

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de génie mécanique



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en : Génie des procédés des
matériaux
Domaine : Science et technologie
Filière : Génie des procédés
Spécialité : Génie des procédés des matériaux
Thème

**Elimination d'un polluant organique à partir des déchets
industriels**

Présenté Par :

- 1) Melle GUEZOUL Meriem
- 2) Melle SEGHIR Amina

Devant le jury composé de :

Dr MERABTNE Meriem	MCA UAT.B.B (Ain Temouchent) Président
Dr BELKHADEM Fatima	MCB UAT.B.B (Ain Temouchent) Examineur
Dr TABTI Affaf	MCA UAT.B.B (Ain Temouchent) Encadrant

Année Universitaire 2024/2025

Résumé

Cette étude évalue l'efficacité de charbons actifs obtenus à partir de pelures de pomme de terre (CAEPT) et de pelures de patate douce (CAEPD) pour l'élimination de deux colorants : l'indigotine (CI), un colorant utilisé dans l'agroalimentaire, et l'acide violet 43 (AV), présent dans des produits cosmétiques. La quantification des colorants a été réalisée par spectrophotométrie UV-Vis, tandis que les mécanismes d'adsorption ont été analysés à travers des études cinétiques et des isothermes thermodynamiques.

Les résultats ont révélé une excellente capacité d'élimination des deux colorants. En effet, pour une masse d'adsorbant de 100 mg, les rendements d'élimination atteignent 91,5 % pour le CI et 99,52 % pour l'AV avec le CAEPT, et 84,14 % pour le CI et 99,94 % pour l'AV avec le CAEPD.

Les données d'adsorption obtenues pour des masses de 50, 75 et 100 mg des deux adsorbants s'ajustent bien au modèle isotherme de Temkin, ce qui suggère un processus d'adsorption favorable. Par ailleurs, la cinétique d'adsorption suit le modèle du pseudo-second ordre, indiquant que la chimisorption constitue l'étape limitante du processus.

Mots clés : Carmin d'indigo ou indigotine, acide violet, les pelures de pomme de terre et patate douce, Adsorption, isothermes d'adsorption, cinétique d'adsorption.

Abstract

This study evaluates the efficiency of activated carbons derived from potato peels (CAEPT) and sweet potato peels (CAEPD) for the removal of two dyes: indigotine (CI), a food-grade dye, and acid violet 43 (AV), commonly found in cosmetic products. Dye concentrations were quantified using UV-Vis spectrophotometry, and the adsorption mechanisms were investigated through kinetic studies and thermodynamic isotherm models.

The results demonstrated excellent dye removal performance. For an adsorbent mass of 100 mg, removal efficiencies reached 91.5% for CI and 99.52% for AV using CAEPT, and 84.14% for CI and 99.94% for AV using CAEPD.

Adsorption data obtained with adsorbent masses of 50, 75, and 100 mg fit well with the Temkin isotherm model, indicating a favorable adsorption process. Additionally, the adsorption kinetics followed a pseudo-second-order model, suggesting that chemisorption is the rate-limiting step of the process.

Keywords: Indigo carmine or indigotine, acid violet, potato and sweet potato peels, Adsorption, adsorption isotherms, adsorption kinetics.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة الفحم النشط المحضر من قشور البطاطا (CAEPT) وقشور البطاطا الحلوة (CAEPD) في إزالة صبغتين هما الإنديجوتين (CI)، وهو صبغة مستخدمة في الصناعات الغذائية، وحمض البنفسجي 43 (AV)، المستخدم في المنتجات التجميلية. تم قياس تركيز الصبغات باستخدام تقنية المطيافية فوق البنفسجية-المرئية (UV-Vis)، كما تمت دراسة آليات الامتزاز من خلال النماذج الحركية ونماذج المتوازات الحرارية.

أظهرت النتائج كفاءة عالية في إزالة الصبغتين. فعند استخدام 100 ملغ من الممتز، بلغت نسبة الإزالة 91.5% للـ CI و99.52% للـ AV باستخدام CAEPT، و84.14% للـ CI و99.94% للـ AV باستخدام CAEPD.

كما أظهرت بيانات الامتزاز، باستخدام كميات مختلفة من الممتز (50، 75، و100 ملغ)، توافقاً جيداً مع نموذج تيمكين (Temkin) للامتزاز، مما يشير إلى أن عملية الامتزاز كانت مفضلة. بالإضافة إلى ذلك، اتبعت الحركية نموذج الرتبة الثانية الكاذبة، مما يدل على أن الامتزاز الكيميائي هو الخطوة المحددة لمعدل العملية. الكلمات المفتاحية: النيلة القرمزية (الإنديجوتين)، البنفسجي الحمضي، قشور البطاطس، قشور البطاطا الحلوة، الامتزاز، متساويات الامتزاز الحرارية، حركية الامتزاز.

الكلمات المفتاحية: نيلي الكارمين أو الإنديجوتين، البنفسج الحمضي، قشور البطاطس والبطاطا الحلوة، الامتزاز، منحنيات الامتزاز المتساوية (الايزوثيرمات)، حركية الامتزاز.

Remerciements

Avant toute chose, nous rendons grâce à Dieu — الحمد لله — de nous avoir accordé la force, la patience et la foi nécessaires à l’accomplissement de ce travail de mémoire.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre promotrice, Madame **Tabti Affaf**, Maître de Conférences A à l’Université de Aïn Témouchent – Belhadj Bouchaib, pour sa bienveillance, sa disponibilité, sa patience, ainsi que pour la pertinence de ses remarques. Son accompagnement, ses conseils et son soutien constant, même dans les moments les plus difficiles, ont grandement contribué à la réalisation de ce travail.

Nos sincères remerciements vont également à Madame **Merabten Meriem**, Maître de Conférences A à l’Université de Aïn Témouchent – Belhadj Bouchaib, pour avoir accepté de présider ce jury. Nous remercions chaleureusement Madame **Belkhadem Fatima Zohra**, Maître de Conférences B à l’Université de Aïn Témouchent – Belhadj Bouchaib, pour l’honneur qu’elle nous fait en acceptant d’évaluer ce mémoire et de participer à ce jury.

Nous n’oublions pas de remercier l’ensemble du personnel du laboratoire pédagogique pour leur accueil et leur disponibilité. Toute notre reconnaissance va aussi à nos collègues du Master 2 Génie des Matériaux, ainsi qu’à l’ensemble du personnel de l’université, pour l’ambiance conviviale et le climat de travail agréable qu’ils ont su instaurer.

Enfin, nous remercions toutes les personnes qui nous ont soutenus, conseillés ou aidés, de près ou de loin, tout au long de la rédaction de ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail aux êtres les plus chers au monde :

Mon père **ADDA** bien-aimé – paix à son âme –

Celui qui m'a appris la patience et la force, à celui dont le souvenir restera à jamais gravé dans mon cœur. Je te dédie ce travail en priant Dieu de t'accueillir dans sa vaste miséricorde.

Ma chère mère, **MOKHTARIA**

Source de tendresse et de sacrifice, toujours à mes côtés à chaque étape, contribuant à chaque réussite que je réalise. Je t'exprime toute ma gratitude et mon amour infini.

Mon cher et unique frère **MOHAMMED TOUFIK** et mes chères sœurs **NADA** et **HADIL** Mon pilier dans la vie, toujours là pour me soutenir et m'encourager.

Mon fiancé **BILEL** mon ami et mon soutien inébranlable
qui est toujours là pour moi qui ne faiblis jamais

À vous tous, je dédie le fruit de mon effort, en reconnaissance pour tout ce que vous avez fait pour moi.

A ma chère binôme **Amina**

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous. Malgré la distance, vous êtes toujours dans mon cœur

MERIEM



2025

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À mes chers parents, **BOUCIF** et **Aïcha**,

À vous tout mon amour et ma gratitude pour votre soutien inconditionnel, votre encouragement constant et les précieuses valeurs que vous m'avez transmises. Ce travail est le fruit de votre bienveillance et de votre dévouement.

À mon époux bien-aimé, **KADOUR**,

Merci du fond du cœur pour ta patience, ton soutien et ta présence à mes côtés à chaque étape de ce parcours. Tu es ma force et mon inspiration.

À mon fils adoré, **Mounir**,

Tu es ma plus grande source de bonheur et de motivation. Je te dédie ce travail pour qu'il soit un exemple de persévérance et de détermination.

À **mon frère** cher et à **mes sœurs** bien-aimées,

Vous êtes mon plus grand soutien et ma fierté. Votre amour, votre présence et vos encouragements ont été d'une aide précieuse tout au long de mon parcours. Cet accomplissement est autant le vôtre que le mien.

À ma famille et ma belle-famille,

Merci pour votre soutien, votre affection et votre présence précieuse. Votre amour et vos prières ont été ma force tout au long de ce chemin.

À mon cher binôme **Meriem**

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et mon admiration pour ton engagement, ton soutien et ta collaboration. Ton sérieux et ton esprit d'équipe ont rendu cette expérience unique et enrichissante.

Merci d'avoir été à mes côtés, pour les défis surmontés ensemble et les réussites partagées. Je suis fier(ère) de tout ce que nous avons accompli ensemble.

Avec toute ma reconnaissance et mon amour.

AMINA

Listes des figures

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les colorants

Figure I.1: L'impact des déchets sur l'environnement	10
Figure I.2: L'impact des déchets sur la santé.....	10
Figure I.3: Structure du colorant azoïque.....	13
Figure I.4: Structure du colorant triphénylméthane.	14
Figure I.5: Structure du Colorants anthraquinoniques	14
Figure I.6: Structure du colorant indigoïde.....	15
Figure I.7: Structure du colorant xanthène.....	15
Figure I.8: Structure du colorant Phtalocyanine	15
Figure I.9: Structure du colorant nitré et nitrosé.....	16
Figure I.10: Structure du colorant acide ou anionique.....	17
Figure I.11: Structure du colorant basique.....	17
Figure I.12: Structure chimique d'indigotine SIN 132.	19
Figure I.13: Structure chimique d'acide Violet 43	21

Chapitre II : Généralité sur l'adsorption et l'adsorbant

Figure II.1: Mécanisme du transfert d'un adsorbat vers le site d'adsorption au sein d'un grain d'adsorbant.....	30
Figure II.2: Classification des allures des isothermes d'équilibre d'adsorption selon leur allure	32
Figure II.3: Les différentes formes des tubercules de pomme de terre.....	37
Figure II.4: La couleur de tubercule de pomme de terre.....	38
Figure II.5: Formes des racines tubéreuses.....	39
Figure II.6: Tubercules de patate douce.....	40
Figure II.7 : charbon actif.....	44

Chapitre III : Partie Expérimentale

Figure III.1: Séchage le déchet (EPT) (EPD)	51
Figure III.2: solution mère de carmin d'indigo.....	52
Figure III.3: colorant alimentaire CI.....	52
Figure III.4: Les solutions filles du colorant alimentaire CI.....	53
Figure III.5: Courbe d'étalonnage du colorant alimentaire CI.	54
Figure III.6: Représentation de la longueur d'onde max du polluant alimentaire CI.	55
Figure III.7: Produit cosmétique contient acide violet 43.	56

Listes des figures

Figure III.8 : Les solutions filles d'AV.....	56
Figure III.9: La courbe d'étalonnage d'AV	57
Figure III 10 : Représentation de la longueur d'onde max de polluant AV.....	57
Figure III.11: a) La solution fille à concentration 100 mg/l, b) La solution fille avec l'adsorbant CAEPT, c) le mélange après la centrifugation du polluant alimentaire CI.	60
Figure III.12: a) La solution fille à concentration 600 mg/l, b) La solution fille avec l'adsorbant CAEPT, c) le mélange après la centrifugation du polluant cosmétique AV.....	62
Figure III.13: Effet du temps de contact sur l'adsorption de polluant alimentaire CI en présence de CAEPT comme adsorbant	63
Figure III.14: Effet du temps de contact sur l'adsorption de polluant alimentaire CI en présence de CAEPD comme adsorbant.....	64
Figure III.15: Effet du temps de contact sur l'adsorption du polluant cosmétique AV en présence de CAEPT comme adsorbant	65
Figure III.16: Effet du temps de contact sur l'adsorption du polluant cosmétique en présence de CAEPD comme adsorbant.....	66
Figure III.17: Effet de masse sur l'adsorption du colorant CI en présence de CAEPT comme adsorbant	67
Figure III.18: Effet de masse sur l'adsorption du colorant CI en présence de CAEPTD comme adsorbant.....	68
Figure III.19: Effet de masse sur l'adsorption du colorant AV en présence de CAEPT comme adsorbant	69
Figure III.20: Effet de masse sur l'adsorption du colorant AV en présence de CAEPD comme adsorbant	70
Figure III.21: Effet du pH sur l'adsorption du polluant CI en présence de CAEPT comme adsorbant	71
Figure III.22 : Effet du pH sur l'adsorption du polluant CI en présence de CAEPD comme adsorbant	72
Figure III.23: Effet du pH sur l'adsorption du polluant AV en présence de CAEPT comme adsorbant	73
Figure III.24: Effet du pH sur l'adsorption du polluant AV en présence de CAEPD comme adsorbant	74
Figure III.25: Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-première ordre du colorant CI en présence de CAEPT comme adsorbant	75

Listes des figures

Figure III.26: Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- premier ordre du colorant CI en présence de CAEPD comme adsorbant	76
Figure III.27: Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-première ordre de l'adsorbat AV en présence de CAEPT comme adsorbant	77
Figure III.28: Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-première ordre de l'adsorbat AV en présence de CAEPD comme adsorbant	78
Figure III.29: Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- second ordre du colorant CI en présence de CAEPT comme adsorbant	79
Figure III.30: Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- second ordre du colorant CI en présence de CAEPD comme adsorbant	80
Figure III. 31: Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- second ordre de l'adsorbat AV en présence de CAEPT comme adsorbant	81
Figure III.32: Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- second ordre de l'adsorbat AV en présence de CAEPD comme adsorbant	82
Figure III.33 : Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du polluant CI en présence deCAEPT comme adsorbant	85
Figure III.34: Modélisation de l'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du polluant CI en présence deCAEPT comme adsorbant	86
Figure III.35: Modélisation de l'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du polluant CI en présence deCAEPT comme adsorbant	87
Figure III.36: Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du polluant CI en présence deCAEPD comme adsorbant	88
Figure III.37: Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du polluant CI en présence deCAEPD comme adsorbant	89
Figure III.38: Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du polluant CI en présence deCAEPD comme adsorbant	90
Figure III.39: Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du polluant AV en présence de CAEPT comme adsorbant	92
Figure III.40: Modélisation de l'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du polluant AV en présence de CAEPT comme adsorbant	93
FigureIII.41 : Modélisation de l'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du polluant AV en présence de CAEPT comme adsorbant	94
Figure III.42: Modélisation de l'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du polluant AV en présence de CAEPD comme adsorbant	95

Listes des figures

Figure III.43: Modélisation de l'isotherme d'adsorption par l'équation de Freundlich du polluant AV en présence de CAEPD comme adsorbant	96
Figure III. 44: Modélisation de l'isotherme d'adsorption par l'équation de Temkin du polluant AV en présence de CAEPD comme adsorbant	97

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur les déchets et les colorants

Tableau I.1 : Propriétés physico- chimique d'indigotine.....	19
Tableau I.2 :Propriétés physico- chimique d'acide Violet 43.	21

Chapitre II : Généralité sur l'adsorption et l'adsorbant

Tableau II.1 : Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.	29
Tableau II.2 : Composition chimique des pelures de pomme de terre.	38
Tableau II.3 : Composition chimique des patates douces crues à chair pâle, jaune et orange	40

Chapitre III : Partie Expérimentale

Tableau III.1 : les produits utilisés dans notre étude.	48
Tableau III.2 : Matériels utilisés dans notre étude.	49
Tableau III.3 : Les mesures de pHet T des solutions filles du colorant alimentaire CI	53
Tableau III.4 : Les mesures de pHet température des solutions filles du colorant AV.....	56
Tableau III.5 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 50 mg	59
Tableau III.6 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 75 mg	59
Tableau III.7 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 100 mg	59
Tableau III.8 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPD comme adsorbant avec une masse de 50 mg	60
Tableau III.9 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPD comme adsorbant avec une masse de 75 mg	60
Tableau III.10 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPDcomme adsorbant avec une masse de 100 mg	60
Tableau III.11 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 50 mg	60
Tableau III.12 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 75 mg	61
Tableau III.13 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 100 mg	61
Tableau III.14 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPD comme adsorbant avec une masse de 50 mg	61

Liste des tableaux

Tableau III.15 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPD comme adsorbant avec une masse de 75 mg	61
Tableau III.16 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPD comme adsorbant avec une masse de 100 mg	62
Tableau III.17 : Valeurs des modèles cinétiques d'adsorption du CI par en présence de CAEPT comme adsorbant	82
Tableau III.18 : Valeurs des modèles cinétique d'adsorption du CI en présence de CAEPD comme adsorbant.....	83
Tableau III.19 : valeurs des modèles cinétique d'adsorption de l'AV en présence de CAEPT comme adsorbant.....	83
Tableau III.20 : Valeurs des modèles cinétique d'adsorption de l'av en présence de CAEPD comme adsorbant.....	84
Tableau III.21 : Constante Langmuir, Freundlich et Temkin du colorant CI	87
Tableau III.22 : Constante Langmuir, Freundlich et Temkin du colorant CI en présence CAEPD comme adsorbant.....	90
Tableau III.23 : Constantes Langmuir, Freundlich et Temkin de notre adsorbant Av en présence de CAEPT comme adsorbant	94
Tableau III.24 : Constantes Langmuir, Freundlich et Temkin de notre adsorbant AV En présence de CAEPD comme adsorbant.....	97

Table des matières

Table des matières	
Résumé	i
Dédicace	i
Dédicace	ii
Liste des figures	3
Liste des tableaux	7
Liste des abréviations	14
Introduction Générale	2
Références bibliographiques	4
Chapitre I	5
I.1 Introduction	6
I.2 Généralités sur les déchets	6
I.2.1 Définition d'un « déchet »	6
I.2.1.2 Définitions juridiques	6
I.2.2 Les différentes classes de déchets	7
I.2.2.1 Classification selon l'origine	7
I.2.2.1.1 Déchets industriels	7
I.2.2.1.2 Déchets urbains	8
I.2.2.2 Classification selon la nature	8
I.2.2.3 Classification selon le mode de traitement et d'élimination	8
I.2.2.4 Classification selon les effets sur l'environnement	8
I.2.2.5 Classification juridique (selon la loi algérienne)	9
I.2.3 Impact des déchets	9
□ Impact sur l'environnement	9
□ Impact sur la santé humaine	10
I.3 Généralités sur les colorants	10
I.3.1 Introduction	10

Table des matières

I.3.2 Définition d'un colorant	11
I.3.2 Types des colorants	11
I.3.2.1 Les colorants naturels	11
I.3.2.2 Les colorants synthétiques.....	12
I.4. Classification chimique des colorants	13
I.4.1 Les colorants azoïques	13
I.4.2 Les colorants triphénylméthanes	13
I.4.3 Colorants anthraquinoniques	14
I.4.4 Les colorants indigoïdes.....	14
I.4.5 Les colorants xanthènes	15
I.4.6 Les colorants phtalocyanines	15
I.4.7 Les colorants nitrés et nitrosés.....	16
I.5.1 Les colorants acides ou anioniques.....	16
I.5.2 Les colorants basiques ou cationiques.....	17
I.5.3 Les colorants développés ou azoïques insolubles.....	17
I.5.4 Les colorants de cuve	17
I.5.5 Les colorants réactifs	18
I.5.6 Les colorants directs	18
I.5.7 Les colorants à mordants.....	18
I.5.8 Les colorants dispersés	18
I.6 Utilisations des colorants.....	18
I.7 La toxicité des colorants	19
I.8 Généralité sur les colorants utilisés dans notre étude	19
I.8.1 Indigotine, ou carmin d'indigo (SIN 132)	19
I.8.1.1 Définition et structure	19
I.8.1.2 Utilisation du colorant Indigotine, ou carmin d'indigo (SIN 132).....	20

Table des matières

I.8.1.3 Toxicité du colorant Indigotine, ou carmin d'indigo (SIN 132).....	20
I.8.2 L'Acide Violet 43.....	21
I.8.2.1 Définition et structure	21
I.8.2.2 Utilisation d'acide violet 43.....	22
I.8.2.3 Toxicités du colorant acide violet 43	22
Référence bibliographique	23
Chapitre II.....	27
Généralité sur l'adsorption et l'adsorbant.....	27
II.1 Introduction	28
II.2 Définition d'adsorption.....	28
II.3 Principe d'adsorption	28
II.4 Application d'adsorption.....	28
II.5 Types d'adsorption.....	29
II.5.1 Adsorption physique (physisorption)	29
II.5.2 Adsorption chimique (chimisorption).....	29
II.6 Le mécanisme d'adsorption.....	30
II.7 Les paramètres influençant sur l'adsorption.....	30
II.7.1 La température	31
II.7.2 Le pH de la solution.....	31
II.7.3 Surface spécifique.....	31
II.7.4 La vitesse d'adsorption.....	31
II.7.5 Masse de l'adsorbant.....	31
II.8 Isothermes d'adsorption	31
II.8.1 Capacité d'adsorption	31
II.8.2 Classification des isothermes d'adsorption	32
II.8.2.1 Classe L.....	32
II.8.2.2 Classe S	32

Table des matières

II.8.2.3 Classe H.....	33
II.8.2.4 Classe C.....	33
II.8.3 Modèles d'isotherme d'adsorption.....	33
II.8.3.1 Modèle de Langmuir.....	33
II.8.3.2 Modèle de Freundlich	34
II.8.2.3. Modèle de Temkin.....	35
II.9 Cinétique d'adsorption	35
II .9.1 Modèle cinétique du pseudo premier ordre	35
II.9.2 Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre.....	36
II.10 Généralité sur les adsorbants de notre étude	36
II.10.1 Les épilucheurs de pommes de terre (EPT)	37
II .10.1.1 La forme.....	37
II.10.1.2 La couleur	37
II.10.1.3 Composition chimique du tubercule	38
II.10.2 Les pelures de patates douces	38
II.10.2.1 Formes des racines tubéreuses (en coupe longitudinale).....	39
II.10.2.2 La couleur	40
II .10.2.3 Composition chimique des patates douces.....	40
II. 11 Charbon actif.....	41
II. 11.1 Le charbon actif comme adsorbant	41
II.11.2 Préparation du charbon actif	41
Références bibliographie	43
Chapitre III.....	47
Partie Expérimentale	47
III .1 Introduction.....	48
III .2. Les produits et matériels utilisés	48
III.3 Etude d'élimination des colorants	50

Table des matières

III .3.1. Préparation des absorbants (épluchures de pommes de terre et épluchures de patate douce)	51
III.3.2 Évaluation de la surface spécifique des adsorbants par adsorption du bleu de méthylène.....	51
III. 3.2.1 Mesure de la surface spécifique des adsorbants.....	52
III .3.3 Préparation des adsorbats.....	52
III.3.3.1.2 La courbe d'étalonnage.....	53
III .3.3.1.3 Détermination de la longueur d'onde maximale (λ_{\max}) du colorant CI ..	54
III.3.3.2 .Préparation de la solution mère du colorant acide violet 43	55
III .3.3.2.1 Préparation des solutions filles.....	56
III .3.3.2.2 La courbe d'étalonnage.....	57
III .3.3.2.3 Détermination de la longueur d'onde maximale (λ_{\max}) du colorant AV :57	
III.3.4 Calcul de la quantité adsorbée.....	58
III.3.4 Détermination du taux d'élimination du colorant	58
III.4. Résultats et discussions.....	58
III .4.1 Déroulement des expériences d'adsorption	58
III.4.2 Calcul de la quantité adsorbée des colorants	59
III.4.3 Influence des paramètres physico-chimiques.....	62
III .4.3.1 Le temps de contact.....	62
III.4.3.2 Effet de masse	66
III .4.3.3 Effet du pH.....	70
III .4.4 Modélisation de la cinétique d'adsorption	74
III .4.4.1 Modèle cinétique de premier ordre	74
III .4.4.2 Modèle de pseudo-second ordre.....	78
III .4.5 Modélisation des équilibres des isothermes l'adsorption	84
III.5 Conclusion	98
Références bibliographies.....	100
Conclusion Général	102

Liste Des Abréviation

Liste des abréviations

CI : Indigotine, ou carmin d'indigo.

