzymatique responsable de la dégradation des colorants azoïques chez Issatchenkia occidentalis et présenter un an plus tard le système enzymatique d'azoréduction impliqué dans un travail avec Saccharomyces cerevisiae.

I.9.3.5. Décoloration par les bactéries :

De nombreuses études ont montré la capacité des bactéries à dégrader les colorants. Contrairement aux champignons et aux actinomycètes, qui dégradent les colorants par voie extracellulaire (implication des **LiP**, **MnP**, laccases, etc.), les bactéries agiraient plutôt par voie intracellulaire. L'action décolorante dépendrait alors non seulement de l'activité enzymatique cytoplasmique mais aussi de la filtration des molécules à travers la membrane cellulaire [34].

I.10.Conclusion :

L'étude des colorants révèle leur omniprésence dans divers secteurs, notamment l'industrie textile, l'agroalimentaire et la cosmétique. Leur utilisation est largement répandue en raison de leurs propriétés esthétiques et fonctionnelles. Toutefois, leur impact environnemental et leur toxicité suscitent des préoccupations croissantes.

En effet, de nombreux colorants synthétiques, en particulier ceux issus de dérivés pétrochimiques, présentent des risques pour la santé humaine et les écosystèmes. Leur rejet dans l'environnement, en l'absence de traitement adéquat, entraîne une pollution significative des eaux, affectant la faune et la flore aquatiques. De plus, certains colorants sont persistants et difficiles à biodégrader, ce qui accentue leur impact à long terme.

Cette première analyse met ainsi en évidence la nécessité d'une régulation plus stricte et du développement d'alternatives plus respectueuses de l'environnement, notamment les colorants d'origine naturelle ou les procédés de dégradation avancés. La suite de ce mémoire approfondira ces aspects en étudiant les solutions potentielles pour réduire les effets néfastes des colorants sur l'environnement et la santé.

CHAPITRE II

BIOSORPTION DES COLORANTS: ASPECTS CINÉTIQUES ET REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. Introduction :

L’augmentation de la pollution des eaux due aux rejets industriels, notamment les colorants synthétiques, constitue une préoccupation environnementale majeure. Ces substances, largement utilisées dans divers industries (textile, papier …), sont souvent résistantes à la biodégradation et peuvent être toxiques pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine [1].

Face aux limites des traitements conventionnels, la biosorption est apparue comme une alternative efficace et économique pour l’élimination des colorants des eaux usées. La biosorption repose sur la capacité de certains matériaux biologiques (biomasse, résidus agro-industriels, etc.) à fixer et retenir des polluants en solution, grâce à divers mécanismes tels que l’adsorption Physique, l’échange ionique et la complexation chimique [2]. Cette approche présente plusieurs avantages, notamment une faible consommation d’énergie, un coût réduit et une possibilité de régénération du biosorbant [3].

II.2. Définition de l’adsorption :

L'adsorption, à ne pas confondre avec l'absorption, est un Phénomène Physique qui se produit lorsque des molécules d'une substance (appelée adsorbat) se lient à la surface d'un matériau solide ou liquide (appelé adsorbant). Cette interaction se produit sans qu'il y ait de réaction chimique entre l'adsorbant et l’adsorbat, et les molécules adsorbées restent généralement à la surface du matériau. [4]

II.3. Définition de la biosorption :

La biosorption est un processus rapide indépendant de l’énergie sur lequel les matériaux biologiques ou les biopolymères agissant comme absorbants ont la capacité d’éliminer les polluants, tels que les métaux lourds des eaux usées, par des voies d’absorption métaboliques ou Physico-chimiques. [5]

II.4. Les avantages de la biosorption : [6]

Une alternative écologique : Les méthodes telles que la précipitation chimique et la filtration nécessitent le plus souvent des produits chimiques nocifs ou des processus à forte intensité énergétique.

La biosorption offre une alternative durable et naturelle qui réduit les dommages causés à l'environnement tout en traitant efficacement la pollution.

Rentable et accessible : La biosorption utilise des matériaux biologiques peu coûteux, tels que les déchets agricoles et les algues, ce qui en fait une option abordable pour le contrôle de la pollution. Son accessibilité et sa disponibilité en font une solution attrayante pour les pays en développement.

Protection de la santé humaine : En éliminant les polluants à base de métaux lourds, la biosorption peut réduire l'exposition aiguë aux métaux cancérigènes dans les eaux usées et la chaîne alimentaire, ce qui favorise un environnement sain.

II.5. Types d'adsorption :

Selon les énergies de liaison mises en jeu, Il existe deux types d'adsorption : la chimisorption et la Physisorption [7].

II.5.1. Adsorption Physique :

L'adsorption Physique ou Physisorption est un Phénomène Physique met en jeu de faibles interactions entre entités moléculaires comme les forces d'attraction de van der Waals et des forces dues aux interactions électrostatiques de polarisation. Ces forces attractives sont de nature Physique. Ce Phénomène est réversible et peu spécifique. L'adsorption Physique est rapide et généralement limitée par les Phénomènes de diffusion. La force des interactions mises en jeu peut être estimée par l'énergie d'adsorption Physique qui est comprise entre 5 et 40 KJ/mol est considérée comme faible. L'adsorption Physique est donc favorisée par une baisse de la tempurature et peut se faire en monocouche ou multicouches. [8,9]

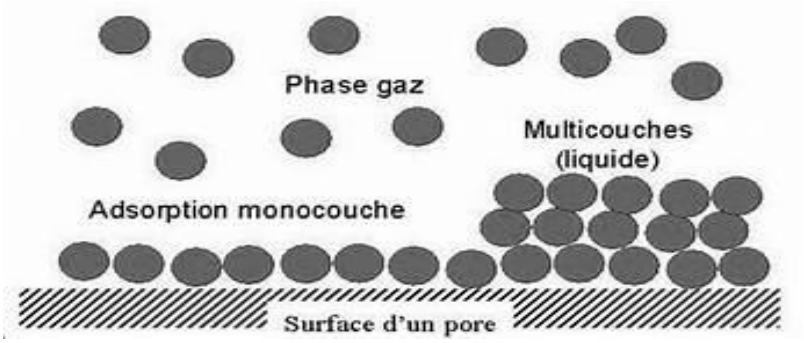


Figure II.1: *schéma de l'adsorption Physique [10]*

II.5.2. Adsorption chimique (chimisorption) :

La chimisorption résulte de l'établissement d'une liaison chimique entre l'adsorbat et l'adsorbant dont l'énergie de liaison est supérieure à 40 kJ/mol [11]. Elle est essentiellement irréversible et lente. Très spécifique, elle s'accompagne d'une forte variation d'énergie d'activation [12].

La comparaison des deux types d'adsorption pourrait être appréciée à partir du tableau suivant.

Tableau II. 1 : *Différences entre l'adsorption Physique et chimique [13].*

Propriétés	**Adsorption Physique**	**Adsorption chimique**
Energie d'adsorption	5a10Kcal/mol	20à100Kcal/mol
Température de processus	d'équilibre	Elevée
Nature de liaison	PHysique (Van der Waals)	Chimique
La désorption	Plus ou moins parfait	Difficile
Energie d'activation	Non appréciable	Peut être mise en jeu
La cinétique	Très rapide	Lente
Etat de surface	Formation de multicouche	Formation de monocouche

II.6. Description du mécanisme d'adsorption :

L'adsorption se produit principalement en quatre étapes. La figure II.2 représente un matériau (adsorbant) avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptibles de rentrer en interaction avec le solide [14].

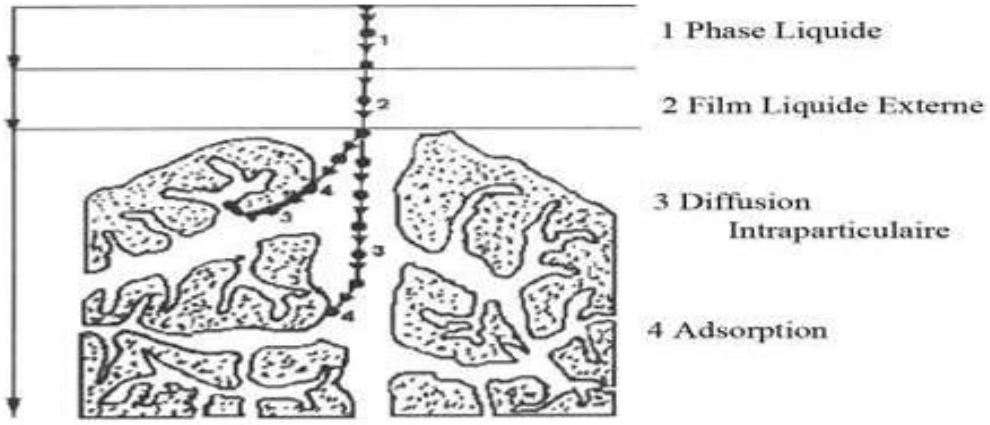


Figure II.2 : *mécanisme de transport d'un adsorbat au sein d'un grain [14].*

1) Le soluté se diffuse depuis la Phase liquide externe jusqu'à la zone proche de la surface de l'adsorbant.

2) Il migre ensuite à travers le film liquide jusqu'à atteindre la surface des grains.
3) Une fois à la surface, la matière pénètre dans la structure poreuse des grains et se déplace vers les sites actifs.
4) Enfin, l'adsorption a lieu lorsque le soluté interagit avec les sites actifs, où il reste immobilisé.

II.7. Isothermes d'adsorption :

II.7.1. Classification des isothermes d'adsorption :

L'allure de la courbe d'isotherme varie selon le couple adsorbat-adsorbant étudié. Les isothermes d'adsorption des solutés à solubilité limitée ont été classées par Giles et coll. en quatre principales classes [15] :

Classe L : les isothermes relatives à ce type présentent à faible concentrations une concavité tournée vers le bas, ce qui suggère une saturation progressive du solide, l'adsorption devient plus difficile lorsque le degré de recouvrement augmente. Ce comportement se rencontre lorsque l'adsorption du solvant est faible et les molécules sont adsorbées horizontalement ce qui minimise leurs attractions latérales [16 ;17].

Classe S : les isothermes de cette classe présentent, à faibles concentrations, une cavité tournée vers le haut. Ce type se rencontre lorsque les molécules du soluté ne s'accrochent au solide que par l'intermédiaire d'un seul groupement, et l'adsorption du solvant est appréciable, du fait que l'adsorption devient progressivement plus facile lorsque la quantité adsorbée croit, il existe un effet de synergie coopératif ; les molécules adsorbées facilitent l'adsorption des autres molécules à cause de l'attraction latérale, ceci donne une couche adsorbée dans laquelle les molécules sont orientées verticalement. Cet arrangement est favorisé lorsque le solvant rivalise avec le soluté pour l'occupation des sites d'adsorption [16 ;17].

Classe H : C'est un cas particulier de l'isotherme de type L. Ce cas distingué des autres parce que le soluté montre parfois une affinité si élevée pour le solide que la pente initiale ne peut pas être distinguée de l'infini, même si cela n'a pas de sens du point de vue thermodynamique [18].

Classe C : les isothermes de cette classe sont des droites passant par l'origine ce qui signifie qu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites avec un

partage constant jusqu'à un palier. La linéarité montre que le nombre de sites libres reste constant au cours de l'adsorption. En effet, les sites sont créés au cours de l'adsorption ce qui implique que les isothermes de cette classe sont obtenus quand les molécules de soluté sont capables de Chapitre I Etude bibliograPhique modifier la texture du substrat en ouvrant des pores qui n'ont pas été ouverts préalablement par le solvant. Ce type concerne surtout les molécules flexibles pouvant pénétrer dans les pores pour y déplacer le solvant [16].

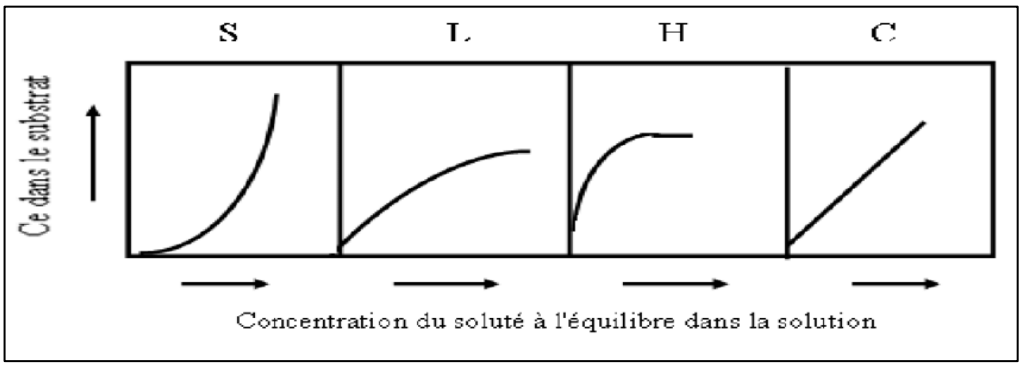


Figure II.3 : *classification des isothermes d'adsorption selon Giles et al [19].*

II.7.2. Modèles d'isothermes :

II.7.2.1. Isotherme de Langmuir :

L'isotherme de Langmuir décrit de façon simple la formation d'une monocouche d'adsorbat sur une surface. Ce modèle fut mis en équation par Irving Langmuir en **1918** [20].

Selon ce modèle, la molécule adsorbée est située sur un site bien défini du matériau adsorbant (adsorption localisée). Chaque site n'est susceptible de fixer qu'une molécule. L'énergie d'adsorption de tous les sites est identique et indépendante de la présence de molécules adsorbées sur les sites voisins (surface homogène et pas d'interaction entre les molécules adsorbées). [20]

L'équation modélisant l'adsorption est la suivante :

$$\boldsymbol{Q_e = Q_m \frac{K_1\, C_e}{1 + K_1\, C_e}} \qquad (\mathbf{II.1})$$

Avec :

$\boldsymbol{Q_m}$**:** représente la capacité maximale d'adsorption.

K_1 : constante d'équilibre, égale au rapport des vitesses d'adsorption et de désorption.

Cette équation peut être linéarisée sous la forme suivante :

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m K_1} + \frac{C_e}{Q_m} \qquad (\mathbf{II.2})$$

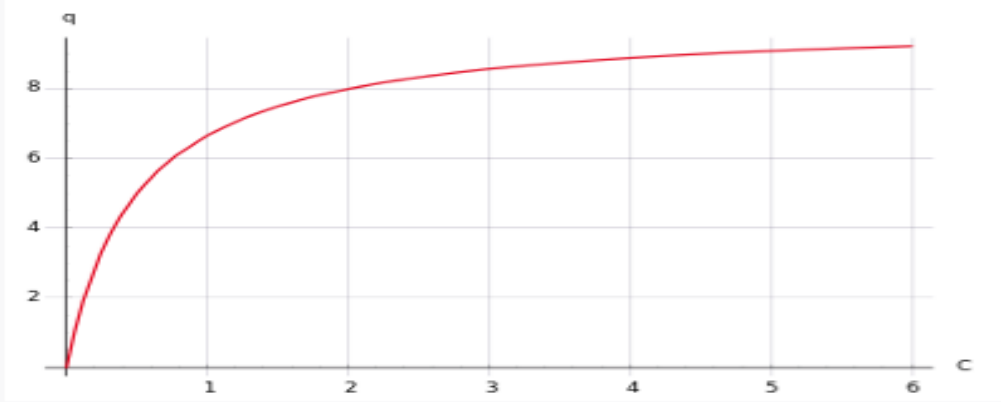


Figure II.4 : *Isotherme d'adsorption selon Langmuir. [21]*

II.7.2.2. Isotherme de Freundlich :

Est une équation d'adsorption établie empiriquement par Herbert Freundlich en **1909**. Initialement développée pour l'adsorption de gaz sur un adsorbant solide, elle peut être appliquée à une adsorption en solution . L'isotherme de Freundlich, par sa simplicité, est une isotherme populaire, tout comme l'isotherme de Langmuir. Leurs applications diffèrent cependant, car elles ne sont pas destinées aux mêmes types d'adsorption. [22] [23] Ce modèle est décrit par la formule empirique suivante :

$$Q_e = K_f . C_e^n \qquad (\mathbf{II.3})$$

Avec :

Q_e **:** quantité du soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre, exprimée en (mg/g).

K_f **:** constante de Freundlich associée à la capacité d'adsorption.

n **:** paramètre énergétique de Freundlich, c-à-d l'affinité du soluté vis-à-vis de l'adsorbant.

C_e **:** concentration de l'adsorbat à l'équilibre dans la Phase liquide, exprimée en (mg/l).

La linéarisation de l'équation de Freundlich donne :

$$\ln Q_e = \ln K_f + n \ln C_e \qquad (\mathbf{II.4})$$

En représentant Ln qe en fonction de Ln Ce, on obtient une droite dont la pente est 1/n et l'ordonnée à l'origine est **Ln** K_f.

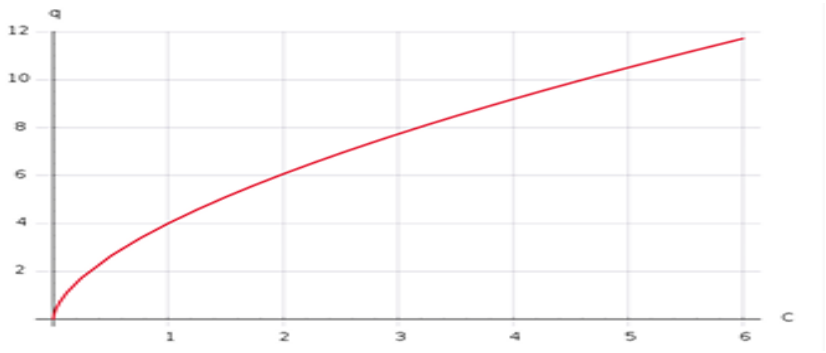


Figure II.5 : *Isotherme d'adsorption selon Freundlich. [23]*

II.8. Les facteurs influençant l'adsorption :

Un grand nombre de paramètres et de propriétés, du support et du substrat, peuvent influencer le processus d'adsorption et notamment la capacité et la cinétique de rétention d'une substance sur un support. Il s'agit des paramètres suivants [24 ; 25] :

II.8.1. La température :

La quantité adsorbée à l'équilibre augmente quand la température diminue, elle est donc favorisée par les basses températures.

II .8.2. La surface spécifique :

La surface spécifique est une donnée essentielle de la caractérisation des solides et des matériaux poreux. Il est clair que l'on cherche à conférer aux adsorbants une grande surface spécifique, cette grandeur désigne la surface accessible rapportée à l'unité de poids d'adsorbant.

II .8.3. Le PH :

Le PH détermine le degré d'ionisation des métaux dans l'eau et par conséquent leurs mobilités qui influent sur leur adsorption.

II.9. La cinétique d'adsorption :

La cinétique du Phénomène d'adsorption est déterminée par le transfert de matière à l'interface liquide - solide où sont localisées toutes les résistances au transfert. L'équation fondamentale est celle qui régit les Phénomènes de transfert de matière en général entre deux Phases, en exprimant le flux d'adsorption proportionnellement à l'écart entre la quantité adsorbée q à l'instant t et la quantité adsorbée à l'équilibre q_e.

Elles ont montré que l'adsorption des adsorbats est relativement rapide sur un solide non poreux. L'équilibre est atteint en quelques minutes. Cependant, l'adsorption sur un solide poreux est beaucoup plus lente [26].

II.10. Modèles Cinétiques d'adsorption :

Plusieurs modèles de cinétique ont été utilisés afin d'interpréter les données expérimentales. Les deux modèles de cinétique couramment utilisés sont : le modèle de pseudo-premier-ordre (PPO), le modèle de pseudo-second-ordre (PSO).

II.10.1. Modèle pseudo-premier ordre :

Le modèle cinétique du premier ordre connu par l'équation de Lagergren [27] est basé sur la supposition que le taux de rétention d'un soluté, au cours du temps, est proportionnel à la différence entre la quantité adsorbée à l'équilibre et celle adsorbée à un instant t, soit :

$$\frac{dqt}{dt} = K_1(q_e - q_t) \qquad (\mathbf{II.5})$$

Avec :

q_e**:** quantité d'adsorbat à l'équilibre par gramme d'adsorbant (mg. g^{-1}) .

t : le temps de contact (min).

K_1 : Constante de vitesse d'adsorption pour le premier ordre (min^{-1}) .

L'intégration de l'équation donne :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - K_1 t \qquad (\mathbf{II.6})$$

II.10.2. Modèle pseudo-second ordre :

Le modèle cinétique du second ordre ou modèle de Ho et McKay [28,29], ce dernière suggère l'existence d'une chimisorption, un échange d'électrons par :

$$\frac{dqt}{dt} = K^2 (q_e - qt) \qquad (\mathbf{II.7})$$

L'intégration de cette équation donne :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \qquad (\mathbf{II.8})$$

Avec :

K_2 **:** constante de vitesse d'adsorption pour le pseudo-second ordre (min^{-1}).

q_e **:** la quantité d'adsorbât à l'équilibre par gramme d'adsorbant ($mg.g^{-1}$).

La quantité d'adsorption à l'équilibre q_e et la constante du pseudo-second ordre taux K_2 peuvent être déterminées expérimentalement à partir de la pente et de l'ordonnée à l'origine de t/q_t en fonction de **t** .

Ces deux modèles mathématiques ont été choisis d'une part pour leur simplicité et d'autre part pour leur application dans le domaine d'adsorption des composés minéraux et organiques sur les différents adsorbants.

II.11. Facteurs caractérisant l'adsorbant :

Les caractéristiques d'un adsorbant reposent sur un ensemble de propriétés Physico-chimiques intrinsèques, dont voici un aperçu non exhaustif.

II.11.1. Propriétés chimiques : [30]

• Affinités polaires (hydroPhile, hydroPhobe).
• Teneur en eaux.
• Teneur en composés solubles.
• Taux de cendres.
• Tenue en gaz vecteurs.
• Propriétés catalytique.

II.11.2. Propriétés Physiques : [31]

• Forme (poudres, granulés…).
• Dimensions.
• Surface spécifique.
• Distribution des diamètres de pores.
• Volume poreux.
• Densité (apparente, réelle…).
• Tenue mécanique.

II.12. Généralité sur le charbon actif :

II.12.1. Définition de charbon actif :

Le charbon actif est un matériau poreux qui a subi un traitement d'activation à sa surface, créant de nombreux micropores et mésopores qui augmentent considérablement sa surface. Cela permet au charbon actif de posséder une forte capacité d'adsorption, capable de capturer et de piéger de grandes quantités de polluants organiques et inorganiques. Le charbon actif joue un rôle irremplaçable dans la protection de l'environnement, la purification de l'eau et de l'air, la médecine et les industries chimiques. [32]

II.12.2. Les différentes formes du charbon actif :

Le charbon actif peut être produit à partir de toute matière organique végétale riche en carbone : écorce, pâte de bois, coques de noix de coco, coques de cacahuètes, noyaux d'olives, ou bien de houille, tourbe, lignite, résidus pétroliers.
Il existe trois formes principales de charbon actif :

Tableau II.2 : *différentes formes de charbon actif.*

Le Charbon Actif en Poudre (CAP). [33]	**Charbon Actif Granulaire (CAG). [34]**	**Le Charbon Actif Extrudé. [35]**
		

- **Le charbon actif en poudre (CAP)** : Les charbons actifs en poudre présentent une granulométrie inférieure à 100 µm avec un diamètre moyen situé entre 15 et 25µm. Ils ont une large surface externe et une faible profondeur de diffusion, ce qui engendre une vitesse d'adsorption très rapide [36]. Ce type de charbon actif est surtout destiné aux traitements des composés en Phase gazeuse [37].

- **Le charbon actif en grain (CAG) :** La forme granulaire du charbon est caractérisée par une taille des particules supérieure à 1mm, un faible diamètre des pores, une grande surface interne et une surface externe relativement faible. Il en résulte que les

Phénomènes de diffusion à l'intérieur des pores prennent une grande importance dans le processus d'adsorption [36].

- **Le charbon actif extrudé :** est de forme cylindrique avec des diamètres allant de 0.8 mm à 5 mm. Il est principalement utilisé pour des applications en Phase gazeuse à cause de sa faible perte de charge, de sa grande résistance mécanique et de sa faible teneur en poussières. [38]

II.12.3. Structure de CA :

II.12.3.1. La structure Physique (surface spécifique) :

La structure du charbon actif est proche de celle du graPhite, ordonnée sous la forme d'un empilement de couches successives planes d'atomes de carbone disposés en hexagones réguliers. Cette structure poreuse bien développée est formée majoritairement par des micropores et des mésopores de différents diamètres [39]. Du fait de l'activation, elle est constituée de nombreux pores de taille variable qui permettent de développer une surface interne très grande. La surface spécifique, exprimée en $m^2.g^{-1}$, et la distribution des diamètres des pores constituent ainsi deux paramètres clés du charbon [40].

II.12.3.2. La structure chimique (fonctions de surface) :

De nombreux hétéroatomes (oxygène notamment) sont présents sur le squelette carboné du charbon et sont à l'origine de groupements fonctionnels formés lors de l'activation. L'activation chimique tend à augmenter le nombre de fonctions acides [41]. Ces groupements fonctionnels et des impuretés (métaux et alcalins principalement) renforcent les propriétés absorbantes du matériau et constituent des sites d'adsorption pour les composés polaires. [40]

Le chercheur Boehm a classé les fonctions de surface acides en 4 catégories, qui sont :

• **Groupe I** : fonctions acides relativement fortes (acides carboxyliques).
• **Groupe II** : fonctions lactones.
• **Groupe III** : fonctions Phénoliques.
• **Groupe IV** : fonctions carbonyles. [42]

C’est la combinaison des propriétés de la porosité et des fonctions de surface qui va avoir une influence sur l’adsorption, plus ou moins sélective, des composés organiques. [40]

La structure chimique de base du charbon actif est très proche de la structure du graPhite pur. Le cristal de graPhite est composé de couches d'hexagones fusionnés maintenus par de faibles forces de van de Waals. Les couches sont maintenues par des liaisons carbone-carbone. [43]

Le charbon actif est une forme désorganisée de graPhite, en raison des impuretés et de la méthode de préparation (processus d'activation). [43]
La structure poreuse développée dans le charbon actif, et donc les propriétés finales du charbon actif, dépendent principalement de la matière première et du processus de production. [43]

II.12.3. Les utilisations du charbon actif : [44]

Le charbon actif est utilisé pour :
• la décoloration des jus sucrés et des graisses végétales.
• la production d'eau portable pour ses propriétés de catalyseur dans le traitement de l’eau.
• la récupération des solvants.
• le conditionnement de l’air.

II.12.4. La zéolithe :

Les zéolithes sont des adsorbants de squelette cristallin aluminosilicate tridimensionnel constitué de tétraèdres SiO_4 et AlO_4, de formule globale (AlO_2M,$nSiO_2$) où M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux. Il existe plus de 100 espèces de zéolithes, différant par la valeur de n et la structure cristallograPhique. Ils ont une structure microporeuse faite de cavités et de canaux qui leur confère des propriétés adsorbants. Ils sont sous forme de poudre, granulés ou extrudés. La surface spécifique ne dépasse pas **900** m^2 /g mais, ils présentent une bonne sélectivité [45].

II.12.5. L’argile :

L'argile constitue également une alternative potentielle au charbon actif. Tout comme les zéolites, les minéraux argileux sont des composants inorganiques importants du sol. Leur capacité de sorption provient de leur grande surface spécifique et de leurs capacités d'échange. La charge négative de leur structure leur confère la capacité d'attirer

les ions métalliques. Les États-Unis et les anciennes républiques de l'Union soviétique, comme la Lituanie, la Géorgie et le Kazakhstan, sont réputés pour leurs importants gisements de minéraux argileux naturels. [46]

II.12.6. Les déchets industriels :

Constituent également un adsorbant potentiellement peu coûteux pour l'élimination des métaux lourds. Leur capacité de sorption est faiblement traitée. Généralement, les déchets industriels sont des sous-produits. Disponibles localement en grandes quantités, ces matériaux sont peu coûteux. En Inde, la faisabilité technique de divers types de déchets industriels, tels que les boues résiduaires, la lignine, l'hydroxyde de fer (**III**) et les boues rouges, pour l'élimination des métaux lourds des eaux contaminées a été étudiée. [46]

II.13. La fabrication de charbon actif :

Ils existent quelque procédé de fabrication du charbon actif à partir des matières premières d'origines biomasses telle que :

II.13.1. Activation Physique :

L'activation Physique ou la gazéification partielle du carbonisât se fait avec des gaz oxydants tels que la vapeur d'eau ou le dioxyde de carbone à haute température **(750-1000°C).** Le niveau de température joue un rôle important dans le processus d'activation. En effet, à basse température, la cinétique d'oxydation est faible et l'activation conduit à une distribution de la taille de pores homogènes dans tout le volume du matériau. Quand la température augmente, la vitesse de réaction croît plus rapidement que la diffusion du gaz oxydant. Le procédé est donc limité par le transport du gaz oxydant au sein du matériau, ce qui conduit à une perte d'homogénéité de la porosité. [47]

II.13.2. Activation chimique :

L'activation chimique est un procédé alternatif qui met en jeu un agent chimique tel qu'un acide, une base ou un sel (exemple : $\boldsymbol{H_3\,PO_4}$**, KOH ou** $\boldsymbol{Zn\,Cl_2}$**)** favorisant l'oxydation et/ou déshydratation, puis une réorganisation structurale à des températures entre **400 °C** et **800 °C** à l'abri de l'air. Le précurseur est imprégné avec $\boldsymbol{H_3\,PO_4}$ afin d'améliorer le développement d'une structure poreuse à la suite d'un traitement thermique.

L’activation par l’acide PhosPhorique a donné de meilleurs résultats pour l’obtention de grandes surfaces en comparaison avec l’activation Physique pour certains précurseurs. [48]

II.14. Les types de charbon :

II.14.1. D’origine végétale :

Le charbon végétal actif est obtenu par carbonisation de la matière végétale grâce à un procédé appelé activation. La surface d’adsorption est ensuite augmentée. Ce procédé a pour effet de créer à la surface du charbon d’innombrables pores ou orifices microscopique qui vont attirer les molécules des différentes substances chimiques. [49]

II.14.2. D’origine animale :

Les charbons actifs sont essentiellement obtenus à partir d’ossements d’animaux, mais aussi à partir leur sang et de leur chair. [50]

II.14.3. D’origine minérale :

Les charbons actifs sont obtenus en grandes majorité, à partir de matériaux combustibles comme le charbon minérale (houille, coke) ou la tourbe. [50]

II.15. Conclusion :

La biosorption est une méthode efficace et écologique pour éliminer les polluants organiques, notamment les colorants. L’étude cinétique a permis de mieux comprendre les mécanismes d’adsorption. Ce chapitre également souligné l’efficacité du charbon actif en tant que biosorbant.

CHAPITRE III

NOYAUX DE DATTES : PROPRIETES ET COMPOSITION

III.1. Introduction :

La science des biomatériaux est l'un des domaines les plus intéressants, jusqu'à nos jours de nombreuses questions sont toujours sans réponse. La difficulté le plus souvent abordée dans l'étude des biomatériaux est celle de la réponse de l'organisme aux implants. Cette réponse n'est pas toujours favorable à cause de nombreux problèmes qui peuvent apparaitre après l'implantation. [1]

III.2. Définition de biomatériau : [1]

Est un matériau non viable conçus pour interagir avec les systèmes biologiques, il participe à la constitution d'un dispositif destiné à être mis en contact avec l'environnement Physiologique. Le facteur vraiment important qui distingue un biomatériau des autres matériaux est sa capacité de pouvoir être maintenu en contact avec des tissus du corps humain sans causer d'endommagements de quelque nature que ce soit.

D'après Jandt, l'évolution des biomatériaux qui se distinguent, en tenant compte des différents besoins, des matériaux implantables en contact avec le corps humain et en milieu biologique.

- La première génération comprend les matériaux en acier, en polyéthylène et les métaux nobles tel que l'or.
- La deuxième génération comprend des matériaux utilisés auparavant dans l'aéronautique, mais ils sont inertes et passifs avec d'excellentes propriétés mécaniques.
- La troisième génération a fait son apparition. Elle comprend les matériaux qui ont des similitudes avec les tissus de l'os au moins dans sa composition chimique comme l'hydroxyapatite, les composés de calcium-PhosPhates et les bio-glass.
- La quatrième génération présente une véritable révolution. Il s'agit des matériaux implantables qui interagissent en profondeur avec les systèmes biologiques. Ces matériaux peuvent même lutter contre les infections qui apparaissent après l'implantation.

III.3. Historique des dattes :

Le genre PHoenix dactylifera L. fait parti de la classe des Monocotylédones, d'une famille de plantes tropicales (Palmoe ou Arecaceae) est représentée par 200 genres et 2700 espèces réparties en six sous familles, la sous famille des CoryPhoideae elle-même subdivisée en trois tribus. [2]

III.4. Formation et évolution de la datte :

La datte est une baie ayant une seule graine communément appelée noyau. Elle comporte une enveloppe fine cellulosique, l'épicarpe ou peau, un mésocarpe plus au moins Charnu, de consistance variable, présentant une zone périPhérique de couleur plus soutenue et de texture compacte et une zone interne de teinte plus claire et de texture fibreuse, l'endocarpe, réduit à une membrane entourant la graine ou noyau. [3]

La partie comestible de la datte, est dite "chair" ou "pulpe", donc elle se compose de :

- Un épicarpe ou enveloppe cellulosique fine dénommée peau.
- Un mésocarpe généralement charnu, de consistance variable selon sa teneur en sucre et de couleur soutenue.
- Un endocarpe de teinte plus clair et de texture fibreuse, parfois réduit à une membrane parcheminée entourant la graine.

La Partie non comestible, Elle est forme allongée, plus au moins volumineuse, lisse ou pourvue de protubérances latérales en arêtes ou en ailettes, avec un sillon ventral assez profond et un embryon dorsal, sa consistance est dure et cornée. [4]

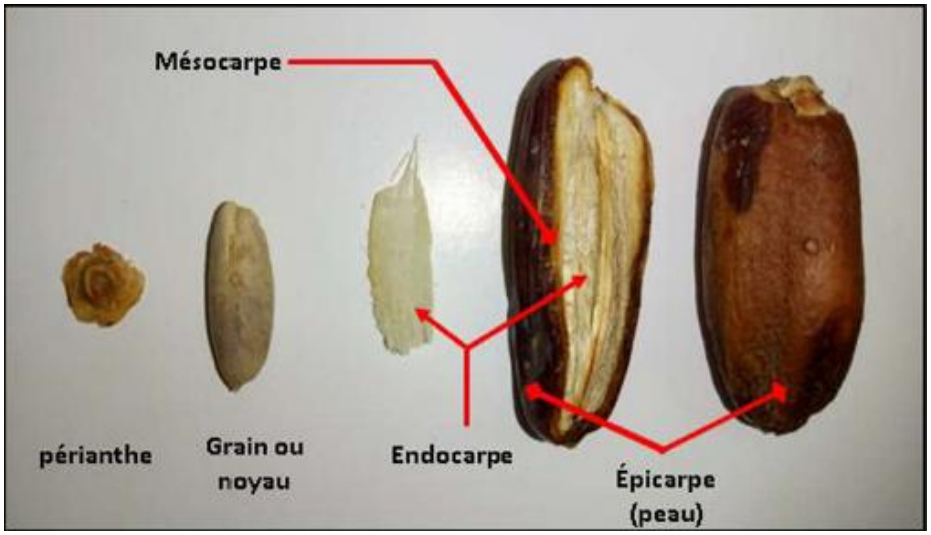


Figure III.1: *Présentation morPhologique de la datte Présentation morPhologique de la datte. [5]*

III.5. Classification :

L'une des classifications des dattes est donnée selon la consistance et les caractéristiques de ces dernières (**tableau III.**1).

Tableau III.1: *Classification des dattes selon la consistance et ces caractéristiques. [6]*

Consistance	Caractéristique	Variétés et pays
Molle	Taux d'humidité supérieur ou égal à 30%, elles sont riches en sucres invertis (fructose et glucose)	Ghars (Algérie), Ahmar (Mauritanie), Kashram et Miskrani (Egypte, Arabie Saoudite)
Demi-molle	De 20 à 30% d'humidité	Deglet-Nour (Algérie) Mehjoul (Maroc et Mauritanie), sifri et zahidi(Arabie Saoudite)
Sèche	Moins de 20% d'humidité, elles sont riches en saccharose	Degla Beida et Mech Degla (Tunisie et Algérie) et Amesrie (Mauritanie)

III.6. Répartition géograPhique du palmier dattier :

III.6.1. Dans le monde :

Chaque seconde on récolte 117 kilos de dattes dans le monde, dont 70% dans les pays arabes. Cela représente une production de 5 millions de tonnes de dattes par an. [7]

Le palmier dattier fait l'objet d'une plantation intensive en Afrique méditerranéenne et au Moyen-Orient. L'Espagne est l'unique pays européen producteur de dattes principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche. Le palmier dattier est également cultivé à plus faible échelle au Mexique, en Argentine et en Australie [8].

Les principaux producteurs de dattes dans le monde sont situés dans le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord quant à la production mondiale de dattes, elle est évaluée à 7,30 millions de tonnes dont environ 71% sont générés par les pays arabes.
L'Espagne est l'unique pays européen producteur de dattes principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche. [9]

Aux Etats-Unis d'Amérique, le palmier dattier fût introduit au XVIIIème siècle. Sa culture n'a débutée réellement que vers les années 1900 avec l'importation des variétés irakiennes. [10,11]

L'Asie comprend la plus grande part de production mondiale de dattes avec 56% en 2015, suivi par l'Afrique avec 40%.

L’Asie et l’Afrique s’accaparent à eux seules la quasi-totalité du patrimoine Phœnicicole avec 1.120.945 ha (réservé au dattier) et 96% de la production mondiale de dattes en 2015. [12]

La production mondiale de dattes varie autour de 7 millions de tonnes par année, a plus que doublé depuis les années 1980.

Cela place la datte au 5^{e} rang des fruits les plus produits dans les régions arides et semi-arides, après les agrumes, la mangue, la banane et l’ananas. Elle est bonne première parmi les fruits séchés, avant les raisins, les figues et les pruneaux. On en produit dans plus de 30 pays, les plus importants étant l’Égypte, l’Iran, l’Arabie saoudite, les Émirats arabes, l’Irak, le Pakistan et l’Algérie.

En moyenne plus de 5 millions de tonnes de dattes sont récoltées dans le monde chaque année.

III.6.1.1. Les pays producteurs de dattes :

L'Égypte est le plus gros producteur, mais les dattes voyageant peu – **90%** de la production est consommée dans son pays d'origine, notamment comme aliment pour le bétail, l'Europe est surtout approvisionnée par l'Afrique du Nord (principalement Tunisie et Algérie).

La Tunisie est le premier pays exportateur de dattes (en valeur). Le premier importateur est la France (en valeur).

L’Algérie exporte seulement **2%** de sa production de dattes, soit **12 000** tonnes sur **600 000**, et n’arrive qu’en **28e** position dans le classement des pays exportateurs de dattes, pourtant, elle est le deuxième producteur mondial après l’Irak.