AV : L'acide violet 43.

CAEPT : Le charbon actif d'éplucheur de pommes de terre.

CAEPD : Le charbon actif d'éplucheur de patate douce.

Abs : Absorbance.

pH : Potentielle d'hydrogène standard.

λ_{max} : Longueur d'onde maximale.

% : Pourcentage .

mg : Milligramme.

mg/l : Milligrammes par litre.

nm : Nanomètre.

T : Température.

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction Générale

Dans notre quotidien, les colorants sont partout. Ils sont utilisés pour améliorer l'aspect visuel d'une large gamme de produits, notamment dans les secteurs alimentaire (boissons gazeuses, bonbons, desserts) et cosmétique (shampoings, rouges à lèvres, gels douche). [1] Bien que ces substances remplissent des fonctions esthétiques et commerciales importantes, leur persistance dans l'environnement soulève de sérieuses préoccupations. En effet, une fois rejetés dans la nature, ces colorants peuvent devenir des polluants stables, difficilement biodégradables, et potentiellement toxiques pour les organismes vivants. [2]

Ces composés colorés, notamment l'indigotine (ou carmin d'indigo, SIN 132) souvent utilisée dans les confiseries, ou encore l'acide violet 43 (AV) retrouvé dans certains produits capillaires, peuvent s'accumuler dans les milieux naturels, menaçant ainsi la qualité de l'eau, des sols, et la biodiversité. Face à cette problématique, l'élimination efficace des colorants à partir de matrices aqueuses devient une priorité environnementale et sanitaire.

Parmi les diverses techniques de dépollution étudiées dans la littérature – telles que l'oxydation chimique, la filtration sur membrane ou la biodégradation – l'adsorption se distingue par sa simplicité de mise en œuvre, sa rentabilité et son efficacité même à faible concentration. [3,4] Cette méthode repose sur la capacité d'un matériau solide, appelé adsorbant, à piéger les molécules de colorant.

Les recherches ont mis en lumière l'intérêt croissant pour des bio-adsorbants, des matériaux d'origine naturelle, abondants, peu coûteux, et souvent issus de déchets ou sous-produits agricoles. Ces adsorbants incluent par exemple les coques de noix, écorces de fruits, sciure de bois, argiles naturelles ou pleurs de pomme de terre, qui présentent une surface spécifique et une porosité favorables à l'adsorption [5].

Dans cette optique, notre étude se propose d'explorer l'efficacité de deux bio-adsorbants le charbon actif de pelures de pomme de terre et le charbon actif de pelures de patate douce pour l'élimination de deux colorants largement utilisés : l'indigotine SIN 132 et l'acide violet 43, présents respectivement dans des produits alimentaires et cosmétiques.

Ce travail est structuré en deux grandes parties :

- **Partie 1 : Recherche bibliographique**, qui présentera une revue approfondie sur les colorants industriels, les mécanismes d'adsorption, et les différents types d'adsorbants utilisés, avec un accent particulier sur les bio-adsorbants naturels.

Introduction Générale

- **Partie 2 : Étude expérimentale**, qui détaillera la préparation et la caractérisation des adsorbants retenus, les protocoles expérimentaux d'adsorption appliqués aux deux colorants ciblés, ainsi que l'interprétation des résultats obtenus.

La conclusion générale viendra synthétiser les principales observations de cette étude et proposera des perspectives pour une gestion plus durable de la pollution par les colorants.

Références bibliographies

- [1] Melquiot P, Bertolini G, «Atlas & dictionnaires : 1.001 mots et abréviations de l'environnement et du développement durable», Lyon : Éd. RECYCONSULT, 2003.
- [2] Ben Mensour H, Boughzala O, Dridi D, Barillier D, Chekir 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, 2018.
- [3] Ahmed M.J., Dhedan, S. K. «Equilibrium isotherms and kinetics modeling of methylene blue adsorption on agricultural wastes-based activated carbons, Fluid phase equilibrium», 2012.
- [4] Shirsath, S. R, Patil, A. P, Patil R., Naik J. B, Gogate P. R, Sonawane S. H. «Removal of Brilliant Green from wastewater using conventional and ultrasonically prepared poly(acrylic acid) hydrogel loaded with kaolin clay: A comparative study». Ultrasonics Sonochemistry, 2013.
- [5] 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-1, 2014.

Chapitre I

Généralités sur les déchets et les colorants

I.1 Introduction

Cette première partie du travail propose un aperçu général des déchets et colorants, en abordant l'origine de leur couleur, leur classification, leurs divers domaines d'utilisation ainsi que leur toxicité. Une attention particulière sera portée aux colorants étudiés dans ce travail, à savoir l'indigotine et l'acide violet 43. Une revue bibliographique permettra de présenter leurs propriétés physiques et chimiques, ainsi que leurs principales applications.

I.2 Généralités sur les déchets**I.2.1 Définition d'un « déchet »**

La notion de déchet varie selon les contextes (technique, juridique, environnemental) ainsi que selon l'origine et la nature du matériau concerné. Voici les définitions les plus couramment utilisées :

I.2.1.1 Définitions techniques

Le mot « déchet » dérive du verbe déchoir, indiquant la perte de valeur d'une matière ou d'un objet jusqu'à ce qu'il devienne inutilisable à un moment ou un endroit donné. [1]

Un déchet désigne l'ensemble des résidus issus des activités humaines (domestiques, industrielles, agricoles), généralement sous forme solide ou parfois liquide lorsqu'ils sont stockés dans des contenants étanches. À noter que le terme « effluent » est utilisé pour désigner les eaux usées rejetées dans les réseaux d'égouts ou dans le milieu naturel. [2]

Le déchet est aussi perçue comme un objet ou une matière dont une personne, physique ou morale, veut se débarrasser, car elle ne lui est plus utile ou devient encombrante.

En résumé, est considéré comme déchet tout résidu provenant d'un processus de fabrication, d'utilisation ou de transformation, abandonné ou destiné à l'être. [3]

I.2.1.2 Définitions juridiques

Afin de garantir une gestion cohérente et réglementée des déchets, il est essentiel de s'appuyer sur des définitions juridiques claires. Celles-ci varient légèrement selon les législations, tout en partageant des principes communs. Le présent paragraphe présente les définitions légales du déchet au niveau européen, en France et en Algérie.

➤ Au niveau européen

Selon la directive européenne 2006/12, un déchet est défini comme toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait, à l'intention de se défaire ou est obligé de se défaire. Une liste des déchets a été établie (décision 2000/532/CE) pour mieux encadrer leur gestion et assurer un suivi plus rigoureux.

➤ En France

La loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 a défini le déchet comme tout bien meuble, substance

ou objet dont le détenteur souhaite se défaire. Elle distingue plusieurs types de déchets : ménagers, ultimes et radioactifs. Cette définition a été réactualisée dans le Code de l'environnement (article L.541-1), qui considère les déchets comme tout résidu issu d'un processus, abandonné ou destiné à l'être.

➤ **En Algérie**

La loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 définit un déchet comme tout résidu issu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, qu'il s'agisse de substances, matériaux, produits ou objets, que le détenteur abandonne, projette d'abandonner ou est obligé d'éliminer.[4]

I.2.2 Les différentes classes de déchets

La classification des déchets reste une tâche complexe, car aucune méthode n'est totalement satisfaisante. En effet, des recoupements peuvent exister entre les différentes catégories, rendant leur distinction parfois difficile. [5] Les déchets, souvent hétérogènes, varient considérablement selon les lieux et les saisons. Par exemple, les déchets ménagers diffèrent selon qu'ils proviennent d'un milieu urbain ou rural, ou qu'ils soient produits en été ou en hiver. Plusieurs types de classifications ont été proposés, dont une approche basée sur le lieu de production (municipal, industriel, agricole). Cependant, cette classification présente des limites en raison des nombreux chevauchements entre les différentes sources. [6]

I.2.2.1 Classification selon l'origine

La classification des déchets selon leur origine permet d'adapter les méthodes de gestion et de traitement en fonction de leur nature spécifique. Elle distingue principalement les déchets issus des activités industrielles et ceux produits en milieu urbain, chacun présentant des caractéristiques, des risques et des enjeux environnementaux différents.

I.2.2.1.1 Déchets industriels

Au-delà des résidus assimilables aux déchets ménagers, cette catégorie comprend :

- ✓ **Déchets inertes** : Proviennent des chantiers de construction, de la transformation de l'énergie, de la métallurgie, etc. (ex. : gravats, cendres, scories, mâchefers).
- ✓ **Déchets des industries agricoles et agroalimentaires** : Englobent tous les résidus issus des activités agricoles et animales (ex : sécrétions, carcasses, déchets d'abattoirs). Leur volume et composition dépendent du type de culture et des pratiques agricoles.
- ✓ **Déchets potentiellement toxiques** : Générés par des activités artisanales ou industrielles comme la galvanoplastie, le chromage ou la fabrication de miroirs.

- ✓ **Déchets radioactifs** : Leur gestion (transport et élimination) représente un défi particulier, nécessitant une responsabilité directe des industries concernées, avec un éventuel soutien étatique. [7]

I.2.2.1.2 Déchets urbains

Initialement désignés sous le terme « ordures ménagères », ces déchets proviennent des foyers et étaient définis par des limites de volume et de quantité. L'évolution du mode de vie et la diversité des produits consommés ont conduit à une définition plus large : celle de déchets urbains. [8]

I.2.2.2 Classification selon la nature

Les déchets peuvent être classés en trois grandes catégories selon leur état physique :

- Déchets solides.
- Déchets liquides.
- Déchets gazeux. [9]

I.2.2.3 Classification selon le mode de traitement et d'élimination

Les professionnels et les chercheurs regroupent les déchets solides en quatre catégories :

- ✓ **Déchets inertes** : Déchets minéraux issus d'activités comme l'extraction minière ou les travaux de démolition. Ils sont chimiquement stables et peu réactifs (ex. : terre, sable, gravats).
- ✓ **Déchets banals** : Comprennent les déchets non dangereux issus d'activités diverses (papier, plastique, carton, bois...).
- ✓ **Déchets spéciaux** : Contiennent des substances polluantes, généralement issus de procédés industriels (ex. : boues de peinture, cendres, déchets de laboratoire). Certains déchets sont considérés comme spéciaux en raison de leur volume élevé sur un même site.
- ✓ **Déchets dangereux** : Plus toxiques que les déchets spéciaux ordinaires, ils incluent des substances hautement nocives (ex. : poussières d'aciérie, rejets contenant du chrome ou du cyanure, PCB, CFC, mercure...). [10]

I.2.2.4 Classification selon les effets sur l'environnement

Les déchets peuvent également être classés en fonction de leurs effets potentiels sur l'environnement. Cette approche permet de mieux évaluer les risques associés à chaque type de déchet, qu'il s'agisse de leur dangerosité, de leur impact sur les écosystèmes ou de leur durée de dégradation. Trois grandes catégories se distinguent :

- **Déchets inertes** : Incluent des objets volumineux ou encombrants comme les carcasses de véhicules, machines ou appareils usagés.

- **Déchets fermentescibles** : Matières organiques animales ou végétales susceptibles de se décomposer (ex. : restes alimentaires, végétaux).
- **Déchets toxiques** : Substances chimiques ou radioactives dangereuses, parfois jetées sans précaution par des particuliers (ex. : médicaments, piles, seringues, déchets électroniques...). [11,12]

I.2.2.5 Classification juridique (selon la loi algérienne)

Selon la loi algérienne n° 01-19 du 12 décembre 2001 (JORA), la classification des déchets solides est définie comme suit :

- ✚ **Déchets spéciaux** : Déchets issus d'activités industrielles, agricoles ou médicales qui, en raison de leur composition, nécessitent un traitement spécifique.
- ✚ **Déchets spéciaux dangereux** : Catégorie plus risquée des déchets spéciaux, contenant des matières nuisibles à la santé publique ou à l'environnement.
- ✚ **Déchets ménagers et assimilés** : Regroupent les déchets produits par les ménages et ceux issus d'activités diverses (artisanat, commerce, industrie...) qui peuvent être gérés comme les déchets domestiques.
- ✚ **Déchets inertes** : Déchets provenant de la construction, des carrières ou des mines, stables chimiquement, et non contaminés par des substances dangereuses. [13]

I.2.3 Impact des déchets

Les déchets, qu'ils soient ménagers, industriels ou électroniques, ont des impacts multiples et profonds sur l'environnement, la santé humaine et les écosystèmes. Voici un aperçu des principaux effets :

❖ Impact sur l'environnement

La pollution générée par les déchets ménagers peut avoir un effet considérable sur l'environnement (Figure I.1), car ils contiennent des plastiques, des métaux, des acides, des huiles et des gaz à effet de serre provenant de diverses sources, sous différentes formes. [14]

Ces déchets peuvent être solides, liquides ou gazeux, entraînant une pollution environnementale et contribuant au réchauffement climatique, ce qui modifie le climat et les écosystèmes de la Terre. [15] Les déchets exercent ainsi un impact environnemental majeur, qui se traduit par la pollution de l'air, de l'eau et de sol. [16]



Figure I.1:L'impact des déchets sur l'environnement [17]

❖ Impact sur la santé humaine

Les cancers représentent sans doute l'un des enjeux majeurs de santé publique liés à l'environnement. Cependant, d'autres groupes de pathologies sont également fortement influencés par des facteurs environnementaux. C'est notamment le cas des maladies respiratoires — l'asthme présenté dans la Figure (I.2), par exemple, a vu sa prévalence doubler chez les moins de 18 ans au cours des dix dernières années. Le système immunitaire est aussi concerné, avec une progression inquiétante des maladies neurodégénératives telles que la maladie d'Alzheimer ou de Parkinson. Par ailleurs, des troubles touchant le système endocrinien, la reproduction, ainsi que la santé infantile sont également en lien avec l'environnement. Les enfants, en particulier, sont plus vulnérables à ces risques en raison de leur physiologie spécifique et de leur mode de vie. [18]



Figure I.2:L'impact des déchets sur la santé. [19]

I.3 Généralités sur les colorants

I.3.1 Introduction

Un des problèmes environnementaux les plus préoccupants aujourd'hui est l'accumulation croissante de substances récalcitrantes, difficiles à biodégrader, dans les milieux aquatiques. Cette situation est d'autant plus critique que les systèmes actuels de traitement des eaux sont souvent absents ou insuffisants pour réduire efficacement la concentration de ces composés

toxiques, qui présentent des risques chimiques à long terme. Parmi ces substances dangereuses, les colorants figurent parmi les plus préoccupants. [20]

I.3.2 Définition d'un colorant

Un colorant est une substance chimique colorée capable de transférer sa couleur à d'autres matériaux. Il s'agit généralement d'un composé organique insaturé et aromatique. Les premières matières colorantes provenaient de sources végétales (comme la garance, l'indigo, ou la gaude) ou animales (comme le carmin extrait de la cochenille). Aujourd'hui, presque toutes les matières colorantes sont synthétiques et dérivent des hydrocarbures présents dans le goudron de houille. [21]

I.3.2 Types des colorants

Il existe deux grandes classes des colorants, en l'occurrence les colorants naturels et les colorants synthétiques.

I.3.2.1 Les colorants naturels

La majorité des colorants naturels proviennent du règne végétal, étant extraits de plantes, d'arbres ou de lichens. Certains sont également issus du règne animal, notamment d'insectes comme le kermès et la cochenille, ou encore de mollusques tels que ceux produisant la pourpre. D'autres peuvent également être obtenus à partir de micro-organismes.

- Le bleu, par exemple, est extrait de l'indigo, une plante appartenant à la famille des légumineuses.
- Le rouge provient de la racine de garance.
- Le jaune est obtenu à partir du safran. [22]

I.3.2.1.1 Les colorants d'origine minérale

Les oxydes métalliques sont les premiers colorants utilisés dans l'histoire. [23] En effet, en raison de leur facilité de préparation, les colorants d'origine minérale ont été employés très tôt dans divers domaines. Par exemple, les Chinois utilisaient le cinabre (sulfure de mercure) pour produire du rouge vermillon. Au XVI^e siècle, en Europe centrale, la smaltite (arséniure de cobalt) était utilisée pour teindre le verre en bleu. [24]

I.3.2.1.2 Les colorants d'origine organique

Les colorants d'origine végétale ou animale sont principalement utilisés pour la fabrication de peintures, de laques et, surtout, de teintures.

-Les colorants d'origine végétale

Jusqu'à la fin du XIX^e siècle, la teinture des tissus était réalisée à l'aide de colorants d'origine végétale. Par exemple, les Égyptiens utilisaient depuis des millénaires l'indigo (extrait des feuilles de la plante indigotière) pour teindre la laine et la soie. Les racines de garance étaient

utilisées pour extraire l'alizarine et la purpurine, permettant de teindre la laine et le coton en rouge vif, bordeaux et violet, notamment sur des mordants métalliques. La gaude était également employée pour obtenir des teintures jaunes. [12]

-Les colorants d'origine animale

Parmi les colorants naturels, ceux d'origine animale occupent une place importante dans l'histoire de la teinture. La pourpre de Tyr, célèbre pour sa teinte profonde et majestueuse, était extraite d'un mollusque méditerranéen, le murex, et servait à teindre les vêtements des élites du monde antique, notamment en Orient et à Rome. Un autre colorant précieux est issu de la cochenille du Mexique, un insecte qui fournit un rouge éclatant utilisé autrefois pour la laine et la soie. Aujourd'hui, ce pigment naturel est encore exploité, notamment dans les secteurs alimentaire et cosmétique, où il est désigné sous le code E120. Le kermès, appelé aussi cochenille des teinturiers, est un autre insecte dont on tirait un rouge écarlate pour la teinture des tissus, notamment durant l'Antiquité et le Moyen Âge. Ces colorants, prisés pour leur intensité et leur durabilité, témoignent du savoir-faire ancien en matière de coloration textile. [25]

I.3.2.2 Les colorants synthétiques

Les colorants synthétiques sont fabriqués à partir de matières premières telles que le benzène, obtenu par distillation de la houille. C'est pourquoi ces colorants sont souvent appelés colorants de goudron de houille. À partir de ces matières premières, des intermédiaires sont produits par une série de procédés chimiques, consistant généralement à remplacer un ou plusieurs atomes d'hydrogène du produit de départ par des éléments ou des radicaux spécifiques.

Les colorants synthétiques ont progressivement remplacé les colorants naturels. Les recherches menées depuis le XIXe siècle ont conduit à la création de nombreuses familles de colorants, souvent des imitations de colorants naturels. Jusqu'en 1850, les colorants alimentaires étaient issus :

- Des végétaux comestibles (carotte [orange], betterave [rouge], peau de raisin noir [noir], etc.).
- D'extraits d'origine animale ou végétale non habituellement consommés (acide carmin que [rouge] provenant d'insectes, stigmate de crocus [safran], etc.).
- De la transformation de substances naturelles (caramel [marron]).