Tableau III.2 : *La production mondiale de datte en 2015. [13]*

Production en tonnes. Chiffres 2015 Données de FAOSTAT (FAO)		
Égypte	1 501 799	20,89 %
Iran	1 083 720	15,07 %
Arabie saoudite	1 065 032	14,81 %
Algérie	848 199	11,80 %
Irak	676 111	9,4 %
Pakistan	526 749	7,33 %
Oman	269 000	3,74 %
Émirats arabes unis	245 000	3,41 %
Tunisie	195 000	2,71 %
Libye	174 040	2,42 %
République populaire de Chine	150 000	2,09 %
Maroc	128 000	1,78 %
Autres pays	347 528	4,55 %
Total	**7 189 789**	**100%**

III.6.2. En l'Algérie :

Le patrimoine Phœnicicole algérien est réparti sur 17 wilayas du pays et se concentre principalement dans la région sud-est. La première place est occupée par la wilaya de Biskra, avec plus 25% du patrimoine national. Sur le plan variétal, en 2015, 61% des palmiers de la wilaya sont de la variété Deglet Nour ; viennent ensuite les dattes sèches et assimilées (26 %) et la variété Ghars et assimilées (13 %). [12]

Les autres wilayas productives sont : Adrar, Laghouat, Batna, Bechar, Tamanrasset, Tebessa, Djelfa, M'sila, Ouargla, El bayadh, Illizi, Tindouf, El oued, Khenchela, Naama et Ghardaia. [14]

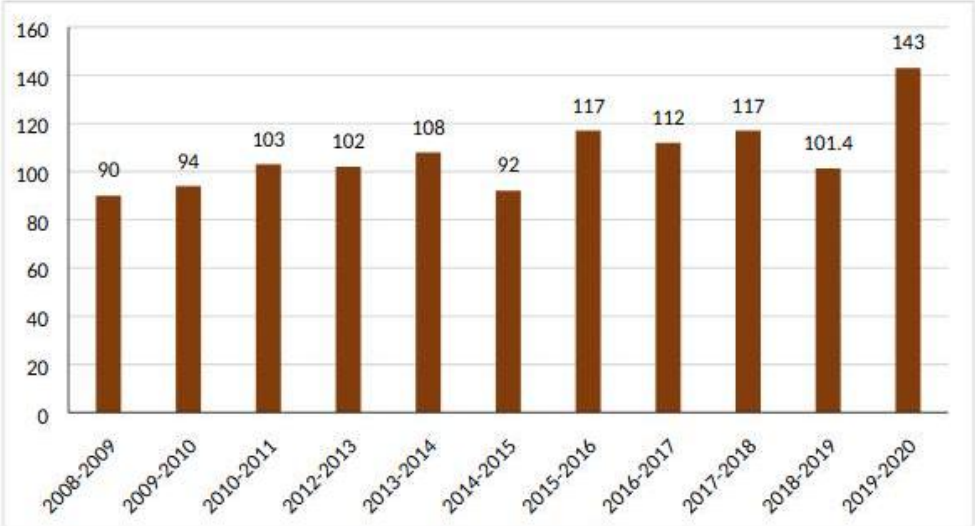


Figure III.2 : *évolution de la production des dattes [15]*

III.7. Les variétés des dattes :

Il existe environ 200 variétés de dattes cultivées en Algérie qui se différencient par leur qualité par leur saveur consistance la forme, la couleur, le poids, les dimensions et leur appréciation sur le marché. Les principales variétés sont les suivantes :

- Deglet Nour
- Degla Beida
- Mech Degla
- Ghars

Les autres variétés ont une importance économique très réduite car elles sont peu appréciées dans le Nord du pays et nullement à l'étranger. [16]

III.8. Noyau de datte :

III.8.1. Généralités sur le noyau de datte :

La datte, fruit du palmier dattier, est une baie de forme allongée, oblongue ou arrondie. Elle est composée d'un noyau, ayant une consistance dure, entoure de chair les dimensions de noyau de la datte sont très variables, de 0.5 à 3cm de longueur et d'un poids de 0.4 à 2 grammes selon les variétés. Sa couleur va de blanc jaunâtre au noir passant par les couleurs ambre, rouges, brunes plus en moins foncées. [17]

Le noyau présente 7 à 30 % du poids de la datte. Il est compose d'un album en blanc, dur et corné protégé par une enveloppe cellulosique. [18]

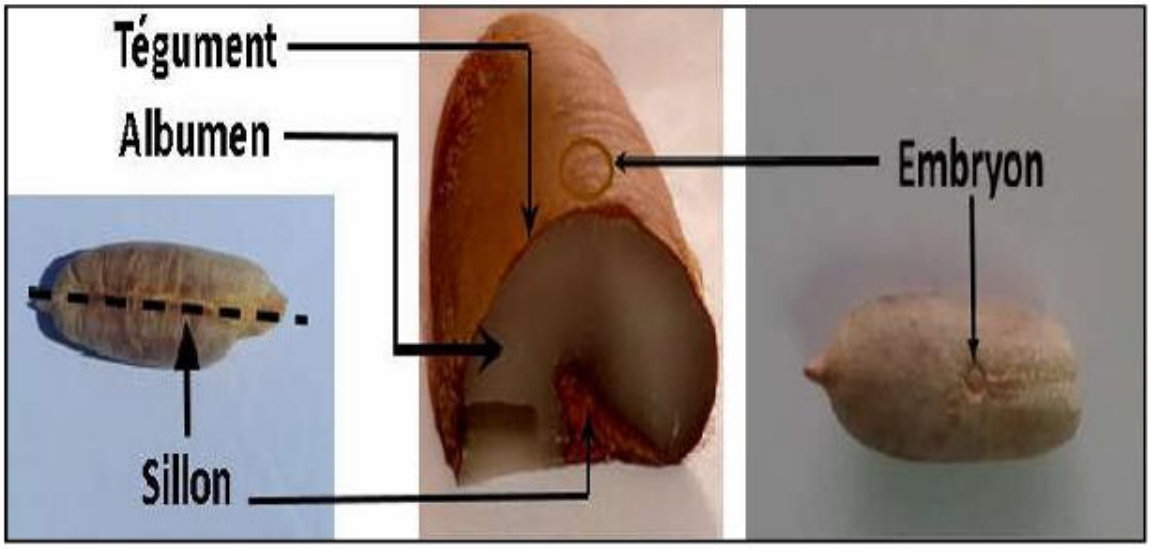


Figure III.3 : Noyau de dattes. [19]

III.8.2. Caractéristiques Physico-chimiques de ND :

III.8.2.1. Caractéristiques Physiques (morPhologie) du ND :

Selon Acourene et Tama (**1997**) [20], les caractéristiques Physiques des noyaux de dattes : la longueur, le diamètre et le poids se diffèrent d'un cultivateur à un autre voire même au sein du même cultivar provenu d'une même exploitation. Les mêmes auteurs ont montré que le poids du noyau de dattes algériennes (Ziban) peut varier de 0,6 à 1,69 g, la longueur **: 2,9 – 3,15 cm** et le diamètre : 0,58 – 1 cm. De plus, ces différences peuvent être induites par le comportement cultural, en particulier les opérations de pollinisation et de fertilisation. [21]

III.8.2.2. Composition chimique du ND :

Les noyaux des dattes renferment des compositions extractibles à valeur ajoutée élevée. Ils sont aussi riches en protéines, fibres alimentaires, composés Phénoliques, antioxydants et peuvent être utilisés pour l'amélioration de la valeur nutritionnelle des produits incorporés [22,23]. L'absence du gluten dans la farine des noyaux de dattes présente également un intérêt pour les industries alimentaires. Ainsi, ces sous-produits peuvent constituer une source peu couteuse de fibres et de sucres fermentiscibles. [24]

III.8.3. Les processus de préparation de CA :

Bansal et al en 1988 [25] ont présentés d'une manière simplifiée le processus le plus usuel pour la production d'un charbon actif sous forme poudre ou granulé.

III.8.3.1. Fabrication :

Comme on a dit précédemment le charbon actif peut être produit à partir de toute matière organique végétale riche en carbone. La fabrication de ce produit se décompose en deux étapes : la carbonisation (ou pyrolyse) et l'activation. [26]

III.8.3.2. Carbonisation (pyrolyse) :

La pyrolyse est le processus dans lequel un échantillon est soumis à des températures élevées sous atmosPhère inerte, de manière à obtenir un produit carboné solide, ainsi que des composés volatils (liquide et gazeux). Le but de la pyrolyse est d'obtenir un produit fortement carboné, avec une microporosité rudimentaire (qui pourra ensuite être développée dans le processus d'activation dans le cas d'activation Physique) ou microporosité totale (dans le cas d'activation chimique). Si le chauffage a lieu sous atmosPhère oxydante, on réalise une combustion du matériau. Si le chauffage a lieu sous atmosPhère inerte, on parle de pyrolyse. [27]

III.8.3.3. Activation :

L'activation consiste à développer la structure poreuse des matériaux. On peut distinguer deux voies d'activation : une activation Physique ou le matériau carbonisé est soumis à une atmosPhère hautement contrôlée en présence de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau à 1000°C et une autre activation chimique qui met en jeu un agent chimique

tel que le chlorure de zinc, acide PhosPhorique ou sulfurique, KOH…etc. Elle favorise la déshydratation puis une réorganisation structurelle à des tempuratures plus faibles comprises entre 400 et 600 °C en présence de catalyseurs ($P_2 O_5$, $ZnCl_2$). [27]

III.9. Conclusion :

Les noyaux de dattes représentent une alternative intéressante et durable dans le domaine des biomatériaux. Grâce à leur composition riche en fibres végétales (cellulose, hémicellulose, lignine) et leur disponibilité locale, ils offrent des perspectives prometteuses, notamment pour l'élimination des polluants organiques. Leur valorisation, particulièrement aprés des traitements d'activation, ouvre la voie à des applications efficaces et écologiques dans le traitement des eaux usées.

CHAPITRE IV

EXPERIENCES, INTERPRETATIONS ET CONCLUSIONS

IV.1 Introduction :

Dans cette partie, toutes les méthodologies analytiques mises en œuvre ainsi que les matériaux utilisés seront présentés. L'étude porte sur les noyaux de dattes comme matériau adsorbant, ainsi que sur les colorants le bleu de méthylène : **BM** et la Fuchsine acide : **FA**, objets des essais d'adsorption.

La démarche expérimentale relative au matériau comprendra la description des techniques d'échantillonnage, les étapes de préparation pour l'analyse, suivies d'une caractérisation texturale visant à déterminer ses propriétés adsorbantes.

Concernant les colorants : le **BM** et la **FA**, leurs principales propriétés Physico-chimiques seront exposées. De plus, la méthodologie d'analyse par spectrométrie d'adsorption dans le domaine su visible sera détaillée.

Enfin, le protocole expérimental relatif aux essais d'adsorption sur les noyaux de dattes sera décrit, suivi d'une interprétation approfondie des résultats obtenus.

IV.2. Matériels et Méthodes :

IV.2.1. Préparation du matériau :

Des quantités appropriées de noyaux de dattes ont été préparées afin de mener les essais de caractérisation et d'adsorption prévus dans ce travail. La préparation a consisté en plusieurs étapes successives : le séchage pour éliminer l'humidité résiduelle, le broyage afin de réduire la taille des particules, puis le tamisage pour obtenir des fractions granulométriques homogènes adaptées aux analyses expérimentales.

La matière première utilisée dans cette étude est constituée par les noyaux de dattes. Les dattes proviennent du sud de l'Algérie, plus précisément de la région de Biskra. À partir d'une quantité initiale de **6 Kg** de dattes, nous avons obtenu **352.97 g** de noyaux.



Figure IV.1 *Présentation du Matériau brut : les noyaux des dates*

IV.2.2. Les étapes de préparation du charbon actif :

Le traitement des noyaux de dattes comprend les opérations suivantes :

a) Traitement des noyaux :

- **Lavage :** les noyaux sont laissés bouillir dans l'eau distillée pendant 20 minutes à température 150°C. Cette opération est répétée trois (03) fois.
- **Séchage :** Les noyaux sont séchés à l'étuve à une température de 105°C pendant 24 heures.
- À partir d'une quantité initiale 352.97 g on obtient après le séchage **310.60 g**.
- **Broyage :** Les noyaux sont broyés avec un moulin électrique et aussi avec un mortier. On obtient une masse égale à 306.4 g.
- **Tamisage :** La poudre obtenue après le broyage est tamisée avec des tamis de différentes tailles (1mm à <500µm pour une activation efficace) avec une amplitude =60 pendant 5 min. On obtient une masse de 169.004 g.

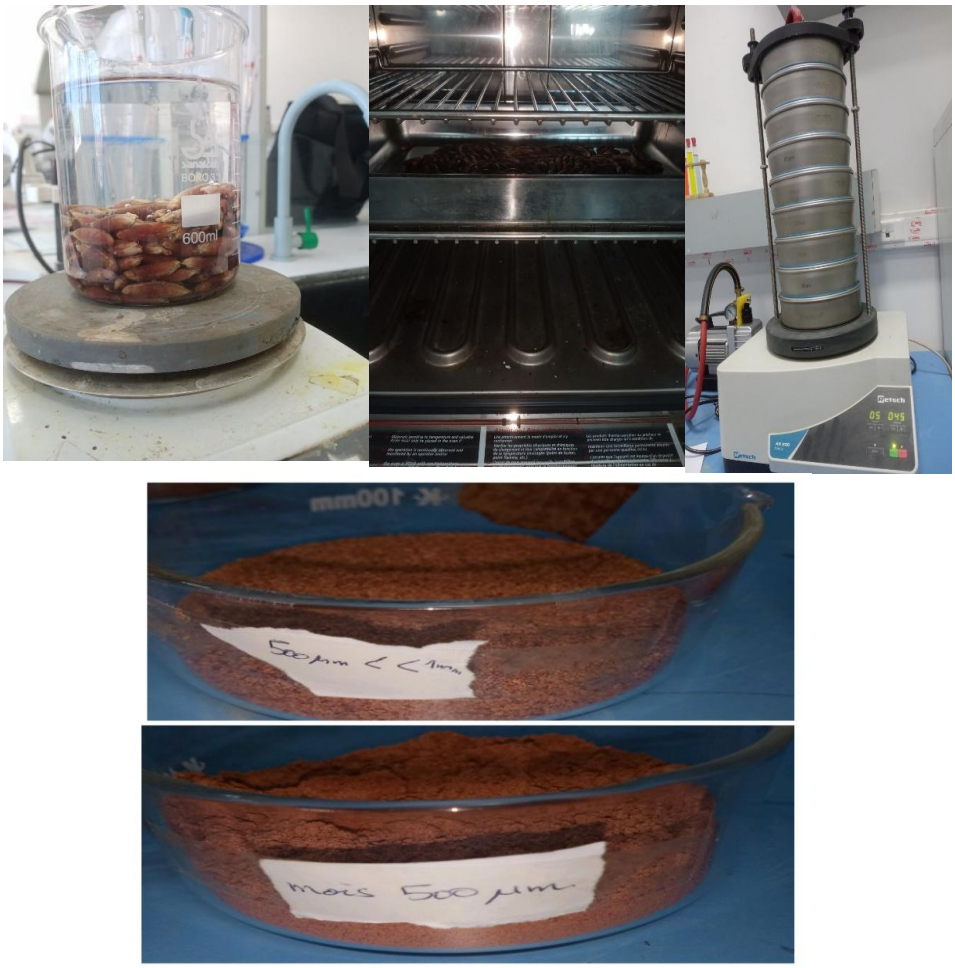


Figure IV.2 : *Les étapes de préparation de charbon actif.*

b) Carbonisation des noyaux de dattes :

La carbonisation est réalisée dans l'enceinte d'un four tubulaire (four à moufle) préchauffé à **500°C**. Cette température est maintenue pendant une durée de **3 heures** pour obtenir un résidus sec exempt de résines ou autres composés non carboné. [1]

Puis, récupérer le charbon carbonisé et le stocker dans un récipient hermétique. On obtient après la carbonisation une masse de **30.232 g**.



Figure IV.3 : La poudre obtenue après carbonisation.

c) Activation du charbon avec l'acide PhosPhorique :

Parmi les acides, l'acide PhosPhorique a été très largement utilisé pour l'activation des charbons. Pour cela, ces noyaux sont imprégnés dans une solution d'acide PhosPhorique (**H_3PO_4**) de concentration **85%** (on prend **V=47.05 ml** de H_3PO_4 et **52.95 ml** de l'eau distillée) [2]. L'imprégnation se fait en immergeant les noyaux dans la solution ou en les agitant pour assurer une distribution homogène de l'acide. Ce mélange est laissé à macérer pendant **24 H** à tempurature ambiante.

Les noyaux sont ensuite extraits avec un papier filtre et séchés à **T=100°C** pour éliminer l'excès d'humidité. (**Figure IV.4**)

À partir de masse obtenue après la carbonisation on obtient **47.775 g**.

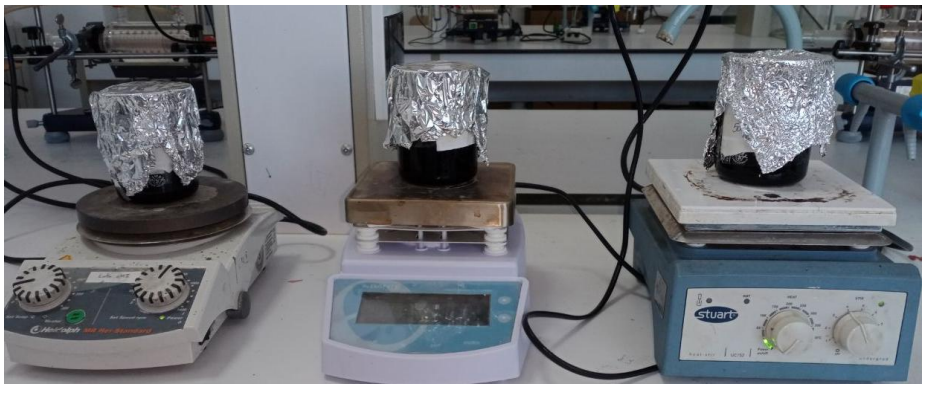


Figure IV.4 : *L'activation de charbon actif avec H_3PO_4 (agitation).*



Figure IV.5 : *L'activation de charbon actif avec H_3PO_4 (filtration).*

IV.2.3. Réactifs et produits :

Dans cette étude, la réalisation des expériences dans différentes conditions a requis l'utilisation des produits suivants :

- Noyaux de dattes.
- L'acide PhosPhorique $\boldsymbol{H_3PO_4}$**(85%).**
- Eau distillée.

Le matériel utilisé pour mener cette Phase expérimentale (préparation du charbon actif à partir des noyaux des dattes) sont les suivants : béchers, étuve, creusets, tamiseuse, mortier et pilon, moulin électrique, four à moufle, papier filtre, entonnoir, pipette graduée, erlenmeyer, spatules, agitateur magnétique, balance, barreau magnétique.

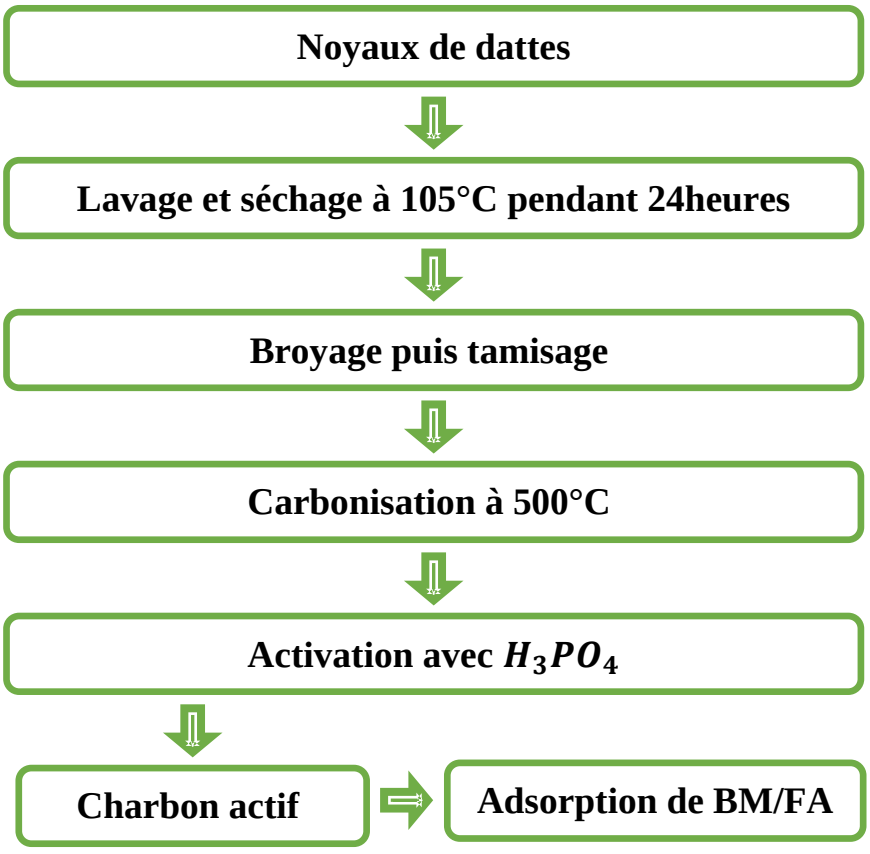


Figure IV.6 : *Etapes de préparation du charbon actif*

IV.3. La caractérisation des noyaux de dattes :

IV.3.1. Humidité des noyaux des dattes :

La teneur en eau est un paramètre essentiel à évaluer. Parmi les différentes méthodes proposées, la plus simple consiste à mesurer la perte de masse après un séchage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. On effectue une double pesée avant et après un passage suffisamment long à l'étuve, jusqu'à l'obtention d'une masse constante.

Les normes internationales comme les normes françaises n'ont retenu comme méthode que la perte de poids dans une étuve chauffée entre 100 et 105 °C jusqu'à poids constant. Nous donnons ci-après la méthode la plus employée, celle de la recommandation I.S.O.907 dans la forme de la norme française V03-903. [3]

Le creuset en porcelaine est d'abord pesé à vide, la tare est utilisée pour remettre la lecture à zéro. L'échantillon est ensuite introduit, puis l'ensemble est pesé avec précision. Aprés un passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures, puis on effectuer une nouvelle pesée et noter la masse obtenue en gramme.

Expression des résultats :

La teneur en eau (humidité) est calculée selon l'équation (IV.I) suivante :

$$\boldsymbol{H = \frac{m_h - m_s}{m_s}} \qquad \textbf{(IV.1)}$$

Avec :

$\boldsymbol{m_h}$ **:** masse d'échantillon avant séchage (la masse humide) (g).

$\boldsymbol{m_s}$ **:** masse d'échantillon après séchage (la masse sèche) (g).

H : Taux d'humidité.

IV.3.2. Le PH et la conductivité :

Le PH est mesuré à l'aide d'un Ph-mètre aprés mise en contact de 5 g de noyaux de dattes avec 50 ml d'eau distillée, sous agitation pendant 1 heure.

La conductivité est réalisée sur un conductimètre sur le même filtrat que le **Ph**.

IV.3. 3. La masse spécifique réelle : [4]

Pour déterminer la masse spécifique réelle de noyaux de dattes, on utilise un pycnomètre, (**Figure IV.6)** ce dernier est taré à vide, il est ensuite pesé, contenant une certaine quantité de noyaux de dattes, puis tarré de nouveau après avoir été rempli de méthanol. D'autre part le pycnomètre est rempli de méthanol. Il est ensuite pesé. La connaissance de la tare et de la masse de méthanol nous permet d'accéder à la masse de noyaux des dattes.

Expression des résultats : La masse spécifique réelle en est alors donner par la relation suivante : équation (IV.2) :

$$\rho_{réelle} = \frac{m_1 \cdot \rho}{m_3 - m_2} \qquad \text{(IV.2)}$$

Avec :

m_1 **:** masse du produit à analyser en **(3.514 g).**

m_2 **:** masse de méthanol ajouté à l'échantillon m pour de remplir le pycnomètre **(25.529g).**

m_3 **:** masse de méthanol permettant de remplir le pycnomètre **(27.492 g)**.



a) Pycnomètre rempli de méthanol

b) masse du pycnomètre à vide

c) masse du pycnomètre

Figure IV.7 : *étapes de détermination de la masse spécifique*

IV.3.4. La masse spécifique apparente :

La méthode consiste à introduire une quantité de noyaux de dattes dans une éprouvette graduée préalablement lavée et séchée. Après agitation pour assurer un bon tassement des grains, l'ensemble est pesé. En connaissant la tare de l'éprouvette, la masse de l'échantillon **(m)** est déterminée par différence. Le volume occupé **(V)** est ensuite directement relevé à partir de l'échelle graduée de l'éprouvette.

Expression des résultats :

La masse spécifique apparente est donnée par l'équation (IV.3) :

$$\boldsymbol{\rho_{app} = \frac{m_{échantillon}}{V_{occupé}}} \qquad (\mathbf{IV.3})$$

Avec :

$\boldsymbol{m_{échantillon}}$ **:** La masse de noyaux des dattes étudiée (2.233 g).

$\boldsymbol{V_{occupé}}$ **:** Le volume de l'éprouvette (4.325 cm^3)

IV.3.5. Volume poreux total :

Le volume poreux total est donné par l'expression suivante équation (IV.4) :

$$\boldsymbol{V_{pt} = \frac{1}{\rho_{app}} - \frac{1}{\rho_{réelle}}} \qquad (\mathbf{IV.4})$$

IV.3.6. La porosité :

Elle représente l'ensemble des vides (ou pores) présents dans un matériau solide, lesquels peuvent être occupés par des fluides, qu'il s'agisse de liquides ou de gaz. Il s'agit d'une grandeur Physique exprimée sous forme fractionnaire (entre 0 et 1) ou en pourcentage (entre 0% et 100%), et qui influence directement les capacités d'écoulement et de rétention d'un substrat.

IV.3.7. Spectre Infrarouge des noyaux de dattes :

Une analyse par spectroscopie infrarouge a été réalisée afin d'identifier qualitativement certains composés présents dans le matériau étudié. Cette méthode permet également de confirmer la présence de certains groupements fonctionnels rapportés dans la littérature concernant la composition chimique des noyaux des dattes.

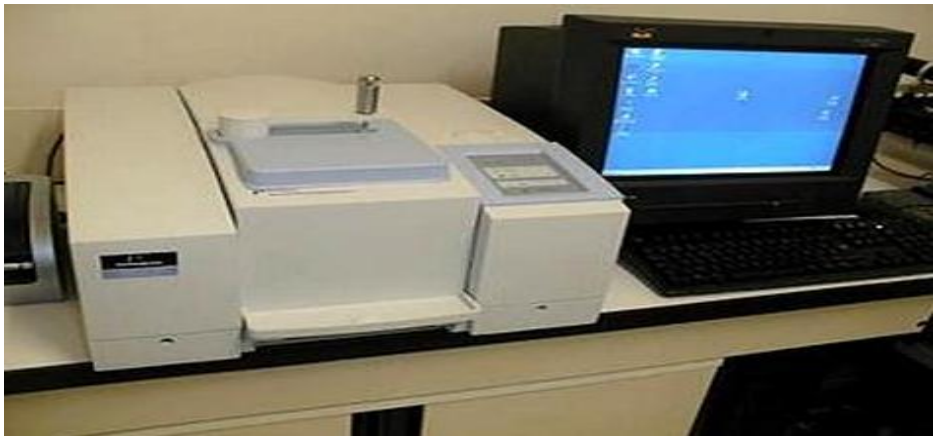


Figure IV.8 : *spectroPhotomètre infrarouge.*

IV.3.8. Les adsorbats :

L'adsorbat étudiés est le bleu de méthylène (**BM**) et Fushine acide **(FA)**, pour le **BM** qui est un colorant cationique, il est utilisé dans plusieurs applications. Le **BM** est une molécule organique appartenant à la famille des Xanthines Plusieurs recherches ont été publiées sur la possibilité d'élimination du bleu de méthylène par différents adsorbants. [5]

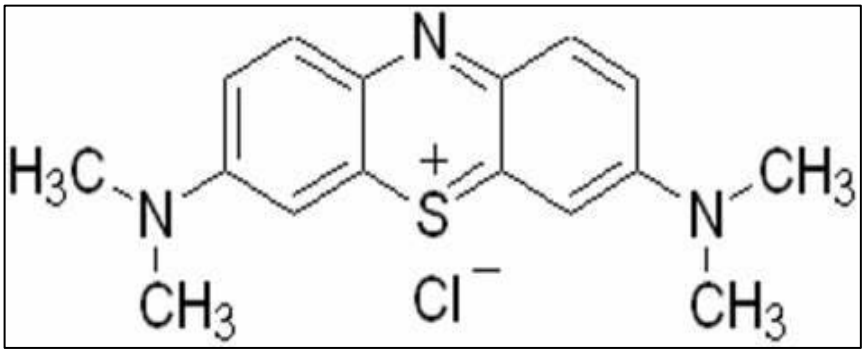


Figure IV.9 : *Structures chimiques bleu de méthylène [6].*

Tableau IV.1 : *Caractéristiques Physico-chimiques du Bleu de Méthylène [5].*

Nom usuel	Bleu de méthylène
Formule chimique	$C_{16}H_{18}ClN_3S$
Masse moléculaire	319.86 g/mol
Solubilité dans l'eau	Elevée
λmax (nm)	664
pKa	3.8

Le Fushine acide **(FA)** est un colorant anionique. Utilisée en histologie, il intervient notamment dans les colorations de Van Gieson et du trichrome de Masson.

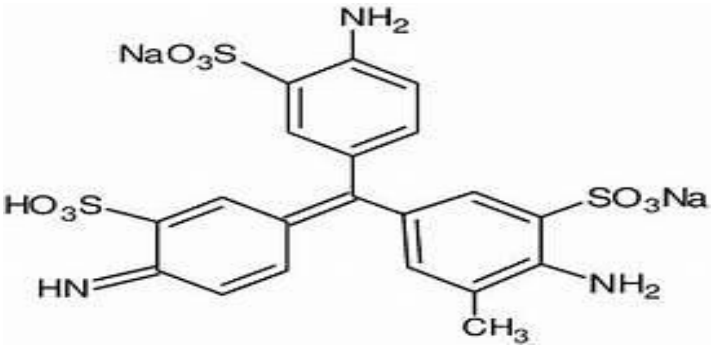


Figure IV.10 : Structures chimiques de Fushine acide [7].

Tableau IV.2 : *Caractéristiques Physico-chimiques du Fushine acide.*

Nom usuel	Fushine acide
Formule chimique	$C_{20}H_{17}N_3Na_2O_9S_3$
Masse moléculaire	585.556 g/mol
Solubilité dans l'eau	Très soluble
λmax (nm)	543 nm
pKa	1

IV.3.9. La méthode du BTE [8] :

Est une technique colorimétrique utilisée pour évaluer la viabilité cellulaire, notamment dans les tissus végétaux. Elle repose sur la réduction enzymatique du chlorure de tétrazolium **(TTC)**, un sel incolore, en formazan, un composé coloré rouge ou violet, par les enzymes déshydrogénases actives dans les cellules vivantes. Cette réaction n'a lieu que dans les cellules métaboliquement actives, ce qui permet de différencier les tissus vivants des tissus morts. La procédure consiste à immerger les échantillons (graines, racines, feuilles, etc.) dans une solution de chlorure de triPhényl tétrazolium **(0.1 à 1%)**, généralement tamponnée à un **PH** neutre, puis à les incuber à **30-37°C** pendant plusieurs heures dans l'obscurité. Les tissus viables prennent une coloration intense, tandis que les cellules mortes restent incolores.

L'intensité de la coloration peut être observée directement ou quantifiée par spectroPhotométrie après extraction du Formazan. Cette méthode est simple, rapide et sensible, et constitue un outil efficace pour l'évaluation de la viabilité dans divers contextes biologiques.

IV.4. Préparation des solutions :

IV.4.1. Préparation des solutions mères et filles :

Pour la préparation des solutions mères de **BM** et de **FA** à des concentrations de **0.5 g/L (500 mg/L)** chacune, une masse de **0.5 g** de bleu de méthylène (et de Fushine) est pesée par une balance analytique. Ensuite, la poudre est dissoute dans une fiole de **1L** avec l'eau distillée, puis on bouche la fiole et on agite doucement.

Les solutions filles devant servir à l'analyse, ont été obtenues par des dilutions successives jusqu'aux concentrations désirées qui vont de **2** à **40 mg/l** pour les essais d'adsorption.

IV.4.2. Etalonnage des solutions :

Des courbes d'étalonnage du **BM** (et Fushine) ont réalisées afin de déterminer les concentrations résiduelles du colorant lors des essais d'adsorption sur les noyaux de dattes. Ces courbes sont établies avant chaque série d'expériences.

Les courbes d'étalonnages de ces deux colorants sont établies à **PH= 4** et **9**. Ces courbes qui est représenté sous forme d'absorbance (A) en fonction de la concentration (C) suivent la loi de Beer Lambert équation (IV.5), qui est donnée par la relation suivante :

$$\boldsymbol{A = \log \frac{I_0}{I} = K\ C\ L} \qquad (\mathbf{IV.5})$$

Avec :

A : Absorbance.

$\boldsymbol{I_0}$ **:** intensité du faisceau incident (A).

I : intensité du faisceau émergent (A).

K : coefficient spécifique d'absorption massique dépendant du composé et de la longueur d'onde considérée (l.cm^{-1}.g^{-1}).

C : concentration massique du composé dosé (g/l).

L : épaisseur de la cuve (cm).

Des écarts par rapport à cette loi peuvent se produire, à cause des interactions moléculaires, des formations de complexes, une insuffisance de résolution ou des problèmes instrumentaux. [9]

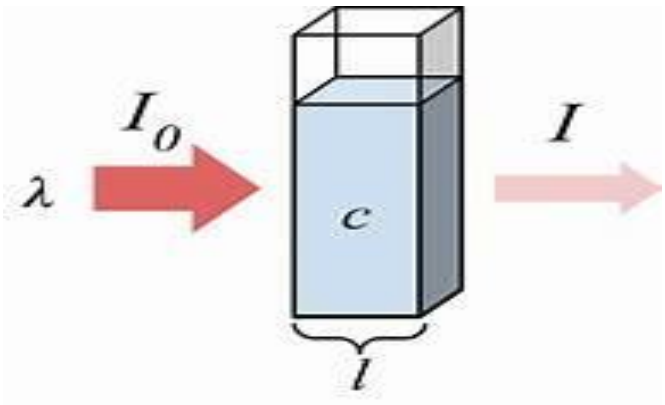


Figure IV.11 : *la loi de Beer Lambert.*

IV.4.3. Méthode de détermination des concentrations :

La concentration résiduelle du ces deux colorants est également déterminée par un spectroPhotomètre UV Visible. Cet appareil permet d'enregistrer des spectres représentant la densité optique en fonction de la longueur d'onde (λ), et d'identifier ainsi la valeur maximale d'absorbance.

Par ailleurs, après avoir déterminé la longueur d'onde maximale (λmax) et les concentrations connues des solutions (C), on peut tracer une courbe d'étalonnage D= f(C). Grâce à cette courbe, il est alors possible de déterminer graPhiquement la concentration inconnue (C_x) d'une solution, à partir de sa densité optique mesurée.

IV.4.4. Analyse du Bleu de méthylène, Fushine par UV-Visible :

L'analyse des deux colorants, à savoir le bleu de méthylène et Fushine, a été réalisée à l'aide d'un spectroPhotomètre UV-Visible. Les longueurs d'onde maximales d'adsorption sont respectivement de 664 nm pour le BM et de 453 nm pour le Fushine.

Une courbe d'étalonnage, illustrant la variation de l'absorbance en fonction de la concentration des polluants, a été obtenue et est présentée en annexe.

Cette courbe a servi de référence pour l'analyse quantitative des colorants à l'aide d'une régression linéaire.

Les courbes d'étalonnage, établies à partir de solutions diluées des eaux colorants en se basant sur leurs longueurs d'onde respectives, présentent une bonne linéarité. Cela confirme la possibilité d'analyser ces colorants par cette méthode, en accord avec la loi de Beer-Lambert.

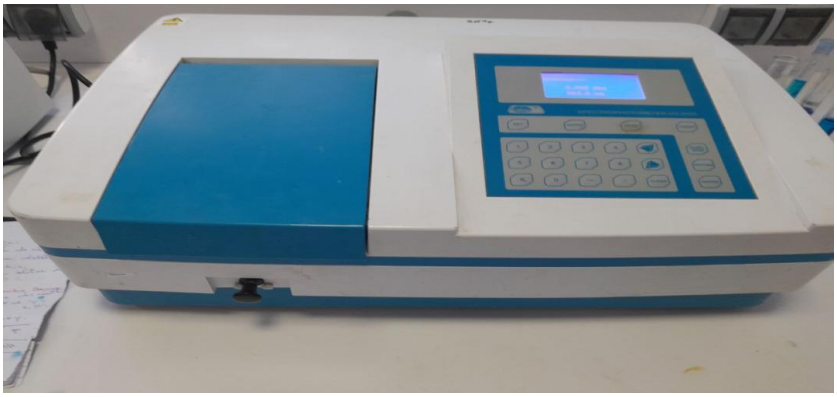


Figure IV.12 : *SpectroPhotomètre UV. Visible.*

IV.5. Courbe d'étalonnage :

La courbe d'étalonnage a été obtenue en faisant varier la concentration des solutions à différents Ph. Pour chaque concentration, une densité optique a été mesurée à une longueur d'onde constante et affichée sur le cadran de l'appareil.

IV.5.1. Essais d'adsorption du BM et FA sur les noyaux de dattes :

IV.5.1.1. Mode opératoire d'adsorption :

La démarche à suivre pour décrire les différentes étapes de l'adsorption est représentée dans la figure ci-dessous.

IV.5.1.2. Cinétique d'adsorption :

L'étude de la cinétique d'adsorption vise à déterminer le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre. Pour cela, une série de fioles contenant chacun 0.1 g d'adsorption et 100 ml d'une solution polluante, de concentrations initiales suivantes :2 ; 8 ; 10 ; 15 ; 20 ; 30 et 40 mg/l, sont placés dans un agitateur. Des échantillons sont prélevés à intervalles réguliers, allant de 5 minutes jusqu'à 24 heures. Après chaque prélèvement, les solutions sont filtrées sous vide à l'aide de membranes (papier filtre), puis analysées par spectrométrie UV-Visible aux longueurs d'onde spécifiques : 664 pour le BM et 543 pour le FA. Le PH final de chaque solution est mesuré avec un Ph-mètre.

Le calcul de la quantité de soluté adsorbée sur un matériau donné est obtenu par la méthode de reste :

$$\frac{\boldsymbol{x}}{\boldsymbol{m}} = \frac{(\boldsymbol{C_0} - \boldsymbol{C_e}) * \boldsymbol{V}}{\boldsymbol{m}} \qquad (\mathbf{IV.6})$$

Avec :

$\boldsymbol{C_0}$ **:** la concentration initiale de soluté en mg/L.

$\boldsymbol{C_e}$ **:** la concentration résiduelle de soluté en mg/L

m : la masse de l'adsorbant en g

V : le volume de la solution en L

L'évolution du rendement d'élimination des polluants est suivie par la relation suivante :

$$\boldsymbol{R}(\%) = \frac{\boldsymbol{C_i} - \boldsymbol{C_f}}{\boldsymbol{C_i}} \times \mathbf{100}\% \qquad (\mathbf{IV.7})$$

Avec :

C_i **: c**oncentration initiale du colorant (FA ou BM).

C_f **: c**oncentration finale du colorant (FA ou BM).

IV.5.2. Isotherme d'adsorption :

L'isotherme d'adsorption représente la relation entre la quantité « *x* » de soluté adsorbée par unité de masse d'adsorbant (x/m) à l'équilibre, et la concentration du soluté restant en solution à l'équilibre. Pour tracer cette courbe, différentes masses d'adsorbant sont mises en contact avec 100 ml d'une solution colorée, puis agitées dans un agitateur pendant 400 min. L'analyse permet ainsi de déterminer, à température constante, la quantité de soluté adsorbé en fonction de sa concentration résiduelle. Les isothermes obtenues sont modélisées selon l'isotherme de Freundlich, qui décrit le comportement d'adsorption sur les surfaces hétérogènes.

IV.5.3. Influence du PH :

L'influence du PH de la solution sur le processus d'adsorption a été étudiée en testant différentes valeurs, notamment PH = **4** et PH = **9**. Le PH de solution colorée a été ajusté aux valeurs souhaitées par l'ajout de **HCl** pour l'acidification ou de **NaOH** pour la basicité.

IV.6. Résultat et discussion :

IV.6.1. Les caractérisations des noyaux de dattes :

Tableau IV.3 : *caractérisation des noyaux de dattes.*

Humidité (%)	**Ph**	**Conductivité (ms)**	$\rho_{réeel}$ (g/Cm^3)	ρ_{app} (g/Cm^3)	V_{pt} (Cm^3/g)
13.64 %	6.64	0.1095	0.829	0.516	0.731

IV.6.2. La courbe d'étalonnage :

La courbe d'étalonnage a été obtenue en faisant varier la concentration des solutions à différentes valeurs de **PH**. A chaque concentration correspond une densité optique mesurée, affichée sur l'écran de l'écran de l'appareil à une longueur d'onde constante.

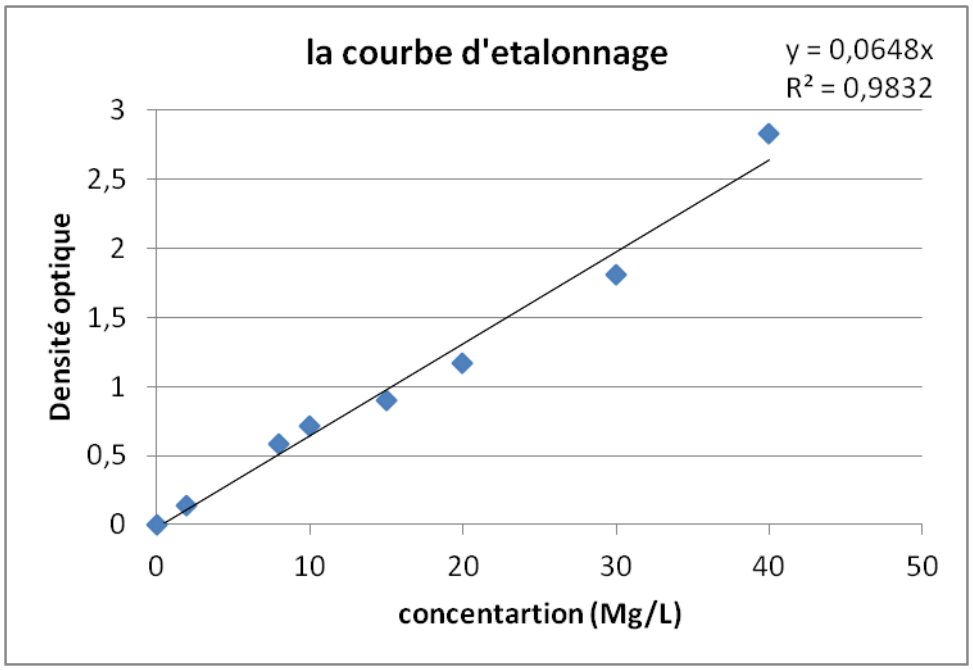


Figure IV. 13 : *Courbe d'étalonnage BM densité optique en fonction de la concentration.*

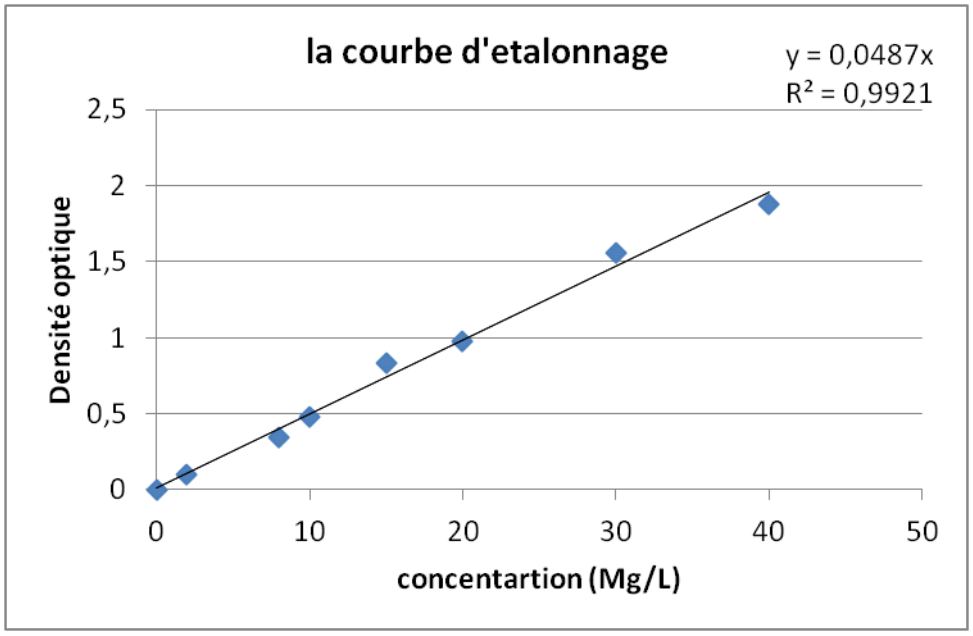


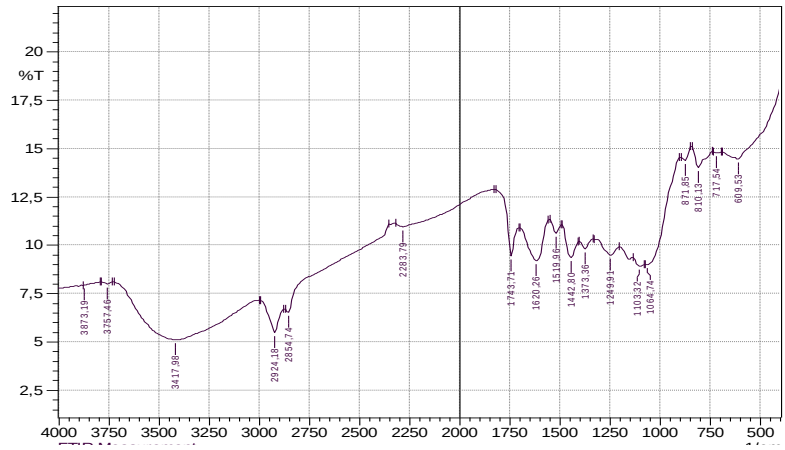
Figure IV. 14 : *Courbe d'étalonnage FA densité optique en fonction de la concentration.*

La courbe d'étalonnage **D=F(C)** montre une augmentation de la densité optique avec l'augmentation de la concentration et la variation de densité en fonction de concentration se fait d'une façon linéaire conformément à la loi de Beer-Lambert.

IV.7. Spectre Infrarouge de noyaux des dattes :

La figure suivante (**figure IV.15**) donne des spectres infrarouges du matériau : les noyaux de dattes.

A)



b)

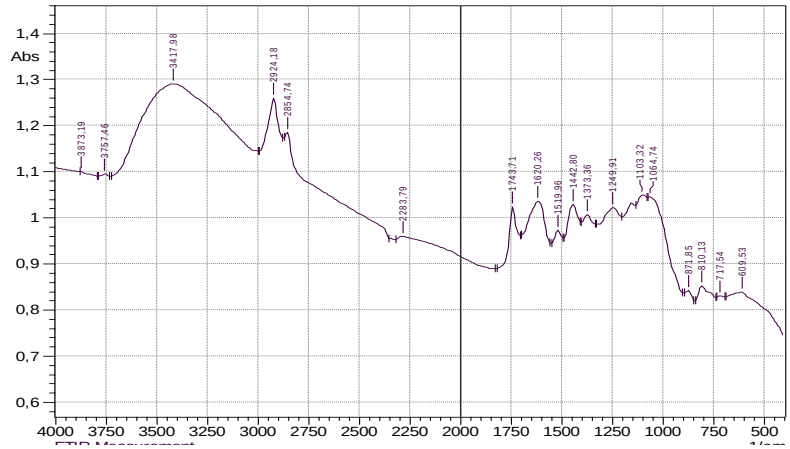


Figure IV. 15 : *Spectre infrarouge de noyaux des dattes.*

L'interprétation de ces spectres permet de confirmer la présence de quelques groupements qui sont donnée dans la formule moléculaire de ce matériau comme suit :

a) Le premier spectre :

- **3871 – 3757 cm^{-1} :**
  - bande d'élongation **OH** (alcool, Phénol ou eau adsorbée), large et parfois intense.
  - peut aussi correspondre à des liaisons **NH** (amine, amide).

- **3417 cm^{-1} :**
  - élongation **OH** (plus prononcée, typique de l'humidité ou des groupes hydroxyles liés par liaisons hydrogène).
- **2924 – 2854 cm^{-1} :**
  - bandes d'élongation **CH** aliPhatiques **(CH_2 ,CH_3),** typiques des chaînes carbonées.
- **1743 – 1602 cm^{-1} :**
  - **1743 cm^{-1} :** élongation **C=O** (carbonyles – esters, acides, cétones).
  - **1620 cm^{-1} :** bande typique des doubles liaisons **C=C** (alcènes, aromatiques) ou vibration de déformation du groupement **NH** (amines ou amides).
  - **1590 – 1422 cm^{-1} :** groupes aromatiques ou vibrations de déformation **CH** ou **OH**.
- **1249 – 1033 cm^{-1} :**
  - vibration **CO** (alcools, esters, acides carboxyliques).
  - aussi possible présence de **CN** (amine).
- **872 – 609 cm^{-1} :**
  - bandes de déformation hors plan **CH** aromatiques ou groupes polysaccharidiques.
  - peut aussi être associé à des motifs spécifiques comme les cycles aromatiques substitués.

b) Le deuxième spèctre :

- **3873 – 3757 cm^{-1} :**
  - élongation **OH** (alcools, Phénols, eau), souvent large.
  - possiblement aussi **NH** (amines/amide primaire).
- **3417 cm^{-1} :**
  - bande large et intense : toujours typique de **OH** (hydrogène lié), souvent de l'humidité ou groupes hydroxyles.
- **2924 – 2854 cm^{-1} :**
  - vibration **CH** (groupes méthyl, méthylène), typiques des chaînes aliPhatiques.
- **2288 cm^{-1} :**

- pic intéressant : pourrait correspondre à une liaison triple $\boldsymbol{C \equiv C}$ **ou** $\boldsymbol{C \equiv N}$**,** mais peut aussi résulter d'un bruit de fond selon l'échantillon.

• **1743** $\boldsymbol{cm^{-1}}$ **:**

- vibration **C=O** (groupes carbonyles – esters, cétones, acides).

• **1519 – 1422** $\boldsymbol{cm^{-1}}$ **:**

- vibrations **C=C** (aromatique), ou déformations de **NH** (amines secondaires).

• **1249 – 1033** $\boldsymbol{cm^{-1}}$ **:**

- vibrations **CO** (alcools, esters, acides) ou **CN** (amine).

• **871 – 609** $\boldsymbol{cm^{-1}}$ **:**

- déformation hors plan **CH** aromatiques ou vibrations de cycles polysaccharidiques.

IV.8. Cinétique d'adsorption :

Les courbes de l'adsorption et de la cinétique d'adsorption ont été établies pour les deux colorants dans différentes conditions en vue de déterminer les valeurs optimales recherchées : isothermes et types d'adsorption

Pour les deux colorants, nous avons réalisé nos expériences pour deux PH : **PH= 4** et PH=**9** et pour deux granulométries de diamètres : $\mathbf{d_m}$**=250 µm** et $\mathbf{d_m}$**=750 µm**.

Ces paramètres ont été choisis dans le but de voir l'influence sur le Phénomène d'adsorption.

a) Etude du cas du bleu de méthylène : BM

L'étude a été réalisée dans les conditions suivantes : PH=**4** $\mathbf{d_m}$**=250 µm.**

L'interprétation des courbes données par la figure IV.16 donnant le rendement en fonction du temps montre que ces dernières suivent une allure ascendante : le rendement est maximum d'environ **85%** pour un temps voisin **300 min** et ce pour les concentrations testées.

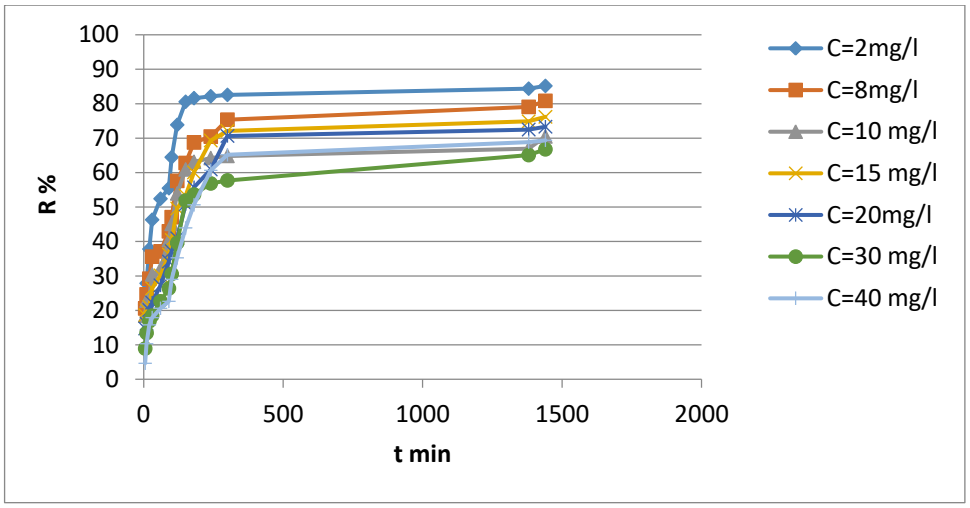


Figure IV.16: *Variation du rendement en fonction du temps*

Les courbes présentées par la **figure IV.17**, montrent en revanche une quantité adsorbée à l'équilibre correspondant à un temps voisin de **300 s**, pour toutes les concentrations.

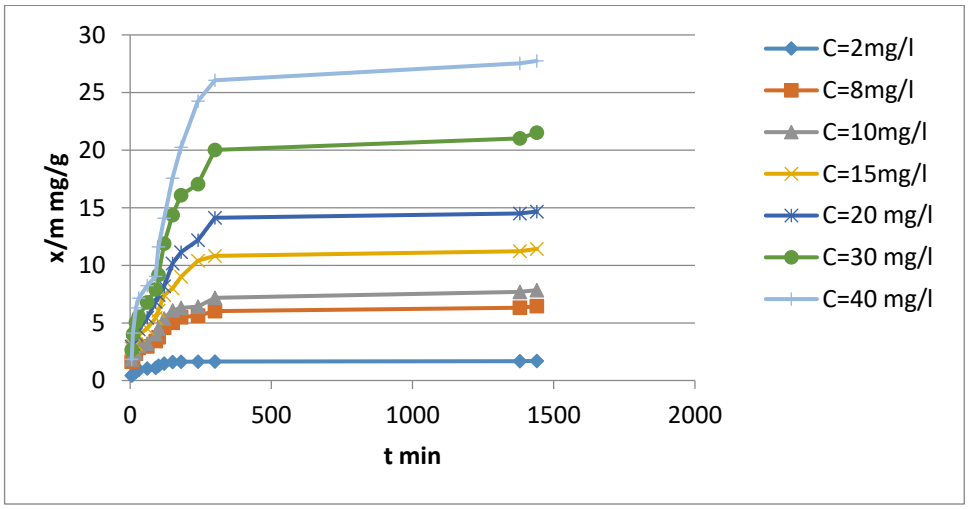


Figure IV.17: *Courbes d'équilibre d'adsorption x/m=f(t)*

L'étude de la variation (diminution) de la concentration en colorant en fonction du temps (cinétique d'adsorption) (**figure IV.18**) montrent que l'adsorption suit une même allure descendante pour toutes les courbes. Ce qui prouve l'existence d'une adsorption pour toutes les solutions proposées. La courbe correspondant à la concentration **C=2 mg/l** représente la cinétique la plus rapide et la concentration **Ct** est minimale (**Ct=0.349 mg/l**) à t voisin de **300s**.

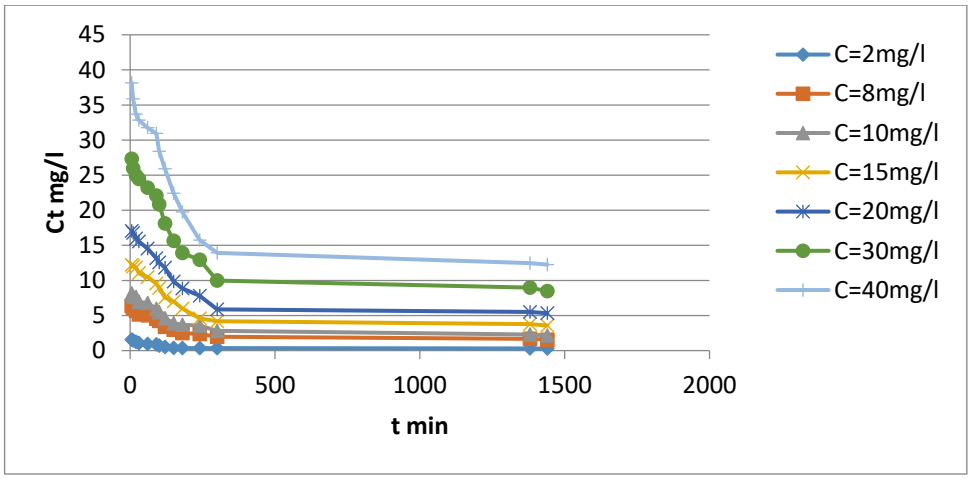


Figure IV.18: *Cinétique d'adsorption C_t=f(t)*

Pour les conditions suivantes : **PH=4** **d_m=750 µm**

Dans le cas de la (**figure IV.19**). On obtient un rendement de **87%** pour un temps de contact voisin de **300 s**, correspondant à la majorité des concentrations.

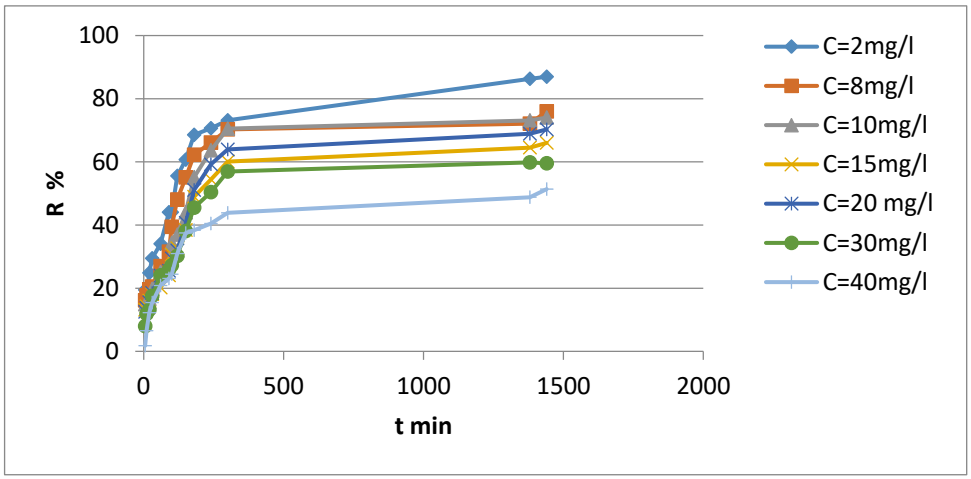


Figure IV.19: *Variation du rendement en fonction du temps*

La comparaison des courbes de la **figures IV.16** et celles de la **figure IV.19** pour un même PH **(PH=4)** et pour des granulométries différentes **(d_m=250 µm d_m=750 µm)** montre que le paramètre granulométrie n'a pas d'influence significative sur le rendement d'adsorption.

La **figure IV.20** représente une série de courbes donnant la quantité adsorbée en fonction du temps pour les concentrations choisies et pour une granulométrie de **d_m=750 µm**. Dans ce cas aussi on note un temps d'équilibre voisin de **300 s.** ce qui nous permet de dire que pour ce cas aussi, la granulométrie n'a que peu d'influence sur la quantité adsorbée.

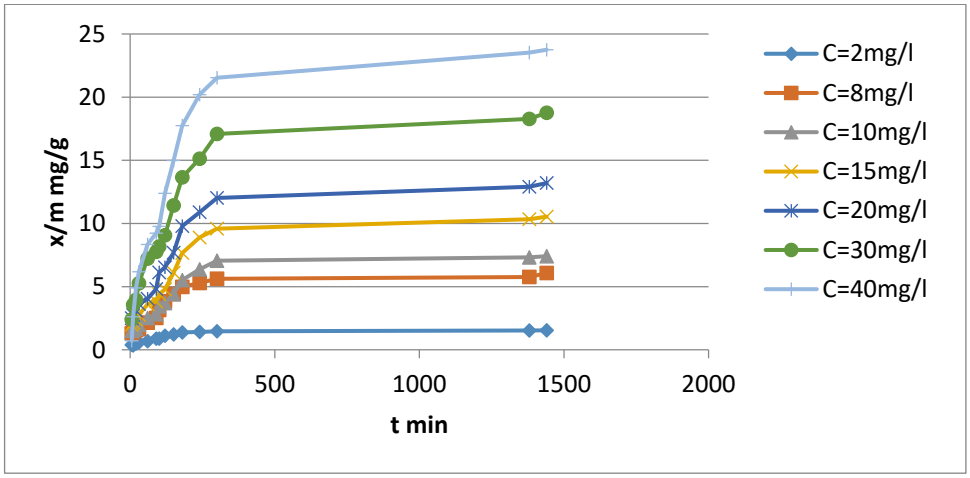


Figure IV.20: *Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t)*

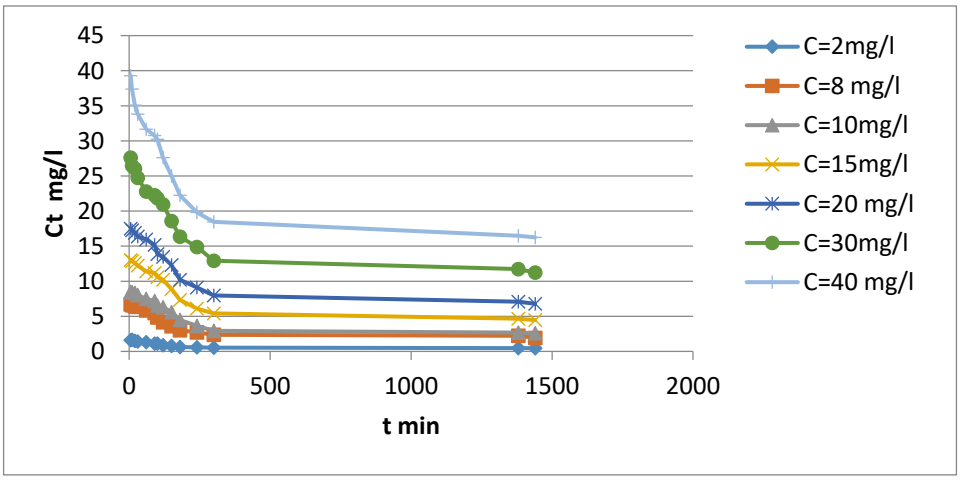


Figure IV.21: *Cinétique d'adsorption C_t=f(t)*

Etude du cas : **PH=9** **d_m=250 µm**

L'examen des courbes de la **figure IV.22** montre que la courbe correspondant à **C=2 mg/l** présente un rendement maximum voisin de **100** (**99.25%**).

La comparaison de cette **figure IV.22** avec celle de la **figure IV.16** (rendement **85%**) montre que le **changement** du PH **(PH =9)** influe sur le rendement de l'adsorption pour une même concentration. Dans le cas de la **figure IV.22** le rendement est meilleur pour les autres concentrations comparées aux courbes de la **figure IV.16**.

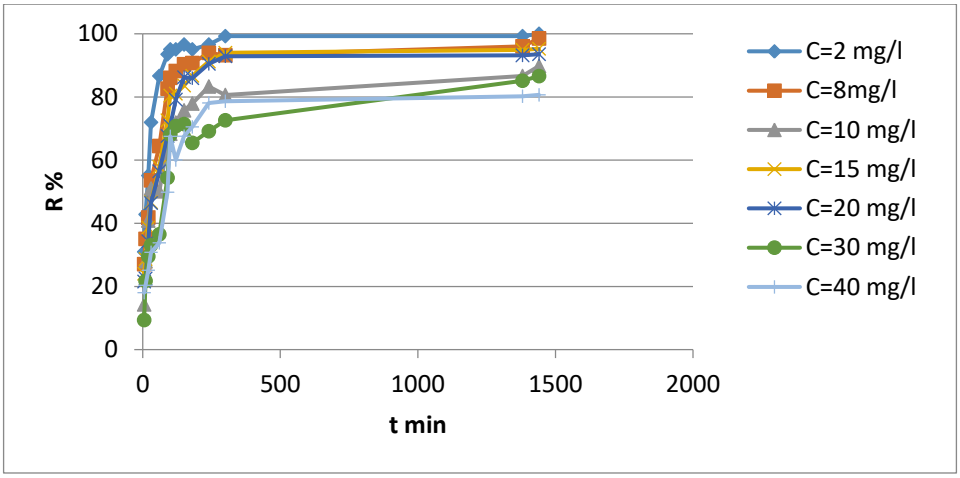


Figure IV.22: *Variation du rendement en fonction du temps*

L'étude des courbes de la **figure IV.23** montre que dans ce cas il y a un léger déplacement (augmentation) du temps de contact à l'équilibre pour **(Ph =9)**, comparé aux courbes de la **figure IV.17** (**Ph=4 ; d_m=250 µm**) dans ce cas on peut conclure que la variation du Ph du milieu acide au milieu basique influe sur le Phénomène d'adsorption. En effet le Ph joue un rôle important dans l'adsorption, influençant la charge de surface de l'adsorbant et l'état des espèces adsorbées.

On peut dire que l'adsorption augmente avec la hausse du PH jusqu'à une certaine valeur, ceci est peut-être dû en raison de la diminution de la compétition entre les ions **H+** et les espèces métalliques pour les sites d'adsorption pour une même granulométrie.

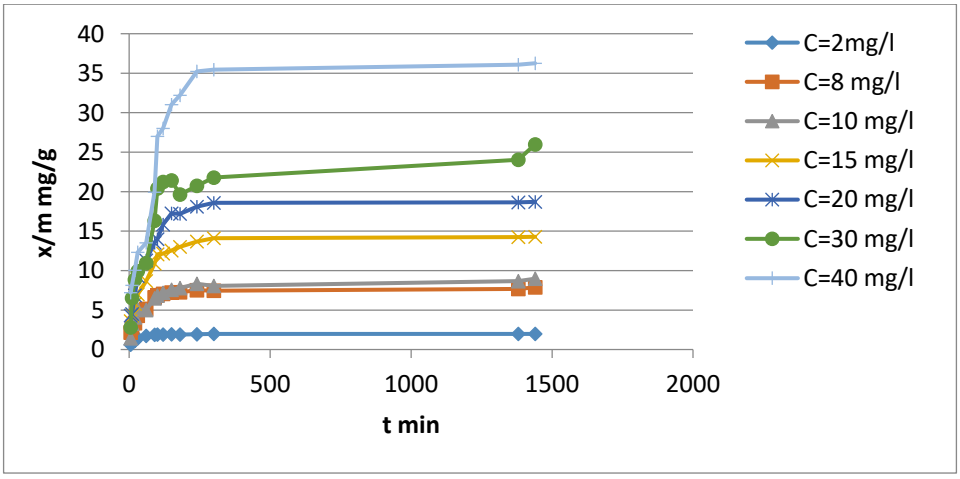


Figure IV.23: *Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t)*

Dans le cas de la **figure IV.24** représentants la cinétique d'adsorption on remarque que les courbes ont les mêmes allures mais avec des temps légèrement plus court obtenus à l'équilibre comparé comparés à ceux obtenus dans **la figure IV.18** pour **(PH=4 ; d_m=250 µm).**

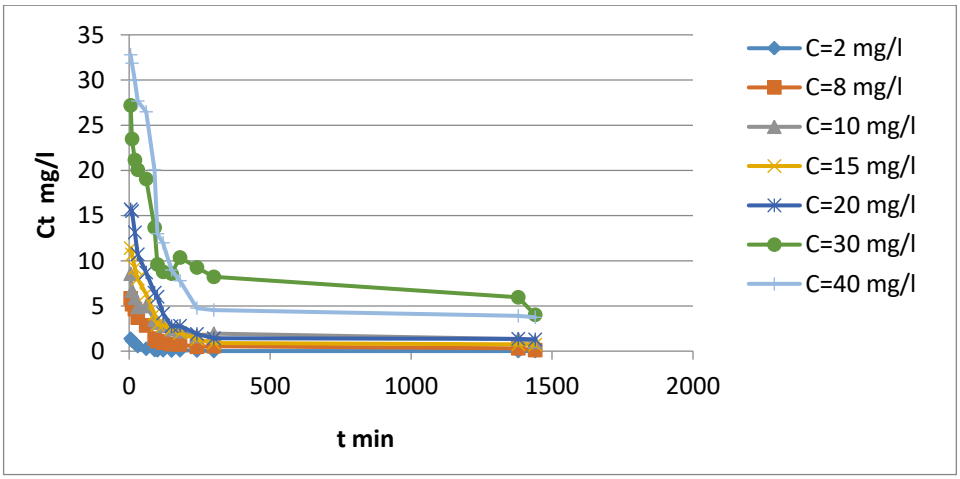


Figure IV.24: *Cinétique d'adsorption C_t=f(t)*

Etude du cas : PH=**9** **d_m=750 µm**

L'interprétation des résultats obtenus de **la figure IV.25** montre que le rendement est plus important et est maximum **(R%=98%)** pour ces conditions et pour **C=2 mg/l**.

La comparaison de ce rendement avec celui de la **figure IV.19 (PH=4 ; d_m=750 µm)** où le rendement vaut environ **86%** pour une même concentration, montre que l'augmentation du PH (de **4 à 9**) influe sur le rendement de l'adsorption pour une même granulométrie **d_m=750 µm**.

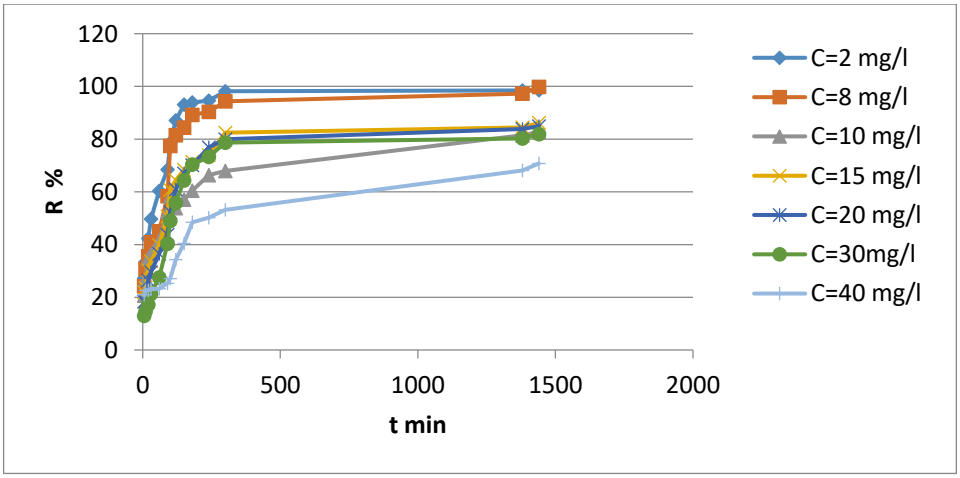


Figure IV.25: *Variation du rendement en fonction du temps*

L'étude de l'adsorption présentée par les courbes de la **figure IV.26** montrent que ces dernières présentent les mêmes que celles données précédemment dans ce cas on remarque que les temps de contact à l'équilibre sont similaires à ceux obtenus pour le cas de la **figure IV.20** où le PH=**4**. L'interprétation de ce cas de figure montre qu'une adsorption est maximum pour un temps de contact voisin de **300** à **400 s**. pour le PH=**9**, l'adsorption est légèrement plus rapide que dans le cas où le PH=**4**.

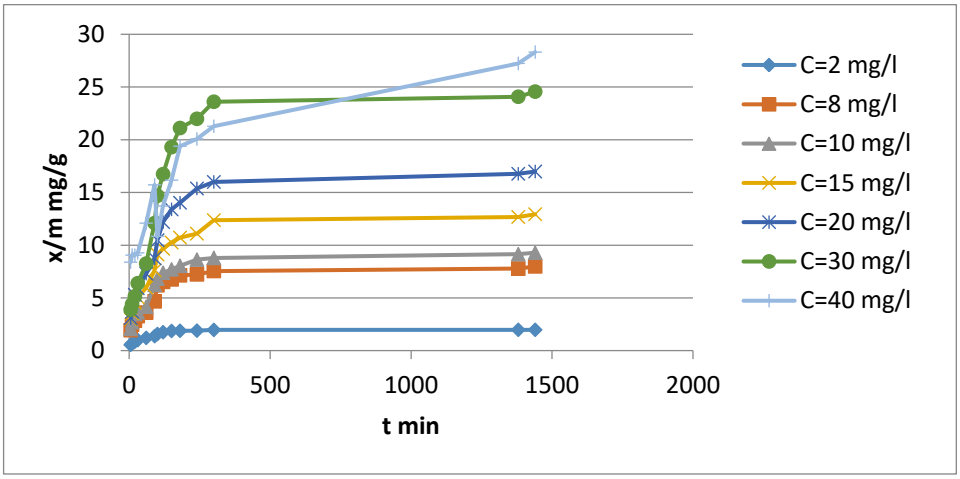


Figure IV.26: *Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t)*

Les résultats présentés par les courbes de la **figure IV.26** sont de mêmes allures que ceux donnés à la **figure IV.21**. Dans ce cas aussi l'équilibre est obtenu pour un temps de contact de **300 s**, sauf dans le cas de la concentration **C=40 mg/l** (**figure IV.26**) où la courbe présente des résultats instables au début.

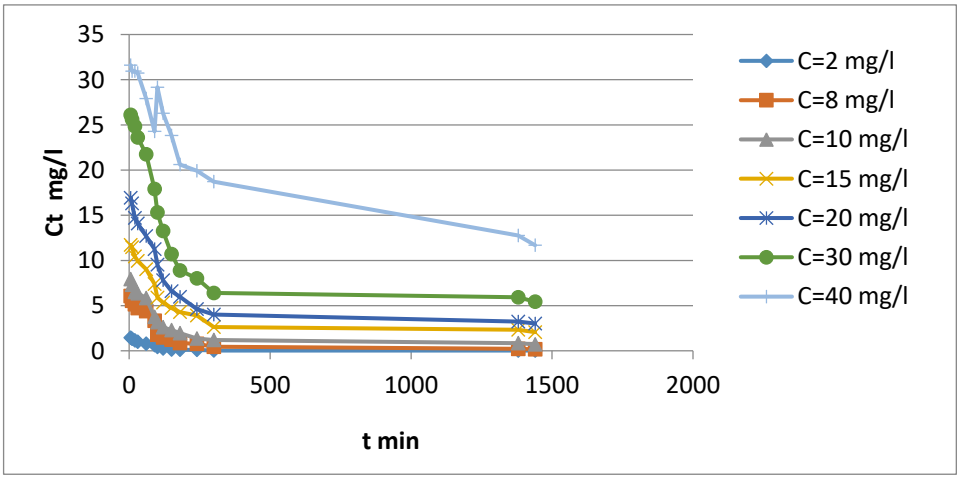


Figure IV.27: *Cinétique d'adsorption C_t=f(t)*

b) Etude du colorant le Fuchsine acide : FA

L'étude a été réalisée dans les conditions suivantes **:** **PH=4** **d_m=250 µm**

L'interprétation des courbes de la **figure IV.28** montrent que ces dernières présentent un rendement minimum de **70%** pour une concentration de 15 mg/l et un rendement de **90%** pour une concentration de **2 mg/l**. un rendement, considéré maximum, est obtenu à partir d'un temps de **300 s**.

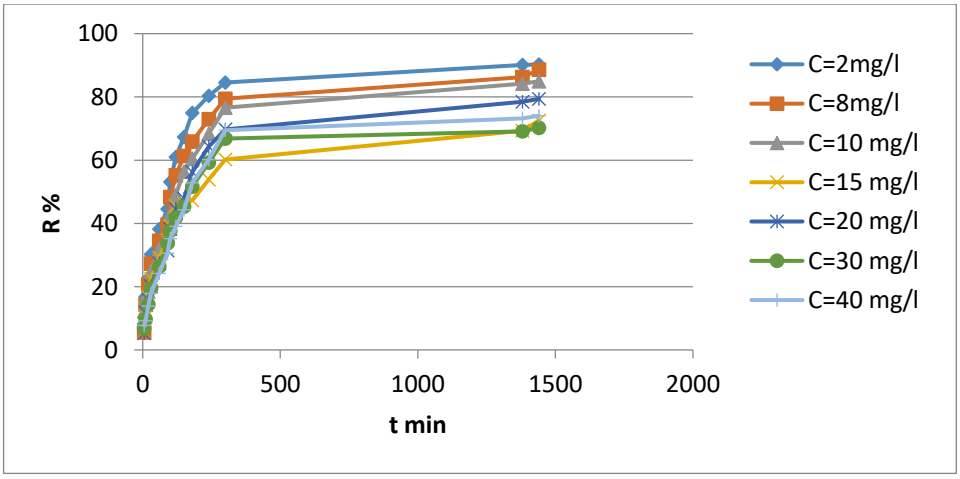


Figure IV.28: *Variation du rendement en fonction du temps*

L'étude des courbes de **la figure IV.29** montre un comportement similaire que celui du cas du bleu de méthylène avec quelques modifications. Dans ce cas aussi, l'équilibre est obtenu toujours pour un temps de contact voisin de **300 s**.

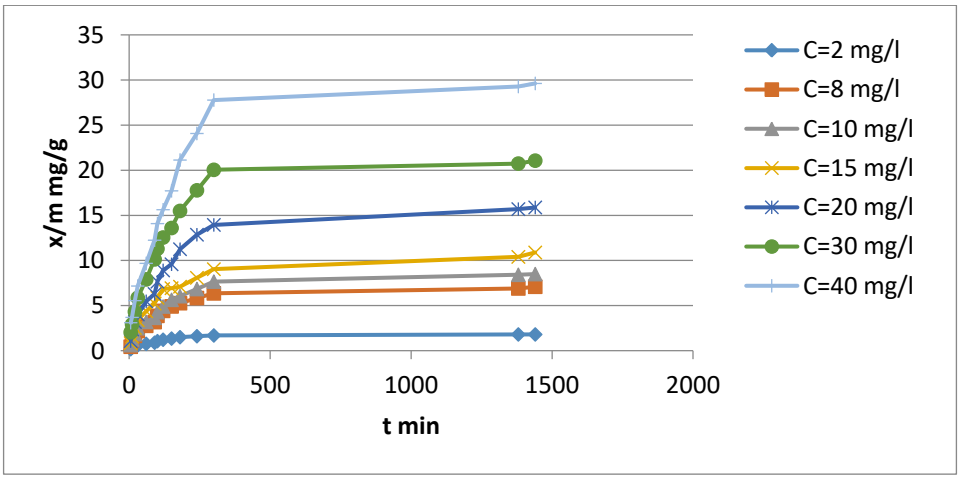


Figure IV.29: *Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t)*

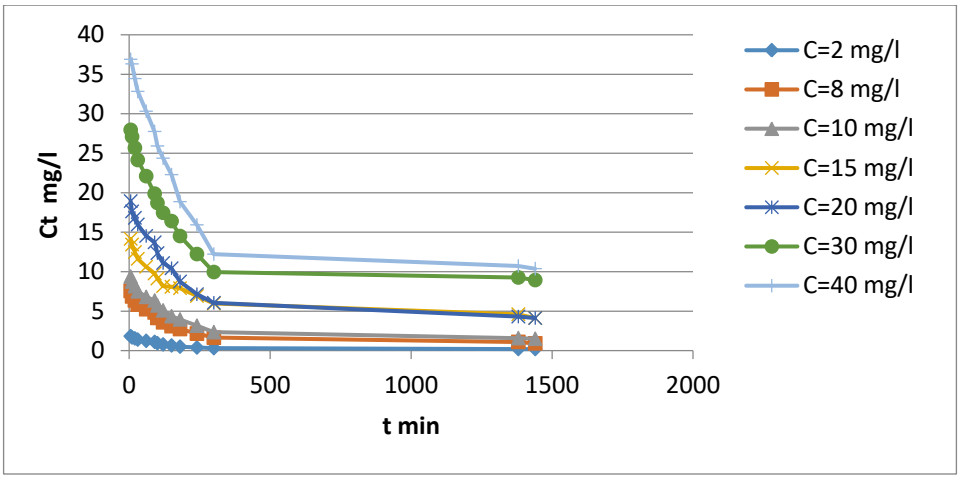


Figure IV.30: *Cinétique d'adsorption C_t=f(t)*

Pour les conditions suivantes **:** **PH=4** **d_m=750 µm**

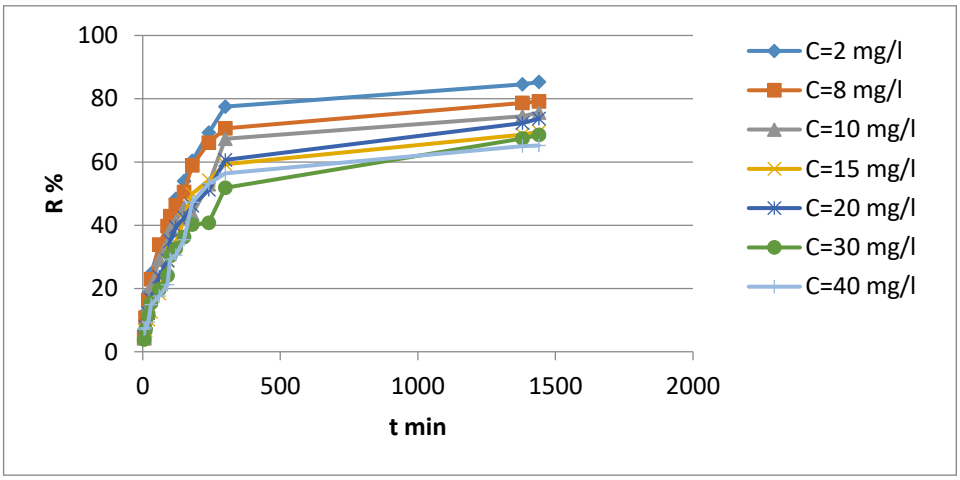


Figure IV.31: *Variation du rendement en fonction du temps*

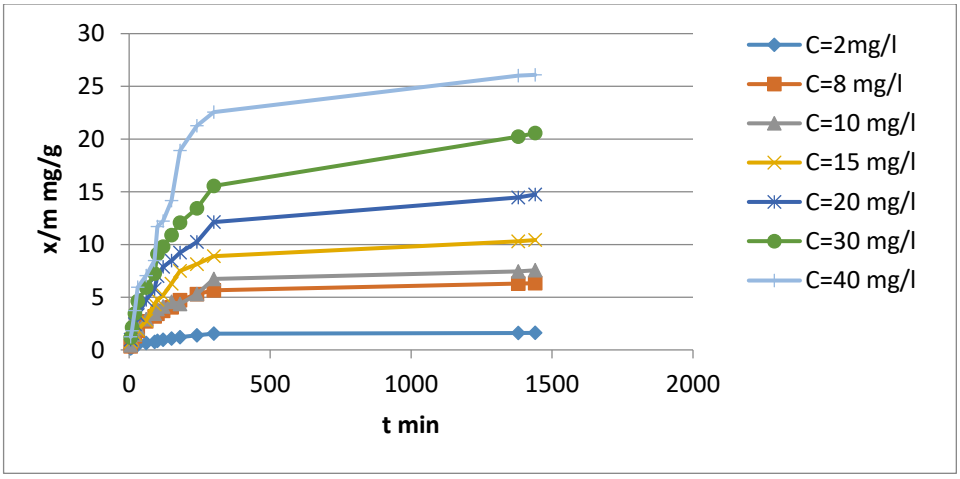


Figure IV.32: *Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t)*

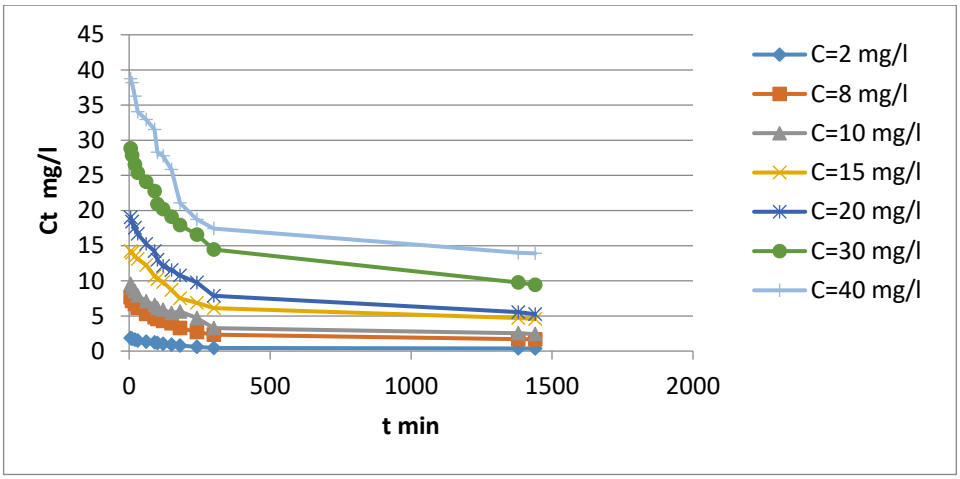


Figure IV.33: *Cinétique d'adsorption C_t=f(t)*

Pour le cas : PH=**9 ; d_m=250 µm**

L'examen des courbes de la **figure IV.34** montrent un rendement minimum de **39%** pour une concentration de **40 mg/l** et un rendement de **75 %** pour une concentration de 2 mg/l. ces rendements, sont obtenus à partir d'un temps de **300 s**.