Bien que les colorants naturels soient encore utilisés de nos jours, ils ont été largement remplacés par les colorants synthétiques. [26]

I.4. Classification chimique des colorants

La classification des colorants en fonction de leur structure chimique repose sur la nature du groupe chromophore présent dans la molécule. [27]

I.4.1 Les colorants azoïques

Les colorants azoïques donner par la figure(I.3) se distinguent par la présence, dans leur structure moléculaire, d'un groupement azoïque (-N=N-) reliant deux noyaux benzéniques. Ce type de colorant est aujourd'hui le plus largement utilisé à l'échelle mondiale, représentant plus de 50% de la production globale de substances colorantes. [28]

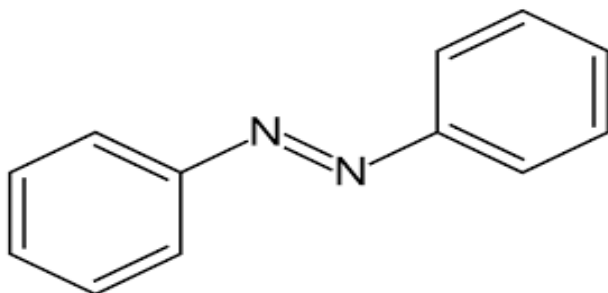


Figure I.3: Structure du colorant azoïque. [29]

I.4.2 Les colorants triphénylméthanés

Les colorants triphénylméthanés (Figure I.4) sont dérivés du triphénylméthane, un hydrocarbure composé de trois cycles phényle liés à un atome de carbone central. Cette structure de base se retrouve dans de nombreux composés organiques colorés. Les colorants triphénylméthanés et leurs dérivés hétérocycliques forment la plus ancienne classe de colorants synthétiques. Bien que leur importance soit aujourd'hui inférieure à celle des colorants azoïques et anthraquinoniques, ils conservent une certaine valeur commerciale en raison de leur capacité à couvrir toute la gamme des nuances de couleurs. Ces colorants sont largement utilisés dans l'industrie papetière et textile pour teindre des fibres telles que le nylon, la laine, la soie et le coton. Leur utilisation dépasse le cadre industriel, puisqu'ils sont également employés dans le domaine médical comme marqueurs biologiques et comme agents antifongiques pour les poissons et la volaille. [30]

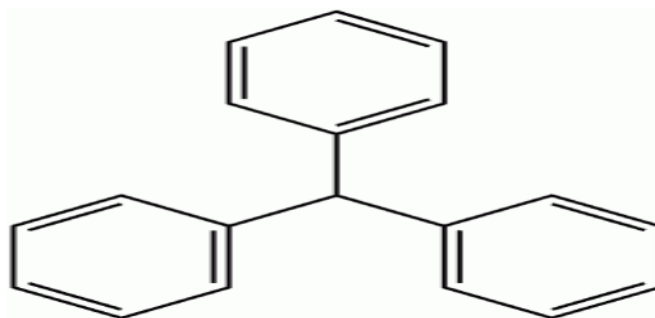


Figure I.4: Structure du colorant triphénylméthane. [31]

I.4.3 Colorants anthraquinoniques

Ces colorants occupent une place importante juste après les colorants azoïques. Ils dérivent principalement de l'anthracène, et leur structure générale repose sur un noyau quinonique, qui constitue le chromophore. Ce noyau peut être substitué par divers groupes fonctionnels, tels que des groupes hydroxyles ou amines, ce qui influence leurs propriétés colorantes. La figure (I.5) illustre la structure typique des colorants anthraquinoniques. [32]

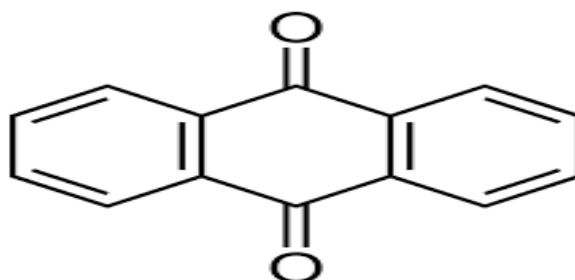


Figure I.5: Structure du Colorants anthraquinoniques. [33]

I.4.4 Les colorants indigoïdes

Les colorants indigoïdes donné dans la figure (I.6) tirent leur nom de l'indigo dont ils sont issus. Les variantes sélénée, soufrée et oxygénée de ce bleu indigo génèrent des effets hypochromes, produisant des teintes allant de l'orange au turquoise. Ces colorants indigoïdes sont utilisés dans l'industrie textile, comme additifs dans les produits pharmaceutiques, la confiserie, ainsi que dans les diagnostics médicaux. [34,35]

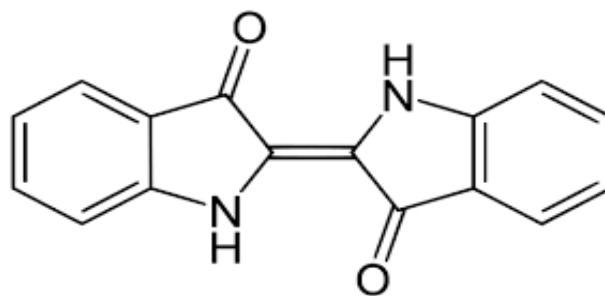


Figure I.6: Structure du colorant indigoïde. [36]

I.4.5 Les colorants xanthènes

Les colorants xanthines présentés par la figure (I.7) sont des composés dérivés de la fluorescéine halogénée et possèdent une fluorescence intense. Leur capacité à servir de marqueurs lors d'accidents maritimes ou de traceurs pour les écoulements dans les rivières souterraines est bien reconnue. De plus, ils sont utilisés comme colorants dans divers secteurs, tels que l'alimentaire, la cosmétique, le textile et l'impression. [37,38]

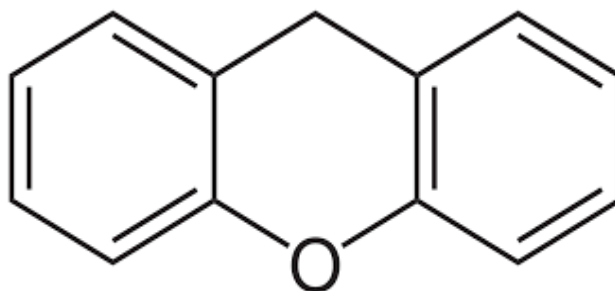


Figure I.7: Structure du colorant xanthène. [39]

I.4.6 Les colorants phtalocyanines

Les colorants phtalocyanines (Figure I.8) possèdent une structure complexe centrée autour de l'atome de cuivre. Ces colorants sont obtenus par réaction du dicyanobenzène avec un halogénure métallique (Cu, Ni, Co, Pt, etc.). [40]

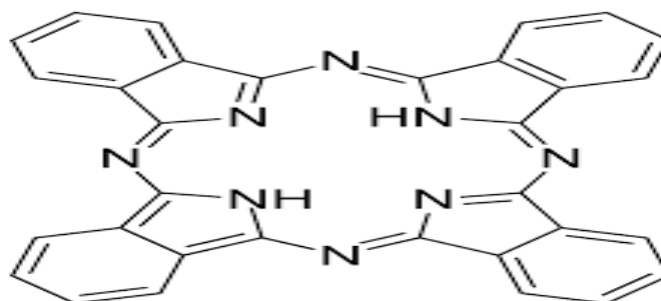


Figure I.8: Structure du colorant Phtalocyanine. [41]

I.4.7 Les colorants nitrés et nitrosés

Les colorants nitrés et nitrosés (Figure I.9) constituent une classe restreinte et relativement ancienne de colorants. Ils sont encore utilisés aujourd'hui en raison de leur coût très bas, attribuable à la simplicité de leur structure moléculaire, qui se caractérise par la présence d'un groupe nitro (-NO₂) en position ortho par rapport à un groupement électro-donneur (comme un hydroxyle ou des groupes aminés). [42]

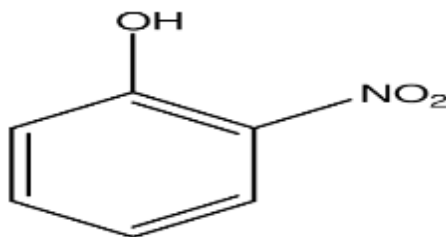


Figure I.9: Structure du colorant nitré et nitrosé. [43]

I.5 Classification tinctoriale

Si la classification chimique des colorants présente un intérêt majeur pour les fabricants de matières colorantes, les teinturiers, quant à eux, privilégient une classification fondée sur les domaines d'application. Cette approche leur fournit des informations essentielles sur la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité avec les différentes fibres, ainsi que sur le mode de fixation. Ce dernier varie en fonction du type d'interaction entre le colorant et le substrat, qu'il s'agisse de liaisons ioniques, de liaisons hydrogène, de forces de Van der Waals ou de liaisons covalentes. Les catégories tinctoriales sont ainsi différenciées principalement en fonction des auxochromes, ces groupes fonctionnels jouant un rôle clé dans l'interaction entre le colorant et la fibre. [44]

I.5.1 Les colorants acides ou anioniques

Ces colorants sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupes sulfonates ou carboxylates. Ils sont appelés ainsi car ils permettent de teindre des fibres animales (la laine et la soie) ainsi que certaines fibres acryliques modifiées (nylon, polyamide) dans un bain légèrement acide. L'affinité entre le colorant et la fibre résulte de liaisons ioniques entre le groupe sulfonique du colorant et les groupements amino des fibres textiles présenté dans la figure suivante : [45]

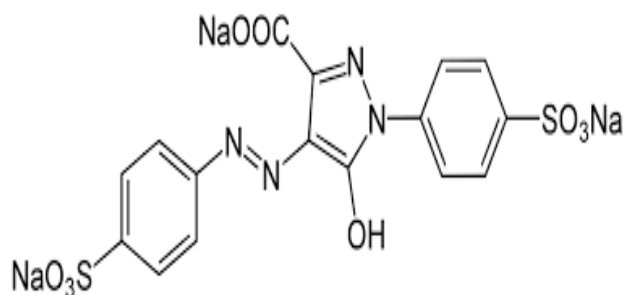


Figure I.10: Structure du colorant acide ou anionique. [46]

I.5.2 Les colorants basiques ou cationiques

Les colorants cationiques donner dans la figure (I.11), également appelés colorants basiques, se distinguent par une forte adhésion des couleurs. Cependant, ils sont sensibles à la lumière et ne conviennent donc pas pour teindre les fibres naturelles. En revanche, ces colorants permettent d'obtenir des teintures très durables sur les fibres synthétiques, comme les fibres acryliques. [47]

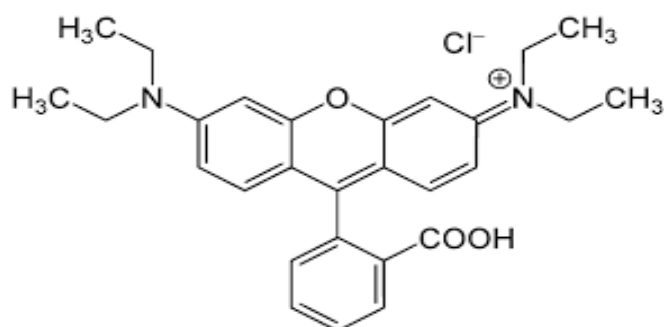


Figure I.11: Structure du colorant basique. [48]

I.5.3 Les colorants développés ou azoïques insolubles

Les colorants azoïques insolubles sont obtenus par des réactions successives de diazotation et de copulation. Ils sont principalement utilisés en teinturerie pour colorer les fibres cellulosiques, comme le coton. Ces colorants se distinguent par les teintures vives qu'ils produisent. Un exemple typique d'un colorant azoïque est présenté dans la figure(I.7). [49]

I.5.4 Les colorants de cuve

Les colorants de cuve sont des colorants insolubles dans l'eau, qui sont appliqués sur les fibres après avoir été transformés par réduction alcaline en dérivés leuco (solubles dans l'eau). La teinture se termine par réoxydation du colorant, le ramenant à sa forme insoluble initiale. Ces colorants sont reconnus pour leur excellente résistance aux agents de dégradation (comme le lavage et les rayons solaires) et sont largement utilisés pour teindre des fibres comme le coton, le lin, la rayonne et d'autres fibres cellulosiques, à l'exemple de l'indigo pour la teinture du jean

ou denim. Ils appartiennent à des classes chimiques telles que les anthraquinones, les colorants au soufre, les phtalocyanines et les indigoïdes. [50]

I.5.5 Les colorants réactifs

Les colorants réactifs possèdent des groupes chromophores provenant principalement des familles azoïques, anthraquinoniques et phtalocyanines. Leur nom découle de la présence d'un groupe chimique réactif, tel que le triazine ou le vinylsulfone, qui permet la formation d'une liaison covalente solide avec les fibres. Solubles dans l'eau, ces colorants sont utilisés principalement pour la teinture du coton, et parfois pour celle de la laine et des polyamides. [51]

I.5.6 Les colorants directs

Les colorants directs possèdent des charges positives ou négatives qui sont électrostatiquement attirées par les charges des fibres. Ils se caractérisent par leur forte affinité pour les fibres cellulosiques, sans nécessiter l'utilisation de mordants, en raison de la structure plane de leurs molécules. [52]

I.5.7 Les colorants à mordants

Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel qui réagit intensément avec des sels d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer, formant ainsi divers complexes colorés avec le textile. [39]

I.5.8 Les colorants dispersés

Les colorants dispersés ont une faible solubilité dans l'eau et sont utilisés sous forme de fine poudre dispersée dans le bain de teinture. Lors d'une teinture à haute température, ils peuvent pénétrer dans les fibres synthétiques et y adhérer. [53]

I.6 Utilisations des colorants

L'industrie des colorants représente un marché économique important, car de nombreux produits industriels peuvent être teints [54], notamment :

- Les pigments (industrie des matières plastiques).
- Les encres et le papier (imprimerie).
- Les colorants alimentaires (industrie agroalimentaire).
- Les pigments pour peintures, matériaux de construction et céramique (industrie du bâtiment).
- Les colorants capillaires (industrie des cosmétiques).
- Les colorants et conservateurs (industrie pharmaceutique).
- Les carburants et huiles (industrie automobile, etc.).

- Les colorants textiles pour les vêtements, la décoration, le bâtiment, le transport, ainsi que les colorants textiles à usage médical, etc.

I.7 La toxicité des colorants

La toxicité des colorants découle principalement de l'ignorance concernant leurs structures chimiques, qui varient d'un type à l'autre, ainsi que des méthodes d'utilisation lors de leur application. De nombreuses études ont révélé les effets toxiques et potentiellement cancérogènes des colorants azoïques, ce qui implique que les eaux usées contenant ces colorants doivent être traitées avant d'être rejetées dans l'environnement naturel. [55]

I.8 Généralité sur les colorants utilisés dans notre étude

Dans cette partie nous présenterons plus particulièrement une revue bibliographique consacrée aux colorants utilisés dans cette étude, à savoir Indigotine, ou carmin d'indigo (SIN 132) et l'acide Violet 43, en mettant en évidence leurs propriétés physiques et chimiques ainsi que leurs principales applications.

I.8.1 Indigotine, ou carmin d'indigo (SIN 132)

I.8.1.1 Définition et structure

L'indigotine, également appelée carmin d'indigo (E132) (Figure I.12), est un colorant bleu anionique hydrosoluble dérivé du pyrrole. Elle est utilisée en médecine pour teinter les fils de nylon chirurgicaux et peut aussi servir à détecter la présence d'agents oxydants tels que les chlorates et les nitrates dans le lait. [56] Les propriétés physico-chimiques de ce colorant est données par le tableau (I.1).

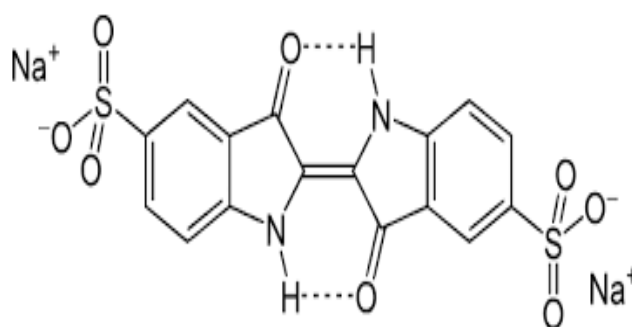


Figure I.12: Structure chimique d'indigotine SIN 132. [57]

Tableau I.1 : Propriétés physico- chimique d'indigotine. [58]

Formule brute	C ₁₆ H ₈ N ₂ Na ₂ O ₈ S ₂ Na ₂
Synonyme	Bleu acide 74//E132//Indigotine
Masse moléculaire (g/mol)	466,36 g/mol
État physique	Poudre ou granulés
Couleur	Bleu foncé

Solubilité dans l'eau (g/L à 25 °C)	Faiblement soluble dans l'eau
Odeur	Inodore
Point de fusion (°C)	Décomposition sans fusion claire
Pka	Non spécifiquement déterminé (composé stable)
pH	~6 – 8
Inflammabilité et explosibilité	Non inflammable Faible dans des conditions industrielles contrôlées

I.8.1.2 Utilisation du colorant Indigotine, ou carmin d'indigo (SIN 132)

L'indigotine, est un colorant synthétique bleu largement utilisé dans divers domaines en raison de ses propriétés tinctoriales, bien qu'il soit particulièrement sensible à l'oxydation. En médecine, ce colorant est employé pour la détection d'agents oxydants tels que les chlorates et les nitrates dans des matrices comme le lait. Il est également utilisé pour colorer les fils de nylon destinés à la chirurgie, facilitant leur repérage. Dans l'industrie alimentaire, l'indigotine est autorisée en tant qu'additif sous le code E132 aux États-Unis et dans l'Union européenne. Elle sert à colorer une grande variété de produits tels que les confiseries, les produits de boulangerie ou encore les aliments pour animaux. En endoscopie, et plus particulièrement dans la chromo endoscopie, elle permet d'améliorer la visualisation des muqueuses gastro-intestinales, contribuant ainsi à la détection précoce de lésions et à la différenciation entre tissus bénins et malins, notamment dans des cas comme l'œsophage de Barrett ou les adénomes gastriques. D'autres usages incluent la coloration des capsules pharmaceutiques, des sutures chirurgicales et des tissus en laboratoire à des fins histologiques. [59,60]

I.8.1.3 Toxicité du colorant Indigotine, ou carmin d'indigo (SIN 132)

L'indigotine, ou carmin d'indigo (E132), est un colorant synthétique largement utilisé dans l'industrie alimentaire et pharmaceutique pour donner une couleur bleu aux produits. Malgré son usage courant, ce colorant peut présenter certains risques pour la santé, notamment en cas d'exposition prolongée. Des effets de toxicité aiguë ou chronique, ainsi que des réactions allergiques ont été rapportés chez certains individus. Son emploi est donc encadré par des réglementations afin de limiter les risques liés à son utilisation. [61]

I.8.2 L'Acide Violet 43

L'Acide Violet 43 est un colorant de type anthraquinonique utilisé dans les formulations cosmétiques, notamment les teintures capillaires, les colorants et les produits de rinçage. [62]

I.8.2.1 Définition et structure

Acide Violet 43 est un colorant synthétique de la famille des anthraquinones, commercialisé sous le nom de Jarocol 43. Il se présente sous forme de poudre cristalline violet foncé, avec des reflets bleutés à la lumière du jour et tirant légèrement vers le rouge sous lumière artificielle. Sur le plan chimique [63], il est désigné par le nom :

Acide benzène-sulfonique, 2-[(9,10-dihydro-4-hydroxy-9,10-dioxo-1-anthracényle) amino]-5-méthyl-, sel mono sodique. La structure de ce colorant est donnée par la figure (I.13), et le tableau (I.2) nous donne les propriétés physico-chimiques de ce colorant.

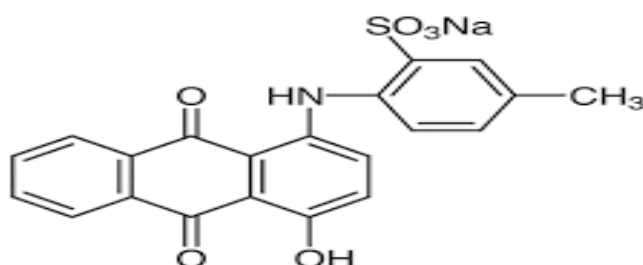


Figure I.13: Structure chimique d'acide Violet 43. [64]

Tableau I.2: Propriétés physico- chimique d'acide Violet 43. [65]

Formule brute	C ₂₁ H ₁₄ NNaO ₆ S.
Synonyme	Jarocol Violet 43 11362 Violet
Masse moléculaire (g/mol)	431.4
État physique	Poudre cristalline
Couleur	Violet foncé
Solubilité dans l'eau (g/L à 22 °C)	Légèrement supérieure à 1 g/ml
Odeur	Inodore
Point de fusion (°C)	Non spécifié
Pka	1,15 et 1,8
pH	En général légèrement acide à neutre (souvent entre 5 et 7, selon la qualité et le solvant)

Inflammabilité et explosibilité	Non inflammable Non explosive, mais risque possible en cas de poussière fine
--	---

I.8.2.2 Utilisation d'acide violet 43

Ce colorant est principalement utilisé dans les formulations cosmétiques, notamment dans les teintures capillaires, les colorations et les rinçages colorants. Il est autorisé dans les produits cosmétiques, à l'exception de ceux destinés à un contact avec les muqueuses, en raison de son potentiel nocif dans ces conditions. [66]

I.8.2.3 Toxicités du colorant acide violet 43

Le colorant acide violet 43 est un colorant synthétique utilisé principalement dans les produits cosmétiques, notamment les shampoings, les colorations capillaires et certains produits d'hygiène. Bien qu'il soit largement utilisé pour ses propriétés colorantes, il présente divers risques potentiels pour la santé humaine. En effet, plusieurs études et évaluations toxicologiques ont mis en évidence une série de toxicités associées à ce composé, allant de la :

- Toxicité aiguë : par voie orale, par voie cutanée, par inhalation (poussières/brouillard).
- Corrosion / Irritation cutanée.
- Lésions oculaires graves / Irritation oculaire sévère.
- Sensibilisation respiratoire ou cutanée.
- Mutagénicité sur cellules germinales.
- Cancérogénicité.
- Toxicité pour la reproduction.
- Toxicité spécifique pour certains organes cibles – exposition unique.
- Toxicité spécifique pour certains organes cibles – exposition répétée.
- Danger en cas d'aspiration. [66]

Référence bibliographie

- [1] PICHAT. P, «La gestion des déchets, Évreux», Dominos Flammarion, 1995.
- [2] KOLLER. E, «Traitement Des Pollutions Industrielles (Eau, Air, Déchets, Sols, Boues)».Dunod, 2004.
- [3] DAMIEN. A, «Guide du traitement des déchets». Edition Dunod. 2009.
- [4] NABDALLAH Abdelkader Yacine M. HAMMAOUI Ahmed Walid, «Gestion des déchets solide et identification des créneaux de valorisation au niveau de la commune de TIARET», mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun–Tiaret, 2019.
- [5] ZAAFOUR M, «Impact des décharges sauvages sur les Zones Humides de la région d'ETAREF», mémoire de Magistère , Université Badji-Mokhtar Annaba, 2012.
- [6] BALET J, « Gestion des déchets », Dunod, Paris, 2005.
- [7] SabriHamzaoui, «Gestion et impact des déchets solide urbains sur l'environnement», mémoire de Magister, EL TARF COMMUNE, 2011.
- [8] BOUGLOUF M, «Contribution à la gestion et la valorisation des déchets solides et ménagers à Skikda (Nord-est algérien)», Mémoire de Magistère en Sciences de la mer, Université 20 Août 1955- Skikda, 2014.
- [9] YESSAD N et OUASSEL A, «Contribution à l'étude des déchets ménagers de la ville de Bejaia par cartographie numérique», mémoire de Master, Université Bejaia, 2017.
- [10] SABRI H, «Gestion et impact des déchets solides urbains sur l'environnement, ELTAREF commune», mémoire de Magister, Université badji Mokhtar Annaba, 2011.
- [11] DAMIEN. A, «Guide du traitement des déchets»,4ème édition, Dunod, Paris, 2006.
- [12] LOUDJANI F, «Guide des techniciens communaux pour la gestion des déchets ménagère et assimilés», ministère de l'aménagement du territoire de l'environnement et du tourisme, Algérie MATET ,2008.
- [13] MESSAI F, «Urbanisations et gestion des déchets solides urbains Cas de la ville d'Oum El Bouaghi», mémoire de Magister en urbanisme, 2014.
- [14] OMS, «Organisation Mondial de la Santé principes fondamentaux de la gestion des déchets de soins médicaux. Dans : plan national de gestion des déchets de soins médicaux, Manuel guide, Organisation Mondial de la santé et programme des Nations Unies pour l'environnement/SCB», 2004.
- [15] Abdelsadok N, «Etude d'accompagnement pour la gestion des déchets médicaux au Maroc Capitalisation de l'expérience française», Mémoire de Mastère, 2010.
- [16] Adoum M N, «Gestion des déchets solides hospitaliers et analyse des risques sanitaires au CHUP-CDG de Ouagadougou», mémoire de Master, Maroc, 2009.