La comparaison de la **figure IV.34** avec **la figure IV.28** (**PH=4 d_m=250 µm**) montre que, dans ce cas aussi, la variation du **PH** influe sur le rendement de l'adsorption.

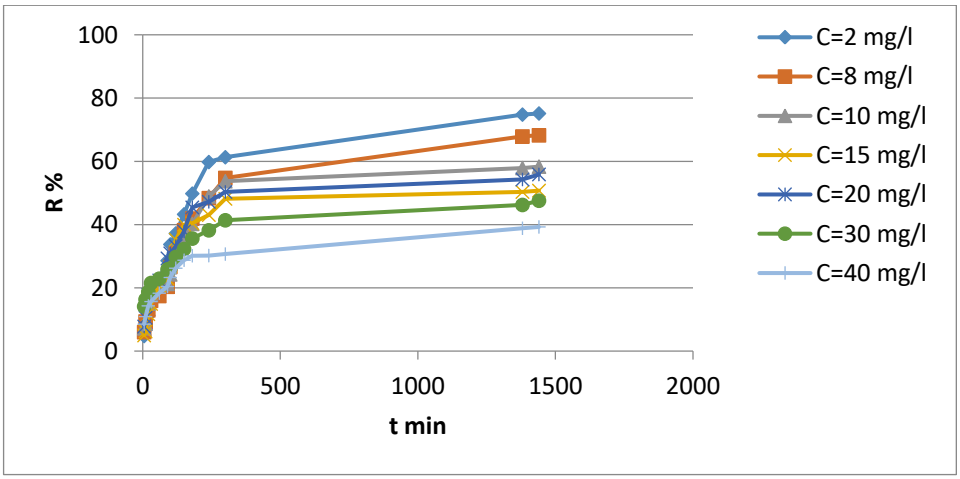


Figure IV.34: *Variation du rendement en fonction du temps*

L'interprétation des courbes de la **figure IV.35** présente un même comportement que celui de la **figure IV.29**. L'équilibre est toujours obtenu pour un temps de contact de **300** à **400s**.

La comparaison de ces courbes montre qu'une concentration de **C=40 mg/l** présente une quantité adsorbée de **12.27 mg/g** à l'équilibre.

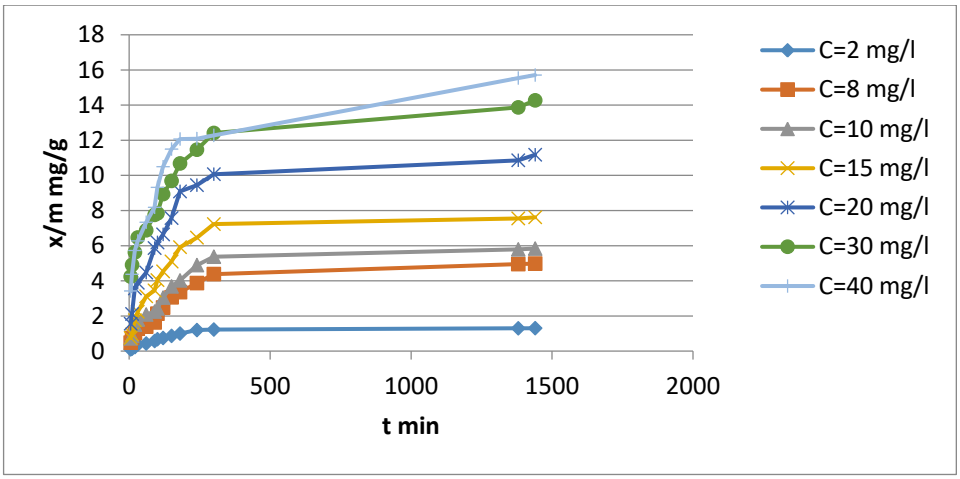


Figure IV.35: *Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t)*

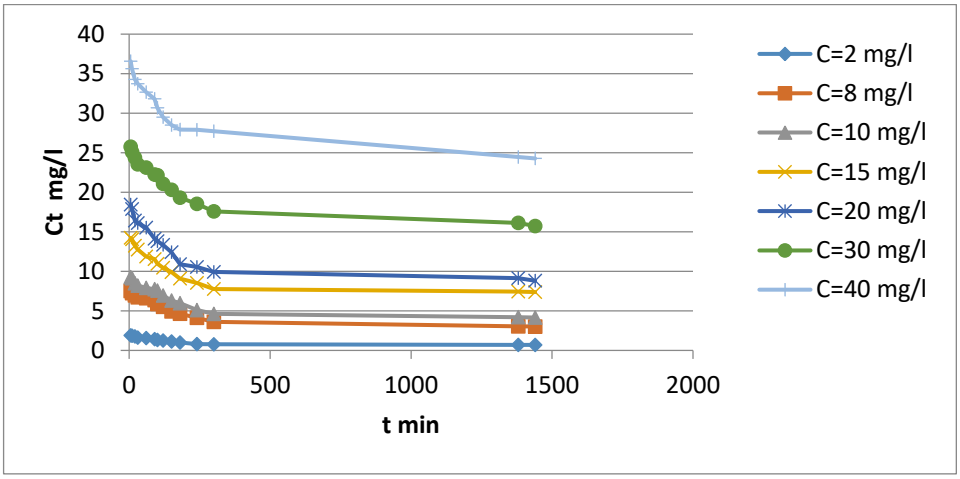


Figure IV.36: *Cinétique d'adsorption C_t=f(t)*

Pour les conditions suivantes : **PH=9** **d_m=750 µm**

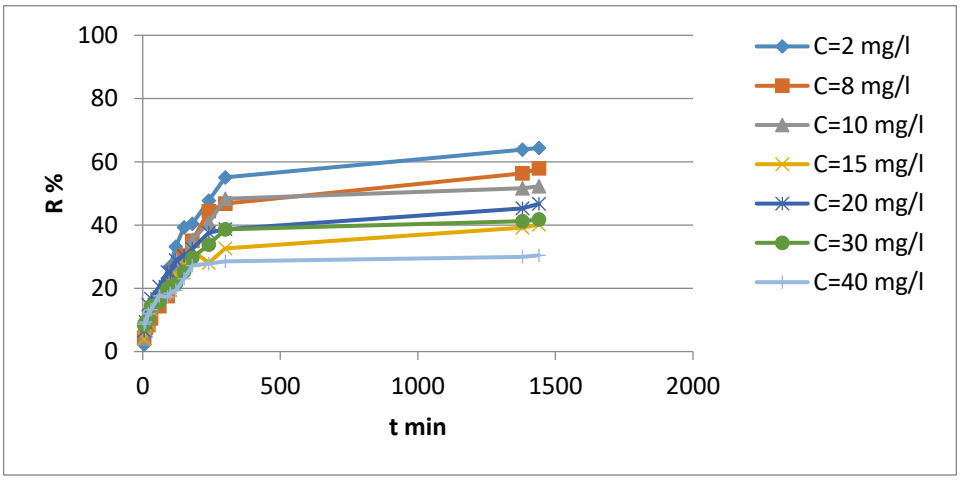


Figure IV.37: *Variation du rendement en fonction du temps*

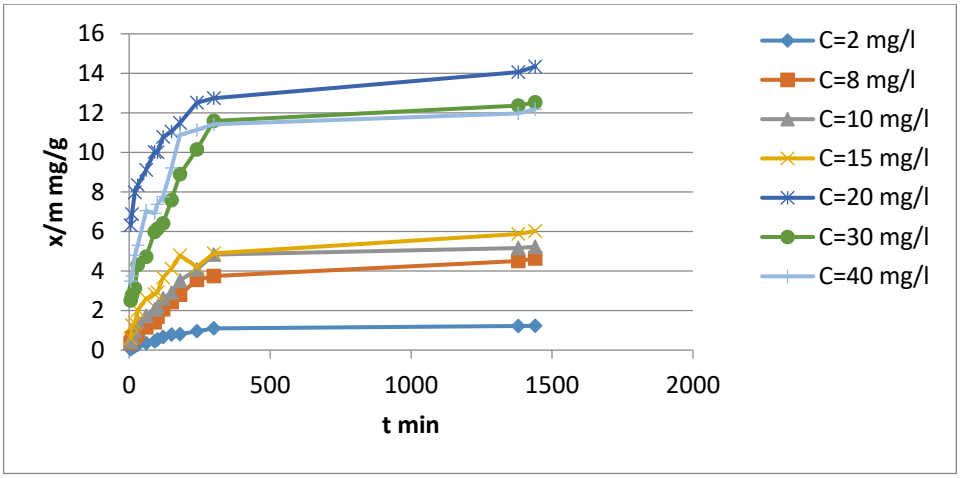


Figure IV.38: *Courbes des cinétiques d'adsorption x/m=f(t)*

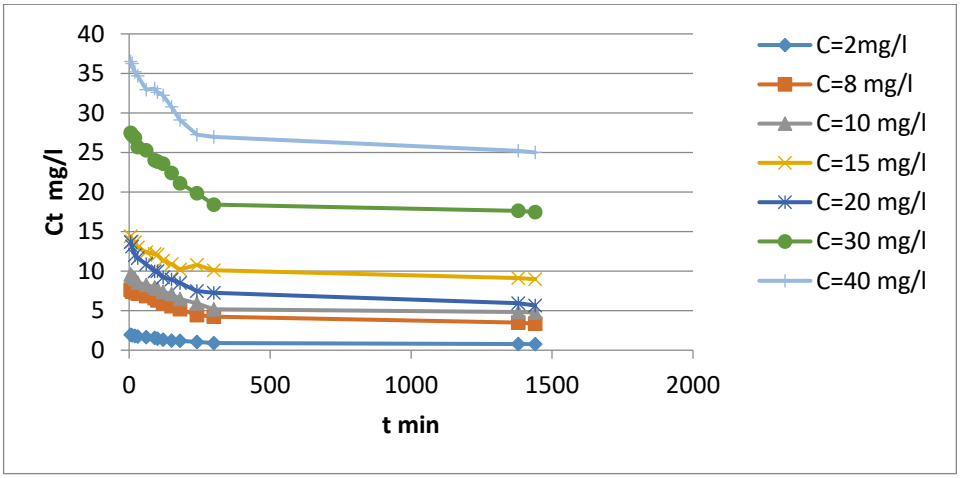


Figure IV.39: *Cinétique d'adsorption C_t=f(t)*

IV.9. Interprétation des résultats :

L'adsorption du **BM** et **FA** sur les noyaux des dattes est conduite à différents temps de contact **(5 à 1440 min)** et à différentes concentrations initiales en colorants **(2, 8, 10, 15, 20, 30 et 40 mg/l**). Les résultats présentés montrent que la réduction des deux colorants par adsorption sur les noyaux des dattes, augmente avec l'augmentation du temps de contact.

Cette adsorption est rapide et se réalise dans les **300_500** premières minutes, au-delà de ce temps, l'adsorption des colorants est constante à sa valeur maximale. On peut en déduire que le temps de contact ou temps d'équilibre adéquat se trouve au-delà de **300-500min**.

La concentration initiale du polluant joue un rôle important dans la capacité de rétention du support solide. Afin d'évaluer son effet, différentes concentrations initiales ont été choisies **(2, 8, 10, 15, 20, 30 et 40 mg/l)**. Les résultats obtenus pour l'ensemble des échantillons, révèlent que la capacité d'adsorption des colorants augmente avec l'élévation de la concentration initiale.

- De manière générale, le rendement d'adsorption augmente avec le temps, traduisant une cinétique progressive jusqu'à atteindre un état d'équilibre.
- L'examen des courbes du rendement en fonction de temps pour les deux colorants montrent que pour le bleu de méthylène, en milieu basique **(PH= 9)** et avec un charbon actif diamètre **250µm**, le rendement maximal atteint **99 %** pour une concentration de **2 mg/L** après **1440 minutes**.
- À **40 mg/L**, le rendement est de **80 %**. En revanche, le rendement le plus faible a été observé en condition acide **(PH =4)** avec un diamètre plus grand, atteignant seulement **51 %** à **40 mg/L**, ce qui souligne l'influence négative du **PH** acide et de la taille des particules sur l'efficacité de l'adsorption.
- Concernant la fuchsine acide, le rendement maximal enregistré est de **90 %** à une concentration de **2 mg/L** en **PH = 4**, toujours avec le petit diamètre.
- Lorsque la concentration augmente à **40 mg/L**, le rendement diminue à **74 %**. La valeur la plus basse est observée également à **40 mg/L**, atteignant seulement **30 %**, ce qui montre une limitation du matériau à haute charge polluante, notamment pour ce colorant.
- L'examen des courbes des quantités absorbées en fonction de temps montre que pour le bleu de méthylène, la valeur maximale de **X/m** enregistrée est de **36,25 mg/g** à une concentration initiale de **40 mg/L**, en condition **PH = 9** et avec un diamètre de particule réduit.
- La plus faible quantité adsorbée a été notée à **2 mg/L**, en milieu **PH = 4** et avec un diamètre plus grand, avec une valeur de **1,539 mg/g.**
- Dans le cas de la fuchsine acide, la valeur maximale atteinte est de **29,620 mg/g** à **PH = 4** avec un petit diamètre de charbon actif, tandis que la plus faible valeur observée est de 1**,228 mg/g**, à **2 mg/L** et en **PH = 9** avec un diamètre plus grand.

- Ces résultats confirment que l'efficacité d'adsorption augmente non seulement avec le temps mais aussi avec des conditions opératoires optimisées telles qu'un **PH** adapté et une granulométrie réduite.

- L'analyse des courbes de cinétiques des courbes la concentration résiduelle en solution **(Ct)** diminue progressivement avec le temps dans toutes les conditions expérimentales étudiées. Cette baisse traduit le transfert continu du polluant depuis la Phase aqueuse vers la surface du charbon actif.

- Plus le temps avance plus les sites actifs du matériau captent les molécules colorées, réduisant ainsi la concentration du colorant dans le milieu. La vitesse de diminution de **Ct** dépend fortement de la nature du colorant, du **PH**, de la concentration initiale ainsi que de la granulométrie du biosorbant. Cette évolution confirme le comportement typique d'un processus d'adsorption où l'équilibre est atteint lorsque Ct devient stable.

c) **Conclusion**

- L'évolution des paramètres cinétiques montre clairement que le rendement d'adsorption, la quantité adsorbée **(X/m)** et la diminution de la concentration résiduelle **(Ct)** sont tous favorisés par un temps de contact prolongé, un PH optimal et une granulométrie réduite du charbon actif.
- Le bleu de méthylène s'est révélé plus facilement adsorbé en milieu basique, tandis que la fuchsine acide a montré une meilleure affinité en milieu acide. La performance globale est donc fortement influencée par les conditions opératoires.
- En conséquence, l'optimisation du **PH**, de la concentration initiale et de la taille des particules est essentielle pour améliorer l'efficacité du procédé d'adsorption.

IV.10. Modèles Cinétiques d'adsorption :

Dans cette partie, une étude cinétique de l'adsorption a été menée pour les deux colorants organiques, à savoir le bleu de méthylène (**BM**) et la fuchsine acide (**FA**), en présence du charbon activé élaboré à partir de noyaux de dattes. L'analyse cinétique permet de mieux comprendre la vitesse du processus d'adsorption, de déterminer le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre, ainsi que de proposer les mécanismes potentiels impliqués dans l'interaction adsorbant/adsorbat. Cette étude est essentielle pour l'optimisation du temps de contact dans les applications pratiques de traitement des eaux usées, et constitue une étape préalable indispensable à la modélisation des mécanismes d'adsorption à travers les modèles cinétiques.

a) Etude du cas du bleu de méthylène : BM

L'étude a été réalisée dans les conditions suivantes **:** **PH=4** **d_m=250 µm.**

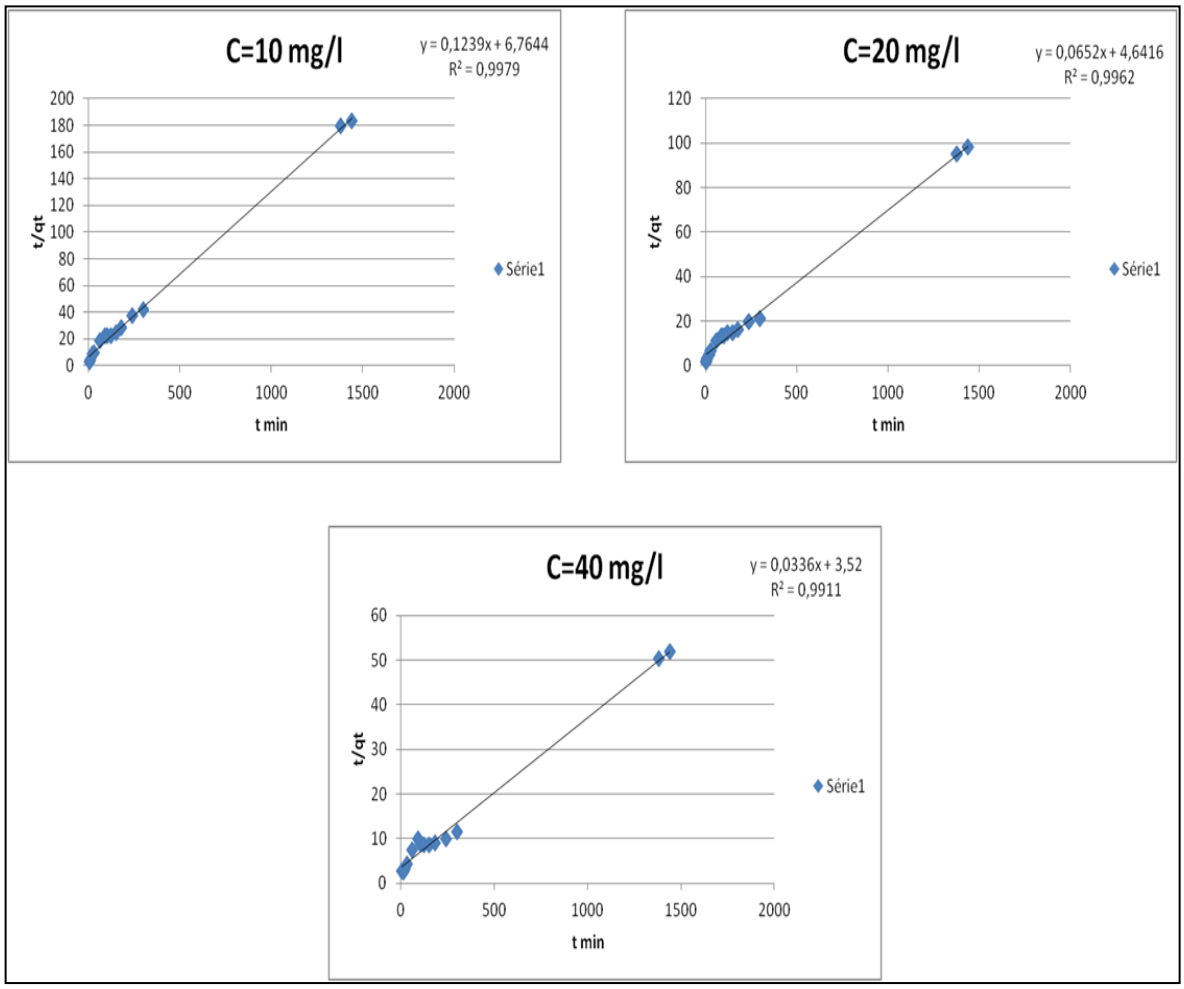


Figure IV.40: *Modélisation des données cinétiques : modèle du pseudo-second ordre.*

On observe que la capacité d'adsorption à l'équilibre augmente avec la concentration initiale du polluant. En effet, elle passe de **8,07 mg/g** à **29,76 mg/g** lorsque la concentration augmente de **10** à **40 mg/L**. Ceci s'explique par la disponibilité plus importante des molécules du colorant à plus forte concentration, favorisant une occupation plus importante des sites actifs.

En revanche, le coefficient de vitesse diminue avec l'augmentation de la concentration initiale, passant de **0,0023** à **0,0004 g/mg·min**. Cette diminution peut être attribuée à la saturation progressive des sites actifs à des concentrations plus élevées, ce qui ralentit la vitesse globale d'adsorption.

b) Etude du cas du fushine acide : FA

L'étude a été réalisée dans les conditions suivantes : **PH=4** **d_m=250 µm**

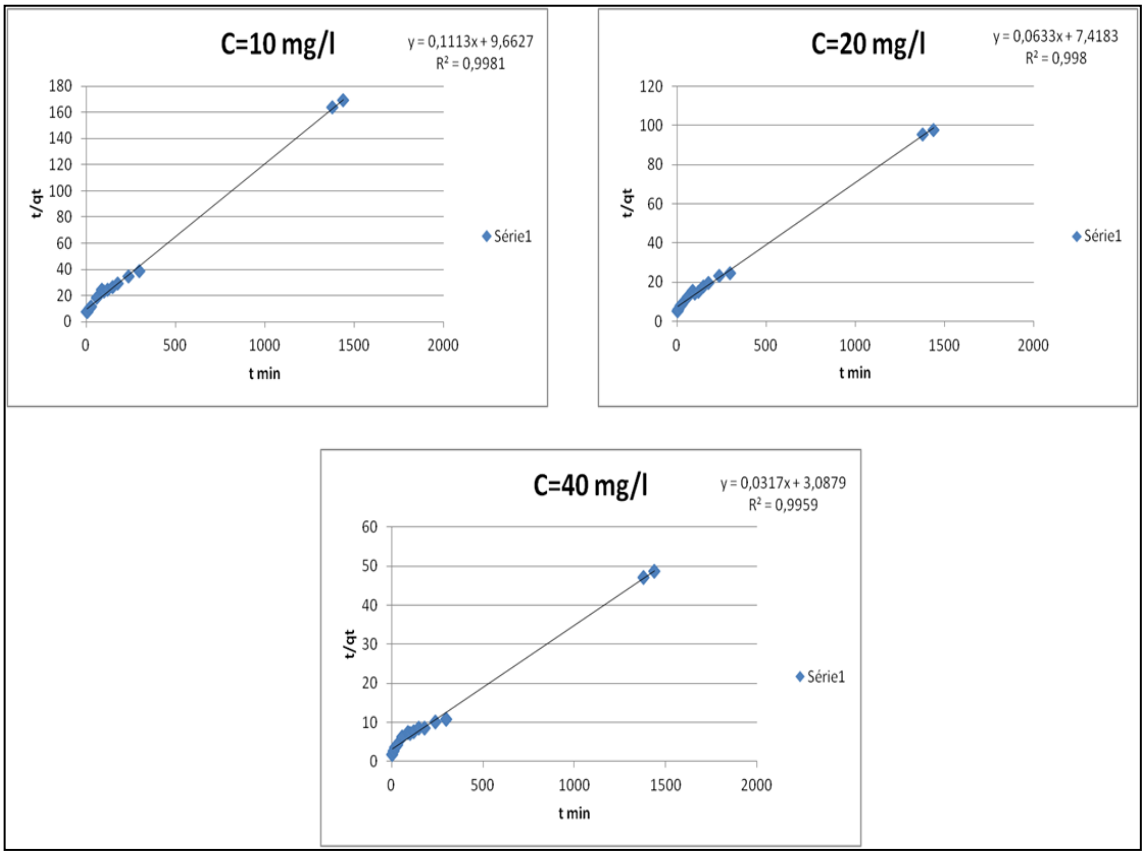


Figure IV.41: *Modélisation des données cinétiques : modèle du pseudo-second ordre.*

Les courbes présentent un bon ajustement au modèle, ce qui suggère une adsorption de type chimisorption. La capacité d'adsorption augmente avec , tandis que diminue, traduisant une saturation progressive des sites actifs.

Tableau IV.4: *Valeurs de R² pour les modèles cinétiques : pseudo-premier ordre*

Coefficient	R^2		
concentration	10 mg/l	20 mg/l	40 mg/l
BM (PH=4 , d_m=250)	0,8186	0,7854	0,8572
BM (PH=9, d_m=250)	0,5949	0,625	0,6912
FA (PH=4 , d_m=250)	0,9197	0,9481	0,8532
FA (PH=9 , d_m=250)	0,9031	0,779	0,9613

Tableau IV.5: *Valeurs de R² pour les modèles cinétiques : pseudo-second ord*

Coefficient	R^2		
concentration	10 mg/l	20 mg/l	40 mg/l
BM (PH=4 , d_m=250)	0,9979	0,9962	0,9911
BM (PH=9, d_m=250)	0,9993	0,9996	0,9973
FA (PH=4 , d_m=250)	0,9981	0,998	0,9959
FA (PH=9 , d_m=250)	0,994	0,998	0,9978

Afin de déterminer le modèle cinétique le plus approprié décrivant le processus d'adsorption des colorants organiques (Bleu de Méthylène et Fuchsine Acide) sur le charbon actif préparé, les données expérimentales ont été ajustées aux modèles cinétiques du pseudo-premier ordre et du pseudo-deuxième ordre. Les coefficients de détermination obtenus sont résumés dans les tableaux.

L'analyse des résultats montre que les valeurs de associées au modèle du pseudo-premier ordre sont relativement faibles, en particulier pour le Bleu de Méthylène à **PH 9** (avec des valeurs aussi basses que **0,5949**), indiquant une mauvaise adéquation entre ce modèle et les données expérimentales. En revanche, les valeurs de obtenues pour le modèle du pseudo-deuxième ordre sont très élevées, dépassant dans tous les cas **0,99,** ce qui traduit une excellente corrélation.

Ces observations permettent de conclure que le modèle cinétique du pseudo-deuxième ordre est le plus adéquat pour décrire le processus d'adsorption dans toutes les conditions étudiées. Cela suggère que le mécanisme d'adsorption est probablement contrôlé par une chimisorption, impliquant des interactions chimiques spécifiques entre les sites actifs du charbon actif et les molécules des colorants.

IV.11. Détermination des paramètres d'adsorption :

L'isotherme d'adsorption correspondant aux courbes de variation de la quantité d'adsorption par unité de masse d'adsorption **X/m** à l'équilibre en fonction de la concentration d'équilibre.

Chaque courbe trace correspondant à l'isotherme de Freundlich.

Présentation des résultats selon le modèle de Freundlich :

L'isotherme de Freundlich est un modèle empirique couramment utilisé pour décrire l'adsorption sur des surfaces hétérogènes. Initialement développée pour l'adsorption de gaz sur un adsorbant solide, elle peut être appliquée à une adsorption en solution. L'isotherme de Freundlich, qui est une isotherme de type **I**, par sa simplicité, est une isotherme populaire, son application diffère pour d'autres modèles cependant, car elles ne sont pas destinées aux mêmes types d'adsorption.

Il est exprimé, dans le cas de solutions, par l'équation suivante :

$$\mathbf{Q} = \frac{m_A}{m_B} = \frac{X}{m} = \mathbf{K}\,\mathbf{C^n} \qquad \textbf{(IV.8)}$$

Avec *:*

m_A= la masse de particules adsorbée

m_B= la masse de l'adsorbant introduite dans le milieu

$\mathbf{Q} = \frac{X}{m}$: est la quantité adsorbée à l'équilibre (**mg/g**)

C : est la concentration en solution à t min exprime en (**mg/l**)

K : est la constante liée à la capacité d'adsorption

n : est un paramètre indiquant l'intensité ou la favorabilité de l'adsorption.

L'équation de Freundlich, sous cette forme, ne donne pas accès directement aux valeurs des constantes : **K** et **n**. le passage à la forme linéariser de cette équation permet de déterminer ces dernières.

Linéarisation de l'équation de Freundlich

Pour linéariser cette équation, on utilise la forme logarithmique :

$$\log\frac{X}{m} = \log K + n\log C_t \qquad \text{IV.9}$$

À partir de cette relation, les constantes **K** et **n** sont obtenues respectivement à partir de l'ordonnée à l'origine et de la pente du droite $\log\frac{X}{m}$ en fonction de $\log C_t$.

L'étude des différentes courbes d'adsorption présentées initialement permettent d'accéder aux constantes de l'équation de Freundlich **K** et **n**.

a) Etude du bleu de méthylène : BM

Condition d'étude : **PH=4** **d_m=250 µm**

La **figure IV.42** présentent les courbes des quantités adsorbées à différentes concentrations, dans le cas d'un **PH** acide **(PH=4)** et pour le diamètre minimum des grains de charbon actif (**d_m=250 µm)**. Ces courbes ont l'allure d'une isotherme de Freundlich de type I sauf pour la concentration **C= 20 mg/l**.

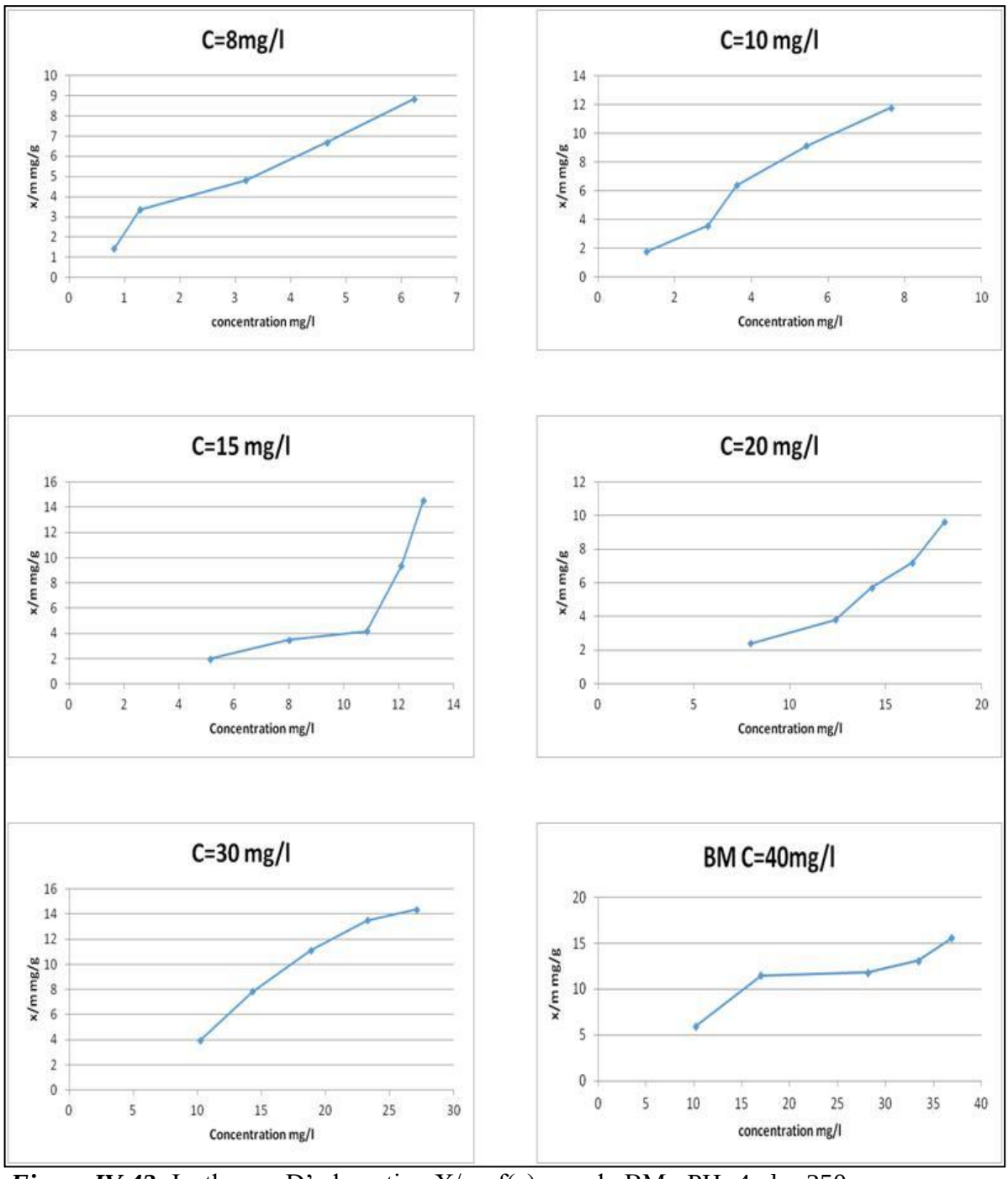


Figure IV.42: Isotherme D'adsorption X/m=f(c), cas du BM : PH=4, d_m=250 µm

La linéarisation des courbes représentant la quantité adsorbée permet de déterminer les coefficients d'adsorption **K** et **n** de l'équation de Freundlich.

La **figure IV.43** présente la linéarisation des courbes de la **figure IV.42**, elle donne des droites différentes avec des coefficients de corrélations compris entre $\mathbf{R^2 = 0.7188}$ pour $\mathbf{C_1 = 8\ mg/l}$ et $\mathbf{R^2 = 0.9742}$ pour $\mathbf{C_2 = 10\ mg/l}$. d'une manière générale ces valeurs, à quelques exceptions près sont acceptables ceci est peut-être dû aux erreurs de l'expérience.

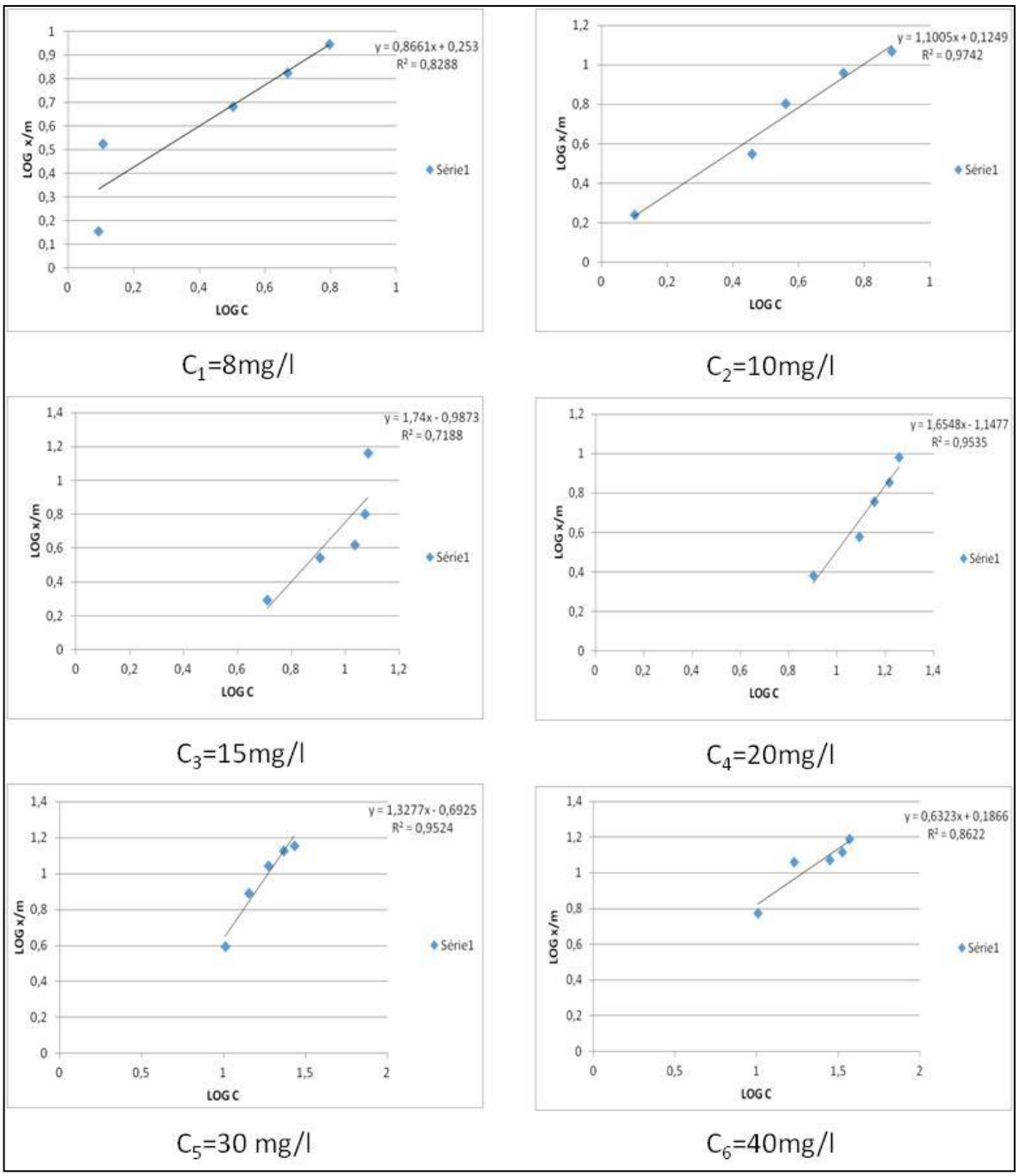


Figure IV.43: *paramètres de l'équation de Freundlich log X/m=f (log c), cas du BM 4-250*

Le **tableau IV.6**, ci-dessous, résume l'ensemble des résultats de cette étude pour le bleu de méthylène **BM**, où les résultats sont présentés. Ces résultats montrent que les valeurs de n et de **K** sont acceptables compte tenu des conditions de travail.

Les **tableaux IV.6** donne les résultats obtenus des valeurs des coefficients « **n** et **K** » pour des valeurs de **PH=4** et pour des diamètres des grains de $\mathbf{d_m}$**=250 µm** pour le bleu de méthylène.

L'analyse du **tableau IV.6** montre que les valeurs de « **n** » oscillent entre **n=0.9942** et **1.3581** dans le cas $\mathbf{d_m}$**=250 µm** pour le **BM**. Ce tableau montre que les valeurs de **n** et de **K** sont dans un domaine acceptable**. 06323<n<1.6548** et les valeurs de **K** oscillent entre : **-1.1477<K<0.253.**

Tableau IV.6 : *les paramètres de l'isotherme de Freundlich. Cas du BM PH=**4 ; dm=250***

C (mg/l)	n	K
8	0.8661	0.253
10	1.1005	0.1249
15	1.74	-0.9873
20	1.6548	-1.1477
30	1.3277	-0.6925
40	0.6323	0.1866

b) Etude de la fuchsine acide : FA, PH=4 ; dm=250

Pour la fuchsine acide : **FA**, les résultats présentés (**figure IV.44**) sont de même allure que ceux présentés dans la **figure IV.42**. Ces dernières présentent les courbes des quantités adsorbées pour les concentrations présentées, dans le cas d'un **PH** acide **(PH=4)** et pour le diamètre minimum des grains de charbon actif ($\mathbf{d_m}$**=250 µm**). Ces courbes à des exceptions près, ont l'allure d'une isotherme de Freundlich de type **I.**

Pour les conditions suivantes **:** **PH=4** $\mathbf{d_m}$**=250 µm**

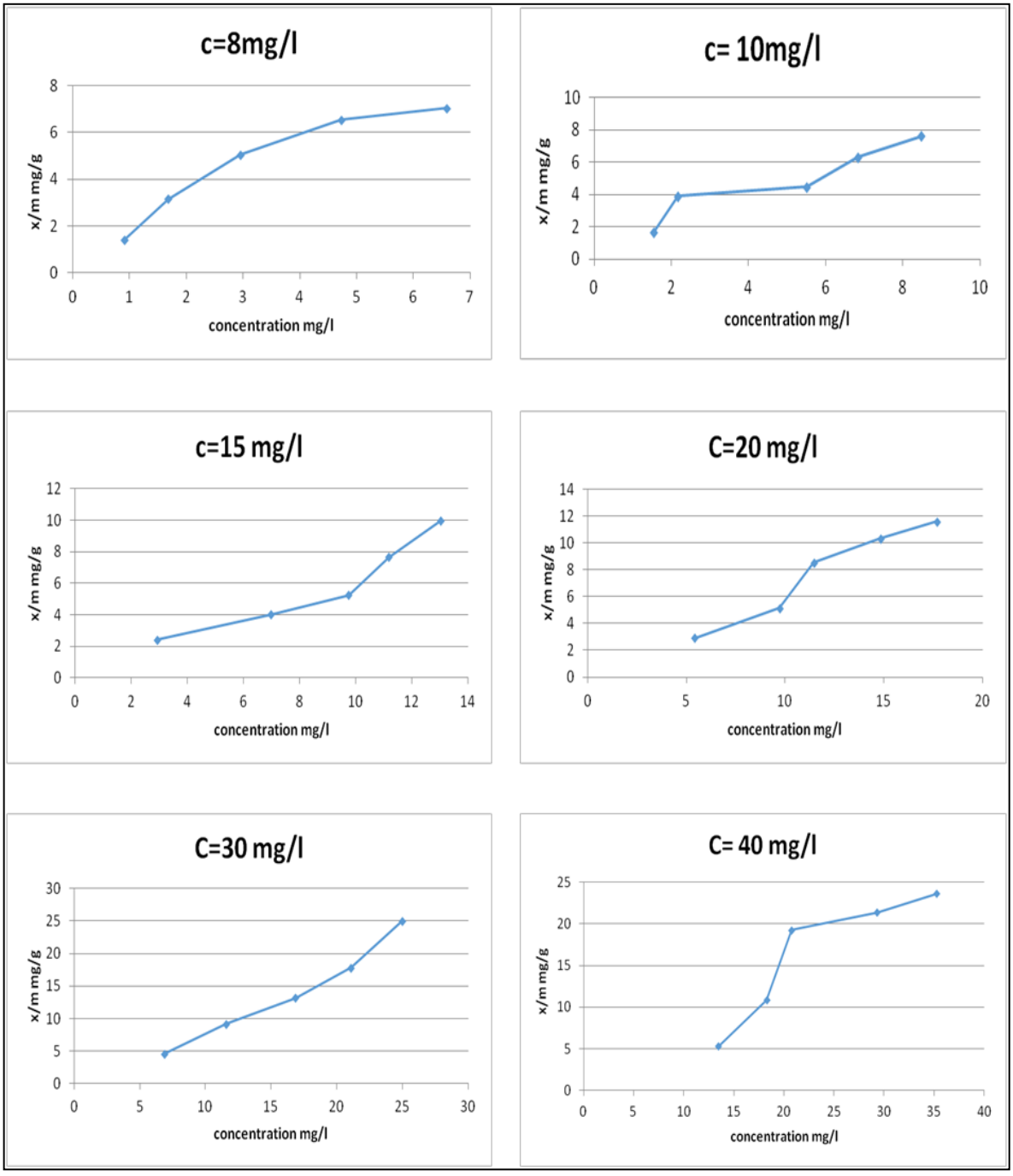


Figure IV.44: *Isotherme D'adsorption X/m=f(c), cas de la FA : PH=**4 ; dm=250***

La linéarisation des courbes représentant la quantité adsorbée permet de déterminer les coefficients d'adsorption **K** et **n** de l'équation de Freundlich.