- [17] <https://institut-superieur-environnement.com/blog/impact-du-plastique-sur-lenvironnement-un-fleau-planetaire/>.
- [18] Christian N., Alain R., «Déchets et pollution», Paris, 2004.
- [19] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Sant%C3%A9-environnement>.
- [20] BARAKA N, «L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO₂ supporte», Thèse doctorat, faculté sciences, Algérie, 2008.
- [21] A. Abdessemed, «Etude de l'élimination de l'éthyle violet par adsorption sur la kaolinite et le charbon actif et par des méthodes photochimiques en milieu aqueux», mémoire de Magister, université Mentouri, Constantine, 2009.
- [22] Khaoula Sehalia & Fatma Talbi, «Etude d'adsorption du Rouge Congo en phase aqueuse sur les feuilles de palmier», Mémoire de master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2019.
- [23] H.Li, L.Yang, R.Tang, «Organic dyes incorporating N-Functionalized, J.Dyes and pigments», 1989.
- [24] I.Roels, F.Petillion, «La couleur expliquée aux artistes», Editeur Eyrolles, 1^{ème} Edition 2012.
- E. Guivarch, «Application à la minéralisation des colorants synthétiques», Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 2004.
- [25] E. Guivarch, «Application à la minéralisation des colorants synthétiques», Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 2004.
- [26] Mr Lamri Naidja, «Elimination du colorant orange en solution aqueuse, par voie photochimique et par adsorption», Magister En Chimie, Université Mentouri De Constantine, 2010.
- [27] Nour Bouanimba, « Etude comparative de la dégradation photochimique et photocatalytique de quatre colorants : Impact De La Structure Chimique et corrélation entre l'adsorption et l'activité photo catalytique de TiO₂ », Thèse De Doctorat, Université Constantine, 2014.
- [28] https://fr.wikipedia.org/wiki/Colorant_azo%C3%afque.
- [29] Khelloul Nawel, «Dégradation d'un mélange de colorants par plasma glidarc, étude de l'influence de différentes substances», Mémoire De Master, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2012.
- [30] https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Triarylmethane_dyes.png.

- [31] Nour Bouanimba, «Etude comparative de la dégradation photochimique et photocatalytique de quatre colorants : impact de la structure chimique et corrélation entre l'adsorption et l'activité photocatalytique de TiO_2 », Thèse De Doctorat, Université - Constantine, 2014.
- [32] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Anthraquinone>
- [33] U. Pagga, D. Brown, «The degradation of dyestuffs: Part II Behaviour of Dyestuffs in Aerobic Biodegradation Tests», Chemosphere, 1986.
- [34] Guivarch E, «Traitement Des Polluants Organiques En Milieux Aqueux Par Le Procédé Electrochimique d'oxydation Avancée. Application à la minéralisation des colorants synthétiques», thèse de doctorat de l'université de marne- la vallée, 2004.
- [35] https://fr.wikipedia.org/wiki/Indigo_%28teinture%29.
- [36] Bauer Jacques P and Kalt A, «Journal of Photochemistry and Photobiology. A: Chemistry», 2001.
- [37] Stolte M ET Vieth M, «Removal of Indigo Carmine from Aqueous Solution by Using Activated Carbon. Acta Endosc, XXI», 2001.
- [38] <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-experimentale/synthese-organique/les-additifs-alimentaires-ou-comment-rendre-nos>.
- [39] Ahtabi Oum Chikh Nadia, « Extraction Des Colorants d'un Aliment Et Leurs Caractérisation, Mémoire De Licence », Université Dr Moulay Tahar De Saida ,2014.
- [40] https://fr.wikipedia.org/wiki/Phtalocyanine_de_cuivre.
- [41] Winnacker Et Kucheler, 1968, Hedayatullah, 1976 ; Belhadj, 2007, Parkt Et Al, 1999, Perrin Et Scharff, 1999.
- [42] https://repository.enp.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/4820/1/BOUNAAS.Meryem_TAJINE.Soumaya.pdf.
- [43] Hedi Ben Mansour, Oualid Boughzala, dorra Dridi, Daniel Barillier, Leila Chekir-Ghedira et Ridha Mosrati, «Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitements, « erudi 20 », Volume 24, N°3, 2011.
- [44] Zineb Alizouaoui Et Wahiba Mahchouche, «Application des co-produits naturels à la dépollution des eaux», Mémoire De Master, Université De m'sila ,2019.
- [45] http://tpecolorants1s1.free.fr/index.php?Title=Structure_chimique_des_colorants.
- [46] Chouikret Lamis Et Laifa Hazard, «Etude de la dégradation du bleu de méthylène et de la production de l'énergie par le procédé galvanofenton», Mémoire De Master, Université Badji Mokhtar- Annaba, 2020.
- [47] <https://www.erudit.org/fr/revues/rseau/2011-v24-n2-rseau5003765/1006107ar/>.

- [48] Walsh G.E., Bahner L. H., and Hounining W. B, «Toxicity of Textile Mill Effluents to Fershwater and Estuarinealgae, Crustaceans and Fishes», 1980.
- [49] Kouassi Yao Jaurès,«Etude cinétique de la photo dégradation du colorant "Red 6" en Solution Aqueuse », Université Jean Lorougnon Guede, 2018.
- [50] Mr LamriNaidja, «Elimination Du Colorant Orange Ii En Solution Aqueuse, Par Voie Photochimique Et Par Adsorption», Magister En Chimie, Université Mentouri De Constantine, 2010.
- [51,52] Zaki Jamal Et N Eghbil Amina, «Méthodes De Traitement Des Eaux Polluée Par Les Colorants», Mémoire De Master, Université Mohamed Boudiaf M'SILA, 2020.
- [53] Salmi Djaafar Et SlimaniKahina, « Application De l'électro-Flottation Electrocoagulation Pour l'élimination d'un Colorant Textile Cas Du Bleu d'indanthrènes», Université A.Mira-Bejaia ,2014.
- [54] H. Zollinger, «Color Chemistry: Syntheses, Properties, and Applications of Organic Dyes and Pigments», New York, N.Y, 1991.
- [55]Amchova, P., Kotolova, H., Ruda-Kucerova, J., Health safety issues of synthetic food colorants, RégulateurToxicologie and Pharmacology,2015.
- [56]https://fr.wikipedia.org/wiki/Carmin_d%27indigo.
- [57]Sordalab,Fiche de données de sécurité:Carmin d'indigo.Version 1 _13/09/2017 ,2017.
- [58]https://www.atamanchemicals.com/e132-indigo-carmine_u27759/?Lang=FR.
- [59]Reynal B., Multon J.L,«Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires», 4 éme édition Lavoisier, TEC et DOC, Paris, 2009.
- [60]<https://www.additifs-alimentaires.net/E132.php>.
- [61] <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/10915818211016375>.
- [62] Easton, J.R. «The dye maker's view, in: Cooper P. (Ends), Color in dye house effluent, The Society of Dyers and Colorists», The Alden Press, Oxford.
- [63]<https://www.tcichemicals.com/IN/en/p/A1402>.
- [64]Chemos, Fiche de données de sécurité : Acid violet 43, Version du GHS 1.0. 1907/2006, 2022.
- [65] Easton, J.R. «The dye maker's view, in: Cooper P. (Eds), Color in dye house effluent, The Society of Dyers and Colorists», The Alden Press, Oxford.
- [66] Chemos, Fiche de données de sécurité: Acid violet 43, Version du GHS 1.0. 1907/2006 ,2022.

Chapitre II

Généralité sur l'adsorption et l'adsorbant

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous détaillerons des renseignements bibliographiques relatifs à l'adsorption des colorants ainsi qu'aux différentes modalités d'adsorption. Nous aborderons également les divers paramètres influençant le processus d'adsorption des polluants, la classification des isothermes d'adsorption. Dans la seconde partie de ce chapitre, nous allons proposer un récapitulatif bibliographique des matériaux employés dans notre recherche, connu sous le nom de pelures de pommes de terre et pelures de patates douces.

II.2 Définition d'adsorption

L'adsorption est un processus physico-chimique qui se manifeste principalement par une variation de concentration à l'interface de deux phases qui ne se mélangent pas. Il ne faut pas confondre ce phénomène de surface avec l'absorption, qui est un phénomène de profondeur. On trouve cinq catégories selon la nature des deux phases concernées : (gaz/liquide), (gaz/solide), (liquide/liquide), (liquide/solide) et (solide/solide). On peut faire la distinction, pour chaque type d'interface, entre le scénario où ces phases sont pures et celui où elles forment des mélanges. Cette étude portera notamment sur les phénomènes d'adsorption liés aux interfaces liquide/solide, c'est-à-dire l'adsorption de liquides, qu'ils soient purs ou en mélange, par les solides généralement considérés comme des phases pures. [1]

II.3 Principe d'adsorption

Le déplacement des molécules s'effectue depuis la phase fluide jusqu'au cœur de l'adsorbant. Ce phénomène se produit à l'intérieur d'un grain adsorbant. Les matériaux adsorbants possèdent une grande surface spécifique, souvent développée à partir de matériaux poreux utilisés dans l'industrie. Lors du processus d'adsorption, une substance chimique, telle qu'un polluant présent dans une solution aqueuse, est capturée par l'adsorbant. [2]

II.4 Application d'adsorption

L'adsorption trouve de nombreuses applications dans divers domaines, notamment :

- L'épuration de l'air contenant des composés organiques volatils.
- L'extraction des métaux lourds des effluents industriels.
- Le raffinage des hydrocarbures et des produits pétroliers.
- Le séchage, la purification et l'élimination des odeurs des gaz.
- La récupération des solvants volatils et de l'alcool lors des procédés de fermentation.
- L'élimination de la coloration des liquides.

- La chromatographie en phase gazeuse, une technique de séparation reposant sur les différences de vitesse d'adsorption des substances sur un matériau adsorbant spécifique. [3]

II.5 Types d'adsorption

L'identification de deux sortes d'adsorption repose sur le type de liaisons établies et la quantité d'énergie libérée lors de la fixation d'une molécule à la surface d'un solide. Adsorption physique et adsorption chimique. [4]

II.5.1 Adsorption physique (physisorption)

Dans le processus d'adsorption physique, l'attraction et la fixation des espèces dissoutes sur un substrat solide sont assurées par de faibles forces intermoléculaires, appelées forces de Van der Waals. Ce phénomène se produit de manière quasi instantanée en raison de la rapidité de l'adsorption. De plus, une diminution de la température favorise ce type d'adsorption, car il se distingue par une réversibilité rapide. [5]

II.5.2 Adsorption chimique (chimisorption)

Contrairement à l'adsorption physique, l'adsorption chimique repose sur la formation de liaisons chimiques, généralement covalentes ou ioniques, comme dans le cas des échanges d'ions entre charges opposées. Ce processus peut être irréversible et entraîner une transformation chimique de l'espèce adsorbée. [5]

Le tableau 1 représente une comparaison entre les deux types d'adsorption qui peuvent intervenir dans les mécanismes d'adsorption.

Tableau II.1 : Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique. [5]

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption Chimique
Types de liaison	Liaison de Van der Waals	Liaison chimique
Température du Processus	Relativement faible comparée à T d'ébullition de l'adsorbât	Plus élevée que la T d'ébullition de l'adsorbât
Individualité des Molécules	L'individualité des molécules est conservée	Destruction de l'individualité des molécules
Désorption	Facile	Difficile

Cinétique	Rapide, indépendante de T	Très lente
Chaleur d'adsorption	Inférieur à 10 kcal/mole	Supérieur à 10 kcal/mole
Énergie mise en jeu	Faible	Élevée
Type de formation	Formation en multicouches	Formation en monocouche

II.6 Le mécanisme d'adsorption

Le processus d'adsorption donné par la figure (II.1), peut être divisé en plusieurs étapes distinctes comme suit :

- ✚ **Diffusion externe** : Cette phase correspond au transfert des molécules de soluté de la phase liquide environnante vers la couche liquide adjacente à la surface de la particule solide, impliquant des mécanismes de diffusion et de convection.
- ✚ **Diffusion interne** : Durant cette étape, le soluté migre à travers le film liquide jusqu'à la surface externe de l'adsorbant.
- ✚ **Diffusion intra particulaire** : Le soluté pénètre à l'intérieur de la particule de l'adsorbant sous l'effet d'un gradient de concentration.
- ✚ **Adsorption dans les micropores** : Enfin, les molécules de soluté sont fixées à l'intérieur des micropores de l'adsorbant. [6]

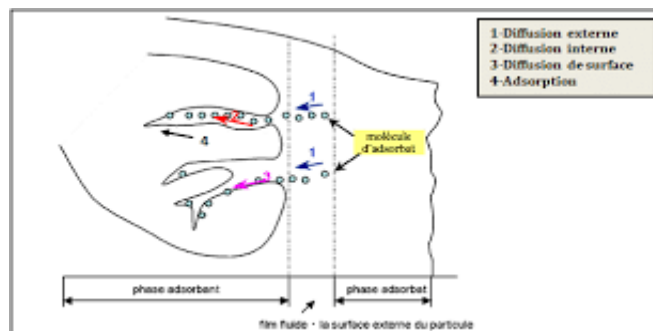


Figure II.1 :Mécanisme du transfert d'un adsorbant vers le site d'adsorption au sein d'un grain d'adsorbant.[7]

II.7 Les paramètres influençant sur l'adsorption

Dans le cadre de l'adsorption en phase liquide, divers éléments peuvent impacter le déroulement du processus. Parmi ces facteurs, on retrouve notamment :

II.7.1 La température

C'est un processus global résultant d'un grand nombre de processus à l'interface solide-liquide. Elle détermine la nature de l'adsorption. Avec respectivement une température exothermique, endothermique ou athermique. Par conséquent, l'augmentation de la température facilite le processus de chimisorption[8] et son abaissement facilite le processus de physisorption. [9]

II.7.2 Le pH de la solution

Le pH joue un rôle essentiel dans l'étude de l'adsorption, car il peut affecter à la fois la structure de l'adsorbant et de l'espèce adsorbée, ainsi que le mécanisme impliqué dans le processus d'adsorption. [10]

II.7.3 Surface spécifique

L'adsorption est étroitement liée à la surface spécifique du matériau, tandis que le rapport entre la surface et la masse est déterminé par sa porosité. [11]

II.7.4 La vitesse d'adsorption

L'adsorption physique en phase liquide se déroule à une vitesse plus lente. La viscosité de la solution influence ce processus, et une diminution de celle-ci par chauffage peut accélérer l'adsorption. C'est pourquoi la décoloration des solutions à l'aide d'adsorbants solides est souvent réalisée à des températures élevées. [12]

II.7.5 Masse de l'adsorbant

L'adsorption augmente avec la quantité d'adsorbant présente dans la solution. Cependant, en raison du coût élevé des adsorbants, il est préférable d'opter pour un rapport liquide-solide optimisé. [13]

II.8 Isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption sont cruciales pour déterminer les capacités maximales d'adsorption et pour développer de nouveaux matériaux adsorbants. De nombreux modèles théoriques ont été élaborés pour représenter ces isothermes. [14]

II.8.1 Capacité d'adsorption

L'efficacité du processus d'adsorption est évaluée en déterminant la capacité d'adsorption du matériau, notée q_e , et exprimée en milligrammes de métal adsorbé par gramme d'adsorbant. Cette capacité est calculée à l'aide de la formule suivante. [15]

$$q_e = \frac{(C_0 - C_{eq}) \times V}{m} \quad (\text{II.1})$$

Où

q_e : Capacité d'adsorption du support (mg/g).

C_0 : Concentration initiale du substrat (mg/L) à $t=0$.

C_{eq} : Concentration à l'équilibre (mg/L).

V : Volume de la solution(L).

m : Masse du support (g).

II.8.2 Classification des isothermes d'adsorption

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées : S (Sigmoïde), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante) donner par la figure (II.2). Après cette description nous abordons l'interprétation des différentes classes d'isothermes. [16]

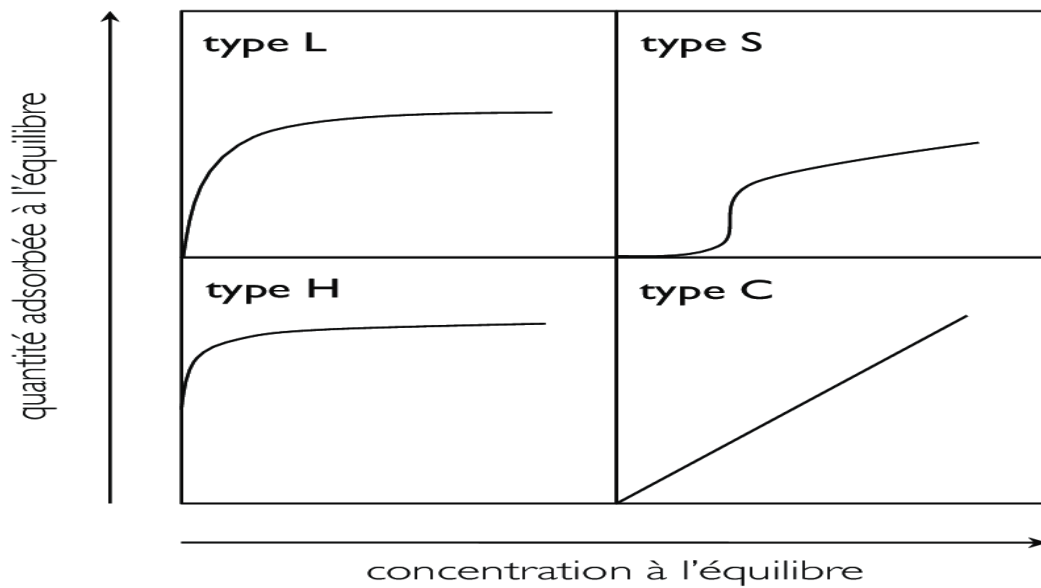


Figure II.2 : Classification des allures des isothermes d'équilibre d'adsorption selon leur allure. [17]

II.8.2.1 Classe L

Les isothermes d'adsorption de classe L se caractérisent, à de faibles concentrations en solution, par une courbure orientée vers le bas, indiquant une réduction progressive des sites libres au fur et à mesure de l'adsorption. Ce comportement se manifeste lorsque les interactions entre les molécules adsorbées sont faibles. Il est fréquemment observé lorsque les molécules s'adsorbent à plat, limitant ainsi leur attraction latérale. Ce type d'isotherme peut également apparaître lorsque les molécules s'adsorbent verticalement et que la compétition entre le solvant et le soluté pour l'adsorption est faible. Dans ce contexte, l'adsorption individuelle des molécules est suffisamment forte pour que les interactions latérales deviennent négligeables. [18]

II.8.2.2 Classe S

Les isothermes de cette catégorie se caractérisent, à faible concentration, par une courbure orientée vers le haut. Ce phénomène traduit une adsorption coopérative, où les molécules

adsorbées facilitent l'adsorption d'autres molécules. Cette interaction résulte des forces de Van der Waals, qui entraînent l'agrégation des molécules en îlots, où elles se resserrent les unes contre les autres. Ce comportement est particulièrement favorisé lorsque les molécules de soluté s'adsorbent de manière verticale, notamment dans le cas des molécules possédant un seul groupe fonctionnel, et lorsque la compétition pour l'adsorption entre le solvant et le soluté est intense. [19]

II.8.2.3 Classe H

La forme « H » représente une variation spécifique de la forme « L », caractérisée par une pente initiale très abrupte. Ce phénomène se produit lorsque le soluté présente une affinité particulièrement élevée pour la surface solide. [20]

II.8.2.4 Classe C

La forme « C » se traduit par une droite passant par l'origine, indiquant que le rapport q_e/C_e appelé le coefficient de distribution k_d , reste constant. Ce comportement est fréquemment observé lors de l'adsorption sur les argiles. Une autre approche pour analyser les données expérimentales consiste à représenter $k_d = q_e/C_e$ en fonction de Q_e . En utilisant une échelle linéaire ou logarithmique, notamment lorsque les expériences couvrent plusieurs ordres de grandeur en concentration. [21]

II.8.3 Modèles d'isotherme d'adsorption

Le phénomène d'adsorption a été décrit à l'aide de divers modèles mathématiques et empiriques, chacun basé sur des hypothèses et des approximations spécifiques. Parmi les modèles les plus couramment utilisés, on peut citer :

II.8.3.1 Modèle de Langmuir

La théorie de Langmuir a été développée pour étudier l'adsorption de molécules gazeuses sur des surfaces métalliques. Cependant, son application aux systèmes naturels reste limitée, car l'adsorption en monocouche sur des sites homogènes y est rarement observée. L'isotherme de Langmuir est décrite par l'équation :

$$\frac{C_{eq}}{q_e} = \frac{1}{K_L b} + \frac{1}{b} C_{eq} \quad (II.2)$$

Où :

C_{eq} : Concentration à l'équilibre de l'adsorbant (mg/L).

q_e : Quantité de substance adsorbée par unité de masse de l'adsorption (mg/g).

K_L : Constante correspond à l'énergie d'adsorption.

B : Capacité maximale d'adsorption. [20]

L'isotherme de Langmuir est caractérisée par facteur adimensionnel appelé paramètre de séparation (R_L), permettant d'évaluer la faisabilité de l'adsorption :

$$R_L = \frac{1}{1+bC_0} \quad (\text{II.3})$$

Où C_0 représente la concentration initiale de l'adsorbé, et b est la constante d'équilibre de Langmuir.

L'interprétation du paramètre R_L est la suivante :

- Si $R_L > 1$, l'adsorption est **défavorable**.
- Si $R_L = 1$, l'adsorption est **linéaire**.
- Si $0 < R_L < 1$, l'adsorption est **favorable**.
- Si $R_L = 0$, l'adsorption est **irréversible**.

II.8.3.2 Modèle de Freundlich

En 1962, Freundlich a développé un modèle décrivant l'adsorption en milieu gazeux ou liquide. Ce modèle, formulé à partir d'une équation à deux paramètres (K_f et n), suppose une répartition exponentielle des énergies des sites d'adsorption présents sur la surface du support. Il se caractérise par une adsorption spécifique sur des sites définis.

Ce modèle est décrit par :

$$q_e = K_f C_{eq}^{1/n} \quad (\text{II.4})$$

Sachant que :

q_e : La quantité d'entités adsorbées par gramme d'adsorbant à l'équilibre (mg/g).

C_{eq} : La concentration de l'adsorbé dans la solution à l'équilibre (mg/L).

K_f : La constante de Freundlich (L/mg).

n : Paramètre énergétique de Freundlich.

$\frac{1}{n}$: facteur lié à l'intensité de l'adsorption.

Lorsque le paramètre n se situe entre 1 et 10, l'adsorption est considérée comme favorable. En revanche, une valeur de n inférieure à 1 indique une adsorption limitée. [22]

Les paramètres K_f et n du modèle de Freundlich peuvent être déterminés expérimentalement en appliquant la transformation logarithmique à l'équation correspondante :

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_{eq} \quad (\text{II.5})$$

Le paramètre n est adimensionnel et fournit une indication sur l'intensité de l'adsorption.

- [0,1-0,5] caractérise une adsorption efficace,
- [0,5-1] indiquent une adsorption modérée,
- $n > 1$ l'adsorption est faible,

- $n \approx 1$ l'isotherme devient linéaire, correspondant alors à un isotherme de type C.

II.8.2.3. Modèle de Temkin

L'isotherme de Temkin considère que la chaleur d'adsorption des molécules dans la couche adsorbée diminue de façon linéaire avec l'augmentation du taux de recouvrement, en raison de la réduction des interactions entre l'adsorbant et l'adsorbat. Par conséquent, l'adsorption est caractérisée par une distribution homogène des énergies de liaison à la surface. La formule de l'isotherme de Temkin s'exprime comme suit [23] :

$$q_e = \left(\frac{R_T}{b_t}\right) \ln(K_t \cdot C_e) \quad (\text{II.6})$$

Ou sous la forme linéaire donner par équation si dessous :

$$q_e = B_1 \ln k_t + B_1 \ln c_e \quad (\text{II.7})$$

$B_1 = R_T/b_t$ (En J/mol) représente la constante de Temkin associée à la chaleur de sorption, tandis que K_t (en L/g) correspond à la constante d'équilibre d'adsorption, liée à l'énergie de liaison maximale.

II.9 Cinétique d'adsorption

Les processus d'adsorption se distinguent par leur cinétique et leur comportement à l'équilibre. Le transport de l'adsorbat vers l'interface solide-solution (adsorbant) et sa fixation sur la surface de l'adsorbant, qui reflète le taux d'interaction physicochimique à la surface, influencent directement la vitesse d'adsorption et déterminent ainsi la cinétique du processus. [24,25]

En règle générale, la cinétique d'un processus d'adsorption spécifique peut être évaluée dans un système discontinu, où l'évolution des concentrations en fonction du temps est analysée de manière systématique. [26] Les équations du pseudo-premier ordre et du pseudo-deuxième ordre sont parmi les modèles les plus couramment utilisés pour décrire la cinétique d'adsorption des composés organiques et de nombreux autres types de substances. [27]

II.9.1 Modèle cinétique du pseudo premier ordre

L'équation du pseudo-premier ordre, également connue sous le nom d'équation cinétique, est fréquemment appliquée pour étudier l'adsorption d'un adsorbat à partir d'une solution aqueuse. Cette approche repose sur l'idée que la vitesse d'adsorption des solutés au fil du temps est proportionnelle à l'écart entre la concentration à saturation et la quantité adsorbée par le solide à un moment donné. [28] Le modèle de pseudo-premier ordre se formule suivant :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (\text{II.8})$$

Lorsque $q_t = 0$ à $t = 0$, l'intégration de l'équation donne la forme linéaire suivante :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303} \quad (\text{II.9})$$

Où

q_e : La quantité de soluté adsorbé par unité d'adsorbant (mg/g) à l'équilibre.

q_t : La quantité de soluté adsorbé par unité d'adsorbant (mg/g) à l'instant t.

k_1 : La constante de vitesse de pseudo-premier ordre (min⁻¹).

t : Le temps de contact (min).

II.9.2 Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre

Le modèle du pseudo-deuxième ordre repose sur l'idée que le taux d'occupation des sites d'adsorption est proportionnel au carré du nombre de sites disponibles par rapport à ceux déjà occupés, ainsi qu'à la quantité de soluté adsorbé. Ce modèle indique la présence d'un mécanisme de chimisorption, impliquant par exemple un échange d'électrons entre la molécule de l'adsorbant et l'adsorbant solide. [29]

Présentons la cinétique du pseudo-deuxième ordre comme suit :

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (\text{II.10})$$

L'intégration de l'équation à $q_t = 0$ et $t = 0$, donne la forme linéarisée suivante :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e} + \frac{t}{q_e} \quad (\text{II.11})$$

Où k_2 représente la constante de vitesse du pseudo-deuxième ordre (g/mg.min).

Le taux initial d'adsorption, h (mg/g.min), lorsque $t \rightarrow 0$, est exprimé comme suit :

$$h = k_2 q_e^2 \quad (\text{II.12})$$

Les valeurs de h, q_e et k_2 peuvent être déterminées à partir de la représentation linéaire de t/q_t En fonction de t.

II.10 Généralité sur les adsorbants de notre étude

Au cœur de tout procédé de séparation se trouve un agent de séparation, qui peut être de nature massique ou énergétique. Dans le cas de l'adsorption, cet agent, appelé adsorbant, est essentiellement de nature massique. [30]

Le bio adsorbant, en raison de leurs propriétés biologiques, présentent une remarquable capacité d'adsorption. Par conséquent, leur emploi est devenu la méthode privilégiée pour le traitement des effluents contenant des polluants inorganiques ou organiques. Cette tendance est attribuable à l'opportunité d'exploiter des ressources naturelles, disponibles en grande quantité et à faible coût. De multiples recherches documentées dans la littérature scientifique illustrent l'application d'adsorbants issus de co-produits agricoles (à l'instar des résidus de café, de la paille de soja, des déchets de thé, de la sciure, des cendres volantes et des épis de maïs) pour la sorption de divers agents polluants présents dans les eaux usées. [31]

Parmi ces bioabsorbants, les épluchures de pomme de terre et les épluchures de patate douce ont particulièrement retenu notre attention et ont constitué le sujet principal de notre thèse.

II.10.1 Les éplucheurs de pommes de terre (EPT)

L'Algérie, un acteur majeur dans la culture de la pomme de terre, se retrouve avec des quantités significatives d'épluchures. Cela a motivé l'évaluation de cette biomasse comme adsorbant pour l'élimination des colorants dans cette étude. [32]

II .10.1.1 La forme

La forme des tubercules de pomme de terre est une caractéristique cruciale qui va au-delà de l'esthétique. Elle influence directement leur usage culinaire, leur facilité de traitement industriel (notamment l'épluchage mécanique), et leur résistance aux dommages lors de la récolte et du stockage. Cette forme, qui est déterminée génétiquement, permet de classer les variétés en trois catégories principales telle qu'illustrée sur la figure.II.3 :

- **Les claviformes** : qui présentent une forme plus ou moins similaire à celle d'un rein, comme c'est le cas pour la Ratte.
- **Les oblongs** : qui possèdent une forme plus ou moins étendue (étant comparable à un kiwi).
- **Les arrondis** : généralement irréguliers, ce sont des variétés principalement utilisées pour la production de fécule. [33]



Figure II.3 :Les différentes formes des tubercules de pomme de terre.[34]

II.10.1.2 La couleur

Il est essentiel de faire la distinction entre deux teintes : celle de la peau et celle de la chair.

- La pigmentation de la peau : elle est souvent jaune, mais peut également être rouge, noire, brune ou rosée.
- La teinte de la chair : elle peut être blanche, jaune plus ou moins intense, rose ou violette en fonction des variétés. (voir la figure II.4). [35]



Figure II.4 : La couleur de tubercule de pomme de terre.[36]

II.10.1.3 Composition chimique du tubercule

Plusieurs recherches ont été réalisées concernant la composition des épluchures de pommes de terre. Celles-ci constituent une source de composés phénoliques, de glycol-alcaloïdes, de polysaccharides non amylacés et d'acides gras insaturés. La peau des pommes de terre renferme une concentration plus élevée de polyphénols et de glycol-alcaloïdes que leur chair.

Les épluchures renferment un taux d'eau considérable et une proportion notable de glucides. [37]

Le Tableau (II.2) démontre qu'il existe une faible présence de lipides, de sucres solubles et de matières azotées, tandis que la quantité en amidon est élevée.

Tableau II.2 : Composition chimique des pelures de pomme de terre.[38]

Composition	Concentration%
Humidité	85.1
Protéine	2.3
Lipides	0.1
Glucides	12.4
Amidon	7.8
Fibre	2.5

II.10.2 Les pelures de patates douces

Les pelures de patates douces, souvent considérées comme des déchets, représentent une biomasse naturelle prometteuse en tant qu'adsorbant. Riches en composés tels que l'amidon, la cellulose et les fibres alimentaires, elles offrent une solution écologique et économique pour le traitement des polluants présents dans les eaux usées.

II.10.2.1 Formes des racines tubéreuses (en coupe longitudinale)

Les racines tubéreuses peuvent présenter différentes formes lorsqu'elles sont observées en coupe longitudinale (figure II.3), en fonction de leur croissance et de leur développement.

- ✚ **Forme ronde** : Ressemble à un cercle avec une proportion longueur/largeur (L/l) proche de 1:1.
- ✚ **Forme elliptique** : Symétrique, avec une largeur maximale égale à la distance entre les extrémités légèrement pointues. La proportion L/l ne dépasse pas 3:1.
- ✚ **Forme longue et oblongue** : Une forme plus allongée, où la proportion L/l dépasse 3:1.
- ✚ **Forme longue et elliptique** : Ressemble à une ellipse allongée, avec une proportion L/l supérieure à 3:1.
- ✚ **Forme longue et irrégulière** : Caractérisée par une apparence non régulière ou courbée. [39]

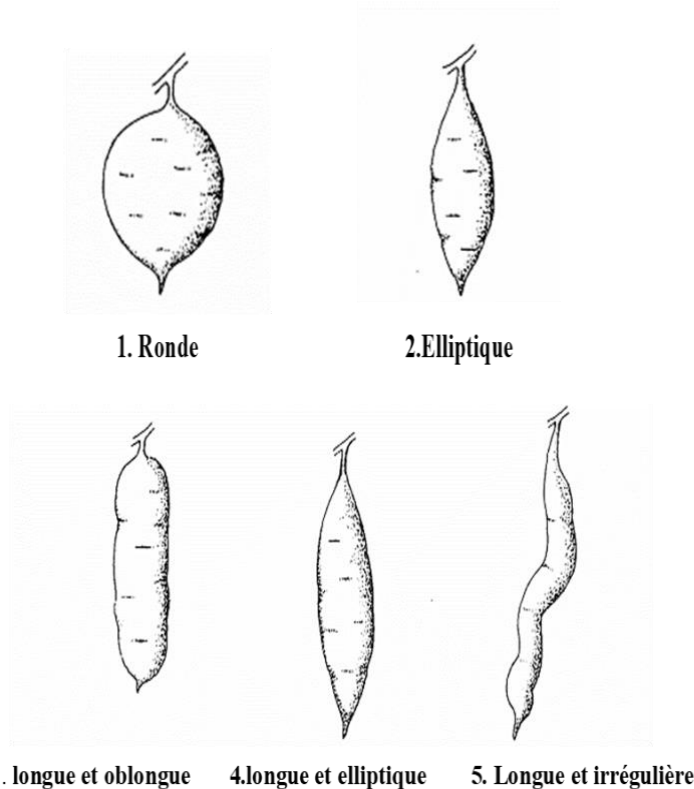


Figure II.5 : Formes des racines tubéreuses. [32]

II.10.2.2 La couleur

La peau des tubercules peut présenter une variété de couleurs, notamment beige, brune, jaune, orange, rouge ou violette. De même, la couleur de la chair varie en fonction des variétés et peut être blanche, beige, jaune, orange, rouge, rose ou violette. Pratiquement toutes les combinaisons possibles entre la couleur de la peau et celle de la chair peuvent être observée voir figure (II .6). [40]



Figure II.6 :Tubercules de patate douce.[33]

II .10.2.3 Composition chimique des patates douces

La patate douce est une source nutritive exceptionnelle, riche en protéines et en minéraux essentiels tels que le magnésium, le fer, le cuivre, le manganèse, le calcium et le potassium, Comme détaillé dans le TableauII.3.Elle est également pauvre en matières grasses tout en étant une bonne source de caroténoïdes (notamment le β -carotène, ou provitamine A, et la lutéine), de vitamines (B₁, B₆, C, E) et de fibres alimentaires. Grâce à cette composition, elle constitue un excellent atout pour prévenir ou gérer les carences nutritionnelles liées à la vitamine A et à d'autres micronutriments. De plus, la patate douce possède des propriétés fonctionnelles remarquables en raison de la présence d'hydrates de carbone bioactifs, de flavonoïdes, d'anthocyanes et d'acides phénoliques dans ses feuilles et ses racines. [41]

Tableau II. 3 : Composition chimique des patates douces crues à chair pâle, jaune et orange.

[42]

	Patate douce, chair pâle	Patate douce, chair jaune	Patate douce, chair orange
Energie(Kcal)	96	116	91
Energie (KJ)	406	490	385
Eau (g)	73.7	68.9	74.9
Protéines totales(g)	1.5	1.5	1

Lipides totaux (g)	0.2	0.2	0.2
Glucides disponibles (g)	20.5	25.5	19.8
Fibres alimentaire totales (g)	3.0	3.0	3
Cendres (g)	1.1	0.9	1.1

II. 11 Charbon actif

Le charbon actif, qu'il provienne de sources végétales, minérales ou animales, est un matériau essentiel. Il a toujours eu un rôle majeur dans les activités domestiques, industrielles et agricoles grâce à sa grande capacité d'adsorption. C'est pourquoi on le retrouve fréquemment dans la purification de l'eau, la décoloration du sucre, la récupération des solvants, la fixation des colorants et le traitement des gaz. [43]



Figure II.7 :Charbon actif [44]

II. 11.1 Le charbon actif comme adsorbant

Le charbon actif est l'adsorbant le plus couramment produit, et il est largement employé dans une multitude d'applications domestiques et industrielles. Sa grande efficacité, particulièrement visible dans le traitement de l'eau et la purification de l'air [45] s'explique par sa porosité élevée, sa vaste surface spécifique et les groupements fonctionnels présents à sa surface.

II.11.2 Préparation du charbon actif

Le charbon actif est généralement fabriqué à partir de matériaux riches en carbone et pauvres en substances inorganiques. Parmi les sources courantes on trouve le bois, le charbon, les coques de noix de coco, les éplucheurs de pomme de terre et les éplucheurs de patate douce, le lignite et la tourbe. La valorisation de déchets divers, notamment ceux issus des industries pétrolières et des lubrifiants, connaît un développement significatif ces dernières années. [46]

En résumé, les charbons actifs obtenus à partir des peaux de pomme de terre constituent une alternative écologique, rentable et durable pour la purification des eaux issues de produits pharmaceutiques.

Références bibliographie

- [1]MEBARKI.B, « Etude des transferts de chaleur et de masse dans une machine frigorifique à adsorption solaire », Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2017.
- [2]C, CHEKEM, « Matériaux carbonés multifonctionnels à porosité contrôlée à partir des ressources végétales tropicales : application au traitement de l'eau par photo catalyse », Thèse de doctorat, Université de Perpignan, 2017.
- [3]N, SEDIRA, « Etude de l'adsorption des métaux lourds sur un charbon actif issu de noyaux de dattes », Mémoire de magister, université de Souk Ahras, 2013
- [4]A. Talidi, « Etude De l'élimination Du Chrome Et Du Bleu De Méthylène En Milieux Aqueux Par Adsorption Sur La Pyrophyllite Traitée Et Non Traitée », Thèse Doctorat, Université Mohammed V-Agdal Rabat ,2006.
- [5]N. OUSLIMANI. « Adsorption des colorants acides des effluents manufacturiers par des montmorillonites », Thèse de doctorat, université de BOUMERDES, 2012.
- [6]KOHEIL Abdelhak, « Activation d'un précurseur naturel en vue de l'élimination des polluants organiques dans les solutions simples et binaires », Mémoire de Master, université de Mostaganem, 2016.
- [7] MANOUL CREANGA C, «Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradable (par adsorption puis oxydation catalytique)», Thèse de doctorat, université de Toulouse France ,2007.
- [8]Kumar P.S, Ramalingam S, Senthamarai C,Niranjanaa M., Vijayalakshmi P, Sivanesan S. Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut Shell: Studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions,Desalination. 261, 52-60,2010
- [9]Vimonses V, Lei S, Jin B, Chow C.W.K, Adsorption of Congo red by three Australian kaolins, Applied Clay Science. 43, 465-472, 2009.
- [10]CherfoufSaliha , « Adsorption Des Colorants Textiles Sur Charbon Actif Et Zéolithe Zsm-5 : Cas Du Bleu Cibacette, Du Brun Solophenyle Et Du Rouge Cytillon », Mémoire De Master , Université Saad Dahleb De Blida , 2012
- [11]Sakhraoui Aicha Et LamriChahra , « Adsorption d'un Polluant Inorganique : Cuivre Par Le Charbon Actif », Mémoire De Master ,Université De Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi -Bordj Bou Arreridj,2023.
- [12]A. Tabti Et Al, Adsorption Of Bromothymol Blue (Btb) Dye Using Four Zeolites As Adsorbent.Kem. Ind.,70; 2021
- [13]G. COUDERC, « Contribution à l'étude de l'adsorption binaire par les carbones non poreux et poreux », Thèse doctorat, Université de Neuchâtel ,2002.

- [14]Dekhili Meriem. « Elimination De l'ammonium Sur Un Charbon Préparé Par Les Noyaux De Dattes Sur Solutions Synthétiques », Mémoire De Master, Université Mohamed Khider Biskra ,2022.
- [15]ABOUA N et al, « Élimination du plomb et du cuivre en solution aqueuse par des Charbons à base de bois de Pterygotamacrocarpa».Article d'Afrique SCIENCE 14(2) 38 - 47 38 ISSN 1813-548X, 40,45.2018.
- [16]Houari Mohamed Amine , « Valorisation Des Fruits Du SapindusMukorossi En Tant Que Biosorbant : Application Dans l'élimination Des Colorants » , Mémoire De Master, Université Saad Dahleb De Blida , 2011.
- [17]Giles HET Smith D, « A general treatment and classification of the soultte adsorption isotherm, l theoretical » journal of colloid and interface science 47(3), 755-765, 1974.
- [18]M. Belmouden, Thèse De Doctorat, Faculté Des Sciences D'Agadir, 2000.
- [19]Aga Sara ; « Etude Cinétique Et Thermodynamique De l'adsorption De Quelques Colorants Textiles Par Des Résidus Issus De l'industrie Agroalimentaire » , Mémoire De Magister , Université Ferhat Abbas Setif-1- , 2015.
- [20]F. Zermane Et L. Chabane, « Adsorption Compétitive De Mélange De Colorants Sur Des Billes Gelifiees Poreuse A Base d'argile Pontee Au Fer En Systeme Continu Et Discontinu » ; Mémoire De Master, Université De Saad Dahleb Blida-1, 2015.
- [21]A, Bounaceur. Adsorption Du Fer, Nickel Et Cobalt Par La Marne Argileuse En Solution Aqueuse. 2015.
- [22]N, BOUGDAH, «Etude de l'adsorption de micropolluants organiques sur le Bentonite» ; Mémoire de magister. 2007.
- [23] Maater F, Jose R ,peralta-Videa ,jaimerome-Gonza'lez, mariaDutre-gardea ,Jorje L,GardeaTorresdey, thermodynamic and isotherm studies of the biosorption of Cu(II), and Pb(II)and Zin (II)by leaves of saltbush (Atriplexcanescens) , J.Chem.thermodynamics, 39,488-492, 2007.
- [24] Kavitha D, Namasivayam C. Experimental and kinetic studies on methylene blue Adsorption by coir pith carbon. Bioresource Technology. 98, 14–21;2007.
- [25] Sahu O., Singh N. Significance of bioadsorption process on textile industry Wastewater. Chapter 13. In book: The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology .367-416. 2019.
- [26] Karimi S., Yarakib M.T., Karric R.R. A comprehensive review of the adsorption Mechanisms and factorsinfluencing the adsorption process from the perspective of bioethanol Dehydration. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 107, 535-553; 2019.

- [27]Salman, J.M., Hameed, B.H. Adsorption of two, 4-dichlorophenoxyacetic acid and carbofuran pesticides onto granular activated carbon. *Desalination*. 256, 129-135, 2010.
- [28]Lagergren S. About the theory of so-called adsorption of soluble substances, *KungligaSvenskaVetenskapsakademiensHandlingar*. 24, 1-39; 1889.
- [29] Ho Y.S., McKayG. The kinetics of sorption of basic dyes from aqueous solution by sphagnum moss peat. *Canadian Journal of Chemical Engineering*. 76, 822-827 ; 1998.
- [30]Miada. BENKARTOUSSA. « Utilisation de bio-sorbants dans l'adsorption de plus d'un polluant », Thèse de doctorat. Université de Constantine 3 ,2021 .
- [31]A. Derbel, « Etude Expérimentale de l'élimination de Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Matériaux Naturels : Application aux Peaux d'Orange et de Banane» thèse de Doctorat en Génie des procédés, Université Mentouri, Constantine, 2012.
- [32]R. Roussele, Y. Robert, La pomme de terre, EDINRA ,1996.
- [33]Dominique M., Les productions légumières. 3éd. Educagri, France. 93-98 ; 2010.
- [34]Zemmel. FaresRapport de stage monographique : Centre Régional des Recherches en Horticulture et Agriculture Biologique Chott Mariem (Station Téboulba). - Scientific Figure on researchgate. Available from:https://www.researchgate.net/figure/Les-differentes-formes-des-tubercules-de-pomme-de-terre_fig6_364862161, 2025.
- [35]Boufares K., Comportement de trois variétés de pommes de terre (Sunta, Désirée et Chubae) entre deux milieux de culture substrat et hydroponique. *Mem. Ing. Agro., Univ. Abou bakrbelkaid, Tlemcen* ,2012.
- [36] S.PELLEGRINO, toutes les variétés de pommes de Terre “FINE DININGO LOVERS ,2022.
- [37]Wu ZG, Xu HY, Ma Q, and all. Isolation, identification and quantification of unsaturatedfattyacids, amides, phenolic compounds and glycoalkaloids from potato peel. *Food Chemistry*.135: 2425 – 2429; 2012.
- [38]Arapoglou D, Vlyssides A, Haidemenaki K, and all. Alternative ways for potato industries waste utilisation. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Environmental Science and Technology, Chania, Crete, Greece, (3–5 September); 2009.*
- [39]Z. Huamán ; descripteur pour la patate douce ; CIP/AVRDC/IBPGR ; 1991.
- [40]Moumouni KOALA ; « ETUDE DES ANTIOXYDANTS D'IPOMOEA BATATAS (PATATE DOUCE À CHAIR ORANGE) : STRUCTURES ET PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES » ; Thèse de doctorat ; 2015.