L'interprétation des droites de la **figure IV.45** présente la linéarisation des courbes de la **figure IV.44**, elle donne des droites différentes avec des coefficients de corrélations compris entre $\mathbf{R^2= 0.8384}$ pour $\mathbf{C_5= 40\ mg/l}$ et $\mathbf{R^2=0.9912}$ pour $\mathbf{C_4= 30\ mg/l}$. d'une manière générale ces valeurs, à quelques exceptions près sont acceptables ceci est peut-être dû aux erreurs de l'expérience.

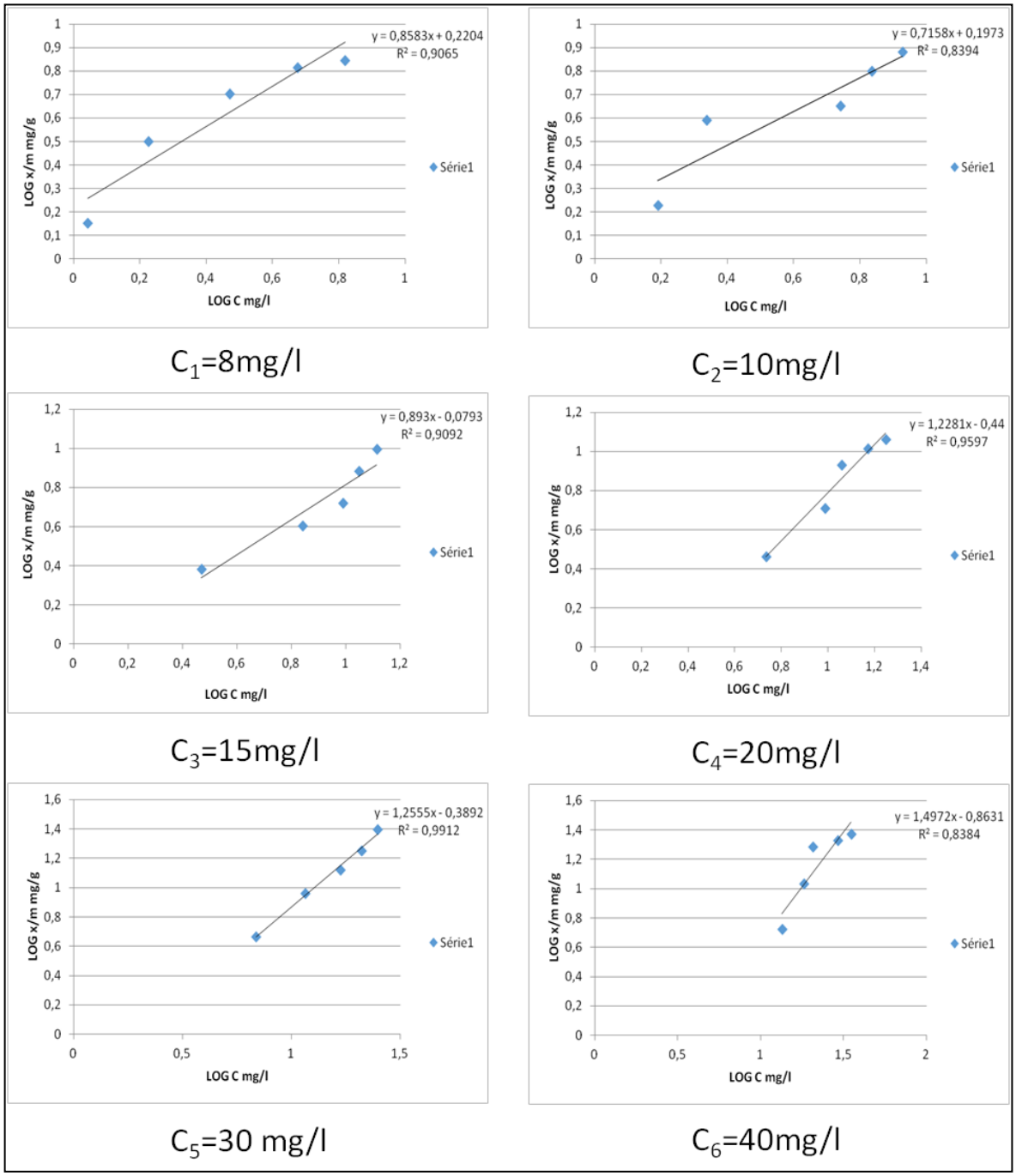


Figure IV.45: *Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c), cas de la FA : PH=**4 ; dm=250***

Cas de la fuchsine acide : FA

Les résultats obtenus de la linéarisation des courbes d'adsorption sont résumés dans Le **tableau IV.7**, pour le Cas de la fuchsine acide : **FA**. Comme pour le cas du **BM**, Ces résultats montrent dans ce cas aussi, que les valeurs de n et de K sont acceptables.

Dans le **tableau IV.7** sont résumés les résultats obtenus des valeurs des coefficients « **n** et **K** » pour des valeurs de **PH=4** et pour des diamètres des grains de **d_m=250 µm** pour la fuchsine acide.

L'analyse du **tableau IV.8** montre que les valeurs de « **n** » oscillent entre **n=0.8583** et **1.4972** dans le cas **d_m=250 µm** pour la **FA**.

Tableau IV.7: *les paramètres de l'isotherme de Freundlich. Cas de la FA : PH=4, d_m=250 µm*

Concentrations (mg/l)	n	k
8	0.8583	0.2204
10	0.7158	0.1973
15	0.893	-0.0793
20	1.2281	-0.44
30	1.2555	-0.3892
40	1.4972	-0.8631

Cas du bleu de méthylène Pour les conditions suivantes : PH=4, d_m=750 µm

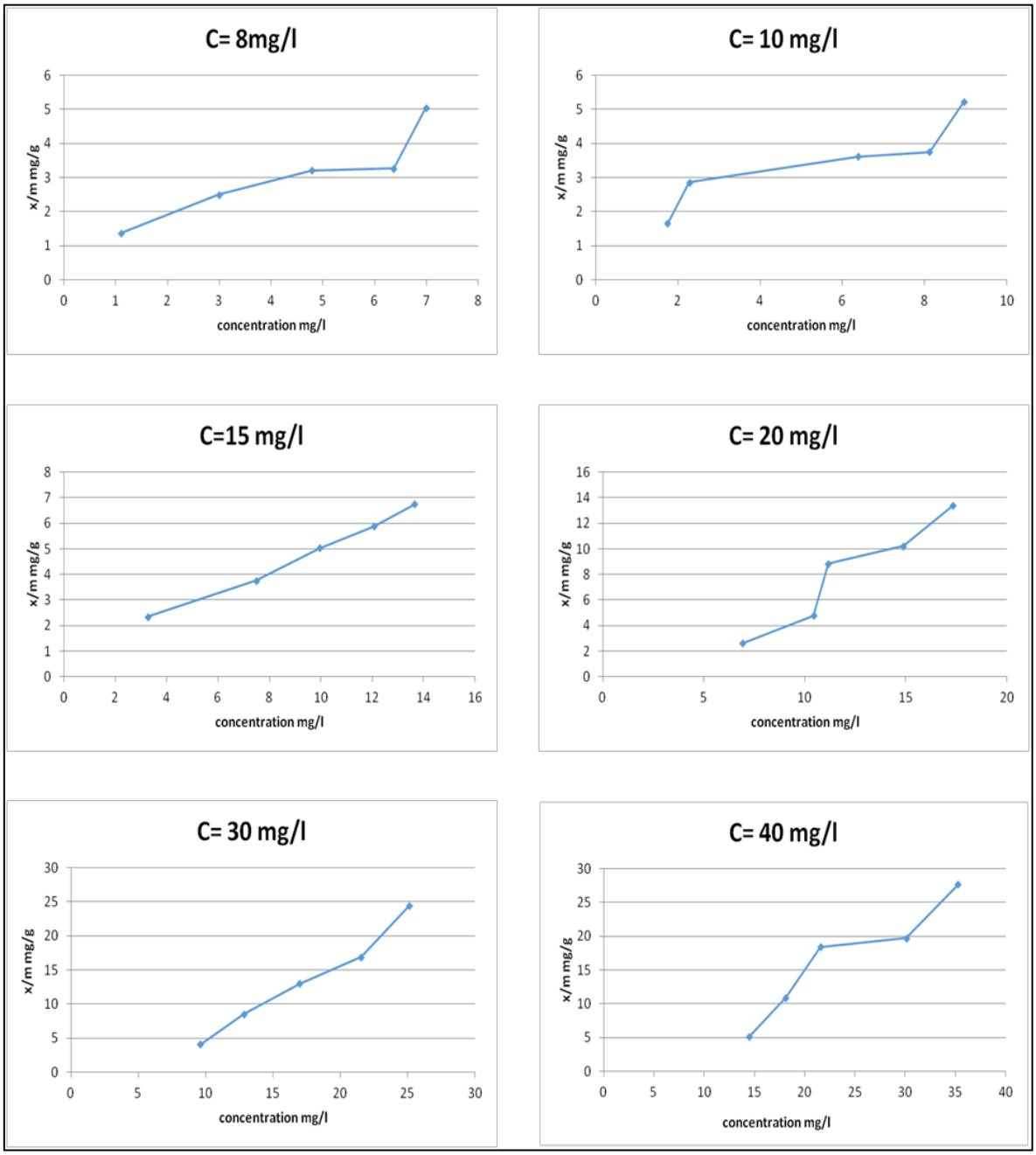


Figure IV.46*: Isotherme d'adsorption X/m=f(c) cas du BM PH=4, d_m=750 µm*

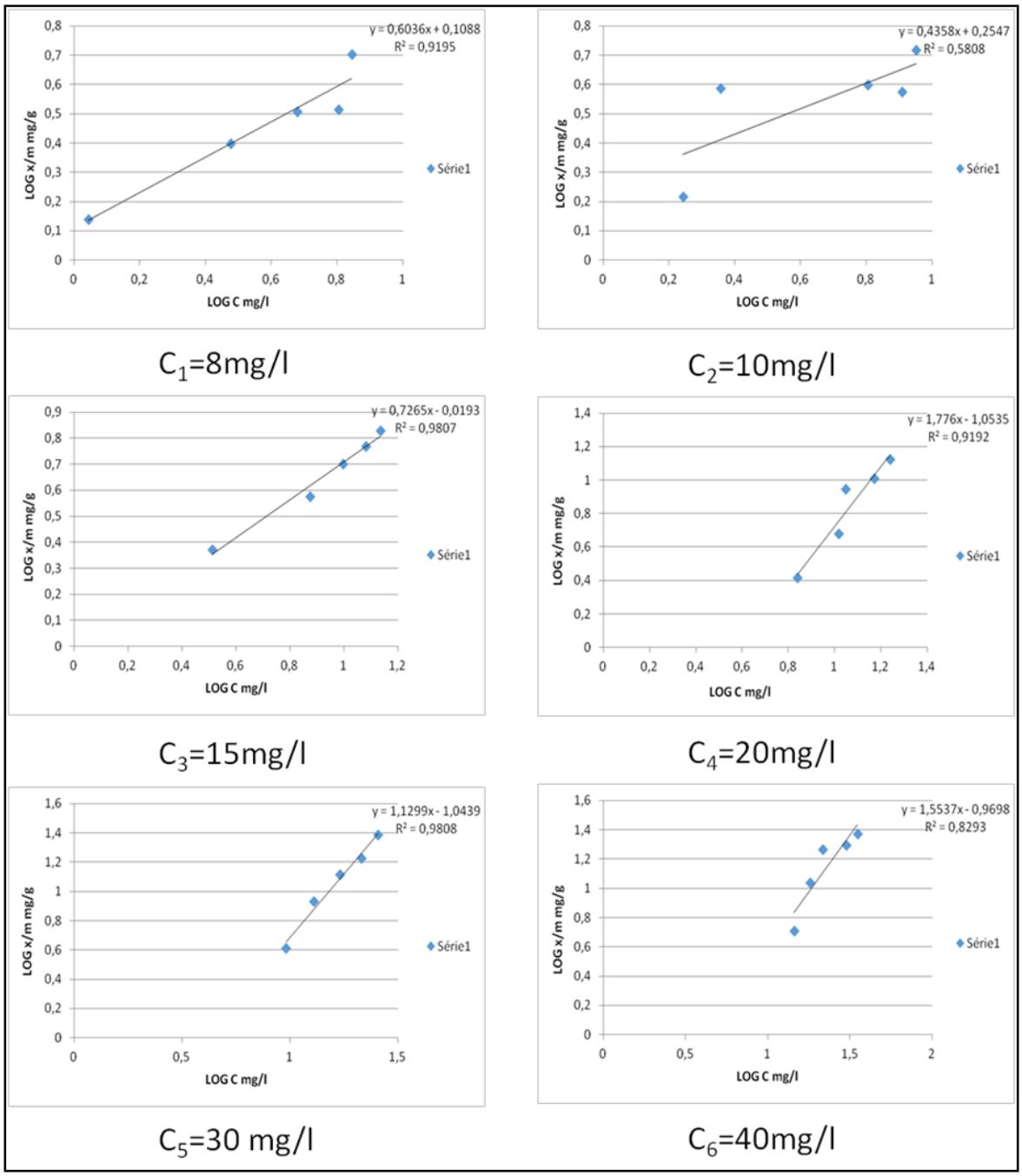


Figure IV.47: *Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c) cas du BM : PH=4, d_m=750 µm*

Tableau IV.8 : *les paramètres de l'isotherme de Freundlich*. Cas du BM 4 750

C (mg/l)	n	k
8	1.32	-0.4959
10	1.244	-0.2604
15	1.2418	-0.6649
20	1.2225	-0.6769
30	0.811	-0.2619
40	0.904	-0.8032

Cas de **FA** : (**PH=4, dm=750**)

FA Pour les conditions suivantes : **PH=4** **d_m=750 µm**

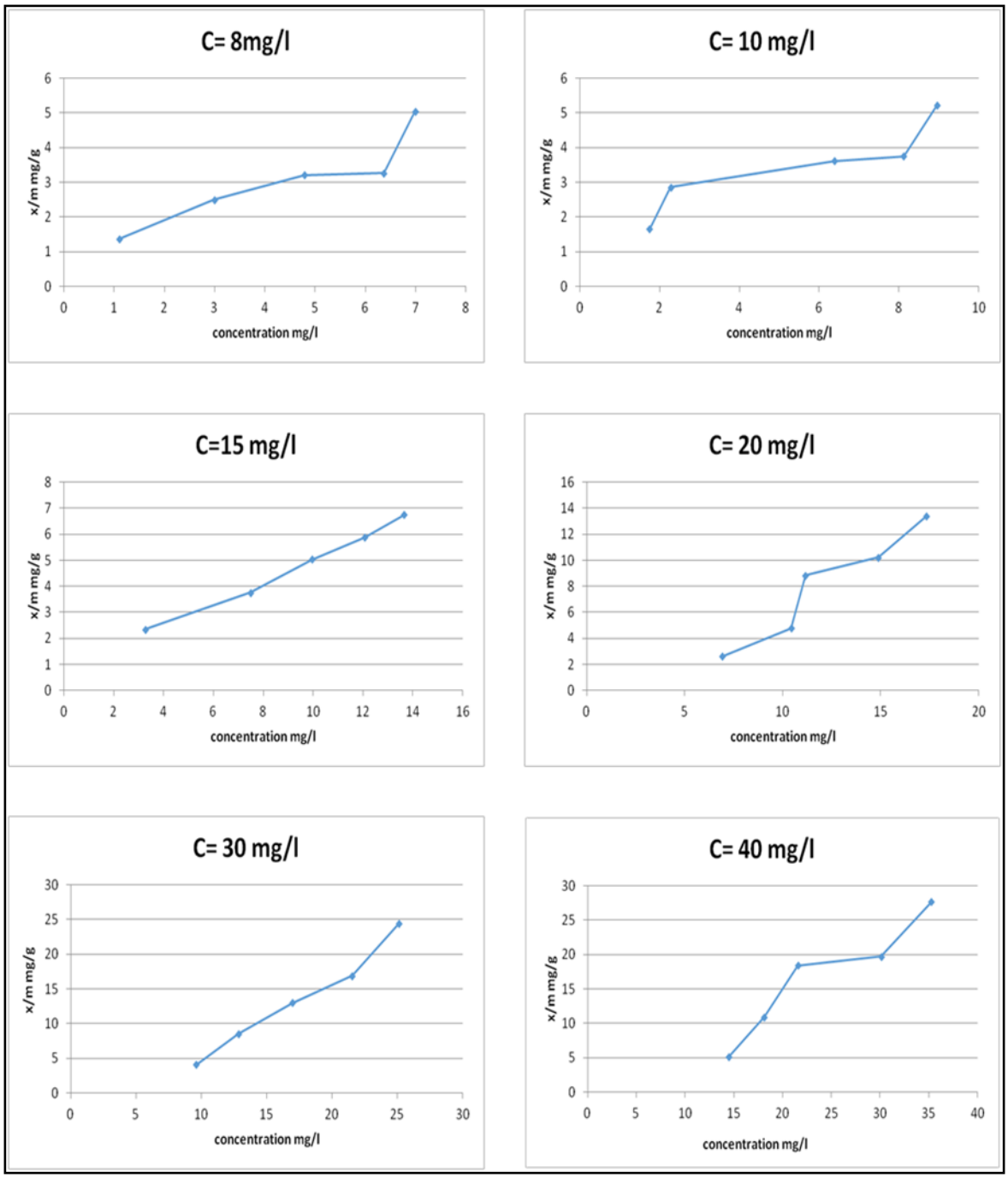


Figure IV.48: *Isotherme d'adsorption X/m=f(c) FA : PH=4, d_m=750 µm*

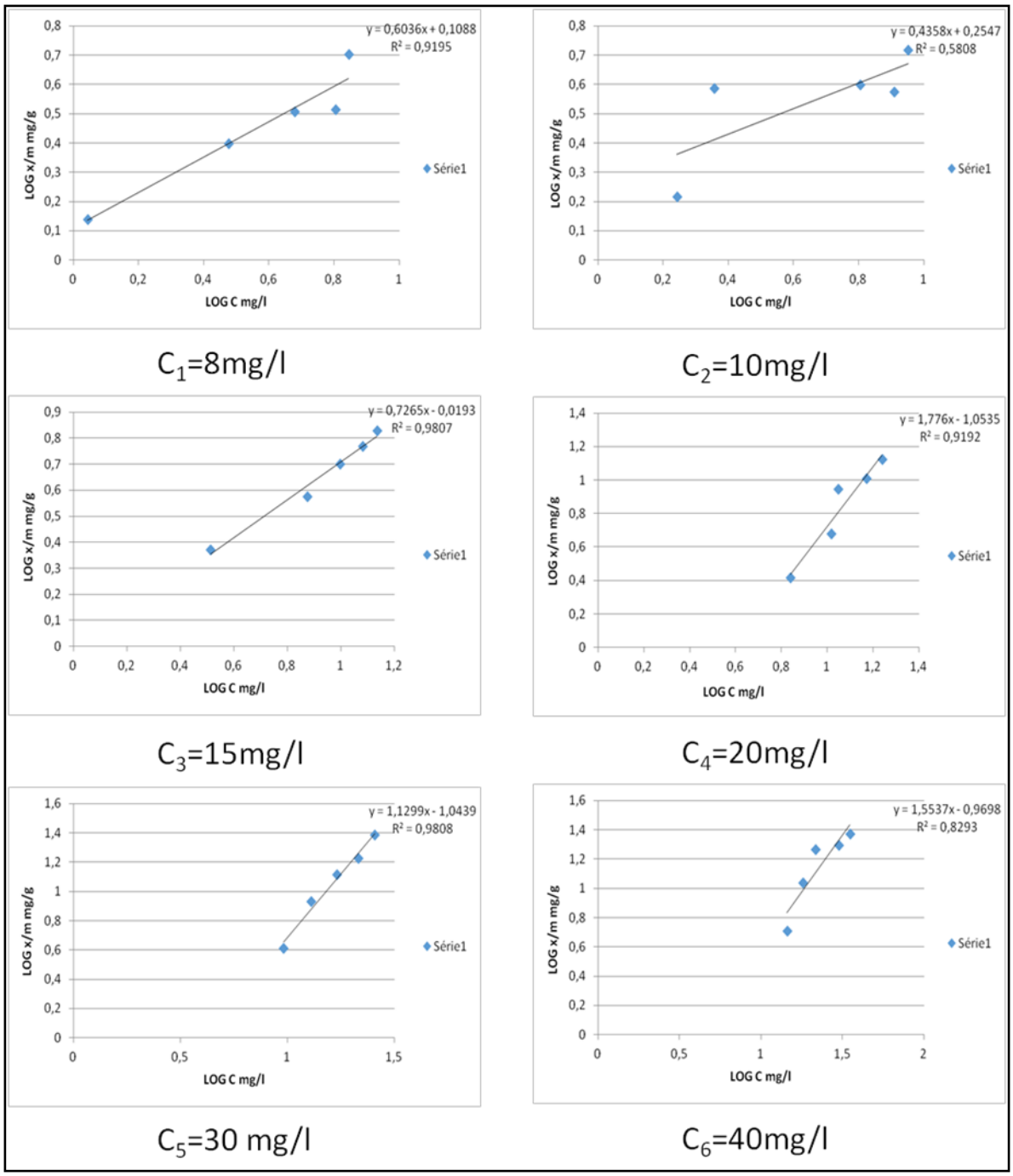


Figure IV.49: *Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c) FA : PH=4, d_m=750 µm*

FA PH=4 d_m=750 µm

Tableau IV.9: *les paramètres de l'isotherme de Freundlich. FA : PH=4, d_m=750 µm*

C (mg/l)	n	k
8	0.6036	0.1088
10	0.4358	0.2547
15	0.7265	-0.0193
20	1.776	-1.0535
30	1.1299	-1.0439
40	1.5537	-0.9698

Les autres courbes donnant les valeurs des coefficients « **n** et **K** » de Freundlich sont résumés dans l'annexe 2. (**Figure IV.48 à figure IV.57**).

Les **tableaux IV.9** à **IV.13** représentent les résultats obtenus des valeurs des coefficients « **n** et **K** » pour des valeurs de **PH=9** et pour des diamètres des grains allant de **d_m=250 µm** pour le bleu de méthylène et pour la fuchsine acide.

L'analyse du **tableau IV.10** montre que les valeurs de « **n** » oscillent entre **n=0.9942** et **1.3581** dans le cas **d_m=250 µm** pour le **BM**.

Cas du **BM : PH=9** **d_m=250 µm**

Tableau IV.10 : *les paramètres de l'isotherme de Freundlich*.

C (mg/l)	n	k
8	1.0227	0.2105
10	0.9986	0.0035
15	**0.9942**	-0.1365
20	1.2238	-0.4057
30	**1.3581**	-0.5255
40	1.2876	-0.587

L'analyse du **tableau IV.11** montre que les valeurs de « **n** » oscillent entre **n=0.7944** et **2.6853** dans le cas **d_m=250 µm** pour la **FA**

Les valeurs de **K** obtenues sont toutes négatives : **-1.7846 < K < -0.1039**.

Cas du **FA : PH=9** **d_m=750 µm**

Tableau IV.11: *les paramètres de l'isotherme de Freundlich.* FA : PH=9, d_m=250 µm

C (mg/l)	n	k
8	0.7944	-0.1039
10	2.6853	-1.9579
15	1.519	-1.0318
20	1.9981	-1.7274
30	1.3599	-1.7846
40	0.7572	-1.5779

Cas du BM : PH=9

d_m=750 µm ***Tableau IV.12:*** *les paramètres de l'isotherme de Freundlich.*

C (mg/l)	n	k
8	0.8699	0.0965
10	0.9817	-0.1962
15	1.1271	-0.4074
20	1.8074	-1.1222
30	1.2726	-0.5098
40	0.8086	-1.3374

Cas de la **FA : PH=9** $\mathbf{d_m}$**=750** µm

Tableau IV.13: *les paramètres de l'isotherme de Freundlich.* FA: PH=9, d_m=750 µm

C (mg/l)	n	k
8	0.8356	-0.4375
10	0.606	-0.0544
15	3.6635	-3.159
20	1.0808	-3.0451
30	1.8061	-1.7743
40	1.373	-1.0733

IV.12. Conclusion :

- Les résultats expérimentaux obtenus pour les deux colorants : le bleu de méthylène (**BM**) et la Fushine acide (**FA**), obéissent au modèle de type isotherme de Freundlich.

- L'analyse des courbes $\mathbf{log\frac{x}{m}}$ en fonction de log **Ct** a révélé une bonne linéarité, ceci indique que le processus d'adsorption ne suit pas un mécanisme mono-moléculaire uniforme (comme le propose le modèle de Langmuir).

- La constante n'obtenue dans chaque cas est proche de **1**, ce qui indique une adsorption de type modéré.

- Les résultats expérimentaux obtenus confirment donc que le modèle de Freundlich est le plus adapté pour décrire le comportement d'adsorption des deux polluants organiques étudiés sur le charbon activé préparé (des essais sur d'autres types ont été réalisés).

- Les résultats permettent d'identifier les conditions opératoires et les configurations du biomatériau offrant les meilleurs rendements d'adsorption, et donc de sélectionner les milieux les plus efficaces pour l'élimination des colorants étudiés.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale :

Face aux défis environnementaux croissants liés à la pollution industrielle, il devient impératif de rechercher des solutions efficaces et durables pour le traitement des eaux usées, notamment celles chargées en polluants organiques tels que les colorants synthétiques. Parmi les techniques les plus prometteuses, l'adsorption s'impose grâce à sa simplicité, son efficacité remarquable et son faible coût comparé à d'autres procédés classiques.

Ce travail s'inscrit dans cette démarche en visant à valoriser une ressource agricole locale abondante en Algérie, à savoir les noyaux de dattes, pour préparer un matériau adsorbant performant dans l'élimination de colorants organiques en solution aqueuse. L'Algérie étant l'un des plus grands producteurs mondiaux de dattes, les noyaux représentent un déchet agricole disponible à grande échelle et à fort potentiel de valorisation.

Le charbon actif a été préparé à partir de ces noyaux de dattes par activation chimique à l'acide PhosPhorique **(H_3PO_4)**, puis testé pour l'élimination de deux colorants largement utilisés dans les industries textile et Pharmaceutique : le bleu de méthylène (colorant basique) et la fuchsine acide (colorant acide). Ces deux substances sont connues pour leur stabilité chimique et leur toxicité potentielle, ce qui les rend persistantes dans l'environnement.

Une méthodologie rigoureuse a été adoptée pour évaluer l'impact de plusieurs paramètres opératoires sur l'efficacité d'adsorption, notamment : le **PH**, la taille des particules de charbon actif, la masse utilisée, ainsi que la concentration initiale en polluant. Les résultats ont ensuite été analysés à travers des études cinétiques et isothermes, permettant de mieux comprendre les mécanismes mis en jeu.

Les résultats expérimentaux ont révélé que le charbon actif préparé possède une très bonne affinité pour le bleu de méthylène, particulièrement en milieu basique **(PH = 9)** et avec une taille de particules réduite, avec un rendement d'adsorption maximal de **99 %** à **2 mg/L** après **1440 minutes**. Ce rendement est de 80 % à 40 mg/L. En revanche, le rendement le plus faible **(51 %)** a été observé en milieu acide (**PH = 4**) avec une taille de particules plus grande, soulignant ainsi l'effet combiné du **PH** et de la granulométrie.

Pour la fuchsine acide, un rendement maximal de **90 %** a été obtenu en milieu acide (**PH = 4**) à **2 mg/L** avec des particules fines. Ce rendement diminue à **74%** à **40 mg/L**, et une valeur minimale de **30 %** a été notée avec des particules plus grosses, ce qui pourrait être dû à une saturation des sites actifs en présence de fortes charges polluantes.

En ce qui concerne la quantité adsorbée (X/m), la valeur la plus élevée enregistrée pour le bleu de méthylène est de 36,25 mg/g à une concentration initiale de **40 mg/L**, à **PH = 9** et avec des particules fines. La plus faible quantité (**1,539 mg/g**) a été notée à **PH = 4** avec des particules plus grosses, ce qui illustre l'impact notable des conditions Physico-chimiques sur la capacité d'adsorption.

Ces résultats confirment le potentiel élevé des noyaux de dattes en tant que précurseur de charbon actif :

- ressource abondante et gratuite,
- faible coût de production,
- efficacité notable contre les polluants organiques,
- valorisation locale durable et écologique

Malgré ces résultats encourageants, certaines limites ont été relevées, notamment :

l'absence de caractérisations avancées (**BET, SEM...),** l'utilisation de solutions modèles au lieu d'eaux réelles, et l'étude restreinte à deux colorants uniquement. Ainsi, les perspectives futures pourraient inclure :

- l'optimisation des conditions de préparation du charbon actif,
- l'étude d'autres polluants (métaux lourds, médicaments, pesticides...),
- la comparaison avec des charbons commerciaux, des tests semi-industriels sur eaux réelles
- et l'évaluation du potentiel de régénération du charbon actif.

En conclusion, ce travail représente une avancée vers une gestion environnementale durable et une valorisation intelligente des déchets agricoles, en apportant une solution locale et performante pour la dépollution des eaux contaminées par des substances organiques.

RÉFÉRENCE

Références de l'introduction générale:

[1] Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., & Nigam, P. (2001). Traitement des colorants dans les effluents textiles : une revue critique. Bioresource Technology, 77(3), 247–255.

[2] Zollinger, H. (2003). Chimie des colorants : Synthèses, propriétés et applications des colorants et pigments organiques. Wiley-VCH.

[3] Marsh, H., & Rodríguez-Reinoso, F. (2006). Charbon actif : propriétés physiques et applications. Elsevier.

[4] Ioannidou, O., & Zabaniotou, A. (2007). Les résidus agricoles comme précurseurs pour la production de charbons activés – Une revue. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11(9), 1966–2005.

[5] Benhammou, A., & Yaacoubi, A. (2019). Utilisation des noyaux de dattes pour la préparation de charbons activés : caractérisation et application. Revue des Sciences de l'Eau, 32(1), 21–30.

[6] Guechi, L. (2020). Élaboration de charbon actif à partir de noyaux de dattes et application à l'adsorption des polluants organiques. Mémoire de Master, Université de Blida 1, Algérie.

Références de chapitre 1 :

[1] Zollinger H., colour chemistry-synthesis, Properties of organic dyes and pigments, VCH publishers, New York, 1987.

[2] Cooper P., colour in dyestuff effluent, the society of dyers and colourists, Aden Press, Oxford, Royaume-Uni, 1995.

[3] Willmott N.J., Guthrie J.T., Nelson G., JSDC, 1998, 114, p. 38.

[4] Eckenfelder W, Edition 1982 « Gestion des eaux usées urbaines et industrielles technique et documentation, LAVOISIER Paris.

[5] Bouchemal Naima, « Préparation de charbons actifs à partir de noyaux des dattes caractérisation et application à l'adsorption en milieu aqueux de deux colorants. Présenté pour l'obtention du diplôme de magister de spécialité chimie Physique et théorique. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (USTHB), 2016.

[6] file://C:/Users/LENOVO/Downloads/Garance_Chap2.pdf

[7] H. Ben Mansour et al. Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : criblage de la toxicité et des méthodes de traitement. Revue des sciences de l'eau / Journal of water science. 2011 ;24(3) :209_238.

[8] https://a.gharbage.free.fr/colorants/histoire_colorants.htm

[9] Illoul Malia « Dégradation d'un colorant cationique (éthyl violet) par Photocatalyse hétérogène (TiO2) » Mémoire de Master 23 juin 2014.

[10] Ghizlène Fernane « toxicité des colorants et différentes techniques de traitement des effluents » Mémoire de master juin 2017. École nationale polytechnique (ENP) d'Alger. Département de génie chimique.

[11] Madani Med Amine. Adsorption d'un colorant basique (Bleu de méthylène) sur différents adsorbants (charbon actif en poudre, charbon en grain et la bentonite) Mémoire de Master.

[12] Naidja L. Elimination du colorant orange ii en solution aqueuse, par voie Photochimique et par adsorption. Mémoire Magister. Université Mentouri. Constantine, 2010.

[13] Madani Ma. Adsorption d'un colorant basique (Bleu de méthylène) sur différents adsorbants (charbon actif en poudre, charbon en grain et la bentonite). Mémoire Master : Université Mohamed Khaider à Biskra, 2014.

[14] Reffas A. Etude de l'adsorption de colorants organiques (rouge nylosan et bleu de méthylene) sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café. Thèse : université Mentouri. CONSTATINE,2010.

[15] https://tse4.mm.bing.net/th?id=OIP.MHZa9YCT1ATCzfceWM5hggAAAA&pid=Api&P=0&h=180

[16] https://123dok.net/article/classification-colorants-chapitre-ii-colorants-textiles.qw6k9j

[17] https://tse4.mm.bing.net/th?id=OIP.Qt4cxHcEjcycg0cfLkLumgHaHa&pid=Api&P=0

[18] Mansour H.B., Boughzala O., Barillier D., Chekir-Ghedira L., Mosrati R. Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : criblage de la toxicité et des méthodes de traitement. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science. 2011, 24(3), 209-238.

[19] Reffas A. Étude de l'adsorption de colorants organiques (rouge nylosan et bleu de méthylene) sur des charbons actifs préparés à partir du marc de café. Thèse de magistère, Université Mentouri Constantine, 2010.

[20] Benamraoui F. Élimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture. Mémoire de Magistère, Université Ferhat Abbas Sétif ,2014.

[21] R. Perrin., J.P. Scharef. Chimie industrielle. Tome 2. Edition Masson Paris, 1995.

[22] N. Rosenberg, X. Rousselin. Rhinite et asthme professionnels aux colorants réactifs. Document pour le médecin de travail, vol 34, pp111-114. 1988

[23] https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/chimie-bleu-methylene-17006/

[24] https://tse3.mm.bing.net/th?id=OIP.bfhSPRyj0efL0gnW3uJxggHaC3&pid=Api&P=0

[25] https://vulgaris-medical.com/fr/le-bleu-de-methylene-proprietes-et-applications

[26] https://trucmania.ouest-france.fr/vertus-bleu-de-methylene/

[27] https://fmedic.org/bleu-de-methylene-indications-effets-secondaires-avertissements

[28] https://fr.wiki34.com/wiki/fucsina_%C3%A1cida?utm_source=chatgpt.com

[29] https://tse3.mm.bing.net/th?id=OIP.7Yw6hwkOQ_wMAZ5BICoz0wAAAA&pid=Ap

[30] Carl Roth Gmbh + Co. KG. (2023). Fiche de données de sécurité-Fushine acide (Réf. T128).

[31] Soumia Arar. Adsorption du colorant jaune d'alizarine sur différents biomatériaux. Mémoire de Master. Université Larbi Ben M'hidi Oum el Bouaghi, 2015/2016, page 9,24,25,27.

[32] The Fair Dude. (S.d.). Impact des teintures textiles sur la santé et l'environnement. Récupéré le 23 février 2025 sur https://thefairdude.fr/be-fair/impact-des-teintures-textiles-sur-la-sante-et-lenvironnement.

[33] Officiel Prévention. La prévention des risques chimiques des colorants et pigments. Récupéré le 23 février 2025 sur https://www.officiel-prevention.com/dossier/protections-collectives-organisation-ergonomie/risque-chimique-2/la-prevention-des-risques-chimiques-des-colorants-et-pigments.

[34] Mansour, H. B., Boughzala, O., Dridi, d., Barillier, D., Chekir-Ghedira, L.& Mosrati, R. (2011). « Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : criblage RIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, 24(3), 209–238. https://doi.org/10.7202/1006453ar

Les références de chapitre 2 :

[1] Crini, G. (2006). Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: A review. Bioresource technology, 97(9), 1061-1085.

[2] Volesky, B. (2003). Sorption and biosorption. Water Research, 37(18), 4311-4330.

[3] Ahmed, A, Khan, N.A, & Farooqi, I.H. (2020). Removal of dyes from wastewater using biosorbents: A review on adsorption mechanism isotherm modeling and kenetics. Desalination and water treatement, 189,395-403

[4] https://www.futura-sciences.com/sciences/definitions/Physique-adsorption-3468/

[5] https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/5659/biosorption

[6] https://rightforeducation.org/fr/2024/11/28/la-biosorption/

[7]. Barka N. L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un PhosPhate naturel et par dégradation Photocatalytique sur TiO2 supporté. Thèse: Université Ibn Zohr. AGADIR, 2008.

[8] K. Jadwiga, Removal of Phenol from aqueous solution by adsorption, Can, J, Civ. Eng vol 33, p. 546-551. (2000).

[9] P. N. Hoa, S. Rio, C. Faur, L. Le coq, P. Le Cloirec, T. H. Nguyen, Production of fibrous activated carbons from natural cellulose (jute, coconut) fibrs for water treatment applications, carbon vol. 44, pp. 2569-2577. (2006).

[10] https://tse4.mm.bing.net/th?id=OIP.wfp8RpBojiSiee6ngh8_AHaD3&pid=Api&P=0&

[11] Salah NH. Etude de la dégradation Photocatalytique de polluants organiques en présence de dioxyde de titane, en suspension aqueuse et en lit fixe. Thèse : Université de Mentouri. CONSTANTINE, 2005.

[12] Creanga M. Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydation catalytique) : INPT ; 2007.

[13] N. BOUGDAH, Etude de l'adsorption de micropolluants organiques sur la bentonite, Mémoire Magister, Université de Skikda, 2007, P 17 ,18

[14] Bouhamed Mouna et Dia Ouahida, Etude de l'élimination du colorant rouge congo par adsorption, Thèse Master, Chimie, U H L D'ELOUED (2012) p :16.

[15] CHERRAYE Ridha « Préparation par voie chimique d'un charbon actif à partir des déchets de café (Effet de taux d'adjuvant) » mémoire master académique.

[16] F. Eddiline, L'épuration Physico chimique des eaux (1998) 251- 271.

[17] C. Chittour : PHysico chimique des surfaces.2eme édition, Tome2 (2004) 461 p

[18] Hiemenz, P. in: Principles of colloid and surface chemistry, Ed., Marcel Dekker, 1986.

[19] C.H. Giles, D. Smith, J. Colloid Interf. Sci. 47 (1974) 755-765.

[20] Langmuir, I. (1918). The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. Journal of the American Chemical Society, 40 (9), p. 1361-1403.

[21] Chawki, DJ. Expérimentation, Modélisation et optimisation de l'adsorption des effluents textiles. Thèse doctorat, Université Mohamed Khider Biskra, 2014.

[22] https://fr.wikipedia.org/wiki/Isotherme_de_Freundlich#

[23] Amirouche, L. Etude du pouvoir de sorption du cuivre(II), du Zinc(II) et des poly Phénols par les bentonites sous l'effet des irradiations micro-ondes. Mémoire de magister, Université Mouloud Mammeri De Tizi Ouzou ,2011.

[24] Kheliel Oussama Mémoire « Etude du pouvoir adsorbant du charbon actif pour la dénitrification des eaux souterraines » Diplôme de Magister en Hydraulique01/10/2014

[25] A. Abid, B. Guirida, Etude de l'efficacité d'un charbon actif à base de noix de dattes sur l'adsorption des métaux (calcium), Mémoire Master, Université de Ouargla, 2011.

[26] : Guignard D. (1992). L'essentiel de la cinétique et de la thermodynamique chimique. Edition Eyrolles, Paris.

[27] Y.S. Ho; G. McKay., « Kinetic model for lead (II) sorption onto peat‖ Adsorp ». Sci. Technol., 16, 1-39, (1998)

[28] Y.S. Ho, « ―Second order kinetic model for the sorption of cadmium onto tree fern: a comparison of linear and non-linear methods». Water. Res.40, 119-125, (2006).

[29] D. Leinekugel-Le-Cocq (2004), Contribution à la modélisation dynamique simplifiée d'un procédé d'adsorption modulée en pression (P.S.A.), thèse de Doctorat, Université Claude Bernard-Lyon

[30] Grubben, G J M. Tropical vegetables and their genetic resources. IBPGR, 1977.

[31] Chen, N C; M. Li, H. Cultivation and Breeding of eggplant, Asian Vegetable Research and Development Center.

[32] https://qizhongcarbon.com/fr/blog/what-is-activated-carbon-types-applications-principles/

[33] https://tse1.mm.bing.net/th?id=OIP.wIh6DWXjlvl5JycFzj2dwgAAAA&pid=Api&P

[34] https:// en. wikipedia.org/wiki/Activated_carbon

[35] https://www.donau-charbon.com

[36] Benamraoui F. Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture. Magester : Université Ferhat Abbas. SETIF,2014.

[37] Mouhamed L. Adsorption de métaux lourds dans des eaux usées par des charbons actifs préparés à partir de biomasses locales. Diplôme D'ingénieur : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 2007-2008.

[38] L. Khelaifia, M. Mazouz, Evaluation du pouvoir d'adsorption d'un charbon actif commercial, Thèse de Master, Université de Oum El Bouaghi, (2018).

[39] L. Meljac, Etude d'un procédé d'imprégnation de fibre de carbones activés-modélisation des interactions entre ces fibres et le sulfure d'hydrogène, Thèse de Doctorat, Université de Jean Monnet, St-Etienne, 2004.

[40] S. BAUP, Elimination de pesticides sur lit de charbon actif en grain en présence de matière organique naturelle, Thèse de Doctorat, Université De Poitiers, 2000.

[41] M. Mazet, B. Farkhani Et M. Baudu, Influence of Heat or Chemical Treatment of Activated Carbon onto Adsorption of Organic Compounds, Water Research, 1994.

[42] H.P. Boehm, Functional Groups on the Surfaces of Solids, Angewandte Chemie (International Edition), 5(6), 533-544, 1966.

[43] https://www.desotec.com/fr/knowledge-hub/article/chemical-structure-of-activated-carbon

[44] Emilian koller, Aide-mémoire, Génie chimique. 2eme edition. Dunod (2004) 365_P.

[45]: G.D. Halsey, The role of surface heterogeneity, Advances Catalysis. 4 (1952) 259-269.

[46]: Babel, S., & Kurniawn, T. A. (2003). Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: A review. Journal of Hazardous Materials, 97(1-3), 219_243.

[47] : Slimani Zineb, Etude d'effet des paramètres Physico-chimique sur fabrication du charbon actif à partir des coquilles des Noix, mémoire de master, Université Mohamed Khider de Biskra, lundi 28 septembre 2020.

[48] : M. Asema, Elimination des micropolluants par des adsorbants naturels, Thèse de Master, Université de Mostaganem, (2016).

[49] : C. Brasquet, J. Oussay, E. Subrenat, Le cloirec, Adsorption and selectivity of activated carbon fibres application to organics, Environmental technology, 17, p 1245-1252. (1996).

[50] : M. Gueye, synthèse et étude des charbons actifs pour le traitement des eaux usées d'une tannerie, p 4-8. (2008, 2009).

Les références de chapitre 3 :

[1] CHETIBI Loubna, Elaboration et étude des biomatériaux nanostructures de type Hydroxyapatite/MWCNTs/TiO2/Ti, Thèse de doctorat, Université Constantine 1, 2014, page 1,3,4,6

[2] BOUTORA Ahmed, Valorisation d'un déchet agroalimentaire, Mémoire de Master, Université Larbi TEBESSI-Tébessa, 2019

[3] Nader Nciri Année Universitaire : 2005-2006 production des dattes en Tunisie

[4] Retima, L. (2015). Caractérisation morPhologique et biochimique de quelque Cultivars du palmier dattier (PHoenix dactylifera L.) dans la région de Foughala (Wilaya du Biskra). Mémoire Magister. Université El Hadj Lakhdar -Batna.

[5] Benmehdi, E., et Mebarki, R. (2018). Valorisation des noyaux de dattes par production de bioénergie dans la région d'Adrar. Mémoire De Master, Université M'hamed Bougara-Boumerdes.

[6] Benahmed, A. (2012). Analyse des optitudes technologiques de poudres de dattes (PHoenix dactylifera L) améliorées par la spiruline. Etude des propriétés ehéologiques, nutritionnelles et antibactériennes. Thèse de doctorat.

[7] Wikipédia .

[8] MATALLAH M.A.A., (2004) ; Contribution à l'étude de la conservation des dates variété Deglet-Nour : Isotherme d'adsorption et de désorption, Mémoire d'Ingénieur, INA. El-Harrach, 79 p.

[9] Toutain G. (1979) - Eléments d'agronomie saharienne : de la recherché au développement. Ed. JOUVE, Paris, 276 p

[10] Bouguedoura N. (1991). Connaissance de la morPhogenèse du palmier dattier. Etude in situ et in vitro du développement morPhogénétique des appareils végétatifs et reproducteurs. Mémoire de doctorat. U.S.T.H.B. Alger. 201 p.

[11] Maatallah S. (1970). Contribution à la valorisation de la datte algérienne. Thèse d'ingéniorat INA El Harrach, 72p.

[12] SENOUSSI Malika -CHENOUF Cheyma Extraction et caractérisation Physico-chimique de l'huile des noyaux de dattes (Ghars, Deglat-Nour, Meche Degla) Mémoire En vue de l'obtention du Diplôme de Master Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi-B.B.A.

[13] FAOSTAT. (2019). Récupéré sur http://www.fao.org/faostat/fr/#rankings/countries-by commodity (site wib 2)

[14] DSA, la direction des services agricole (2016) statistique agricole.

[15]https://www.fellah-trade.com/fr/infos-agricoles/filiere-vegetale/chiffres-cles-Phoeniculture?filiere=filiere_vegetale.

[16] A. Bessas, L. Benmoussa, M. Kerarma, Dosage biochimique des polyPhénols dans les dattes et le miel récoltés dans le sud algérien, Université Djillali Libes-Sidi Bel Abbes. (2008).

[17] Djerbi M., (1994) - Précis de Phoeniciculteurs. FAO, 192 p.

[18] Espiard E., (2002) - Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc- Lavoisier, 360 p.

[19] Benmehdi, E., et Mebarki, R. (2018). Valorisation des noyaux de dattes par production de bioénergie dans la région d'Adrar. Mémoire De Master, Université M'hamed Bougara- Boumerdes.

[20] LAHRECHE Ahlem et BOUABIDE Baya (2021). Caractéristiques Physico-chimiques des noyaux et des l'huiles des noyaux de cinq variétés du palmier dattiers. Mémoire de master. Université Mohamed Khider de Biskra.

[21] Harrak, H., et Boujnah, M. (2012). Valorisation technologique des dattes au Maroc. Marouc: edition inra.

[22] S. Devshony, A. Eteshola, A. Shani, Characterization and some potential application of date plam (Phoenix dactlifera L.) seeds and seeds oil, J. Am. Oil chem. Soc. 69, pp: 595-597. (1992).

[23] M.S. Baliga, B.V. Baliga, S.M Kandathil, H.P. Bhat, P.K Vayalil, A review of the chemistry and Pharmacolog of the date fruis (Phoenix dactylifera L.). Food Chemistry International, FRIN – 03245, (6 July, 11p) (2010).

[24] M. Khali, Z. Boussena, L. Boutekrabt, Effet de l'incorporation de noyaux de dattes sur les caractéristiques technologiques et fonctionnelles de la farine de blé tendre, Revue « Nature & Technologie ». B-Sciences Agronomiques et biologiques, n° 12/Janvier, Pages 16 à 26. (2015).

[25] Roop Chand Bansal, Jean-Baptiste Donnet, and Fritz Stoeckil. Active carbon. M. Dekker, 1988.

[26] D. M. Nevskaia, A. Guerrero-Ruiz, Comparative study of the adsorption fromaqueous solutions and the desorption of Phenol and nonylPhenolsubstrates on activatedcarbons, Journal of Colloid and Interface Science vol.234, p.316-321 (2001).

[27] Yahiaoui nouara étude de l'adsorption des composés Phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium hydroxyapatite et charbon actif 02/07/2012.

Les références de chapitre 4 :

[1] D. Lemarchand, « contribution à l'Étude des possibilités de Rétention de Matières Organiques en Solution dans l'Eau Potable sur Charbon Actif », Thèse de Doctorat d'Ingénieur Chimiste, Université de Rennes, pp. 28, 1981.

[2] Omari souhila, Étude des capacités d'adsorption de biomatériaux. Application à l'élimination des polluants industriels. Thèse de doctorat.université yahia fares de médéa. Page 38-39. (2021/2022)

[3] I.S.O.9 07 La Forme De La Norme Française, Pour L'humidité.

[4] Khalfaoui, A. « Etude expérimentale de l'élimination de polluants organique et inorganiques par adsorption sur des Matériaux Naturels ». Thèse doctorat, Université Mentouri. Constantine, 2012.

[5] Benamraoui F. « Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture ». Thèse Magister, Université Ferhat Abbas Sétif -1 UFAS (Algérie), 2014 p 7 ,20.

[6] MOUMENINE S. « Elimination de polluants des eaux d'usines par adsorption sur charbon de chêne en combinaison avec un désinfectant ». Thèse ingénieur d'état, Université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen (2011) p 2-3, 5-6.

[7] https://tse3.mm.bing.net/th?id=OIP.7Yw6hwkOQ_wMAZ5BICoz0wAAAA&pid=Api

[8] Towill, L. E., & Mazur, P. (1975). Plant PHysiology, 55(6), 907-911.

[9] Norman L, A. Chimie organique. Edi science International, 1900.

ANNEXE 1

Tableaux de la courbe d'étalonnage :

Pour BM :

C (mg/L)	2	8	10	15	20	30	40
Abs	0.140	0.581	0.715	0.899	1.170	1.808	2.833

Pour FA :

C (mg/L)	2	8	10	15	20	30	40
Abs	0,097	0.344	0.481	0,891	0,975	1,556	1,879

Les tableaux de la cinétique d'adsorption :

1^{er} colorants BM :

Pour les conditions suivantes :

PH=4 m=0.1g d_m=250 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,102	0,094	0,081	0,07	0,062	0,057	0,046	0,033	0,025	0,023	0,022	0,021	0,020	0,019
C_t(mg/L)	1,566	1,443	1,244	1,074	0,952	0,891	0,711	0,523	0,389	0,368	0,357	0,349	0,313	0,297
x/m_t	0,434	0,557	0,756	0,926	1,048	1,109	1,289	1,477	1,611	1,632	1,643	1,651	1,687	1,703
R%	21,7	27,85	37,8	46,3	52,4	55,45	64,45	73,85	80,55	81,6	82,15	82,55	84,35	85,15

C_1=8mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,412	0,391	0,367	0,334	0,326	0,296	0,276	0,221	0,194	0,163	0,152	0,127	0,108	0,099
C_t(mg/L)	6,356	6,028	5,664	5,153	5,032	4,565	4,236	3,393	2,978	2,502	2,363	1,972	1,675	1,535
x/m_t	1,644	1,972	2,336	2,847	2,968	3,435	3,764	4,607	5,022	5,498	5,637	6,028	6,325	6,465
R%	20,55	24,65	29,20	35,59	37,10	42,94	47,05	57,59	62,78	68,73	70,46	75,35	79,06	80,81

C_2=10mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,529	0,502	0,495	0,451	0,440	0,386	0,356	0,299	0,253	0,239	0,232	0,182	0,149	0,139
C_t(mg/L)	8,151	7,716	7,626	6,96	6,787	5,957	5,489	4,605	3,909	3,687	3,579	2,817	2,305	2,151
x/m_t	1,849	2,284	2,374	3,040	3,213	4,043	4,511	5,395	6,091	6,313	6,421	7,183	7,695	7,849
R%	18,49	22,84	23,74	30,4	32,13	40,43	45,11	53,95	60,91	63,13	64,21	64,83	66,95	70,49
q_e-q_t	6	5,565	5,475	4,809	4,636	3,806	3,338	2,454	1,758	1,536	1,428	0,666	0,154	0
Log q_e-q_t	0,778	0,745	0,738	0,682	0,666	0,580	0,523	0,390	0,245	0,186	0,155	-0,177	-0,812	0,000
t/q_t	2,704	4,378	8,425	9,868	18,674	22,261	22,168	22,243	24,626	28,513	37,377	41,765	179,337	183,463

C_3=15mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,792	0,778	0,768	0,716	0,679	0,620	0,579	0,491	0,454	0,389	0,298	0,271	0,244	0,231
C_t(mg/L)	12,213	11,994	11,842	11,041	10,476	9,568	8,935	7,567	7,006	5,992	4,602	4,182	3,769	3,573
x/m_t	2,787	3,006	3,158	3,959	4,524	5,432	6,065	7,433	7,994	9,008	10,398	10,818	11,231	11,427
R%	18,58	20,04	21,05	26,39	30,16	36,21	40,43	49,55	53,29	60,05	69,32	72,12	74,87	76,18

C_4=20mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	1,106	1,088	1,036	1,009	0,943	0,854	0,815	0,766	0,638	0,574	0,507	0,380	0,356	0,346
C_t(mg/L)	17,052	16,776	15,978	15,552	14,548	13,168	12,562	11,817	9,842	8,856	7,818	5,874	5,502	5,336
x/m_t	2,948	3,224	4,022	4,448	5,452	6,832	7,438	8,183	10,158	11,144	12,182	14,126	14,498	14,664
R%	14,74	16,12	20,11	22,24	27,26	34,16	37,19	40,915	50,79	55,72	60,91	70,63	72,49	73,32
q_e-q_t	11,716	11,44	10,642	10,216	9,212	7,832	7,226	6,481	4,506	3,52	2,482	0,538	0,166	0
Log q_e-q_t	1,069	1,058	1,027	1,009	0,964	0,894	0,859	0,812	0,654	0,547	0,395	-0,269	-0,780	0,000
t/q_t	1,696	3,102	4,973	6,745	11,005	13,173	13,444	14,665	14,767	16,152	19,701	21,237	95,186	98,200

C_5=30mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	1,78	1,692	1,625	1,593	1,512	1,439	1 ,357	1,18	1,014	0,902	0,840	0,647	0,582	0,549
C_t(mg/L)	27,324	25,972	24,946	24,456	23,215	22,085	20,83	18,114	15,642	13,914	12,948	12,684	10,479	9,978
x/m_t	2,676	4,028	5,054	5,544	6,785	7,915	9,170	11,886	14,358	16,086	17,052	17,316	19,521	20,022
R%	8,92	13,43	16,85	18,48	22,62	26,38	30,57	39,62	47,86	53,62	56,84	57,72	65,07	66,74

C_6=40mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	2,485	2,326	2,185	2,130	2,060	2,007	1,841	1,680	1,454	1,281	1,021	0,903	0,808	0,794
C_t(mg/L)	38,148	35,872	33,688	32,844	31,761	30,952	28,396	25,904	22,428	19,748	15,744	13,932	12,468	12,252
x/m_t	1,852	4,128	6,312	7,156	8,239	9,048	11,604	14,096	17,572	20,252	24,256	26,068	27,532	27,748
R%	4,63	10,32	15,78	17,89	20,60	22,62	29,01	35,24	43,93	50,63	60,64	65,17	68,83	69,37
q_e-q_t	25,896	23,62	21,436	20,592	19,509	18,7	16,144	13,652	10,176	7,496	3,492	1,68	0,216	0
Log q_e-q_t	1,413	1,373	1,331	1,314	1,290	1,272	1,208	1,135	1,008	0,875	0,543	0,225	-0,666	0,000
t/q_t	2,700	2,422	3,169	4,192	7,282	9,947	8,618	8,513	8,536	8,888	9,894	11,508	50,123	51,896

Pour BM dans les conditions suivantes :

PH=4 m=0.1g d_m=750 µm V_s=100 ml

C_0=2mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,131	0,108	0,098	0,092	0,086	0 ,073	0,073	0,058	0,051	0,041	0,039	0,038	0,031	0,029
C_t(mg/L)	1,611	1,656	1,503	1,411	1,319	1,119	1,119	0,889	0,786	0,629	0,587	0,537	0,474	0,461
x/m_t	0,389	0,344	0,497	0,589	0,681	0,881	0,881	1,111	1,214	1,371	1,413	1,463	1,526	1,539
R%	19,45	17,2	24,85	29,45	34,05	44,05	44,05	55,55	60,7	68,55	70,65	73,15	86,3	86,95

C_1=8mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,435	0,427	0,417	0,412	0,379	0,355	0,314	0,269	0,233	0,196	0,176	0,154	0,144	0,124
C_t(mg/L)	6,708	6,584	6,433	6,359	5,842	5,475	4,845	4,155	3,593	3,021	2,712	2,376	2,234	1,922
x/m_t	1,292	1,416	1,567	1,641	2,158	2,525	3,155	3,845	4,407	4,979	5,288	5,624	5,766	6,078
R%	16,15	17,70	19,59	20,51	26,98	31,56	39,44	48,06	55,09	62,24	66,10	70,30	72,08	75,98

C_2=10mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,552	0,548	0,540	0,520	0,488	0,469	0,428	0,411	0,365	0,299	0,237	0,191	0,174	0,168
C_t(mg/L)	8,505	8,447	8,333	8,021	7,486	7,193	6,561	6,302	5,597	4,486	3,634	2,946	2,686	2,595
x/m_t	1,495	1,553	1,667	1,979	2,514	2,807	3,439	3,698	4,403	5,514	6,366	7,054	7,314	7,405
R%	14,95	15,53	16,67	19,79	25,14	28,07	34,39	36,98	44,03	55,14	63,66	70,54	73,14	74,05

C_3=15mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,845	0,834	0,817	0,793	0,740	0,725	0,687	0,662	0,577	0,476	0,396	0,351	0,302	0,289
C_t(mg/L)	13,024	12,859	12,594	12,232	11,404	11,173	10,591	10,215	8,896	7,336	6,115	5,412	4,663	4,459
x/m_t	1,976	2,141	2,406	2,768	3,596	3,827	4,409	4,785	6,104	7,664	8,885	9,588	10,337	10,541
R%	13,17	14,27	16,04	18,11	20,22	24,06	30,64	32,65	38,43	48,96	54,43	60,11	64,52	66,02

C_4=20mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	1,135	1,119	1,095	1,062	1,035	0,985	0,901	0,874	0,799	0,662	0,591	0,517	0,462	0,441
C_t(mg/L)	17,496	17,254	16,892	16,378	15,956	15,188	13,872	13,472	12,314	10,208	9,114	7,978	7,096	6,796
x/m_t	2,504	2,746	3,108	3,622	4,044	4,812	6,128	6,528	7,686	9,792	10,886	12,022	12,904	13,204
R%	12,52	13,73	15,54	18,45	23,97	25,51	29,39	31,9	40,69	51,09	59,23	63,92	68,91	70,27

C_5=30mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	1,813	1,724	1,699	1,613	1,548	1,486	1,423	1,365	1,211	1,066	0,964	0,842	0,761	0,728
C_t(mg/L)	27,607	26,444	26,049	24,737	22,781	22,245	21,827	20,937	18,574	16,349	14,877	12,915	11,727	11,238
x/m_t	2,393	3,556	3,951	5,263	7,219	7,755	8,173	9,063	11,426	13,651	15,123	17,085	18,273	18,762
R%	7,98	11,85	13,17	17,54	24,06	25,85	27,24	30,21	38,09	45,50	50,41	56,95	59,82	59,54

C_6=40mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	2,548	2,425	2,277	2,193	2,053	1,995	1,961	1,791	1,622	1,443	1,285	1,197	1,068	1,053
Ct(mg/L)	39,29	37,387	35,105	33,824	31,664	30,768	30,232	27,616	25,012	22,256	23,808	22,462	20,476	19,252
x/mt	0,710	2,613	4,895	6,176	8,336	9,232	9,768	12,384	14,988	17,744	16,192	17,538	19,524	20,748
R%	1,78	6,53	12,24	15,44	20,84	23,08	24,42	30,96	37,47	44,36	40,48	43,85	48,81	51,37

Pour BM dans les conditions suivantes :

PH=9 m=0.1g d_m=250 µm V_s=100 m

C_0=2mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,09	0,075	0,059	0,037	0,018	0,009	0,007	0,007	0,005	0,007	0,005	0,001	0,001	0,001
C_t(mg/L)	1,381	1,144	0,898	0,561	0,267	0,13	0,099	0,099	0,068	0,099	0,068	0,015	0,015	0,015
x/m_t	0,619	0,856	1,102	1,439	1,733	1,87	1,901	1,901	1,932	1,901	1,932	1,985	1,985	1,985
R%	30,95	42,8	55,1	71,95	86,65	93,5	95,05	95,05	96,6	95,05	96,6	99,25	99,25	99,25

C_1=8mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,378	0,336	0,302	0,241	0,185	0,091	0,073	0,062	0,051	0,049	0,032	0,035	0,022	0,007
C_t(mg/L)	5,836	5,196	4,656	3,712	2,843	1,39	1,116	0,944	0,772	0,741	0,484	0,543	0,319	0,119
x/m_t	2,164	2,804	3,344	4,288	5,157	6,61	6,884	7,056	7,228	7,259	7,516	7,457	7,681	7,881
R%	27,05	35,05	41,81	53,60	64,46	82,62	86,05	88,2	90,35	90,73	93,95	93,21	96,01	98,51

C_2=10mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,555	0,434	0,383	0,318	0,323	0,227	3,166	0,182	0,157	0,143	0,108	0,125	0,086	0,066
C_t(mg/L)	8,569	6,702	5,914	4,898	4,989	3,506	3,166	2,811	2,425	2,209	1,669	1,938	1,337	1,021
x/m_t	1,431	3,298	4,086	5,102	5,011	6,494	6,834	7,189	7,575	7,791	8,331	8,062	8,663	8,979
R%	14,31	27,98	40,86	51,02	50,11	64,94	68,34	71,89	75,75	77,91	83,31	80,62	86,63	89,79
q_e-q_t	7,548	5,681	4,893	3,877	3,968	2,485	2,145	1,79	1,404	1,188	0,648	0,917	0,316	0
Log q_e-q_t	0,878	0,754	0,690	0,588	0,599	0,395	0,331	0,253	0,147	0,075	-0,188	-0,038	-0,500	0,000

C_3=15mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,739	0,693	0,597	0,519	0,409	0,267	0,191	0,185	0,353	0,129	0,086	0,059	0,049	0,046
C_t(mg/L)	11,398	10,699	9,208	8,004	6,321	4,111	2,938	2,845	2,458	1,995	1,317	0,901	0,762	0,711
x/m_t	3,602	4,301	5,792	6,996	8,679	10,889	12,062	12,155	12,542	13,005	13,683	14,099	14,238	14,289
R%	24,01	28,67	38,61	46,64	57,86	72,59	80,41	81,03	83,61	86,70	91,22	93,99	94,92	95,26

C_4=20mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	1,017	1,005	0,852	0,695	0,565	0,42	0,391	0,271	0,179	0,182	0,124	0,093	0,088	0,084
C_t(mg/L)	15,691	15,5	13,138	10,716	8,709	6,472	6,024	4,172	2,753	2,812	1,904	1,425	1,366	1,297
x/m_t	4,309	4,5	6,862	9,284	11,291	13,528	13,976	15,828	17,247	17,188	18,096	18,575	18,634	18,703
R%	21,54	22,5	34,31	46,42	56,45	67,64	69,88	79,14	86,23	85,94	90,48	92,87	93,17	93,52
q_e-q_t	14,394	14,203	11,841	9,419	7,412	5,175	4,727	2,875	1,456	1,515	0,607	0,128	0,069	0
Log q_e-q_t	1,158	1,152	1,073	0,974	0,870	0,714	0,675	0,459	0,163	0,180	-0,217	-0,893	-1,161	0,000

C_5=30mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	1,763	1,565	1,41	1,338	1,27	0,912	0,633	0,569	0,556	0,672	0,601	0,533	0,386	0,260
C_t(mg/L)	27,195	23,478	21,15	20,073	19,05	13,68	9,595	8,775	8,581	10,365	9,258	8,222	5,961	4,023
x/m_t	2,805	6,522	8,85	9,927	10,95	16,32	20,405	21,225	21,419	19,635	20,742	21,778	24,039	25,977
R%	9,35	21,74	29,5	33,09	36,5	54,4	68,017	70,75	71,4	65,45	69,14	72,6	80,13	86,59

C_6=40mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	2,126	2,066	1,942	1,795	1,717	1,301	0,842	0,777	0,582	0,505	0,309	0,294	0,253	0,242
C_t(mg/L)	32,791	31,862	29,953	27,68	26,482	20,067	12,994	11,988	8,976	7,796	4,768	4,548	3,916	3,742
x/m_t	7,209	8,138	10,047	12,32	13,518	19,933	27,006	28,012	31,024	32,204	35,232	35,452	36,084	36,258
R%	18,02	20,35	25,12	30,80	33,80	49,83	57,52	60,03	67,56	70,51	78,08	78,63	80,21	80,65
q_e-q_t	29,049	28,12	26,211	23,938	22,74	16,325	9,252	8,246	5,234	4,054	1,026	0,806	0,174	0
Log q_e-q_t	1,463	1,449	1,418	1,379	1,357	1,213	0,966	0,916	0,719	0,608	0,011	-0,094	-0,759	0,000

Pour BM dans les conditions suivantes :

PH=9 m=0.1g d_m=750 µm V_s=100 ml

C_0=2mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,097	0,089	0,077	0,067	0,053	0,042	0,029	0,017	0,009	0,008	0,007	0,003	0,002	0,001
C_t(mg/L)	1,455	1,332	1,154	1,006	0,793	0,631	0,427	0,258	0,138	0,122	0,108	0,037	0,031	0,029
x/m_t	0,545	0,668	0,846	0,994	1,207	1,369	1,573	1,742	1,862	1,878	1,892	1,963	1,969	1,971
R%	27,25	33,4	42,3	49,7	60,35	68,45	78,65	87,1	93,1	93,9	94,6	98,15	98,45	98,55

C_1=8mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,393	0,359	0,334	0,307	0,285	0,216	0,117	0,096	0,081	0,056	0,051	0,029	0,014	0,011
C_t(mg/L)	6,065	5,541	5,158	4,733	4,396	3,331	1,805	1,481	1,249	0,864	0,772	0,452	0,219	0,175
x/m_t	1,935	2,459	2,842	3,267	3,604	4,669	6,195	6,519	6,751	7,136	7,228	7,548	7,781	7,985
R%	24,19	30,74	35,53	40,84	45,05	58,36	77,44	81,49	84,39	89,20	90,35	94,35	97,26	99,81

C=10mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,514	0,474	0,423	0,413	0,379	0,244	0,206	0,169	0,148	0,126	0,088	0,078	0,055	0,046
C_t(mg/L)	7,939	7,313	6,524	6,37	5,845	3,763	3,177	2,619	2,296	1,956	1,367	1,208	0,854	0,717
x/m_t	2,061	2,687	3,476	3,630	4,155	6,237	6,823	7,381	7,704	8,044	8,633	8,792	9,146	9,283
R%	20,61	26,87	34,76	36,3	41,55	62,37	68,23	73,81	77,04	80,44	86,33	87,92	91,46	92,83

C_3=15mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,759	0,743	0,678	0,645	0,586	0,479	0,382	0,346	0,308	0,278	0,253	0,171	0,151	0,134
C_t(mg/L)	11,718	11,464	10,452	9,952	9,031	7,393	5,887	5,341	4,744	4,288	3,912	2,631	2,331	2,067
x/m_t	3,282	3,536	4,548	5,048	5,969	7,607	9,113	9,659	10,256	10,712	11,088	12,369	12,669	12,933
R%	21,88	23,57	30,32	33,65	39,79	50,71	60,75	64,39	68,37	71,41	73,92	82,46	84,46	86,22

C_4=20mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	1,098	1,058	0,954	0,914	0,824	0,731	0,618	0,507	0,428	0,388	0,299	0,259	0,209	0,196
C_t(mg/L)	16,934	16,318	14,712	14,092	12,702	11,251	9,534	7,816	6,604	5,978	4,624	4,008	3,232	3,016
x/m_t	3,066	3,682	5,288	5,908	7,298	8,749	10,466	12,184	13,396	14,022	15,376	15,992	16,768	16,984
R%	15,33	18,41	26,44	29,54	36,49	43,75	52,33	60,92	66,98	70,11	76,88	79,96	83,84	84,92

C_5=30mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	1,693	1,66	1,611	1,531	1,41	1,161	0,993	0,86	0,694	0,576	0,519	0,414	0,384	0,352
C_t(mg/L)	26,112	25,603	24,847	23,613	21,747	17,906	15,315	13,264	10,704	8,892	8,016	6,399	5,925	5,439
x/m_t	3,888	4,397	5,153	6,387	8,253	12,094	14,685	16,736	19,296	21,108	21,984	23,601	24,075	24,561
R%	12,96	14,66	17,18	21,29	27,51	40,31	48,95	55,79	64,32	70,36	73,28	78,67	80,25	81,87

C_6=40mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	2,020	2,008	2,007	1,993	1,811	1,575	1,891	1,704	1,545	1,336	1,292	1,214	0,827	0,757
C_t(mg/L)	31,61	30,948	30,955	30,739	27,912	24,284	29,164	26,288	23,83	20,612	19,924	18,724	12,764	11,688
x/m_t	8,39	9,052	9,045	9,261	12,088	15,716	10,836	13,712	16,17	19,388	20,074	21,276	27,236	28,312
R%	20,96	22,63	22,61	23,15	23,22	25,29	27,09	34,28	40,42	48,47	50,19	53,19	68,09	70,78

Les tableaux des isothermes d'adsorption :

Pour les conditions suivantes :

Pour les conditions suivantes :

PH=4 m=0.1g d_m=250 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,114	0,085	0,056	0,030	0,025
C_t	1,765	1,308	0,856	0,459	0,381
x/m	1,475	1,384	1,144	0,771	0,324
Log C_t	0,247	0,117	-0,068	-0,338	-0,419
Log x/m	0,070	0,141	0,058	-0,113	-0,490

C_1=8 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,404	0,302	0,207	0,083	0,052
C_t	6,232	4,652	3,185	1,277	0,807
x/m	8,840	6,696	4,815	3,362	1,439
Log C_t	0,795	0,668	0,503	0,106	0,093
Log x/m	0,946	0,826	0,683	0,527	0,158

C_2=10 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,496	0,352	0,235	0,186	0,082
C_t	7,643	5,432	3,619	2,867	1,257
x/m	11,785	9,136	6,381	3,567	1,749
Log C_t	0,883	0,735	0,559	0,457	0,099
Log x/m	1,071	0,961	0,805	0,552	0,243

C_3=15 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,784	0,767	0,703	0,519	0,333
C_t	12,895	12,095	10,836	8,008	5,129
x/m	14,525	9,348	4,164	3,496	1,974
Log C_t	1,083	1,073	1,035	0,904	0,710
Log x/m	1,162	0,803	0,620	0,544	0,295

C_4=20 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,172	1,064	0,926	0,802	0,516
C_t	18,073	16,400	14,285	12,373	7,961
x/m	9,635	7,200	5,715	3,814	2,408
Log C_t	1,257	1,215	1,155	1,092	0,901
Log x/m	0,984	0,857	0,757	0,581	0,382

C_5=30 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,759	1,508	1,224	0,929	0,664
C_t	27,123	23,258	18,876	14,327	10,237
x/m	14,385	13,484	11,124	7,837	3,953
Log C_t	1,433	1,367	1,276	1,156	1,010
Log x/m	1,158	1,130	1,046	0,894	0,597

C_6=40 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	2,392	2,168	1,827	1,101	0,662
C_t	36,887	33,431	28,175	16,981	10,213
x/m	15,565	13,138	11,825	11,510	5,957
Log C_t	1,567	1,524	1,450	1,230	1,009
Log x/m	1,192	1,119	1,073	1,061	0,775

Pour les conditions suivantes :

PH=4 m=0.1g d_m=750 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,115	0,088	0,057	0,034	0,018
C_t	1,766	1,362	0,884	0,523	0,281
x/m	1,170	1,276	1,116	0,739	0,344
Log C_t	0,247	0,134	-0,054	-0,281	-0,551
Log x/m	0,068	0,106	0,048	-0,132	-0,464

C_1=8 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,462	0,411	0,333	0,246	0,172
C_t	7,131	6,343	5,133	3,798	2,649
x/m	4,345	3,314	2,867	2,101	1,070
Log C_t	0,853	0,802	0,710	0,580	0,423
Log x/m	0,638	0,520	0,457	0,322	0,029

C_2=10 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,560	0,452	0,317	0,224	0,182
C_t	8,633	6,971	4,895	3,461	2,805
x/m	6,835	6,058	5,105	3,270	1,439
Log C_t	0,936	0,843	0,690	0,539	0,448
Log x/m	0,835	0,782	0,708	0,514	0,158

C_3=15 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,894	0,802	0,732	0,568	0,360
C_t	13,785	12,362	11,283	8,766	5,548
x/m	6,075	5,276	3,717	3,117	1,890
Log C_t	1,139	1,092	1,052	0,943	0,744
Log x/m	0,784	0,722	0,570	0,494	0,277

C_4=20 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,190	1,117	0,937	0,656	0,555
C_t	18,348	17,221	14,449	10,121	8,563
x/m	8,260	5,558	5,551	4,940	2,287
Log C_t	1,264	1,236	1,160	1,005	0,933
Log x/m	0,917	0,745	0,744	0,694	0,359

C_5=30 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,839	1,716	1,491	1,055	0,801
C_t	28,359	26,457	22,988	16,267	12,356
x/m	8,205	7,086	7,012	6,866	3,528
Log C_t	1,453	1,423	1,362	1,211	1,092
Log x/m	0,914	0,850	0,846	0,837	0,548

C_6=40 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	2,397	2,147	1,741	1,244	1,183
C_t	36,961	33,113	26,846	19,185	18,245
x/m	15,195	13,774	13,154	10,408	4,351
Log C_t	1,568	1,520	1,429	1,283	1,261
Log x/m	1,182	1,139	1,119	1,017	0,639

Pour les conditions suivantes :

PH=9 m=0.1g d_m=250 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,063	0,044	0,029	0,012	0,006
C_t	1,643	1,228	0,727	0,416	0,203
x/m	1,785	1,544	1,273	0,792	0,359
Log C_t	0,216	0,089	-0,138	-0,381	-0,693
Log x/m	0,252	0,189	0,105	-0,101	-0,444

C_1=8mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,417	0,283	0,182	0,101	0,059
C_t	6,431	4,361	2,808	1,561	0,908
x/m	7,845	7,278	5,192	3,220	1,418
Log C_t	0,808	0,640	0,448	0,193	0,042
Log x/m	0,895	0,862	0,715	0,508	0,152

C_2=10 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,528	0,437	0,349	0,206	0,107
C_t	8,142	6,741	5,382	3,173	1,649
x/m	9,29	6,518	4,618	3,4135	1,6702
Log C_t	0,911	0,829	0,731	0,501	0,217
Log x/m	0,968	0,814	0,664	0,533	0,223

C_3=15 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,833	0,711	0,604	0,417	0,198
C_t	12,846	10,961	9,311	6,435	3,057
x/m	10,77	8,078	5,689	4,282	2,388
Log C_t	1,109	1,040	0,969	0,809	0,485
Log x/m	1,032	0,907	0,755	0,632	0,378

C_4=20 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,141	0,932	0,719	0,625	0,335
C_t	17,6	14,365	11,093	9,632	5,163
x/m	12	11,27	8,907	5,184	2,9674
Log C_t	1,246	1,157	1,045	0,984	0,713
Log x/m	1,079	1,052	0,950	0,715	0,472

C_5=30 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,631	1,360	1,049	0,816	0,474
C_t	25,15	20,973	16,172	12,585	7,308
x/m	24,25	18,054	13,828	8,7075	4,5384
Log C_t	1,401	1,322	1,209	1,100	0,864
Log x/m	1,385	1,257	1,141	0,940	0,657

C_6=40mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	2,344	1,858	1,382	1,123	0,858
C_t	36,144	28,645	21,316	17,318	13,225
x/m	19,28	22,71	18,684	11,341	5,355
Log C_t	1,558	1,457	1,329	1,238	1,121
Log x/m	1,285	1,356	1,271	1,055	0,729

Pour les conditions suivantes :

PH=9 m=0.1g d_m=750 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,079	0,061	0,046	0,024	0,011
C_t	1,221	0,933	0,716	0,372	0,163
x/m	3,895	2,134	1,284	0,814	0,367
Log C_t	0,087	-0,030	-0,145	-0,429	-0,788
Log x/m	0,591	0,329	0,109	-0,089	-0,435

C_1=8 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,447	0,333	0,235	0,157	0,079
C_t	6,887	5,133	3,618	2,421	1,218
x/m	5,565	5,734	4,382	2,790	1,356
Log C_t	0,838	0,710	0,558	0,384	0,086
Log x/m	0,745	0,758	0,642	0,446	0,132

C_2=10 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,568	0,489	0,440	0,287	0,153
C_t	8,764	7,535	6,781	4,428	2,357
x/m	6,180	4,930	3,219	2,786	1,529
Log C_t	0,943	0,877	0,831	0,646	0,372
Log x/m	0,791	0,693	0,508	0,445	0,184

C_3=15 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,874	0,756	0,659	0,496	0,282
C_t	13,478	11,653	10,161	7,643	4,342
x/m	7,610	6,694	4,839	3,679	2,132
Log C_t	1,130	1,066	1,007	0,883	0,638
Log x/m	0,881	0,826	0,685	0,566	0,329

C_4=20 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,113	0,995	0,790	0,688	0,449
C_t	17,162	15,342	12,176	10,615	6,928
x/m	14,190	9,316	7,824	4,693	2,614
Log C_t	1,235	1,186	1,086	1,026	0,841
Log x/m	1,152	0,969	0,893	0,671	0,417

C_5=30 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,717	1,377	1,145	0,881	0,527
C_t	26,479	21,237	17,652	13,578	8,124
x/m	17,605	17,526	12,348	8,211	4,375
Log C_t	1,423	1,327	1,247	1,133	0,910
Log x/m	1,246	1,244	1,092	0,914	0,641

C_6=40 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	2,247	1,974	1,463	1,253	0,957
C_t	34,644	30,436	22,563	19,324	14,752
x/m	26,780	19,128	17,437	10,338	5,050
Log C_t	1,540	1,483	1,353	1,286	1,169
Log x/m	1,428	1,282	1,241	1,014	0,703

Les tableaux de la cinétique d'adsorption :

2^{eme} colorants FA:

Pour les conditions suivantes :

PH=4 m=0.1g d_m=250 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,089	0,081	0,075	0,068	0,060	0,054	0,046	0,038	0,032	0,024	0,019	0,015	0,010	0,009
C_t(mg/L)	1,835	1,664	1,546	1,396	1,236	1,109	0,938	0,781	0,654	0,501	0,393	0,309	0,197	0,195
x/m_t	0,165	0,336	0,454	0,604	0,764	0,891	1,062	1,219	1,346	1,499	1,607	1,691	1,803	1,805
R%	8,24	16,81	22,68	30,22	38,2	44,56	53,11	60,97	67,32	74,95	80,34	84,54	90,13	90,26

C_1=8mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,318	0,304	0,297	0,283	0,255	0,235	0,201	0,175	0,151	0,133	0,105	0,080	0,053	0,044
C_t(mg/L)	7,557	6,858	6,352	5,815	5,238	4,828	4,134	3,583	3,093	2,730	2,163	1,646	1,098	0,911
x/m_t	0,443	1,142	1,648	2,185	2,762	3,172	3,866	4,417	4,907	5,270	5,837	6,354	6,902	7,089
R%	5,54	14,28	20,6	27,31	34,52	39,65	48,33	55,21	61,34	65,87	72,96	79,42	86,28	88,61

C_2=10mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,457	0,426	0,397	0,365	0,331	0,309	0,279	0,248	0,212	0,193	0,154	0,114	0,077	0,073
C_t(mg/L)	9,377	8,745	8,158	7,505	6,806	6,352	5,723	5,096	4,357	3,953	3,161	2,339	1,582	1,505
x/m_t	0,623	1,255	1,842	2,495	3,194	3,648	4,277	4,904	5,643	6,047	6,839	7,661	8,418	8,495
R%	12,23	16,55	18,42	24,95	31,94	36,48	42,77	49,04	56,43	60,47	68,39	76,61	84,18	84,95
q_e-q_t	7,872	7,24	6,653	6	5,301	4,847	4,218	3,591	2,852	2,448	1,656	0,834	0,077	0
Log q_e-q_t	0,896	0,860	0,823	0,778	0,724	0,685	0,625	0,555	0,455	0,389	0,219	-0,079	-1,114	0,000

C_3=15 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,689	0,654	0,608	0,566	0,517	0,476	0,445	0,398	0,393	0,385	0,337	0,291	0,224	0,201
C_t(mg/L)	14,157	13,434	12,479	11,624	10,622	9,782	9,132	8,165	8,073	7,902	6,920	5,967	4,601	4,119
x/m_t	0,843	1,566	2,522	3,377	4,379	5,219	5,868	6,836	6,927	7,098	8,081	9,033	10,400	10,881
R%	5,62	10,44	16,81	22,51	29,19	34,79	39,12	45,57	46,18	47,32	53,87	60,22	69,33	72,54