[41]Alam MK. A comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): Revisiting the associated health benefits. *Trends Food SciTechnol*, 115, 512-529.

[42]AO/INFOODS Food Composition Table for Western Africa dans Vincent et al. 2019/ 2020.

[43]BAHNES. Meriem et LARBI. Maroua, "Etude de la régénération d'un charbon actif chargé encolorant synthétique", mémoire de master , Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem.2022.

[44]https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Activated_Carbon.

[45] P.L. Walker, P.A.Thrower, *Chemistry and Physics of Carbon*, Marcel Dekker, New York 16, 1–146, 1981.

[46]ManoleGreanca C, "AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables (par adsorption puis oxydationcatalytique), Thèse de doctorat de INP Toulouse ,2007 .

Chapitre III

Partie Expérimentale

III .1 Introduction

Nous consacrons ce chapitre à l'étude expérimentale de l'adsorption de deux colorants d'intérêt alimentaire et cosmétique, respectivement : l'Indigotine (carmin d'indigo, SIN 132)(CI) et l'Acide Violet 43(AV). Sur deux matériaux le charbon actif d'éplucheur de pommes de terre (CAEPT) et le charbon actif d'éplucheur de patate douce (CAEPD) comme des bio_ adsorbants. L'objectif principal de ce travail est d'évaluer la capacité de ces deux matériaux, à éliminer ces polluants colorés.

L'étude a porté sur l'influence de plusieurs paramètres expérimentaux sur le processus d'adsorption, notamment le temps de contact, le pH de la solution et la masse de l'adsorbant utilisé.

Pour mieux comprendre les mécanismes d'adsorption, des études cinétiques ont été menées en appliquant les modèles du pseudo-premier ordre et du pseudo-second ordre. L'analyse des isothermes d'adsorption a également été réalisée à l'aide des modèles classiques de Langmuir, Freundlich et Temkin.

III .2. Les produits et matériels utilisés

Les produits et les matériels utilisés dans notre étude d'élimination des deux polluants organiques, sont rassemblés dans les deux tableaux suivants (Tableau III.1) et (Tableau III.2) :



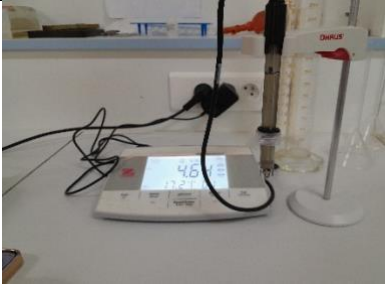

❖ les produits



Tableau III.1 : les produits utilisés dans notre étude.

	
<p>Colorant alimentaire : Colorant Bleu SIN 132.</p>	<p>Produit Cosmétique : Shampooing Violet.</p>

❖ Matériels utilisés

Tableau III. 2 :Matériels utilisés dans notre étude.

<p>Balance Analytique</p>	<p>KAB2L de Précision 0.0001 g.</p>	
<p>L'agitateur magnétique</p>	<p>KIIJO SK-L330-Pro Lab Digital Linear Shaker 100~350 RPM (220V).</p>	
<p>Le pH Mètre</p>	<p>AB23PH-F.</p>	
<p>La centrifuge</p>	<p>Universal 320R Refrigerated Centrifuge 1406-01.</p>	

<p style="text-align: center;">Four À Moufle</p>	<p style="text-align: center;">Nabertherm N 7/H.</p>	
<p style="text-align: center;">Spectrophotomètre de l'UV/Vis</p>	<p style="text-align: center;">Jenway 6800 Double-beamspectrophotometer.</p>	

❖ Verrerie :

En laboratoire, la verrerie est essentielle pour la préparation, le dosage et le transfert des solutions, nous avons utilisé :

- Fiole jaugée (1L), (250ml), (100ml).
- Becher (100ml).
- Pipette graduée.
- Le pipetage à la bouche.
- Verre de montre.
- Tube à essais.
- Les entonnoirs.

III.3 Etude d'élimination des colorants

Dans le cadre de cette étude, nous avons examiné l'élimination de deux polluants organiques, Indigotine, ou carmin d'indigo (SIN 132) (CI) et l'acide Violet 43(AV), par adsorption sur deux

matériaux le charbon actif d'éplucheur de pommes de terre (CAEPT) et le charbon actif d'éplucheur de patate douce (CAEPD).

III .3.1. Préparation des adsorbants (épluchures de pommes de terre et épluchures de patate douce)

Nous préparons les épluchures de pommes de terre et de patate douce (Figure III.1) puis les avons soigneusement lavées avec de l'eau distillée et les avons ensuite fait croustiller aux micro-ondes. Puis nous les mettons au four à 500C° pour qu'elles sèchent complètement pendant 10 minutes, ensuite nous avons bien broyé la poudre et l'avons filtrée.



Figure III.1 : Séchage le déchet du EPT et EPD.

III.3.2 Évaluation de la surface spécifique des adsorbants par adsorption du bleu de méthylène

La surface spécifique des charbons actifs a été déterminée par la méthode d'adsorption du bleu de méthylène, selon le protocole décrit par Kra et al..[1] Pour cela, 0,1 g de charbon a été mis en contact avec 100 mL d'une solution de bleu de méthylène à $6,25 \times 10^{-6}$ mol/L. La suspension a été agitée pendant différentes durées (10, 20, 30, 40, 50 et 60 minutes), puis les concentrations résiduelles du colorant ont été mesurées par spectrophotométrie UV-Visible. Les données obtenues ont permis de tracer les isothermes d'adsorption, qui ont ensuite été ajustées au modèle de Langmuir afin de déterminer la capacité maximale d'adsorption (Q_m). La surface spécifique du matériau (S_L) a été calculée à partir de cette capacité selon l'équation suivante :

$$S_L = Q_m \times N_A \times S_{BM} \quad (III.1)$$

où :

- S_L est la surface spécifique (en m^2/g).
- Q_m est la capacité maximale d'adsorption (mg/g).
- N_A est le nombre d'Avogadro ($6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$).
- S_{BM} est la surface occupée par une molécule de bleu de méthylène ($175 \times 10^{-20} m^2$).

III. 3.2.1 Mesure de la surface spécifique des adsorbants

Les surfaces spécifiques obtenues pour les charbons actifs issus d'épluchures de pomme de terre et de patate douce, mesurées par la méthode du bleu de méthylène, témoignent d'un développement poreux caractéristique d'un traitement thermique simple, sans activation chimique. Pour le charbon actif dérivé d'épluchures de pomme de terre, une surface spécifique de $411,001 \text{ m}^2/\text{g}$ a été obtenue, cette valeur s'inscrit dans la gamme généralement rapportée dans la littérature pour ce type de biomasse, soit entre 150 et $700 \text{ m}^2/\text{g}$, en fonction des paramètres de pyrolyse. Les surfaces spécifiques moyennes, comprises entre 300 et $500 \text{ m}^2/\text{g}$, sont souvent associées à des conditions thermiques modérées ($400\text{--}600 \text{ }^\circ\text{C}$, 10 à 30 minutes), qui permettent un bon développement de la porosité.[2] De même, le charbon actif issu d'épluchures de patate douce présente une surface spécifique de $328,80 \text{ m}^2/\text{g}$, également en accord avec les plages rapportées dans la littérature pour des charbons obtenus par pyrolyse simple. Pour ce type de précurseur lignocellulosique, les surfaces spécifiques varient typiquement entre 200 et $800 \text{ m}^2/\text{g}$. [3]

III .3.3 Préparation des adsorbats

Afin de mener l'étude sur l'élimination des deux colorants, une solution mère sera préparée pour chacun d'eux. À partir de ces solutions mères, des solutions filles de différentes concentrations seront ensuite élaborées.

III .3.3.1 Préparation de la solution mère du polluant carmin d'indigo

La solution mère d'indigo carmine (Figure III.3) est préparée en dissolvant 1 g de colorant (Figure III.2) dans un volume initial d'environ 10 ml d'eau distillée, placé dans un bécher. Le mélange est ensuite agité magnétiquement pendant 5 minutes afin d'assurer une dissolution homogène. Enfin, la solution est transférée dans une fiole jaugée et complétée avec de l'eau distillée jusqu'au volume final de 1 litre.



Figure III.2: Colorant alimentaire CI

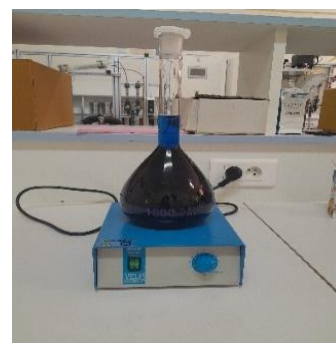


Figure III.3: Solution mère de carmin d'indigo

III .3.3.1.1 Préparation des solutions filles

Des volumes appropriés V_0 de la solution mère, ayant une concentration de 1g/L, sont prélevées puis dilués avec de l'eau distillée pour obtenir 100 ml de solutions filles aux concentrations souhaitées : 50, 100, 150, 200, 250 et 300 mg/L. La figure (III.4) illustre ces différentes préparations.

Le tableau ci-dessous (Tableau III.3) récapitule les volumes utilisés pour chaque dilution ainsi que le pH et température correspondant à chaque solution.

Tableau III. 3 : Les mesures de pH et T des solutions filles du colorant alimentaire CI

V (ml)	5	10	15	20	25	30
C (mg/l)	50	100	150	200	250	300
pH	5.99	6.50	6	5.80	4.69	5.81
T(C°)	18.6	19.3	19.2	19.2	19	19.1



Figure III. 4 : Les solutions filles du colorant alimentaire CI.

III.3.3.1.2 La courbe d'étalonnage

Pour mener l'étude cinétique de l'adsorption du carmin d'indigo (CI) sur le charbon actif d'éplucheur de pommes de terre (CAEPT) et le charbon actif d'éplucheur de patate douce (CAEPD), il est nécessaire d'établir une courbe d'étalonnage. Celle-ci est obtenue en préparant une série de solutions de concentrations connues, dont on mesure ensuite l'absorbance. La relation entre l'absorbance (Abs) et la concentration (C) est décrite par la loi de Béeer-Lambert, exprimée par la formule suivante : [4]

$$\text{Abs} = \epsilon \times l \times C \quad (\text{III.1})$$

Où :

- **Abs** : absorbance.
- **E** : coefficient d'absorption molaire (L/mg dm).
- **L** : longueur de la cuve (dm).
- **C** : concentration de la solution (mg/L).

La figure ci-dessous (Figure III.5) présente la courbe d'étalonnage obtenue pour le colorant étudié.

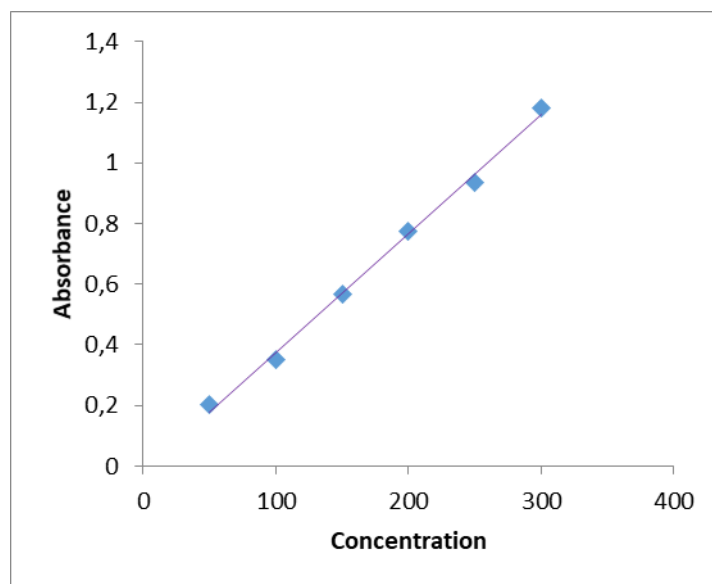


Figure III. 14: Courbe d'étalonnage du colorant alimentaire CI.

III .3.3.1.3 Détermination de la longueur d'onde maximale (λ_{\max}) du colorant CI

Avant de débiter l'étude de l'équilibre d'adsorption du colorant, il a été nécessaire de déterminer la longueur d'onde d'absorption maximale (λ_{\max}) du carmin d'indigo (CI) et de vérifier l'applicabilité de la loi de Beer-Lambert pour la gamme de concentrations utilisée.

Pour ce faire, une solution de CI d'une concentration de 100 mg/L a été préparée par dilution à partir d'une solution mère de concentration 1 g/L. L'analyse spectrophotométrie de cette solution a permis d'identifier la longueur d'onde à laquelle l'absorbance est maximale, comme illustré dans la (figure III.6).

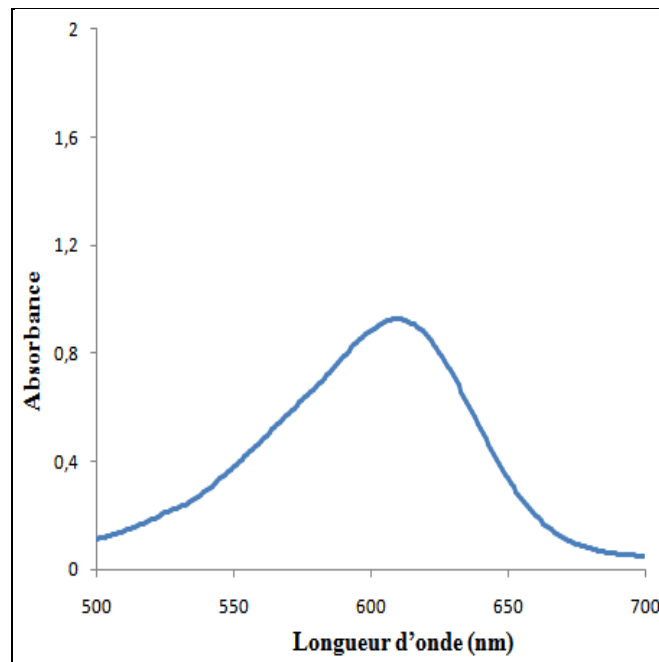


Figure III.6: Représentation de la longueur d'onde max du polluant alimentaire CI.

L'extrapolation des résultats obtenus révèle une bande d'absorption centrée à 610 nm. Cette valeur correspond à la longueur d'onde maximale (λ_{\max}), à laquelle l'absorbance du colorant est la plus élevée. [5,6]

III.3.3.2 .Préparation de la solution mère du colorant acide violet 43

Pour préparer un litre de solution mère d'acide violet 43, 60 gramme de produit cosmétique le shampoing violet qui contient le colorant (AV) (figure III.7) a été soigneusement pesé, puis introduit dans un bécher contenant environ 1000 ml d'eau distillée. Le mélange a ensuite été transféré dans une fiole jaugée d'un litre, complété avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, puis agité magnétiquement pendant 10 minutes afin d'assurer une dissolution homogène du colorant.



Figure III.7: Produit cosmétique contient acide violet 43.

III .3.3.2.1 Préparation des solutions filles

À partir de la solution mère de produit cosmétique contient acide violet 43. Ayant une concentration de 60 g/L, un volume V_0 a été prélevé puis dilué avec de l'eau distillée afin d'obtenir un volume final de 100 ml. Cette procédure a permis de préparer des solutions filles aux concentrations souhaitées : 300, 600, 900, 1200, 1500 et 1800 mg/L. La (figure III.8) illustre les différentes solutions obtenues. Le tableau ci-dessous présente pour chaque solution le volume utilisé ainsi que le pH et température mesurée.

Tableau III.4 : Les mesures de pH et température des solutions filles du colorant AV

V (ml)	5	10	15	20	25	30
C (mg/l)	300	600	900	1200	1500	1800
pH	6.43	6.38	6.48	6.45	6.35	5.94
T (C°)	20.2	20.4	20.4	20.1	20.2	20.4

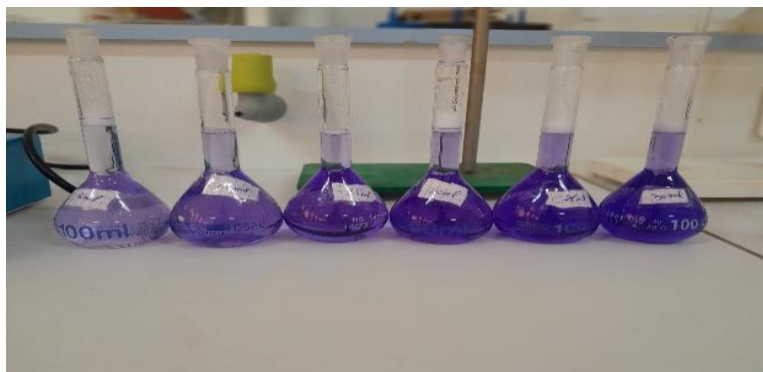


Figure III.8: Les solutions filles d'AV.

III .3.3.2.2 La courbe d'étalonnage

Des solutions de concentrations connues (300, 600, 900, 1200, 1500 et 1800 mg/L) ont été préparées, puis leur absorbance a été mesurée. Les résultats obtenus ont permis de tracer la courbe d'étalonnage, cette courbe est présentée dans la (figure III.9).

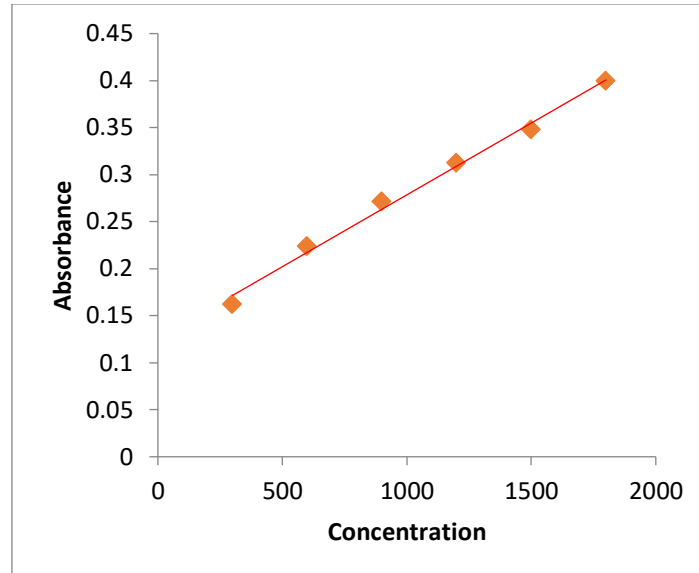


Figure III.15: La courbe d'étalonnage d'AV.

III .3.3.2.3 Détermination de la longueur d'onde maximale (λ_{\max}) du colorant AV :

Afin de déterminer la longueur d'onde maximale d'absorption du colorant AV voir (figure III.10), une solution de concentration 600 mg/L a été préparée par dilution de la solution mère de l'adsorbat, initialement à 60 g/L.

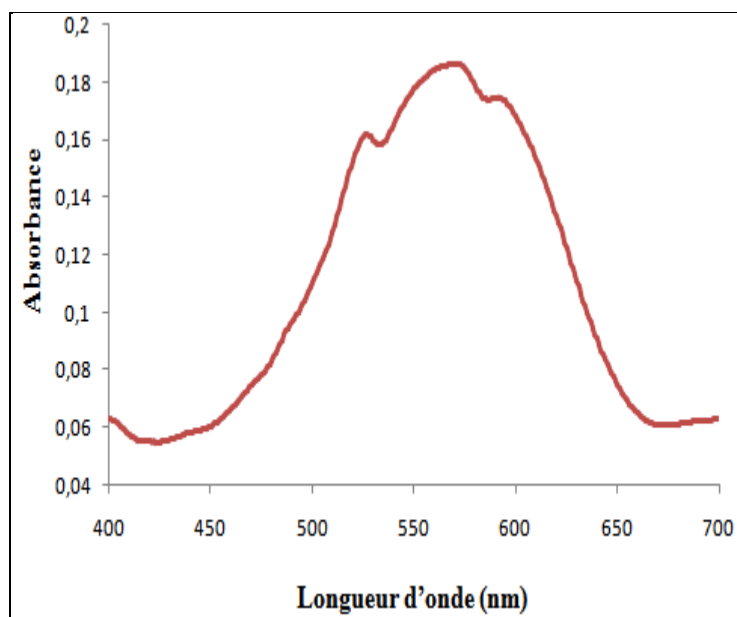


Figure III 10 : Représentation de la longueur d'onde max de polluant AV.

Après extrapolation des résultats obtenus, une bande d'absorption a été observée à 570nm, correspondant à l'absorbance maximale du colorant. [7]

III.3.4 Calcul de la quantité adsorbée

La quantité de colorant adsorbée à un instant t , exprimée en **mg** de colorant par **g** d'adsorbant, se calcule à l'aide de la formule suivante : [8]

$$qt = \frac{(C_0 - C_t)}{m} \times V \text{(III.2)}$$

Où :

- C_0 : La concentration initiale du colorant dans la solution (mg/L).
- C_t : La concentration du colorant restant dans la solution à l'instant t (mg/L).
- V : Le volume de la solution (ml).
- M : La masse d'adsorbant utilisée (g).

III.3.4 Détermination du taux d'élimination du colorant

Le taux d'élimination, aussi appelé rendement de l'adsorption, correspond au pourcentage de colorant retiré de la solution à un instant donné t , par rapport à la concentration initiale. Il est calculé selon la formule suivante : [9]

$$R\% = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \text{(III.3)}$$

Où :

- C_0 est la concentration initiale du colorant dans la solution (mg/L),
- C_t est la concentration du colorant dans la solution au temps t (mg/L).

Cette expression permet d'évaluer l'efficacité du processus d'adsorption à différents temps de contact.

III.4. Résultats et discussions

III .4.1 Déroulement des expériences d'adsorption

Les expériences ont été réalisées en ajoutant une quantité précisément déterminée d'adsorbant (50, 75 et 100mg) dans un erlenmeyer contenant 100 ml d'une solution des polluants préparés à une concentration de 100,600 mg/l respectivement. Le pH de la solution a été mesuré à intervalles réguliers de 5 minutes.

La séparation de la solution colorée et de l'adsorbant a été effectuée par centrifugation à une vitesse de 2500 tours par minute pendant 5 minutes. L'absorbance du surnageant a ensuite été analysée à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis, à la longueur d'onde correspondant au maximum d'absorbance du colorant pour le pH étudié.