C_4=20 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,727	0,697	0,655	0,613	0,543	0,593	0,533	0,490	0,461	0,424	0,375	0,313	0,270	0,256
C_t(mg/L)	19,026	18,414	17,554	16,692	15,256	14,224	12,996	12,118	11,528	10,768	9,756	7,872	5,544	5,262
x/m_t	0,974	1,586	2,446	3,308	4,744	5,776	7,004	7,882	8,472	9,232	10,244	12,128	14,456	14,738
R%	4,87	7,93	12,23	16,54	23,72	28,88	35,02	39,41	42,36	46,16	51,22	60,64	72,28	73,69
q_e-q_t	13,764	13,152	12,292	11,43	9,994	8,962	7,734	6,856	6,266	5,506	4,494	2,61	0,282	0
Log q_e-q_t	1,139	1,119	1,090	1,058	1,000	0,952	0,888	0,836	0,797	0,741	0,653	0,417	-0,550	0,000

C_5=30 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	1,362	1,319	1,250	1,176	1,076	0,968	0,911	0,850	0,799	0,707	0,595	0,485	0,451	0,435
C_t(mg/L)	27,957	27,081	25,677	24,138	22,095	19,878	18,699	17,454	16,401	14,508	12,225	9,951	9,261	8,934
x/m_t	2,043	2,919	4,323	5,862	7,905	10,122	11,301	12,546	13,599	15,492	17,775	20,049	20,739	21,066
R%	6,81	9,73	14,41	19,54	26,35	33,74	37,67	41,82	45,33	51,64	59,25	66,83	69,13	70,22

C_6=40 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	1,797	1,768	1,678	1,599	1,476	1,352	1,262	1,187	1,085	0,919	0,775	0,595	0,522	0,506
C_t(mg/L)	36,896	36,308	34,448	32,828	30,316	27,752	25,912	24,372	22,284	18,864	15,924	12,220	10,716	10,380
x/m_t	3,104	3,692	5,552	7,172	9,684	12,248	14,088	15,628	17,716	21,136	24,076	27,780	29,284	29,620
R%	7,76	9,23	13,88	17,93	24,21	30,62	35,22	39,07	44,29	52,84	60,19	69,45	73,21	74,05
q_e-q_t	26,516	25,928	24,068	22,448	19,936	17,372	15,532	13,992	11,904	8,484	5,544	1,84	0,336	0
Log q_e-q_t	1,424	1,414	1,381	1,351	1,300	1,240	1,191	1,146	1,076	0,929	0,744	0,265	-0,474	0,000

Pour FA dans les conditions suivantes :

PH=4 m=0.1g d_m=750 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,091	0,085	0,079	0,073	0,065	0,060	0,055	0,050	0,045	0,039	0,030	0,022	0,019	0,018
C_t(mg/L)	1,866	1,751	1,631	1,506	1,342	1,237	1,139	1,034	0,921	0,793	0,614	0,450	0,389	0,374
x/m_t	0,134	0,249	0,369	0,494	0,658	0,763	0,861	0,966	1,079	1,207	1,386	1,550	1,611	1,626
R%	6,69	12,44	18,46	24,71	32,89	38,16	43,05	48,32	53,94	60,37	69,28	77,49	84,55	85,31

C_1= 8mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,373	0,318	0,306	0,300	0,258	0,235	0,223	0,209	0,193	0,160	0,132	0,114	0,083	0,081
C_t(mg/L)	7,658	7,139	6,701	6,166	5,290	4,822	4,572	4,295	3,958	3,286	2,711	2,348	1,706	1,669
x/m_t	0,342	0,861	1,299	1,834	2,710	3,178	3,428	3,705	4,042	4,714	5,289	5,652	6,294	6,331
R%	4,27	10,76	16,24	22,92	33,87	39,73	42,85	46,31	50,52	58,93	66,11	70,65	78,67	79,14

C_2=10 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,466	0,442	0,416	0,386	0,345	0,320	0,298	0,286	0,265	0,275	0,229	0,159	0,124	0,119
C_t(mg/L)	9,565	9,078	8,537	7,930	7,085	6,566	6,119	5,877	5,438	5,642	4,701	3,267	2,551	2,437
x/m_t	0,435	0,922	1,463	2,070	2,915	3,434	3,881	4,123	4,562	4,358	5,299	6,733	7,449	7,563
R%	4,35	9,22	14,63	20,7	29,15	34,34	38,81	41,23	45,62	43,58	52,99	67,33	74,49	75,63

C_3=15 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,695	0,673	0,641	0,610	0,557	0,520	0,475	0,443	0,421	0,393	0,356	0,288	0,202	0,192
C_t(mg/L)	14,270	13,811	13,166	12,519	11,442	10,668	9,747	9,089	8,646	8,076	7,317	5,904	4,158	3,947
x/m_t	0,730	1,190	1,835	2,481	3,558	4,332	5,253	5,912	6,354	6,924	7,683	9,096	10,842	11,054
R%	4,87	7,93	12,23	16,54	23,72	28,88	35,02	39,41	42,36	46,16	51,22	60,64	72,28	73,69

C_4=20mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,924	0,908	0,875	0,851	0,775	0,693	0,665	0,638	0,566	0,487	0,446	0,397	0,305	0,287
C_t(mg/L)	18,968	18,652	17,964	17,482	15,912	14,238	13,654	13,096	11,626	10,006	9,154	8,146	6,270	5,892
x/m_t	1,032	1,348	2,036	2,518	4,088	5,762	6,346	6,904	8,374	9,994	10,846	11,854	13,730	14,108
R%	5,16	6,74	10,18	12,59	20,44	28,81	31,73	34,52	41,87	49,97	54,23	59,27	68,65	70,54

C_5=30 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	1,404	1,357	1,293	1,236	1,173	1,109	1,018	0,984	0,931	0,873	0,807	0,704	0,476	0,459
C_t(mg/L)	28,836	27,861	26,547	25,371	24,084	22,764	20,907	20,208	19,113	17,931	16,572	14,448	9,771	9,429
x/m_t	1,164	2,139	3,453	4,629	5,916	7,236	9,093	9,792	10,887	12,069	13,428	15,552	20,229	20,571
R%	3,88	7,13	11,51	15,43	19,72	24,12	30,31	32,64	36,29	40,23	44,76	51,84	67,43	68,57

C_6=40 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	1,887	1,860	1,766	1,658	1,605	1,535	1,378	1,353	1,258	1,027	0,912	0,850	0,681	0,678
C_t(mg/L)	38,752	38,184	36,268	34,052	32,952	31,524	28,300	27,780	25,836	21,088	18,736	17,444	13,988	13,912
x/m_t	1,248	1,816	3,732	5,948	7,048	8,476	11,700	12,220	14,164	18,912	21,264	22,556	26,012	26,088
R%	3,12	4,54	9,33	14,87	17,62	21,19	29,25	30,55	35,41	47,28	53,16	56,39	65,03	65,22

Pour FA dans les conditions suivantes :

PH=9 m=0.1g d_m=250 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,093	0,091	0,086	0,079	0,076	0,070	0,065	0,061	0,055	0,049	0,039	0,038	0,034	0,034
C_t(mg/L)	1,904	1,864	1,774	1,626	1,569	1,428	1,325	1,256	1,135	1,004	0,804	0,774	0,704	0,697
x/m_t	0,096	0,136	0,226	0,374	0,431	0,572	0,675	0,744	0,865	0,996	1,196	1,226	1,296	1,303
R%	4,78	6,79	11,28	18,71	21,55	28,62	33,74	37,21	43,25	49,8	59,78	61,31	74,78	75,14

C_1=8 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,366	0,353	0,339	0,328	0,322	0,310	0,286	0,269	0,241	0,226	0,201	0,176	0,149	0,147
Ct(mg/L)	7,519	7,250	6,967	6,726	6,606	6,371	5,871	5,522	4,941	4,646	4,130	3,619	3,050	3,022
x/mt	0,481	0,750	1,033	1,274	1,394	1,629	2,129	2,478	3,059	3,354	3,870	4,381	4,950	4,978
R%	6,01	9,38	12,91	15,93	17,43	20,36	26,61	30,97	38,24	41,92	48,37	54,76	61,87	62,23

C_2=10mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,452	0,445	0,414	0,400	0,386	0,377	0,369	0,339	0,308	0,291	0,249	0,225	0,205	0,203
C_t(mg/L)	9,277	9,133	8,499	8,204	7,917	7,751	7,573	6,955	6,319	5,978	5,107	4,628	4,211	4,165
x/m_t	0,723	0,867	1,501	1,796	2,083	2,249	2,427	3,045	3,681	4,022	4,893	5,372	5,789	5,835
R%	7,23	8,67	15,01	17,96	20,83	21,51	24,27	30,45	36,81	40,22	48,93	53,72	57,89	58,35
q_e-q_t	5,112	4,968	4,334	4,039	3,752	3,586	3,408	2,79	2,154	1,813	0,942	0,463	0,046	0
Log q_e-q_t	0,709	0,696	0,637	0,606	0,574	0,555	0,532	0,446	0,333	0,258	-0,026	-0,334	-1,337	0,000

C_3=15 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,694	0,685	0,645	0,621	0,579	0,563	0,534	0,510	0,482	0,443	0,416	0,379	0,363	0,360
C_t(mg/L)	14,253	14,060	13,247	12,761	11,885	11,552	10,962	10,466	9,903	9,089	8,544	7,775	7,451	7,388
x/m_t	0,747	0,941	1,754	2,240	3,116	3,449	4,038	4,535	5,097	5,912	6,456	7,226	7,550	7,613
R%	4,98	6,27	11,69	14,93	20,77	22,99	26,92	30,23	33,98	39,41	43,04	48,17	50,33	50,75

C_4=20 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,868	0,851	0,800	0,785	0,756	0,689	0,673	0,651	0,605	0,532	0,514	0,484	0,445	0,430
C_t(mg/L)	18,444	17,888	16,432	16,112	15,530	14,138	13,816	13,360	12,430	10,914	10,558	9,934	9,144	8,826
x/m_t	1,556	2,112	3,568	3,888	4,470	5,862	6,184	6,640	7,570	9,086	9,442	10,066	10,856	11,174
R%	7,78	10,56	17,84	19,44	22,35	29,31	30,92	33,2	37,85	45,43	47,21	50,33	54,28	55,87
q_e-q_t	9,618	9,062	7,606	7,286	6,704	5,312	4,99	4,534	3,604	2,088	1,732	1,108	0,318	0
Log q_e-q_t	0,983	0,957	0,881	0,862	0,826	0,725	0,698	0,656	0,557	0,320	0,239	0,045	-0,498	0,000

C_5=30mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	1,255	1,222	1,187	1,146	1,126	1,083	1,079	1,026	0,989	0,941	0,903	0,857	0,786	0,766
C_t(mg/L)	25,761	25,095	24,381	23,538	23,127	22,248	22,161	21,069	20,316	19,323	18,540	17,589	16,134	15,732
x/m_t	4,239	4,905	5,619	6,462	6,873	7,752	7,839	8,931	9,684	10,677	11,460	12,411	13,866	14,268
R%	14,13	16,35	18,73	21,54	22,91	25,84	26,13	29,77	32,28	35,59	38,2	41,37	46,22	47,56

C_6=40 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	1,781	1,735	1,669	1,643	1,591	1,550	1,494	1,437	1,388	1,360	1,359	1,350	1,191	1,183
C_t(mg/L)	36,580	35,632	34,276	33,732	32,668	31,820	30,684	29,508	28,504	27,932	27,912	27,724	24,460	24,292
x/m_t	3,420	4,368	5,724	6,268	7,332	8,180	9,316	10,492	11,496	12,068	12,088	12,276	15,540	15,708
R%	8,55	10,92	14,31	15,67	18,33	20,45	23,29	26,23	28,74	30,17	30,22	30,69	38,85	39,27
q_e-q_t	12,288	11,34	9,984	9,44	8,376	7,528	6,392	5,216	4,212	3,64	3,62	3,432	0,168	0
Log q_e-q_t	1,089	1,055	0,999	0,975	0,923	0,877	0,806	0,717	0,624	0,561	0,559	0,536	-0,775	0,000

PH=9 m=0.1g d_m=750 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,095	0,092	0,089	0,084	0,081	0,076	0,071	0,065	0,059	0,058	0,051	0,044	0,038	0,038
C_t(mg/L)	1,956	1,883	1,817	1,729	1,654	1,556	1,462	1,337	1,214	1,192	1,045	0,899	0,783	0,772
x/m_t	0,044	0,117	0,183	0,271	0,346	0,444	0,538	0,663	0,786	0,808	0,955	1,101	1,217	1,228
R%	2,21	5,85	9,13	13,53	17,29	22,2	26,92	33,17	39,29	40,39	47,74	55,07	63,84	64,38

C_1=8mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,372	0,360	0,357	0,349	0,334	0,321	0,307	0,289	0,271	0,253	0,217	0,207	0,170	0,164
C_t(mg/L)	7,649	7,402	7,329	7,159	6,850	6,595	6,307	5,934	5,569	5,197	4,446	4,255	3,491	3,364
x/m_t	0,351	0,598	0,671	0,841	1,150	1,405	1,693	2,066	2,431	2,803	3,554	3,745	4,509	4,636
R%	4,39	7,47	8,39	10,51	14,37	17,56	21,16	25,83	30,39	35,04	44,42	46,81	56,36	57,95

C_2=10mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
abs	0,467	0,454	0,440	0,416	0,402	0,387	0,380	0,359	0,345	0,315	0,288	0,252	0,236	0,232
C_t(mg/L)	9,587	9,332	9,038	8,548	8,263	7,951	7,793	7,381	7,092	6,475	5,918	5,167	4,836	4,772
x/m_t	0,413	0,668	0,962	1,452	1,737	2,049	2,207	2,619	2,908	3,525	4,082	4,833	5,164	5,228
R%	4,13	6,68	9,62	14,52	17,37	20,49	22,07	26,19	29,08	35,25	40,82	48,33	51,64	52,28

C_3=15 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,702	0,669	0,665	0,632	0,604	0,593	0,589	0,552	0,530	0,497	0,526	0,492	0,444	0,437
C_t(mg/L)	14,409	13,745	13,652	12,987	12,396	12,173	12,086	11,330	10,883	10,211	10,791	10,107	9,122	8,979
x/m_t	0,591	1,256	1,349	2,013	2,604	2,828	2,915	3,671	4,118	4,790	4,209	4,893	5,879	6,021
R%	3,94	8,37	8,99	13,42	17,36	18,85	19,43	24,47	27,45	31,93	28,06	32,62	39,19	40,14

C_4=20 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	0,667	0,639	0,586	0,567	0,530	0,486	0,487	0,449	0,436	0,414	0,364	0,353	0,289	0,275
C_t(mg/L)	13,686	13,122	12,026	11,652	10,886	9,972	9,996	9,218	8,950	8,508	7,484	7,256	5,942	5,654
x/m_t	6,314	6,878	7,974	8,348	9,114	10,028	10,004	10,782	11,050	11,492	12,516	12,744	14,058	14,346
R%	6,57	9,39	14,87	16,74	20,57	25,14	25,02	28,91	30,25	32,46	37,58	38,72	45,29	46,73

C_5=30 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	1,339	1,325	1,309	1,251	1,231	1,170	1,162	1,149	1,092	1,028	0,967	0,896	0,859	0,851
C_t(mg/L)	27,489	27,213	26,877	25,689	25,278	24,021	23,865	23,592	22,416	21,102	19,851	18,405	17,634	17,466
x/m_t	2,511	2,787	3,123	4,311	4,722	5,979	6,135	6,408	7,584	8,898	10,149	11,595	12,366	12,534
R%	8,37	9,29	10,41	14,37	15,74	19,93	20,45	21,36	25,28	29,66	33,83	38,65	41,22	41,78

C_6=40 mg/l

t(min)	5	10	20	30	60	90	100	120	150	180	240	300	1380	1440
Abs	1,778	1,766	1,715	1,690	1,605	1,611	1,589	1,570	1,499	1,418	1,406	1,392	1,365	1,355
C_t(mg/L)	36,512	36,256	35,208	34,700	32,948	33,084	32,628	32,244	30,788	29,116	28,864	28,580	28,024	27,821
x/m_t	3,488	3,744	4,792	5,3	7,052	6,916	7,372	7,756	9,212	10,884	11,136	11,42	11,976	12,179
R%	8,72	9,36	11,98	13,25	17,63	17,29	18,43	19,39	23,03	27,21	27,84	28,55	29,94	30,45

Les tableaux des isothermes d'adsorption :

Pour les conditions suivantes :

Pour les conditions suivantes :

PH=4 m=0.1g d_m=250 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,082	0,064	0,040	0,020	0,010
C_t	1,688	1,311	0,825	0,416	0,203
x/m	1,560	1,378	1,175	0,792	0,359
Log C_t	0,227	0,118	-0,084	-0,381	-0,693
Log x/m	0,193	0,139	0,070	-0,101	-0,444

C_1=8 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,321	0,230	0,144	0,082	0,044
C_t	6,593	4,731	2,952	1,679	0,908
x/m	7,035	6,538	5,048	3,161	1,418
Log C_t	0,819	0,675	0,470	0,225	0,042
Log x/m	0,847	0,815	0,703	0,500	0,152

C_2=10 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,413	0,333	0,268	0,106	0,075
C_t	8,475	6,841	5,509	2,173	1,549
x/m	7,625	6,318	4,491	3,913	1,692
Log C_t	0,928	0,835	0,741	0,337	0,190
Log x/m	0,882	0,801	0,652	0,593	0,228

C_3=15 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,634	0,544	0,474	0,339	0,143
C_t	13,011	11,176	9,741	6,966	2,943
x/m	9,945	7,648	5,259	4,017	2,411
Log C_t	1,114	1,048	0,989	0,843	0,469
Log x/m	0,998	0,884	0,721	0,604	0,382

C_4=20 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,861	0,722	0,558	0,473	0,264
C_t	17,681	14,833	11,455	9,716	5,427
x/m	11,595	10,334	8,545	5,142	2,915
Log C_t	1,248	1,171	1,059	0,987	0,735
Log x/m	1,064	1,014	0,932	0,711	0,465

C_5=30 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,217	1,026	0,820	0,564	0,336
C_t	24,992	21,077	16,842	11,583	6,891
x/m	25,04	17,846	13,158	9,209	4,622
Log C_t	1,398	1,324	1,226	1,064	0,838
Log x/m	1,399	1,252	1,119	0,964	0,665

C_6=40 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,718	1,428	1,011	0,890	0,655
C_t	35,271	29,322	20,754	18,285	13,453
x/m	23,645	21,356	19,246	10,858	5,309
Log C_t	1,547	1,467	1,317	1,262	1,129
Log x/m	1,374	1,330	1,284	1,036	0,725

Pour les conditions suivantes :

PH=4 m=0.1g d_m=750 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,084	0,071	0,051	0,031	0,019
C_t	1,721	1,452	1,053	0,641	0,387
x/m	1,395	1,096	0,947	0,680	0,323
Log C_t	0,236	0,162	0,022	-0,193	-0,412
Log x/m	0,145	0,040	-0,024	-0,168	-0,491

C_1=8 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,340	0,310	0,233	0,146	0,054
C_t	6,991	6,367	4,783	2,991	1,104
x/m	5,045	3,266	3,217	2,505	1,379
Log C_t	0,845	0,804	0,680	0,476	0,043
Log x/m	0,703	0,514	0,507	0,399	0,140

C_2=10 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,436	0,396	0,311	0,111	0,085
C_t	8,955	8,122	6,381	2,275	1,744
x/m	5,225	3,756	3,619	2,863	1,651
Log C_t	0,952	0,910	0,805	0,357	0,242
Log x/m	0,718	0,575	0,559	0,587	0,218

C_3=15 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,665	0,588	0,485	0,364	0,159
C_t	13,651	12,064	9,963	7,482	3,257
x/m	6,745	5,872	5,037	3,759	2,349
Log C_t	1,135	1,081	0,998	0,874	0,513
Log x/m	0,829	0,769	0,702	0,575	0,371

C_4=20 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,844	0,725	0,544	0,508	0,337
C_t	17,326	14,885	11,168	10,439	6,911
x/m	13,370	10,230	8,832	4,781	2,618
Log C_t	1,239	1,173	1,048	1,019	0,840
Log x/m	1,126	1,010	0,946	0,679	0,418

C_5=30 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,223	1,049	0,827	0,627	0,468
C_t	25,118	21,534	16,979	12,871	9,605
x/m	24,410	16,932	13,021	8,565	4,079
Log C_t	1,409	1,333	1,232	1,111	0,982
Log x/m	1,388	1,229	1,115	0,933	0,611

C_6=40 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,717	1,467	1,050	0,883	0,704
C_t	35,264	30,132	21,569	18,127	14,463
x/m	27,680	19,736	18,431	10,937	5,107
Log C_t	1,547	1,479	1,334	1,258	1,160
Log x/m	1,374	1,295	1,266	1,039	0,708

Pour les conditions suivantes :

PH=9 m=0.1g d_m=250 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,090	0,083	0,061	0,047	0,037
C_t	1,854	1,695	1,256	0,972	0,753
x/m	0,730	0,680	0,644	0,514	0,249
Log C_t	0,268	0,229	0,099	-0,012	-0,123
Log x/m	-0,137	-0,215	-0,128	-0,289	-0,603

C_1=8 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,340	0,308	0,275	0,188	0,147
C_t	6,973	6,329	5,644	3,861	3,017
x/m	5,135	3,342	2,356	2,070	0,997
Log C_t	0,843	0,801	0,752	0,587	0,093
Log x/m	0,711	0,524	0,372	0,316	-0,001

C_2=10 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,445	0,398	0,371	0,334	0,256
C_t	9,143	8,165	7,619	6,867	5,257
x/m	4,285	3,670	2,381	1,567	0,949
Log C_t	0,961	0,912	0,882	0,837	0,721
Log x/m	0,632	0,565	0,377	0,195	0,023

C_3=15 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,686	0,625	0,528	0,439	0,347
C_t	14,095	12,826	10,836	9,008	7,129
x/m	4,525	4,348	4,164	2,996	1,574
Log C_t	1,149	1,108	1,035	0,955	0,853
Log x/m	0,656	0,638	0,620	0,477	0,197

C_4=20 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,889	0,866	0,749	0,682	0,485
C_t	18,247	17,782	15,371	13,994	9,961
x/m	8,765	4,436	4,129	3,003	2,008
Log C_t	1,261	1,250	1,187	1,146	0,998
Log x/m	0,943	0,647	0,665	0,478	0,303

C_5=30 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,371	1,225	1,083	1,010	0,905
C_t	28,151	25,158	22,234	20,729	18,578
x/m	9,245	8,684	7,766	4,636	2,284
Log C_t	1,449	1,401	1,347	1,317	1,269
Log x/m	0,966	0,986	0,890	0,666	0,359

C_6=40 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,819	1,621	1,413	1,077	1,035
C_t	37,359	33,278	29,024	22,116	21,257
x/m	13,205	12,444	10,976	8,942	3,749
Log C_t	1,572	1,522	1,463	1,345	1,328
Log x/m	1,121	1,129	1,040	0,951	0,574

Pour les conditions suivantes :
PH=9 m=0.1g d_m=750 µm V_s=100 ml

C_0=2 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,096	0,071	0,058	0,031	0,024
C_t	1,975	1,468	1,186	0,627	0,484
x/m	1,125	1,064	0,814	0,687	0,303
Log C_t	0,296	0,167	0,074	-0,203	-0,315
Log x/m	0,051	0,027	-0,089	-0,163	-0,518

C_1=8 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,385	0,347	0,299	0,213	0,192
C_t	7,896	7,125	6,133	4,369	3,946
x/m	2,520	1,750	1,867	1,816	0,811
Log C_t	0,897	0,853	0,788	0,640	0,596
Log x/m	0,284	0,243	0,271	0,259	-0,091

C_2=10 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,467	0,364	0,336	0,217	0,164
C_t	9,589	7,472	6,895	4,461	3,369
x/m	6,369	5,056	3,105	2,770	1,326
Log C_t	0,982	0,873	0,839	0,649	0,528
Log x/m	0,313	0,704	0,492	0,442	0,123

C_3=15 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,720	0,670	0,574	0,457	0,381
C_t	14,785	13,764	11,789	9,375	7,824
x/m	7,075	5,472	3,211	2,813	1,435
Log C_t	1,170	1,139	1,071	0,972	0,893
Log x/m	1,169	1,138	0,507	0,449	0,157

C_4=20 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	0,942	0,913	0,730	0,674	0,584
C_t	19,348	18,739	14,986	13,830	11,988
x/m	8,260	6,522	5,014	3,085	1,602
Log C_t	1,287	1,273	1,176	1,141	1,079
Log x/m	0,916	0,814	0,700	0,489	0,205

C_5=30 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,429	1,384	1,261	0,958	0,855
C_t	29,348	28,429	25,893	19,671	17,552
x/m	9,260	7,142	6,107	5,165	2,490
Log C_t	1,468	1,454	1,413	1,294	1,244
Log x/m	0,966	0,853	0,614	0,713	0,396

C_6=40 mg/l

M(g)	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5
DO	1,912	1,807	1,557	1,074	1,015
C_t	39,268	37,113	31,963	22,047	20,832
x/m	13,660	11,774	9,037	8,977	3,834
Log C_t	1,594	1,570	1,505	1,343	1,319
Log x/m	1,135	1,070	0,957	0,953	0,584

ANNEXE 2

Les graPhes du types d'adsorption : Pseudo-premier ordre et pseudo –seconde ordre

Cas de BM :

Pour les conditions suivantes : PH=4 d_m=250 µm

Pseudo-premier ordre

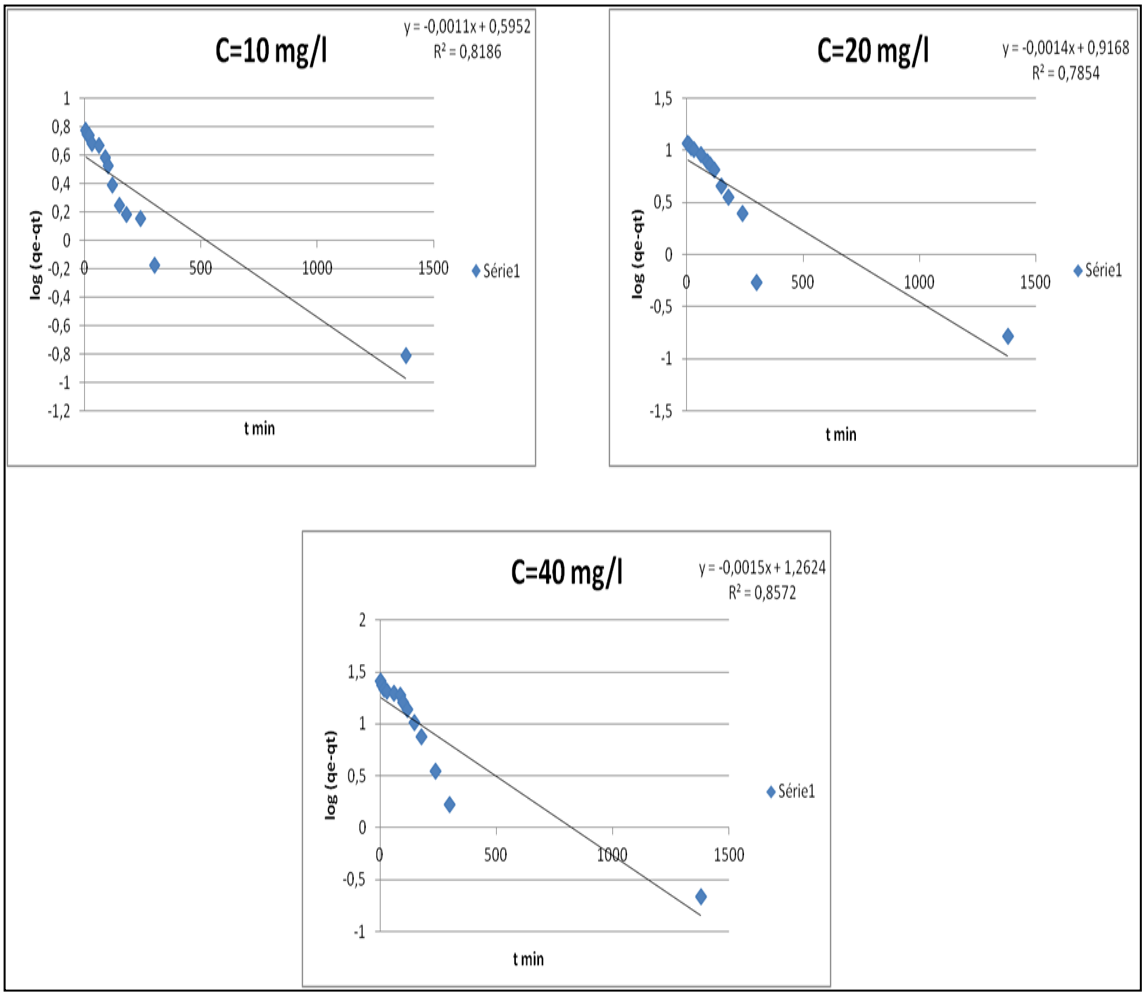
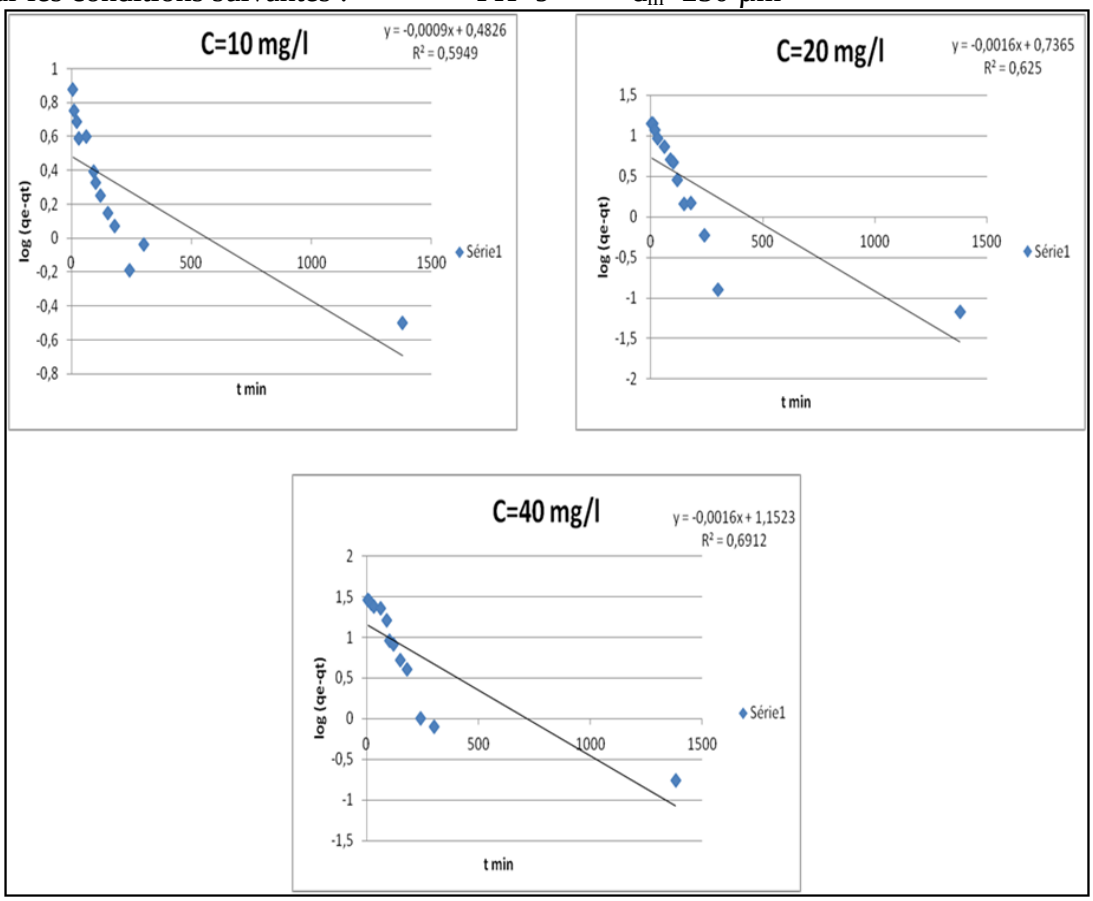


Figure IV.: *Modélisation des données cinétiques : modèle du pseudo-premier ordre*

Pour les conditions suivantes : PH=9 d_m=250 µm



.***Figure IV.:*** *Modélisation des données cinétiques : modèle du pseudo-premier ordre*

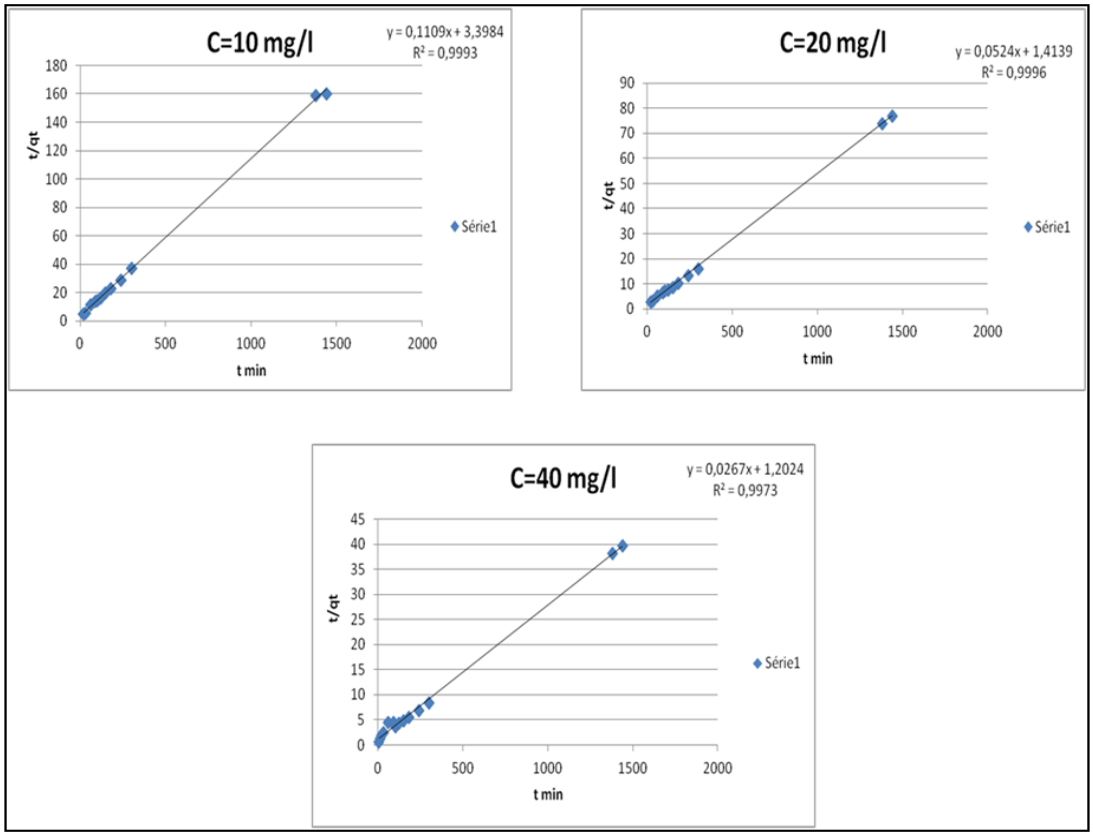


Figure IV.: *Modélisation des données cinétiques : modèle du pseudo-seconde ordre*

Cas de FA :

Pour les conditions suivantes : PH=4 d_m=250 µm

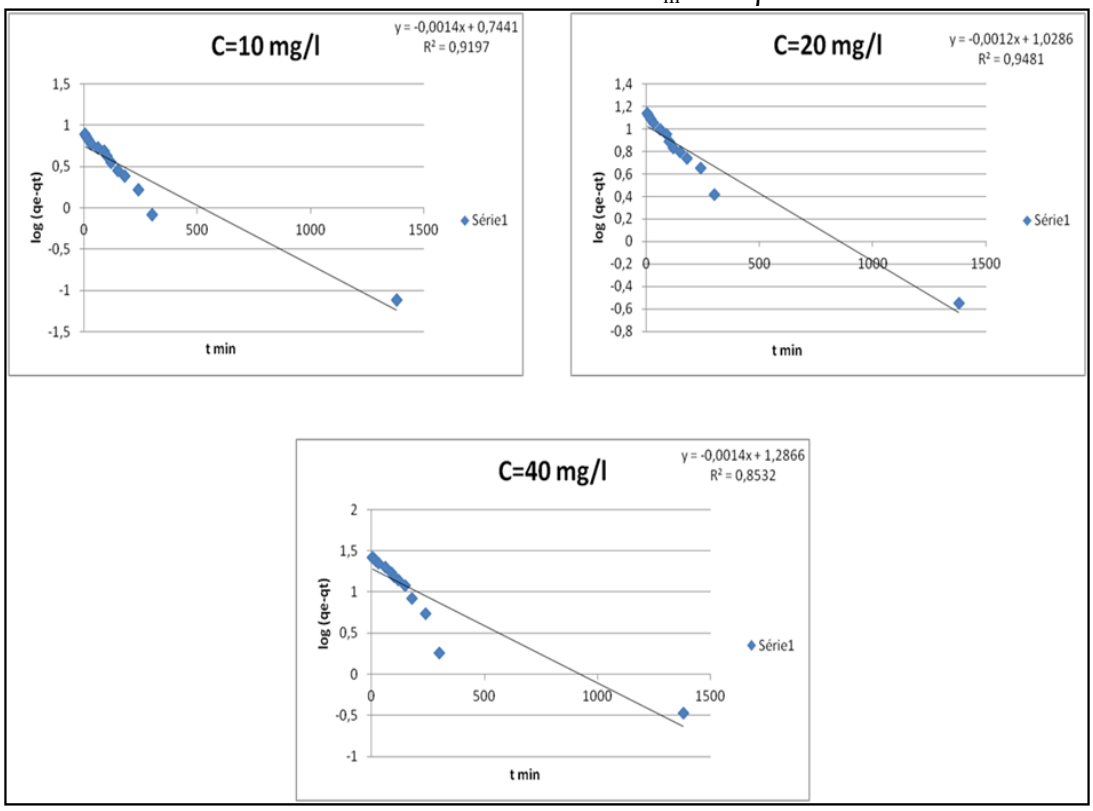


Figure IV.: *Modélisation des données cinétiques : modèle du pseudo-premier ordre*

Pour les conditions suivantes : PH=9 d_m=250 µm

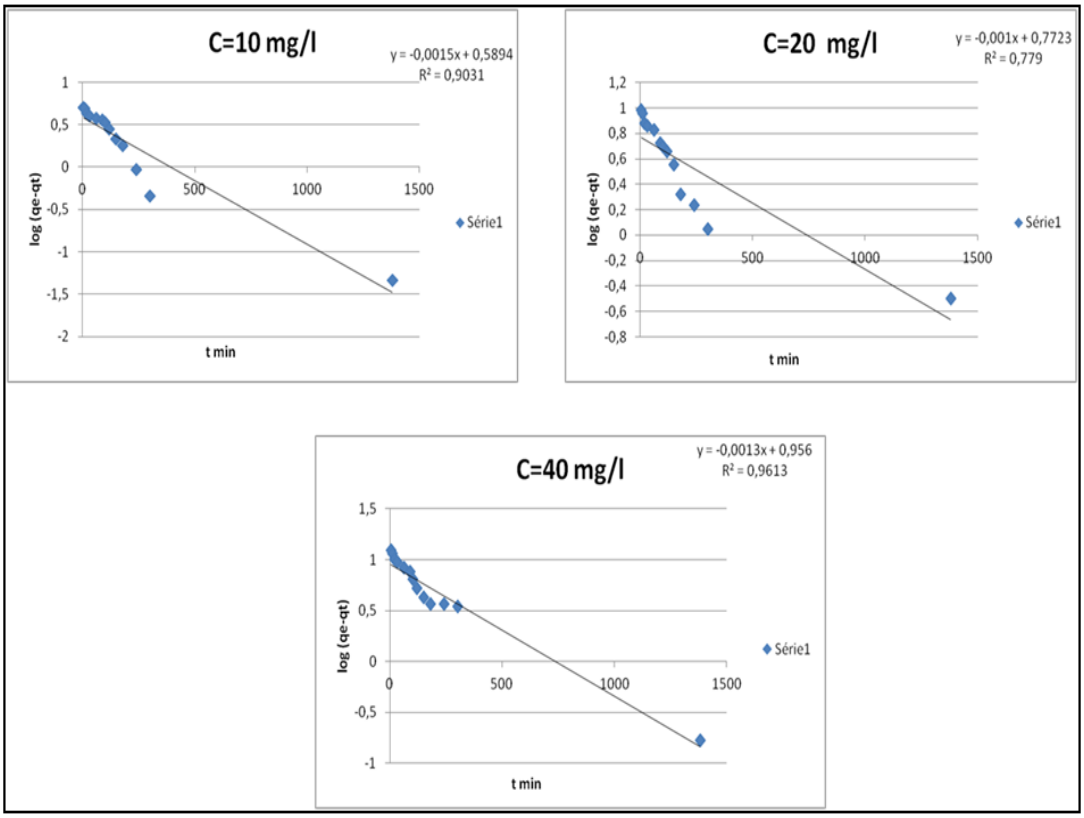


Figure IV.: *Modélisation des données cinétiques : modèle du pseudo-premier ordre*