III.4.2 Calcul de la quantité adsorbée des colorants

Les résultats relatifs au calcul de la quantité adsorbée et au rendement pour les deux types de polluants sont regroupés dans les tableaux (III.5, III.6, III.7, III.8, III.9, III.10, III.11, III.12, III.13, III.14, III.15, III.16) ainsi que dans les figures (III.11, III.12). Ces données illustrent le comportement des solutions des colorants à une concentration de 100 et 600 mg/l respectivement, en absence et en présence des matériaux CAEPT et CAEPD Comme adsorbant.

Tableau III.5 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 50 mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.0539	0.0535	0.0533	0.0523	0.0511	0.0493
Ct (mg/l)	23.966	23.833	23.766	23.43	23.03	22.43
Qt(mg/g)	152.068	152.334	152.468	153.14	153.94	155.14
R%	76.033	76.166	76.233	76.566	76.960	77.56

Tableau III.6 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 75mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.0342	0.0334	0.0324	0.0314	0.0297	0.0269
Ct (mg/l)	17.4	17.13	16.8	16.466	15.9	14.96
Qt(mg/g)	110.13	110.49	110.933	111.378	112.133	113.386
R%	82.6	82.86	83.2	83.533	84.1	85.033

Tableau III.7 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 100mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.0170	0.0153	0.0140	0.0121	0.0102	0.0075
Ct (mg/l)	11.66	11.10	10.666	10.03	9.4	8.5
Qt(mg/g)	88.34	88.9	89.333	89.96	90.96	91.5
R%	88.33	88.9	89.333	89.96	90.6	91.5

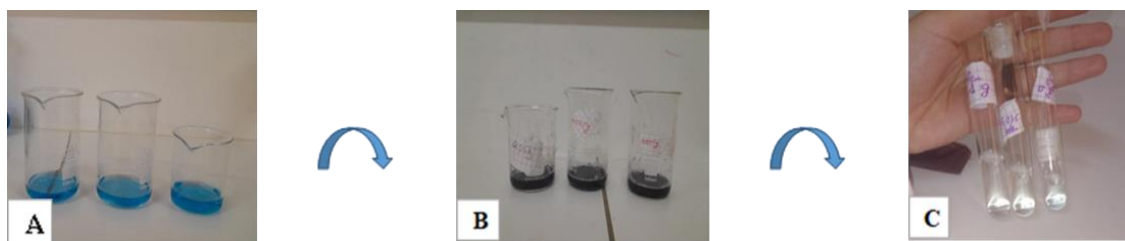


Figure III.11 :a) La solution fille à concentration 100 mg/l, b) La solution fille avec le matériau (CAEPT), c) le mélange après la centrifugation du polluant alimentaire CI.

Tableau III.9 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPD comme adsorbant avec une masse de 50 mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.0317	0.03166	0.03159	0.03150	0.03146	0.03127
Ct (mg/l)	16.566	16.553	16.53	16.5	16.486	16.423
Qt(mg/g)	166.868	166.894	166.94	167	167.028	167.154
R%	83.434	83.447	83.47	83.5	83.514	83.577

Tableau III.10 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPD comme adsorbant avec une masse de 75mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.03020	0.03016	0.03005	0.02988	0.02975	0.02945
Ct (mg/l)	16.066	16.053	16.016	15.96	15.916	15.816
Qt(mg/g)	111.912	111.929	111.978	112.053	112.112	112.245
R%	83.934	83.947	83.984	84.04	84.084	84.148

Tableau III.8 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant alimentaire CI en présence de CAEPD comme adsorbant avec une masse de 100 mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.0262	0.0253	0.0249	0.0239	0.0227	0.0213
Ct (mg/l)	14.733	14.433	14.3	13.966	13.566	13.1
Qt(mg/g)	85.267	85.567	85.7	86.034	86.434	86.9
R%	85.266	85.566	85.7	86.033	86.433	86.9

Tableau III.11 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 50 mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
---------	----	----	----	----	----	----

Absorbance	0.1480	0.1472	0.1462	0.1455	0.1445	0.1434
Ct (mg/l)	14.5	14.1	13.6	13.25	12.75	12.2
Qt(mg/g)	1171	1171.8	1172.8	1173.5	1174.5	1175.6
R%	97.583	97.65	97.733	97.791	97.875	97.966

Tableau III.12 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 75mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.1391	0.1388	0.1384	0.1378	0.1373	0.1362
Ct (mg/l)	10.05	9.9	9.7	9.4	9.15	8.6
Qt(mg/g)	786.6	786.8	787.066	787.466	787.8	788.533
R%	98.325	98.35	98.383	98.433	98.475	98.566

Tableau III.13 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPT comme adsorbant avec une masse de 100 mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.1293	0.1286	0.1276	0.1265	0.1257	0.1247
Ct (mg/l)	5.15	4.8	4.3	3.75	3.35	2.85
Qt(mg/g)	594.85	595.2	595.7	596.25	596.65	597.15
R%	99.14	99.2	99.283	99.375	99.441	99.525

Tableau III.15 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPD comme adsorbant avec une masse de 50 mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.1695	0.1689	0.1682	0.1668	0.1655	0.1641
Ct (mg/l)	25.25	24.95	24.6	23.9	23.25	22.55
Qt(mg/g)	1149.5	1150.1	1150.8	1152.2	1153.5	1154.9
R%	95.791	95.841	95.9	96.016	96.125	96.241

Tableau III.16 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPD comme adsorbant avec une masse de 75 mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.1420	0.1410	0.1404	0.1400	0.1391	0.1384
Ct (mg/l)	11.5	11	10.7	10.5	10.05	9.7
Qt(mg/g)	784.666	785.333	785.733	786	786.6	787.066

R%	98.083	98.166	98.216	98.25	98.325	98.383
----	--------	--------	--------	-------	--------	--------

Tableau III.14 : Le rendement et la quantité adsorbée du colorant cosmétique AV en présence de CAEPD comme adsorbant avec une masse de 100mg.

T (min)	10	20	30	40	50	60
Absorbance	0.1212	0.1209	0.1203	0.1199	0.1198	0.1197
Ct (mg/l)	1.1	0.95	0.65	0.45	0.4	0.35
Qt(mg/g)	598.9	599.05	599.35	599.55	599.6	599.65
R%	99.816	99.841	99.891	99.925	99.933	99.941



Figure III.16: a) La solution fille à concentration 600 mg/l, b) La solution fille avec l'adsorbant CAEPT, c) le mélange après la centrifugation du polluant cosmétique AV.

III.4.3 Influence des paramètres physico-chimiques

Dans cette section, nous examinerons l'impact de plusieurs facteurs sur le processus d'adsorption, à savoir :

- Le temps de contact.
- Le pH de la solution.
- La masse de l'adsorbant.

III .4.3.1 Le temps de contact

L'étude de l'adsorption a été réalisée en fonction du temps afin de mesurer la quantité de colorant retenue à différents moments et d'identifier le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre. Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures ci-après.

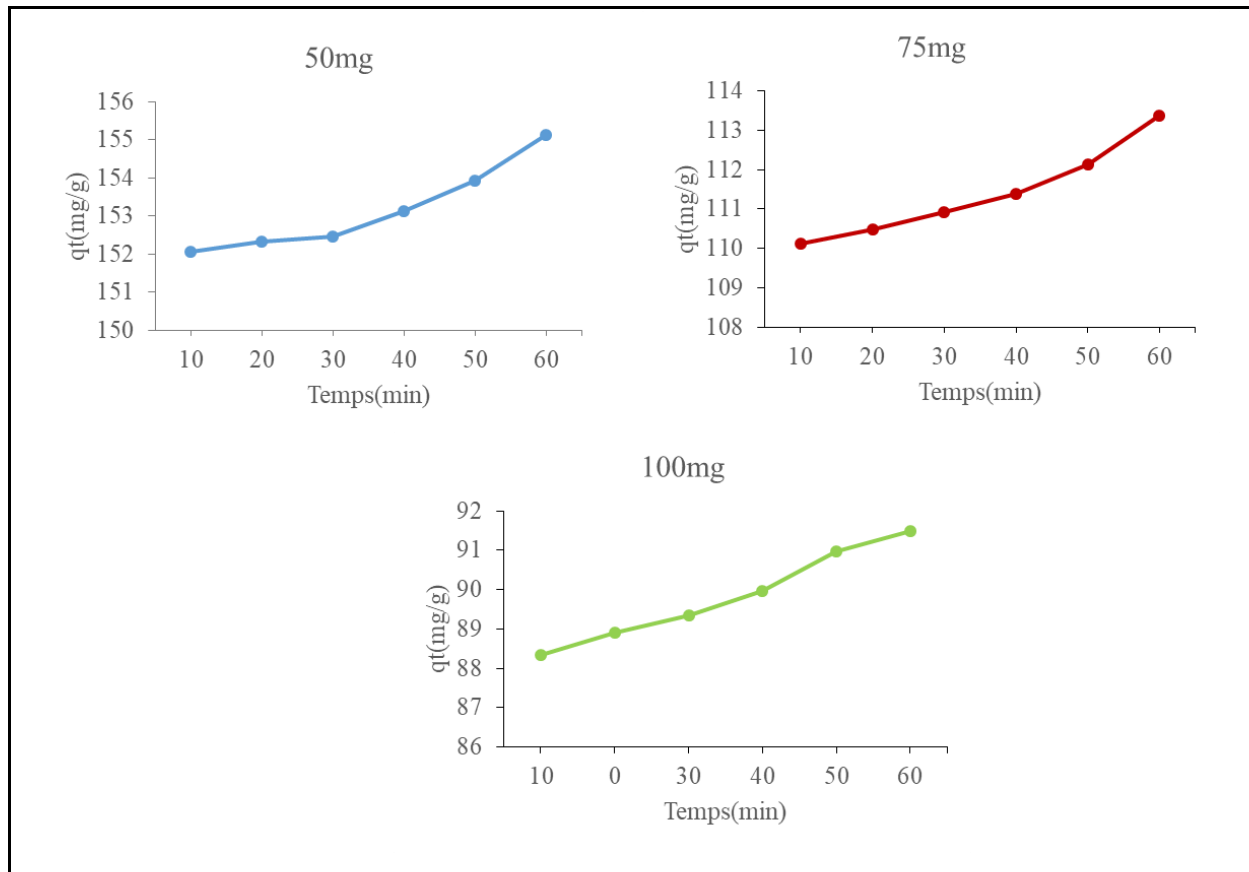


Figure III. 17: Effet du temps de contact sur l'adsorption de polluant alimentaire CI en présence de CAEPT comme adsorbant.

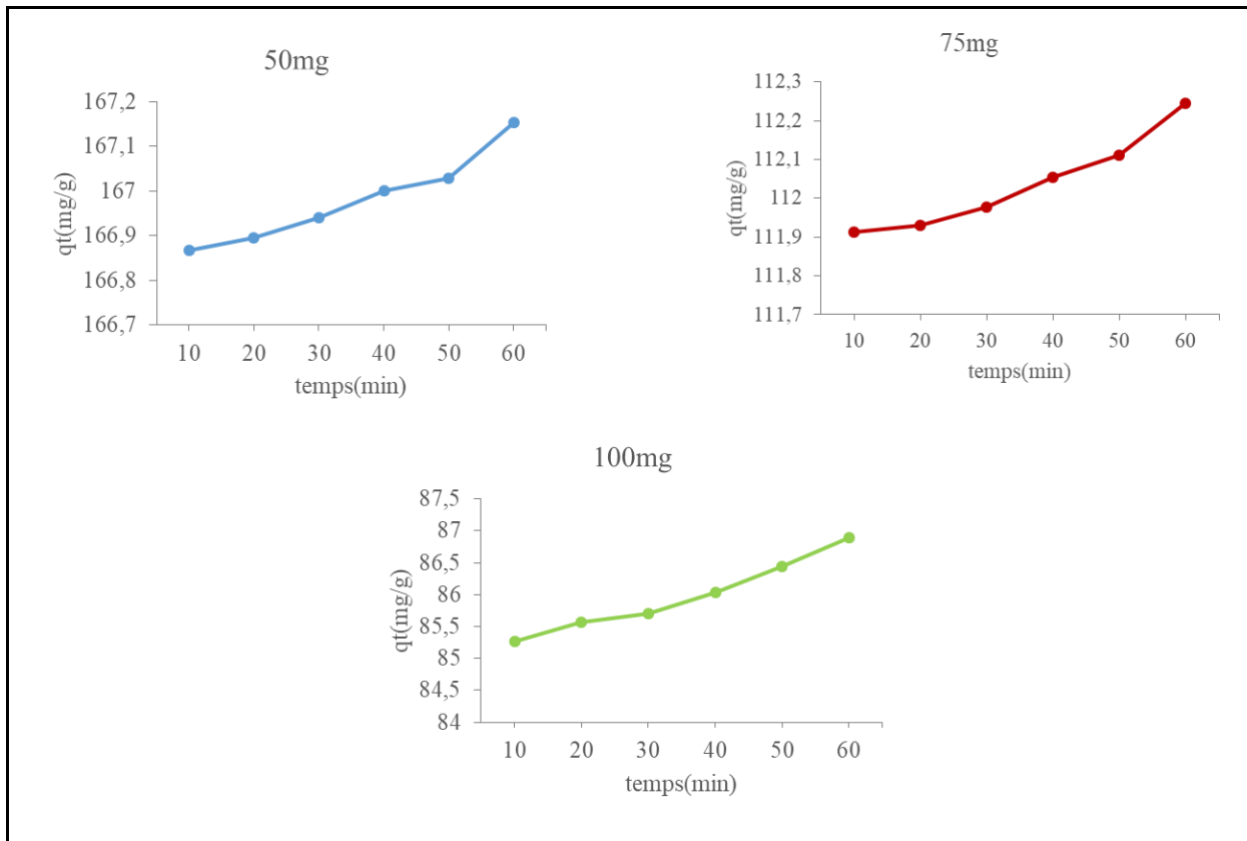


Figure III. 14 : Effet du temps de contact sur l'adsorption de polluant alimentaire CI en présence de CAEPD comme adsorbant.

Les données présentées dans les figures III.13 et III.14 démontrent clairement une relation directe entre les concentrations initiales de carmin d'indigo (CI) et la quantité de colorant adsorbée. Cette adsorption accrue est attribuée à un gradient de concentration significatif entre les solutions de colorant et la surface CAEPT et CAEPD pour différentes masses d'adsorbant. Il est intéressant de noter que la quantité adsorbée diminue à mesure que la masse d'adsorbant augmente. Plus précisément, après 60 minutes, l'utilisation de 100 mg d'adsorbant a entraîné 91 mg/g de CI adsorbé par CAEPT et 87 mg/g de CI adsorbé par CAEPD.

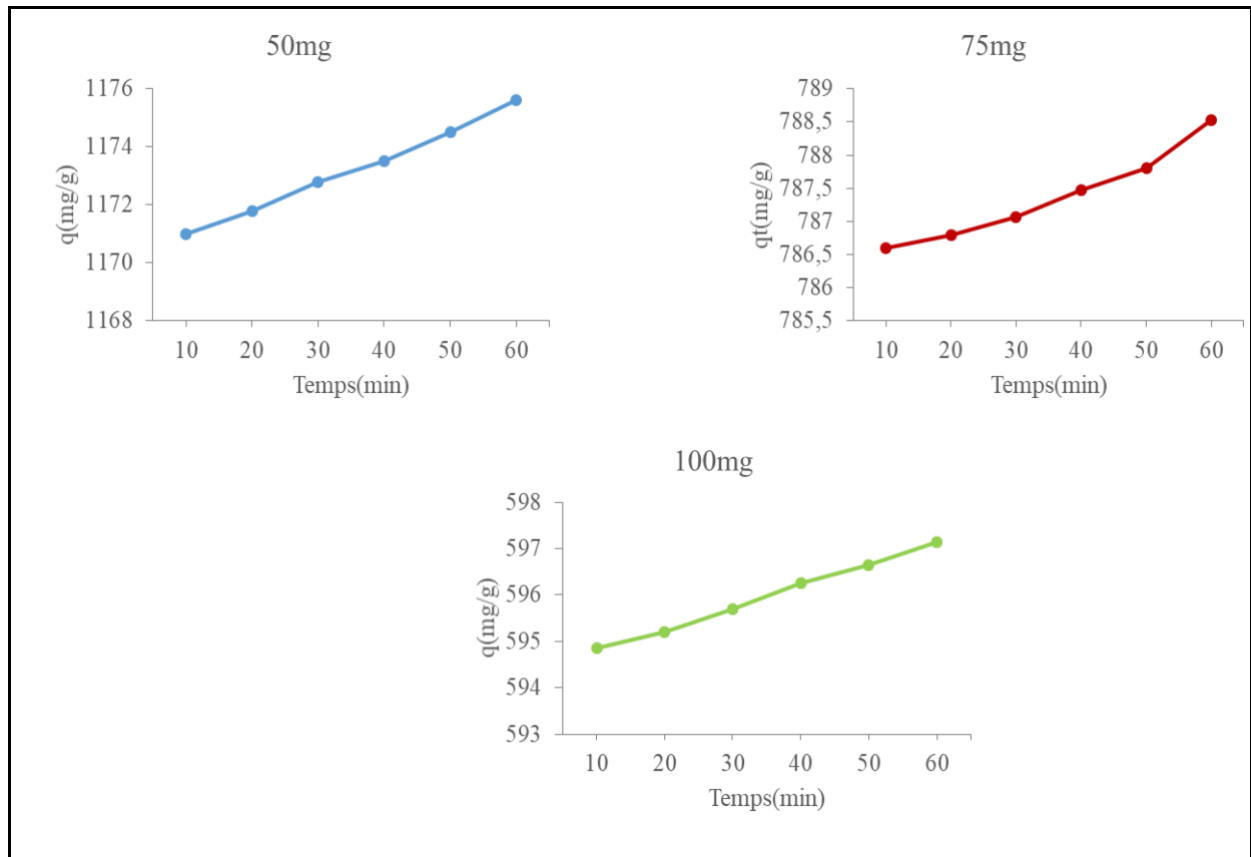


Figure III.15 : Effet du temps de contact sur l'adsorption du polluant cosmétique AV en présence de CAEPT comme adsorbant.

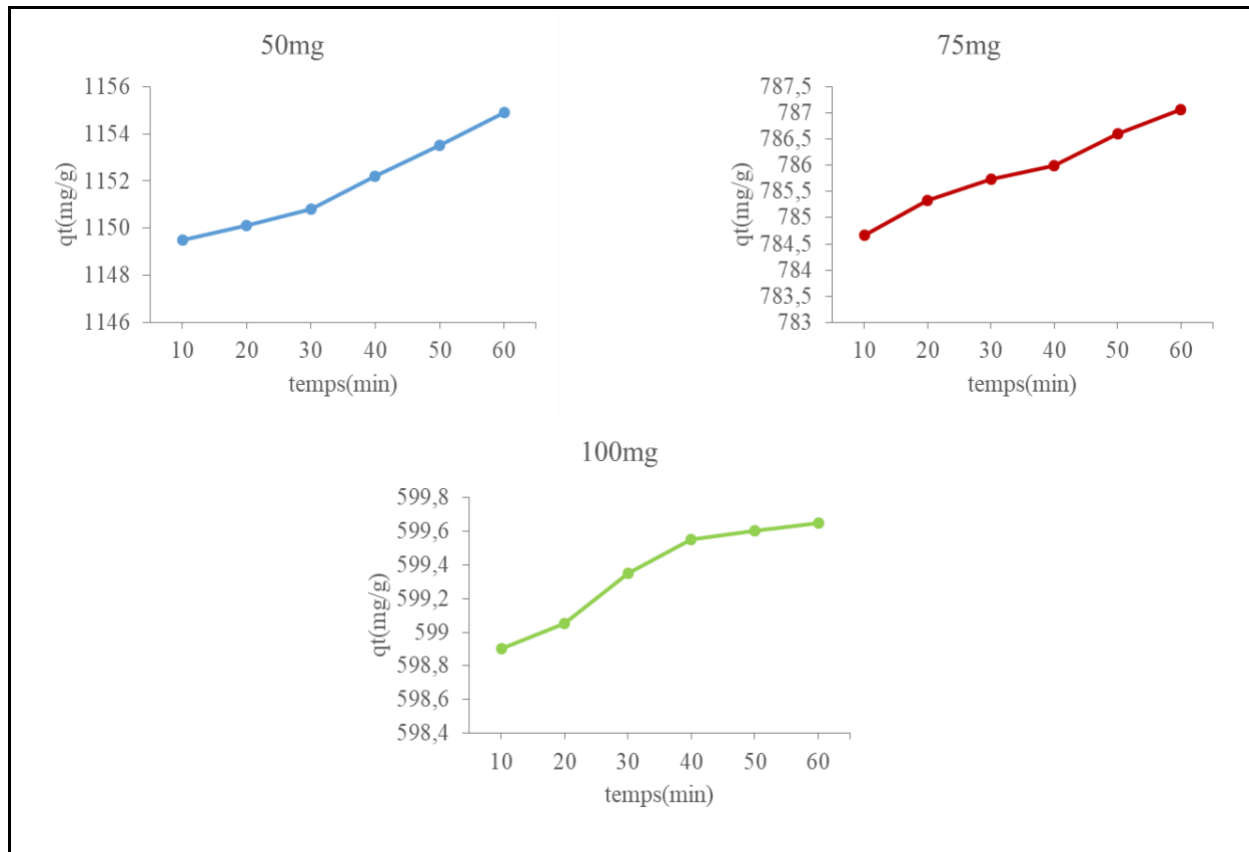


Figure III.16 : Effet du temps de contact sur l'adsorption du polluant cosmétique en présence de CAEPD comme adsorbant.

Comme le montrent les figures (III.15) et (III.16), une concentration initiale plus élevée d'acide violet (AV) est directement corrélée à une augmentation de la quantité de colorant adsorbée sur CAEPT et CAEPD. Ce phénomène peut s'expliquer par le gradient de concentration substantiel qui se forme entre la solution et la surface de l'adsorbant. Cependant, il est notable que la quantité de colorant adsorbée par gramme d'adsorbant augmente à mesure que la masse d'adsorbant augmente. Par exemple, à 60 minutes, avec une masse d'adsorbant de 100 mg, les quantités adsorbées pour AV sur CAEPT et CAEPD sont 597 et 599.50 mg/g respectivement.

III.4.3.2 Effet de masse

L'influence de la masse est évaluée en traçant les courbes illustrant le rendement R% en fonction du temps t (en minutes). Les différents résultats sont présentés dans les figures ci-après.