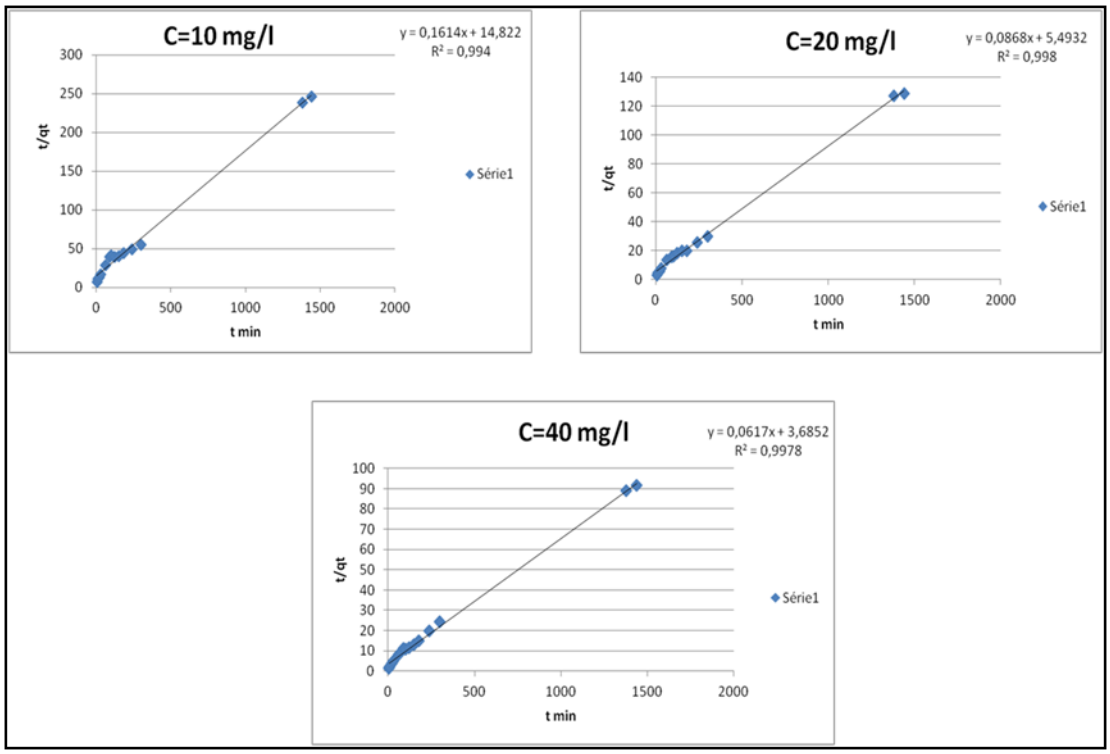


Figure IV.: *Modélisation des données cinétiques : modèle du pseudo-seconde ordre*

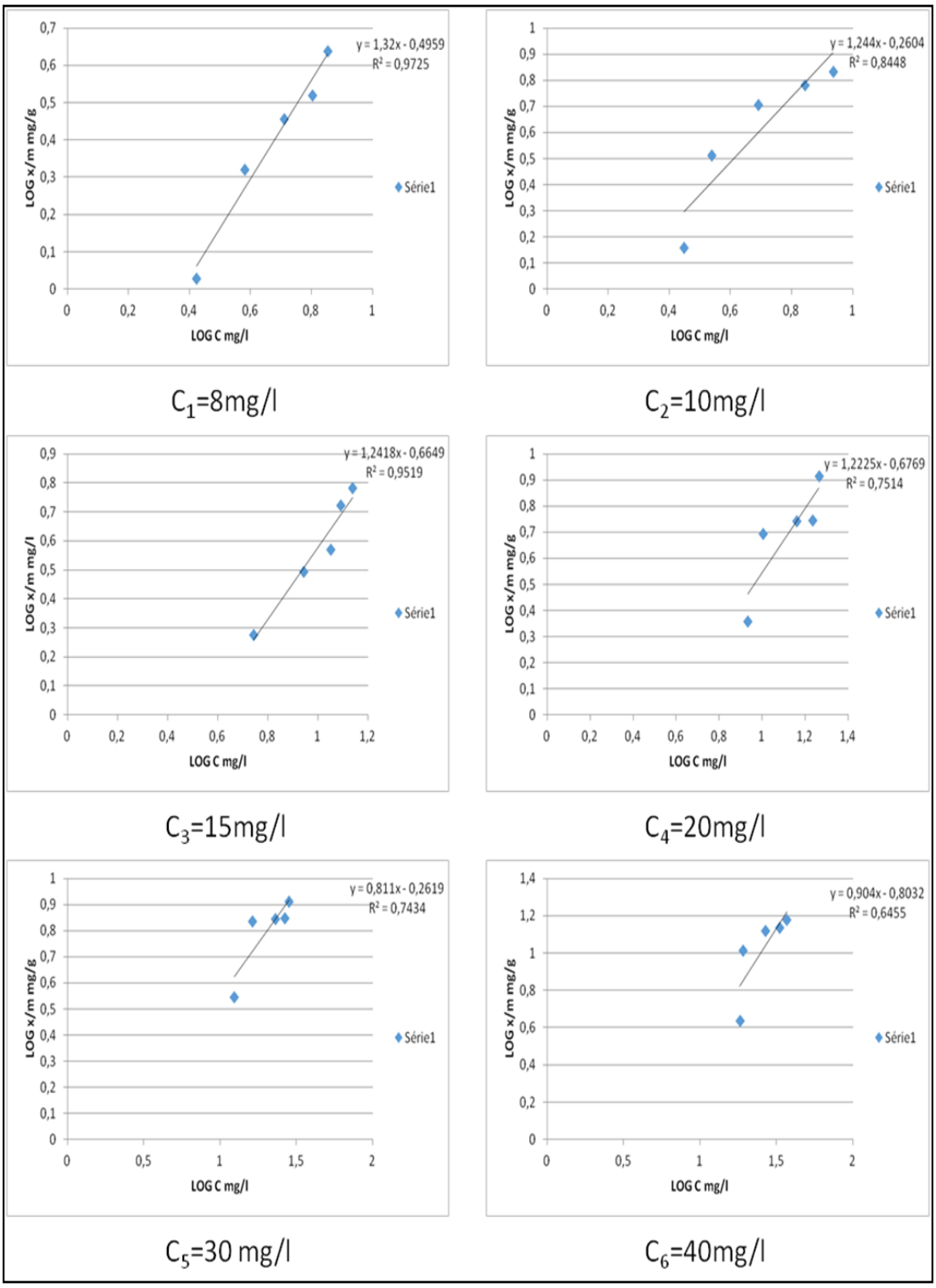


Figure IV.48: Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c)

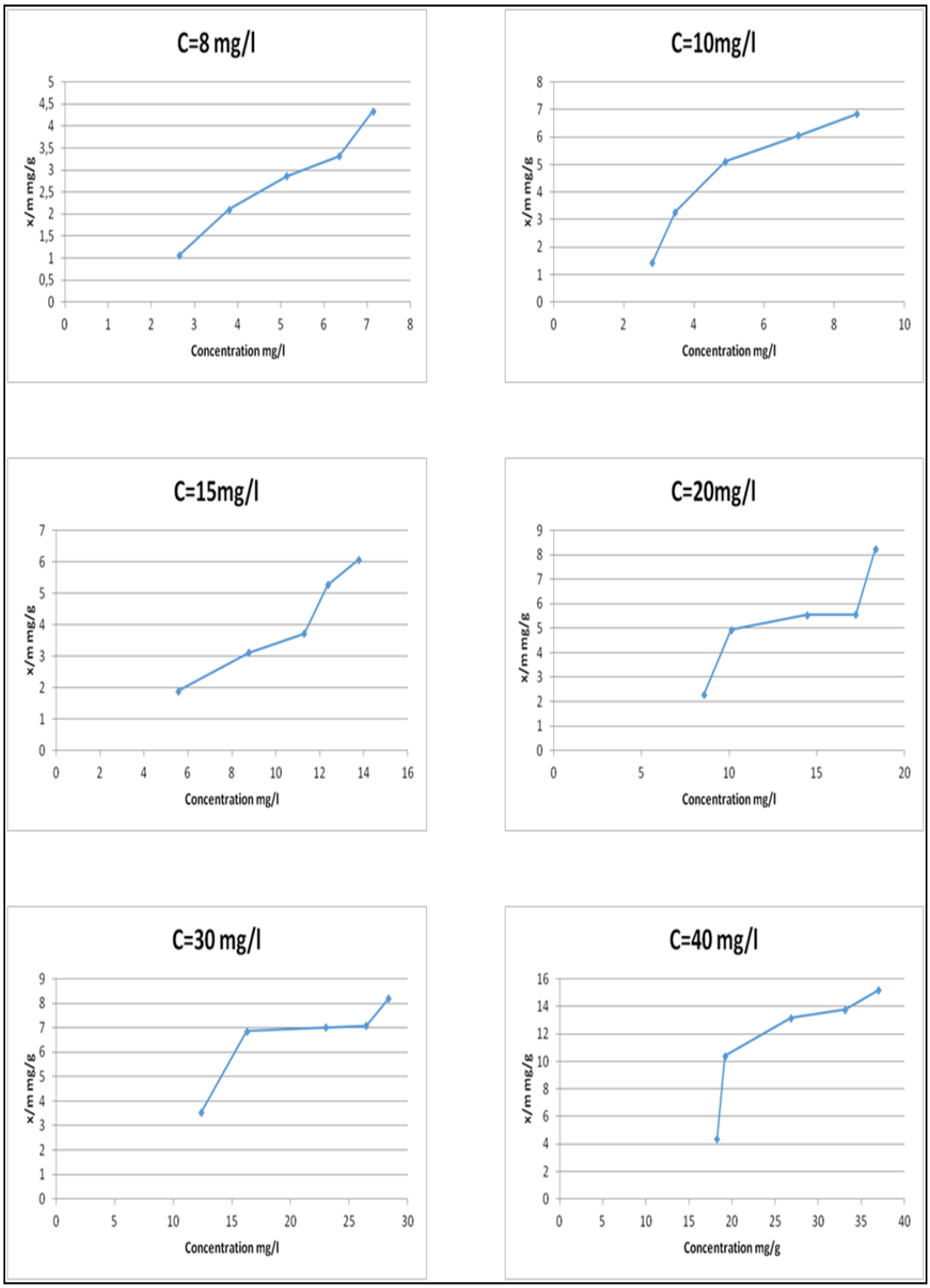


Figure IV.49: Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c) cas

Pour les conditions suivantes : PH=9 d_m=250 µm

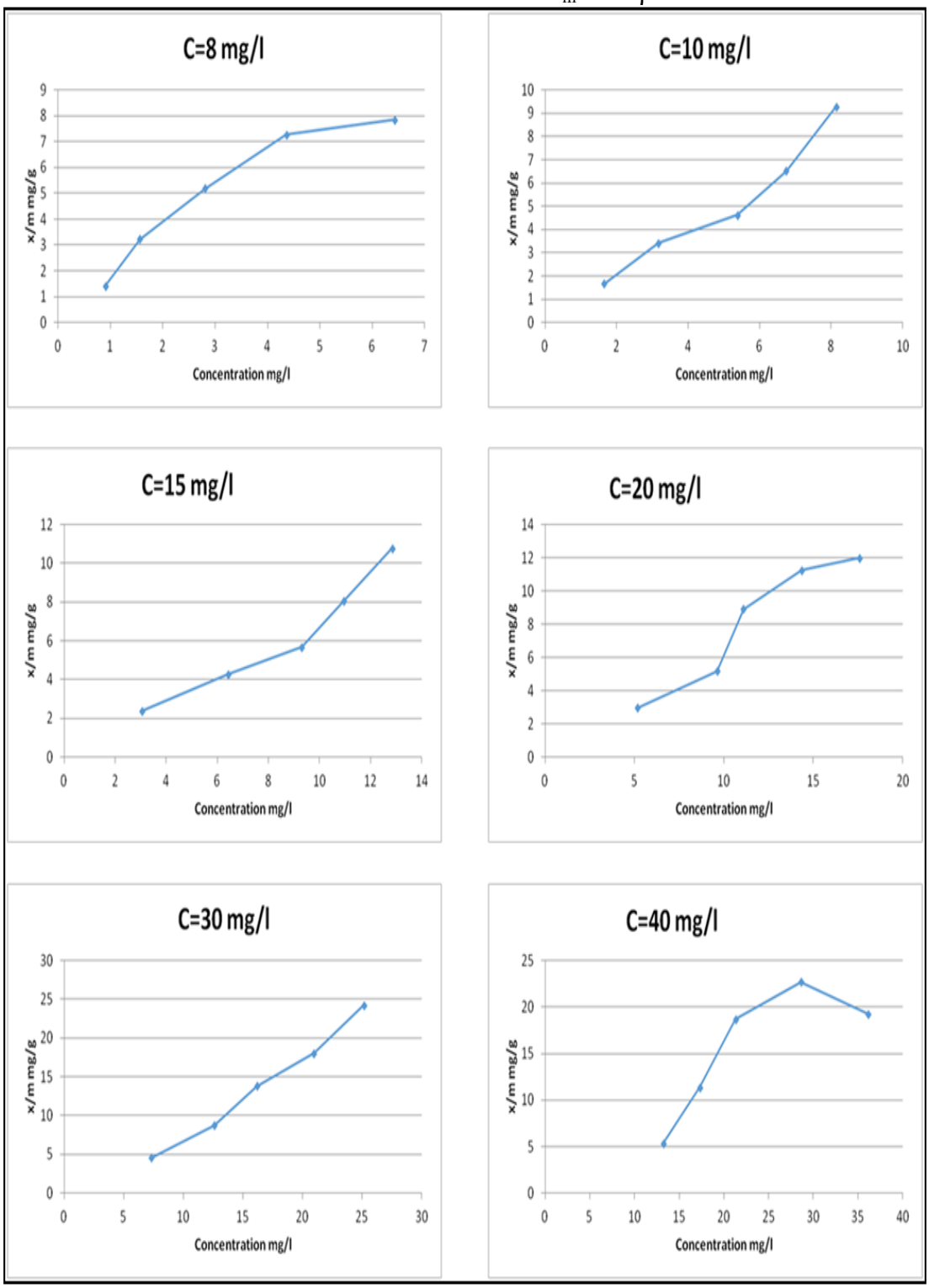


Figure IV.50: Isotherme D'adsorption X/m=f(c)

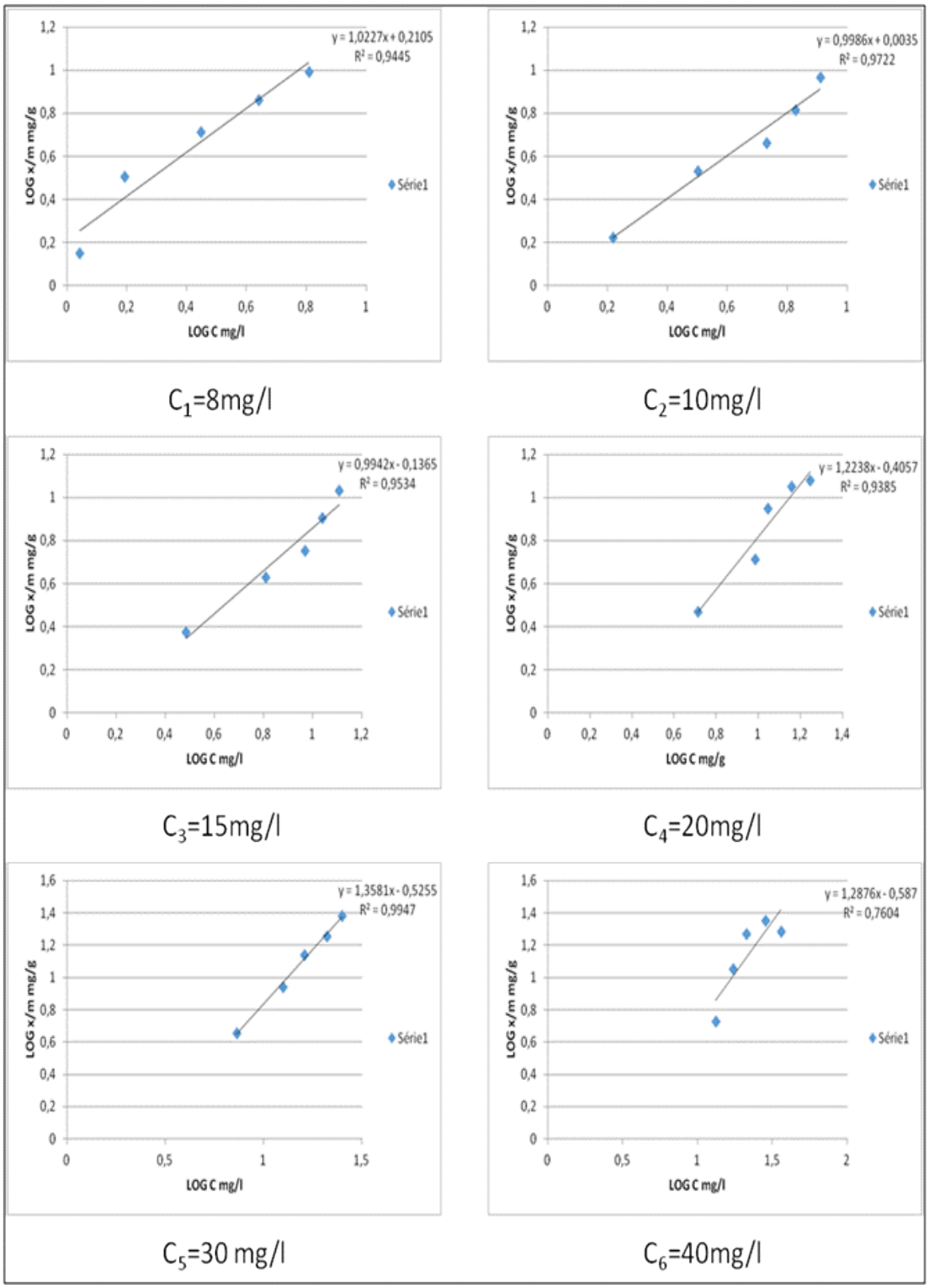


Figure IV.51: Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c)

Pour les conditions suivantes : PH=9 d_m=750 µm

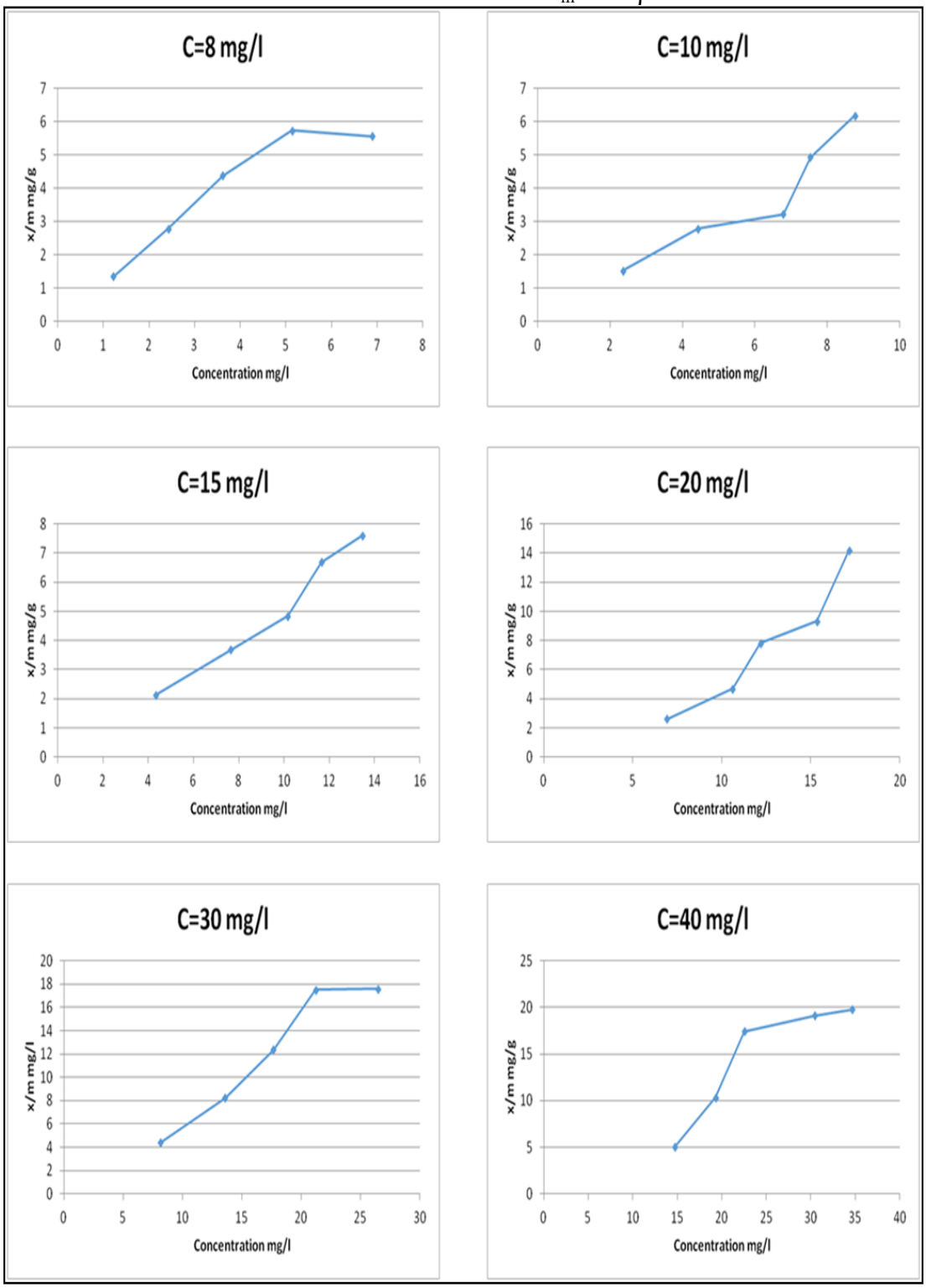


Figure IV.52: *Isotherme D'adsorption X/m=f(c)*

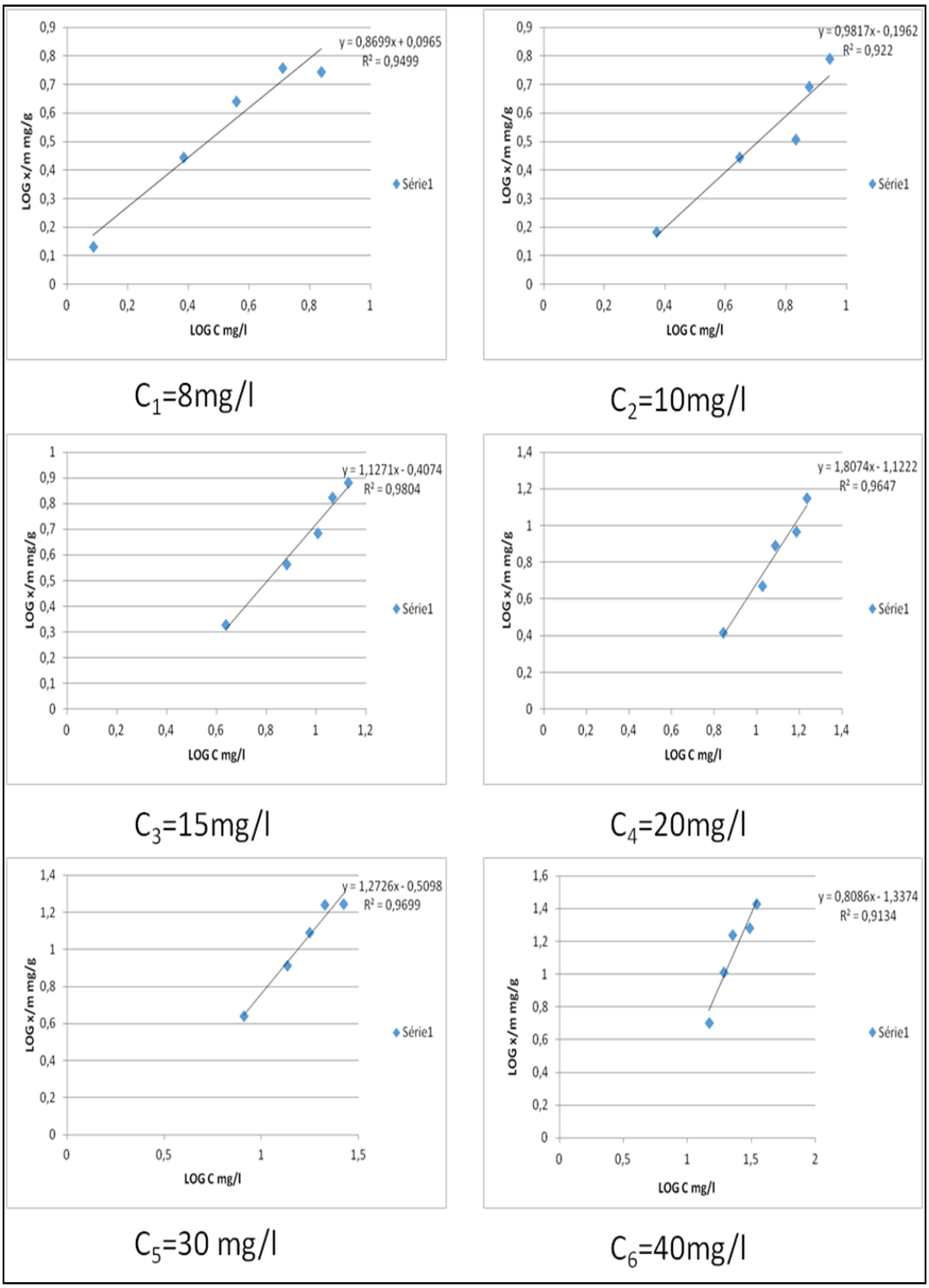


Figure IV.53: *Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c)*

Pour les conditions suivantes : PH=9 d_m=250 µm

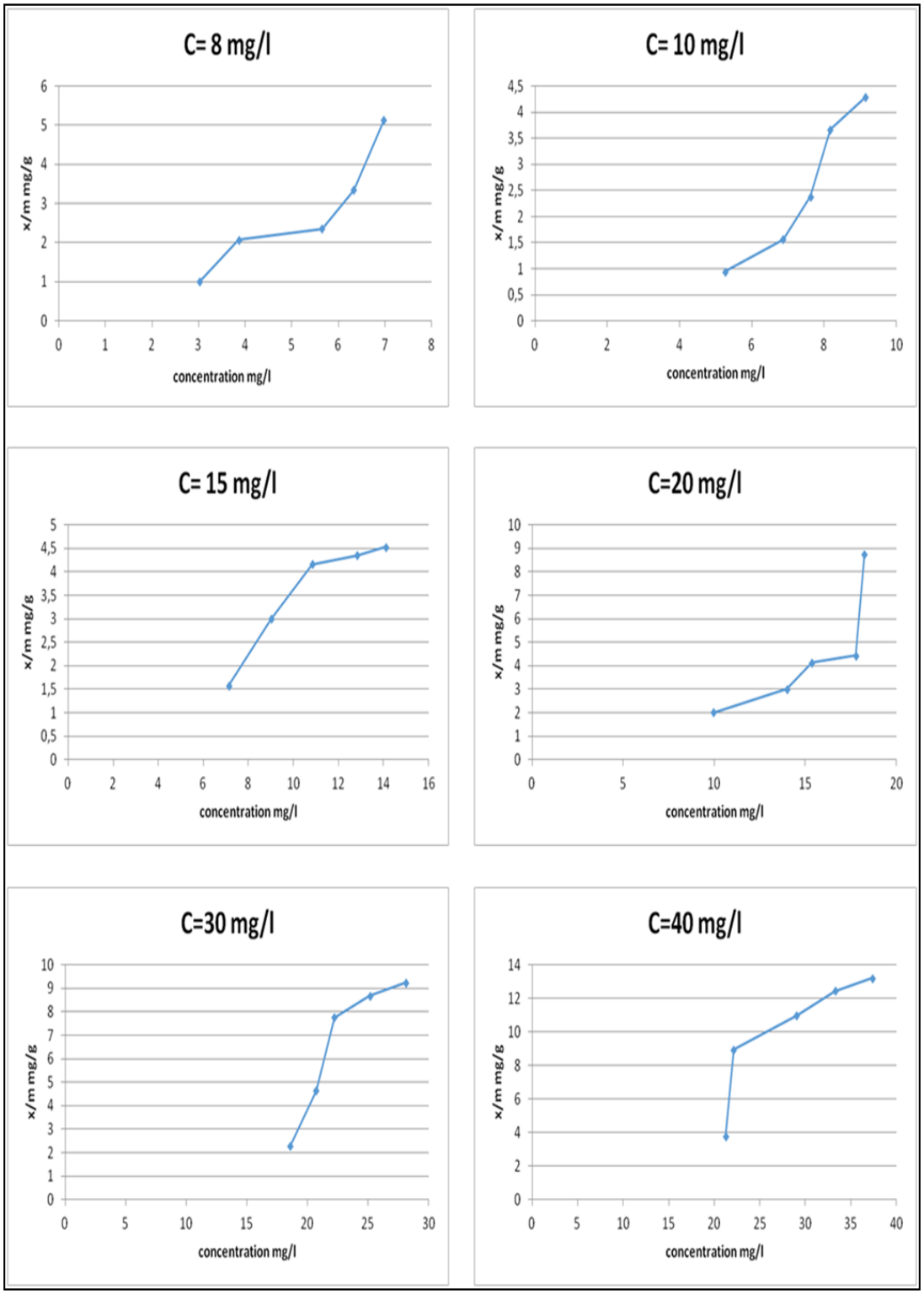


Figure IV.54: *Isotherme d'adsorption X/m=f(c)*

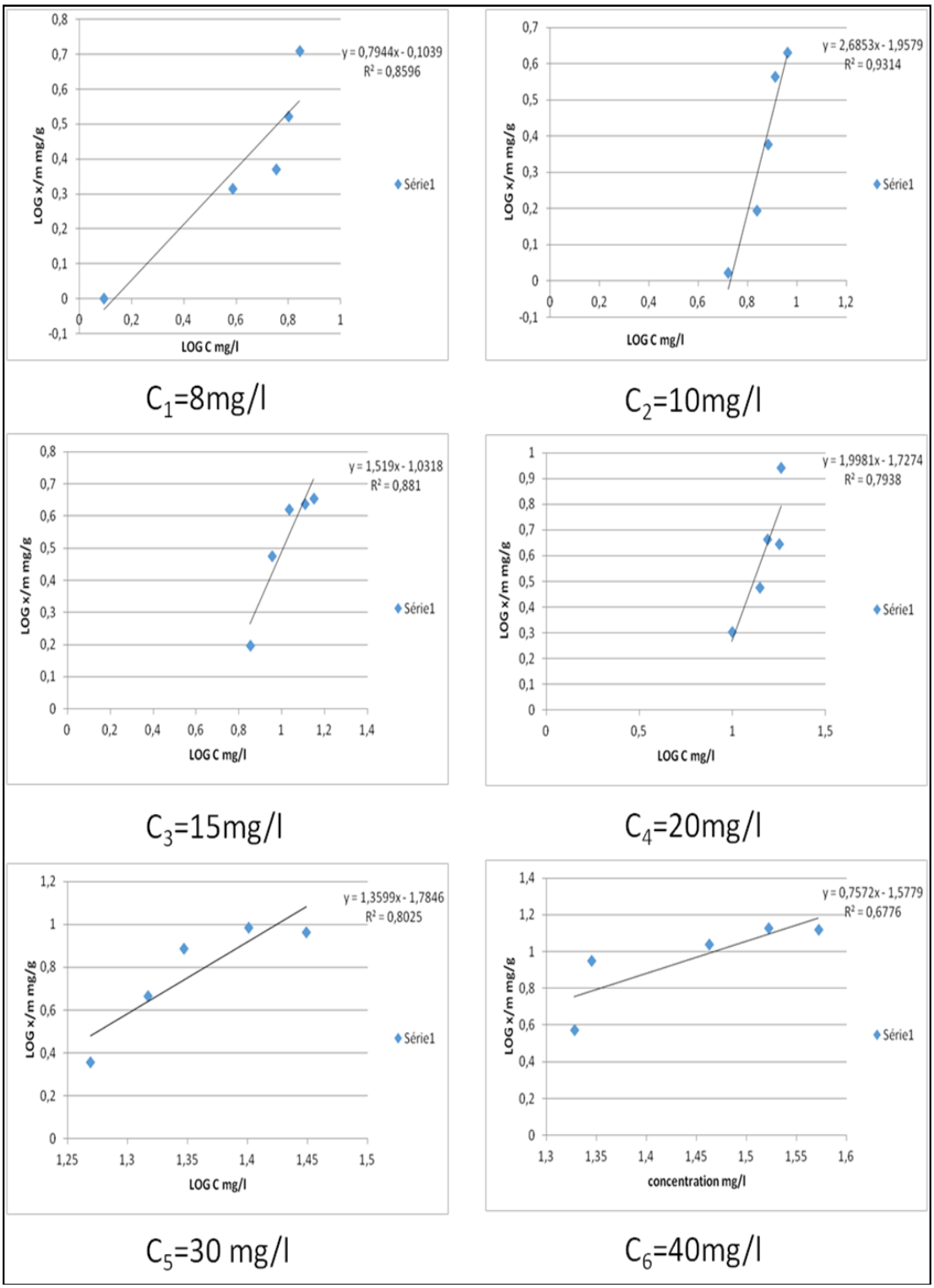


Figure IV.55: *Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c)*

Pour les conditions suivantes: PH=9 d_m=750 µm

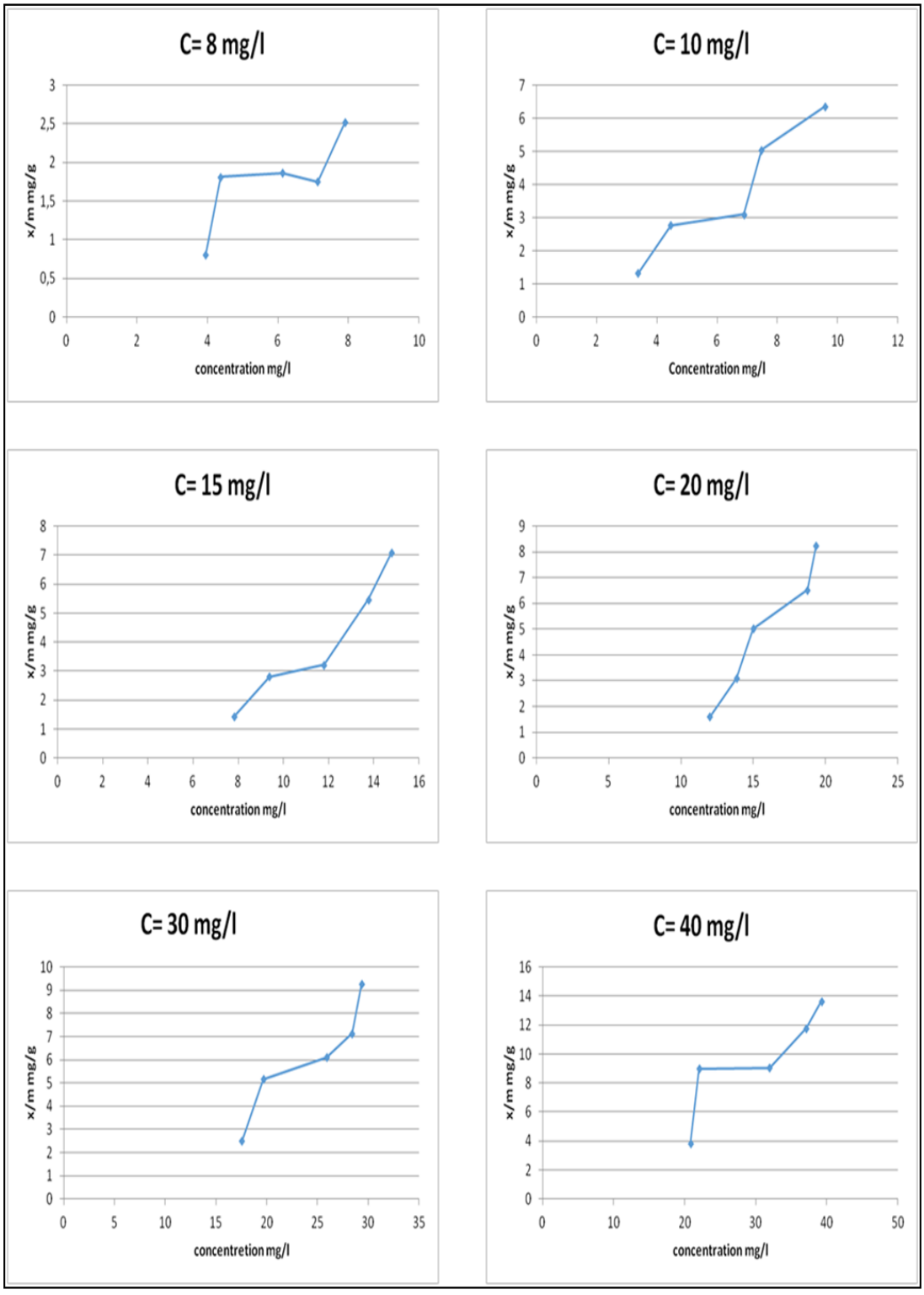


Figure IV.56: *Isotherme d'adsorption X/m=f(c)*

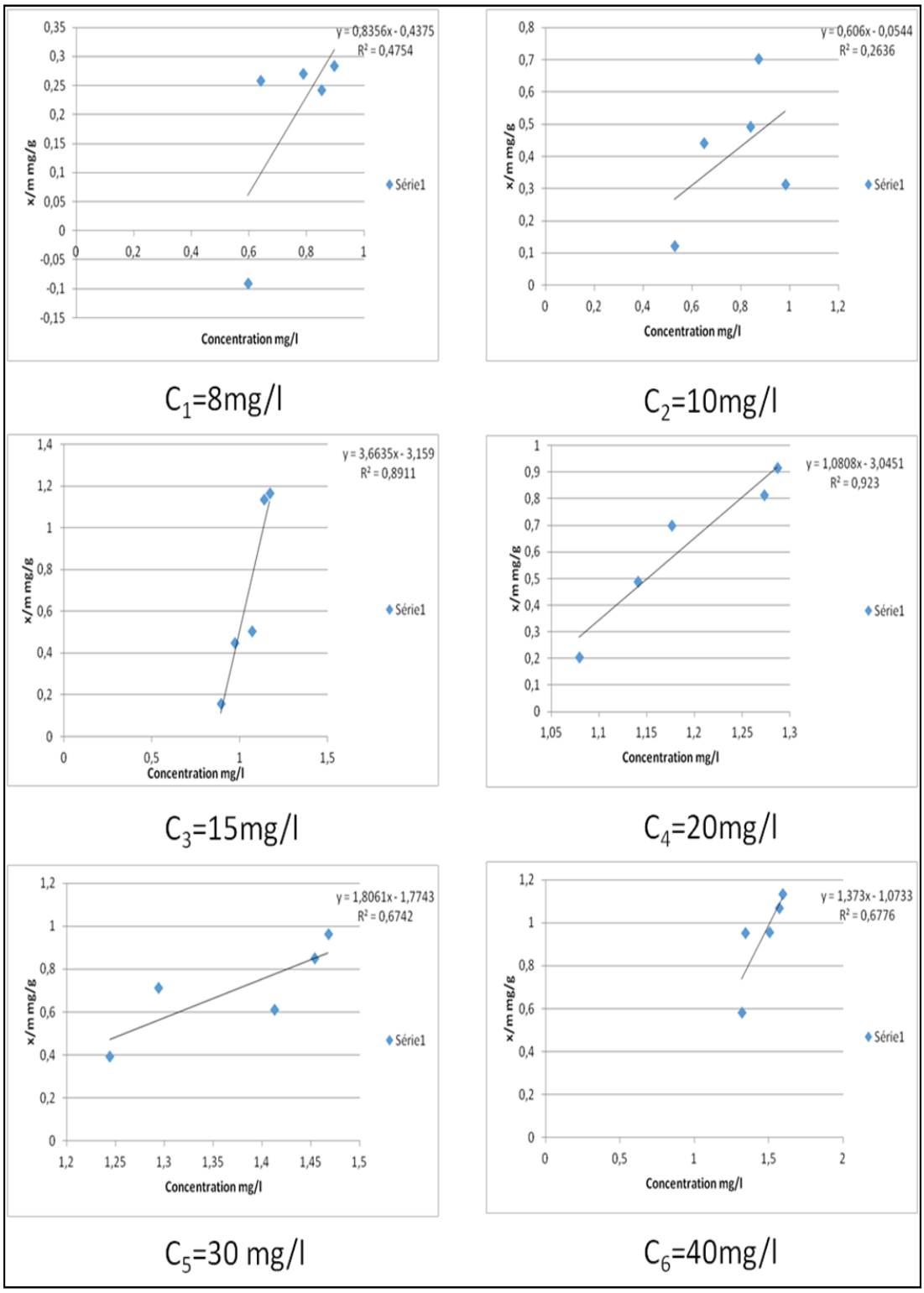


Figure IV.57: *Isotherme de FREUNDLICH log X/m=f (log c)*