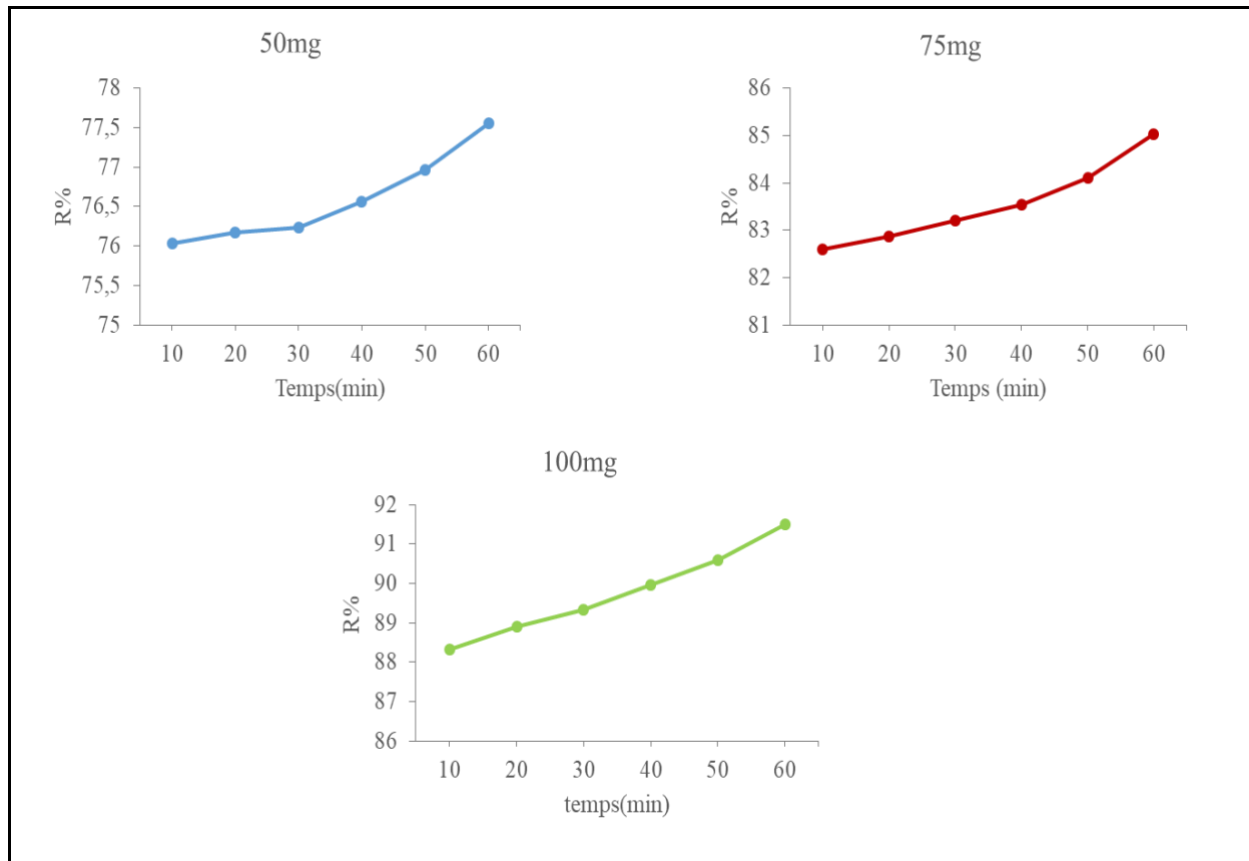


Figure III. 17 : Effet de masse sur l'adsorption du colorant CI en présence de (CAEPT) comme adsorbant.

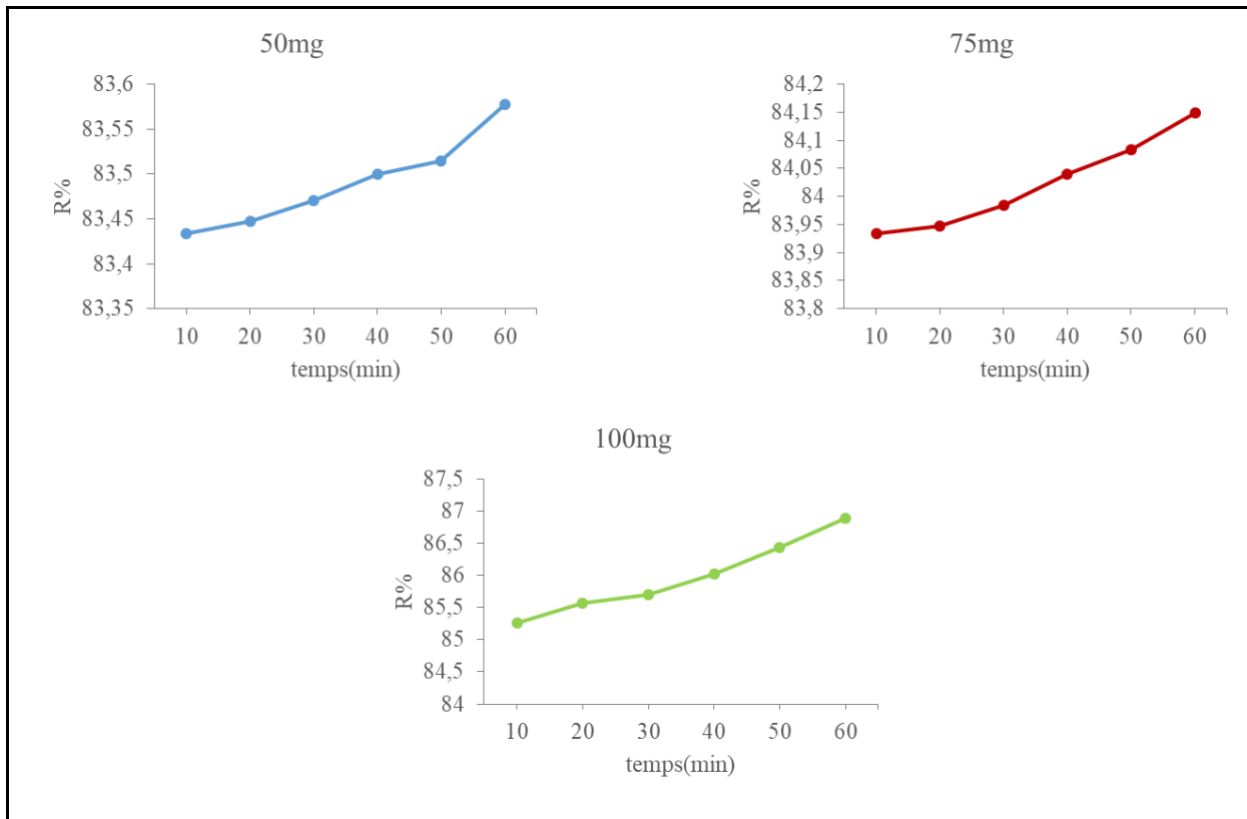


Figure III.18 :Effet de masse sur l'adsorption du colorant CI en présence de CAEPD comme adsorbant.

Les figures (III.17) et (III.18) montrent une augmentation rapide du pourcentage d'élimination de carmin d'indigo (CI) à mesure que la masse des CAEPT et CAEPD augmente. Cela est principalement dû à l'accroissement de la surface et du nombre de sites actifs du matériau [10] Les taux d'élimination ont atteint des valeurs maximales de 91 % pour CAEPT et de 87 % pour CAEPD avec une masse d'adsorbant de 100 mg.

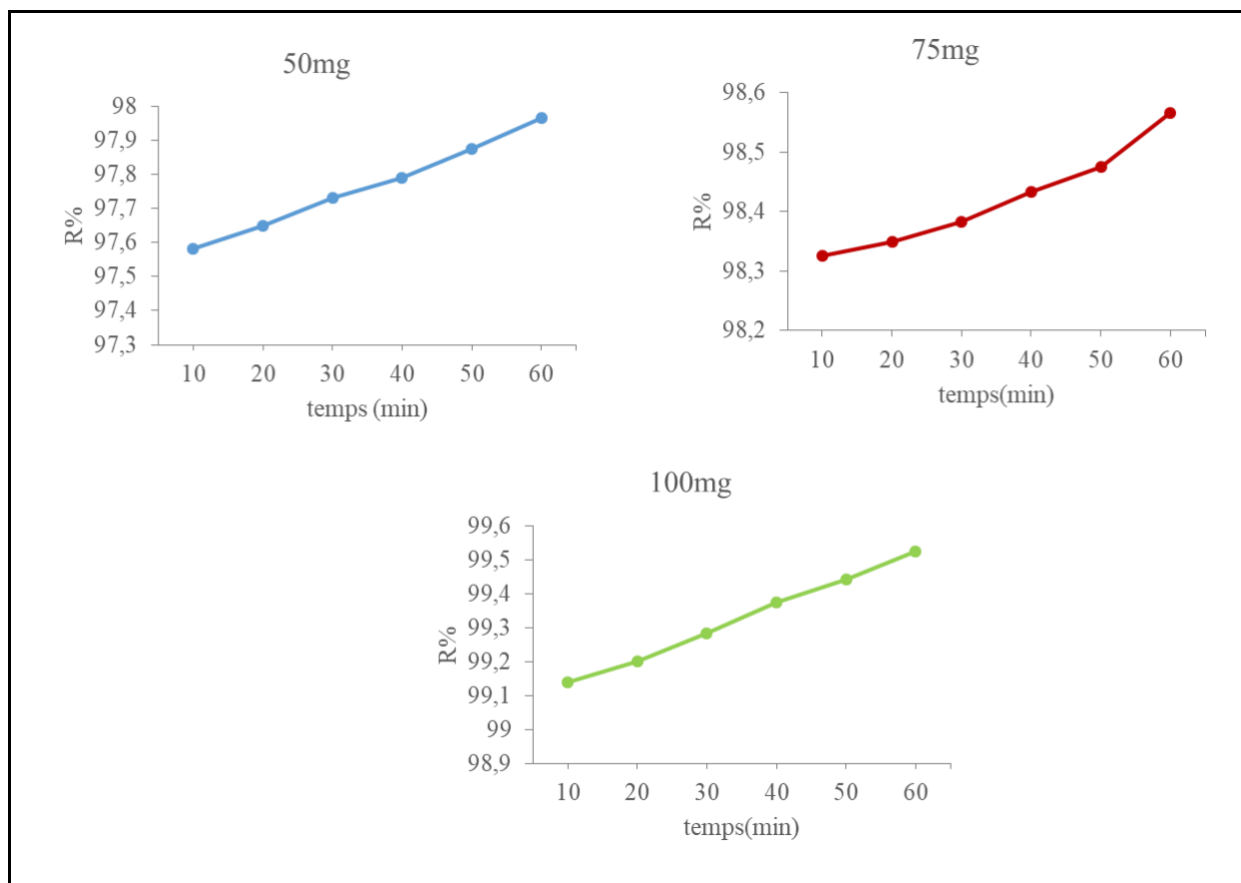


Figure III. 19 : Effet de masse sur l'adsorption du colorant AV en présence de CAEPT comme adsorbant.

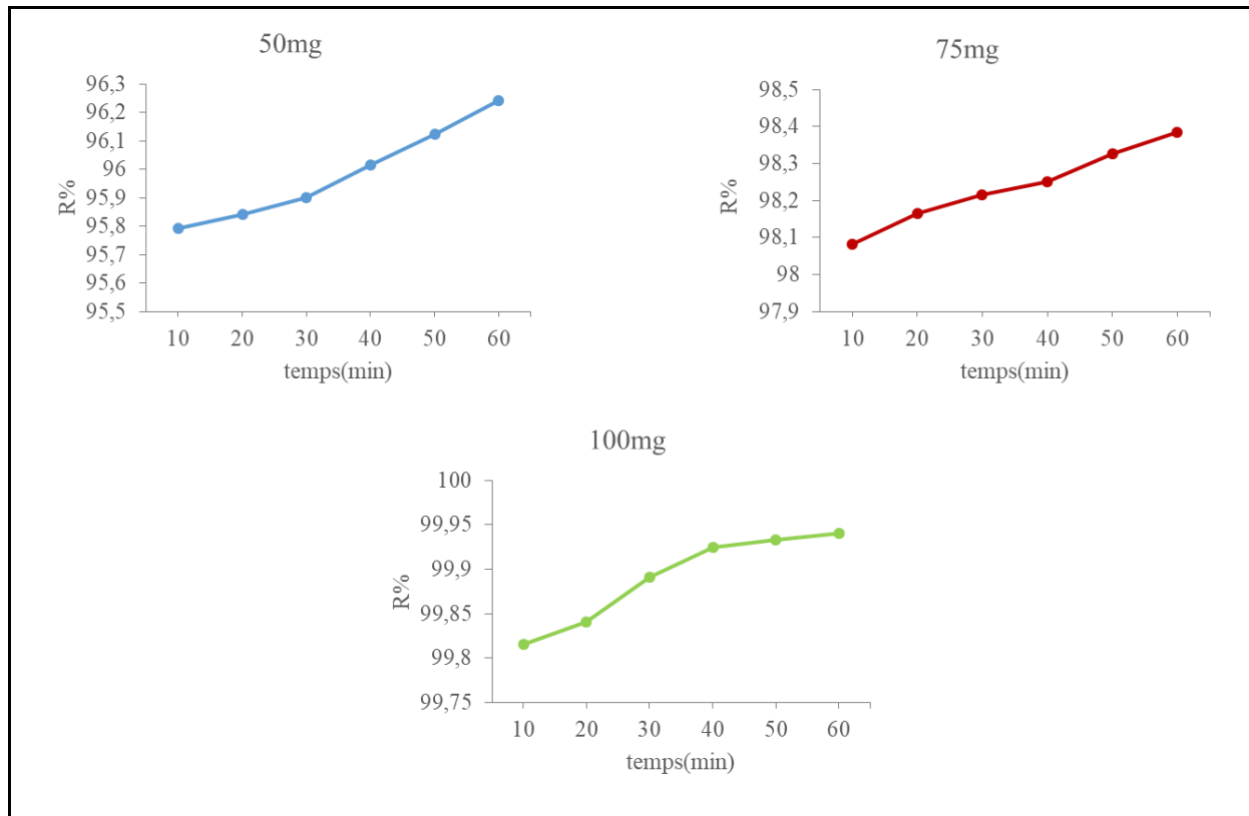


Figure III.20: Effet de masse sur l'adsorption du colorant AV en présence de CAEPD comme adsorbant.

Comme l'illustrent les figures (III.19) et (III.20), l'augmentation de la masse CAEPT et CAEPD améliore significativement l'efficacité d'élimination de l'acide violet (AV). Cette amélioration est principalement attribuable à l'augmentation correspondante de la surface et des sites d'adsorption actifs de nos matériaux. Des rendements d'élimination maximaux de 99,50 % pour CAEPT et de 99,95 % pour CAEPD ont été atteints avec 100 mg d'adsorbant.

III.4.3.3 Effet du pH

L'évolution de la quantité adsorbée des deux colorants a été analysée pour différentes valeurs de pH de la solution. Les résultats ont été obtenus en traçant les courbes figures III. (21,22, 23,24) illustrant le pH en fonction du temps (t) en minutes.

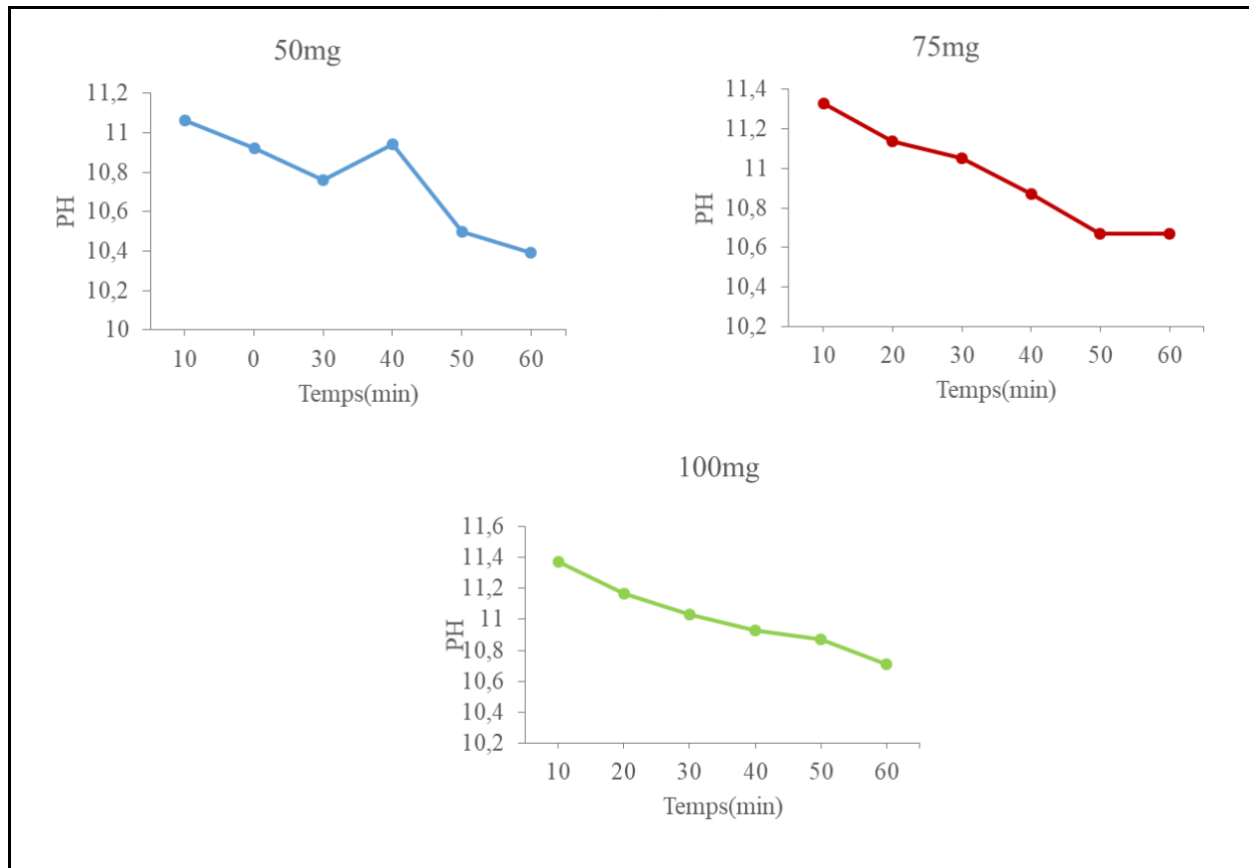


Figure III.21 : Effet du ph sur l'adsorption du polluant CI en présence de CAEPT comme adsorbant.

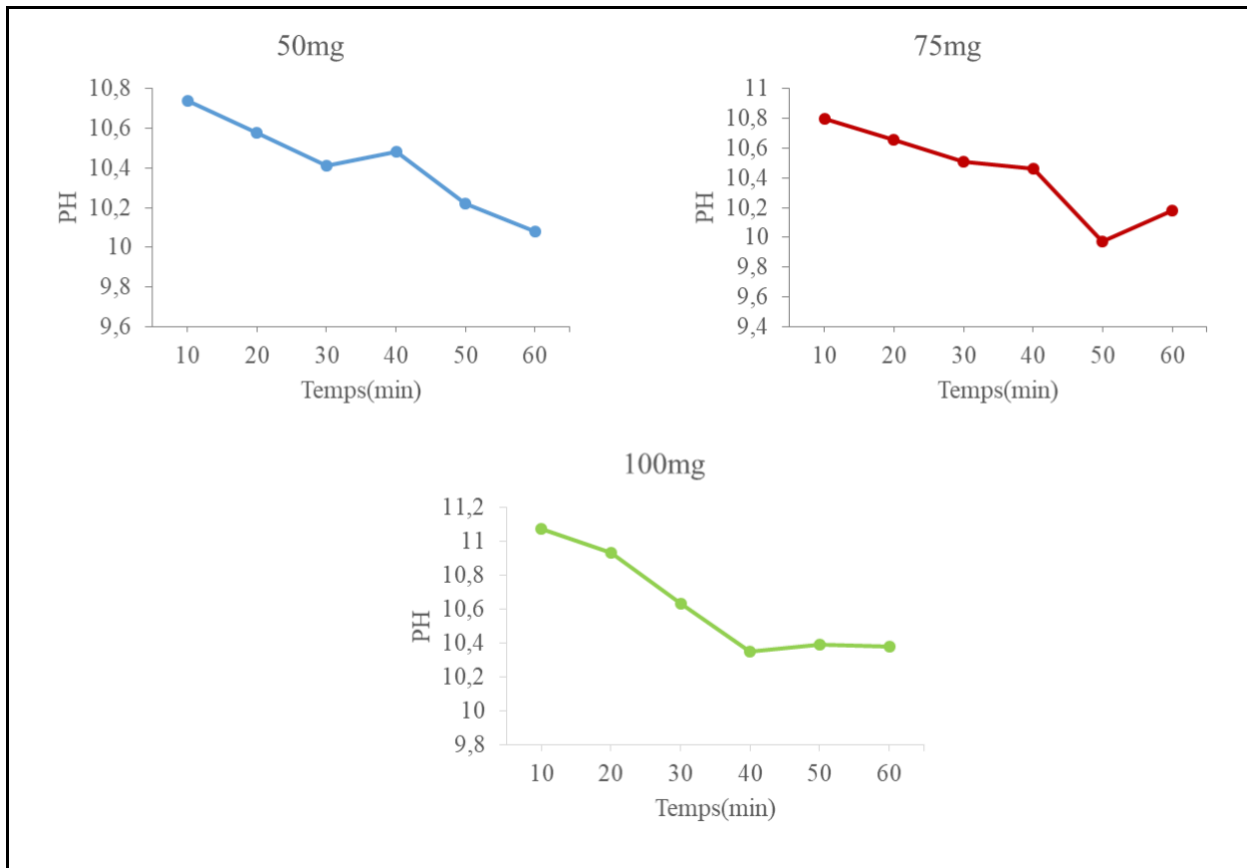


Figure III.22 : Effet du pH sur l'adsorption du polluant CI en présence de CAEPD comme adsorbant.

D'après la figure (III.21) qui représente le pH en fonction du temps du colorant carmin d'indigo. Le pH initial de la solution fille de concentration 100 mg/l est qualifié de faiblement acide ($\text{pH}=6.50$) devient fortement basique lorsque on ajoute d'adsorbant CAEPT, puis commence à diminuer pour devenir modérément basique ($\text{pH}\approx 10.4$ et 10.6) avec le temps, la figure (III.22) montre la variation du pH en fonction du temps du polluant CI à $t=0$ le pH est faiblement acide quand on ajoute l'adsorbant CAEPD, la solution est devenue fortement basique. On observe que plus la masse augmente, plus la solution devient basique.

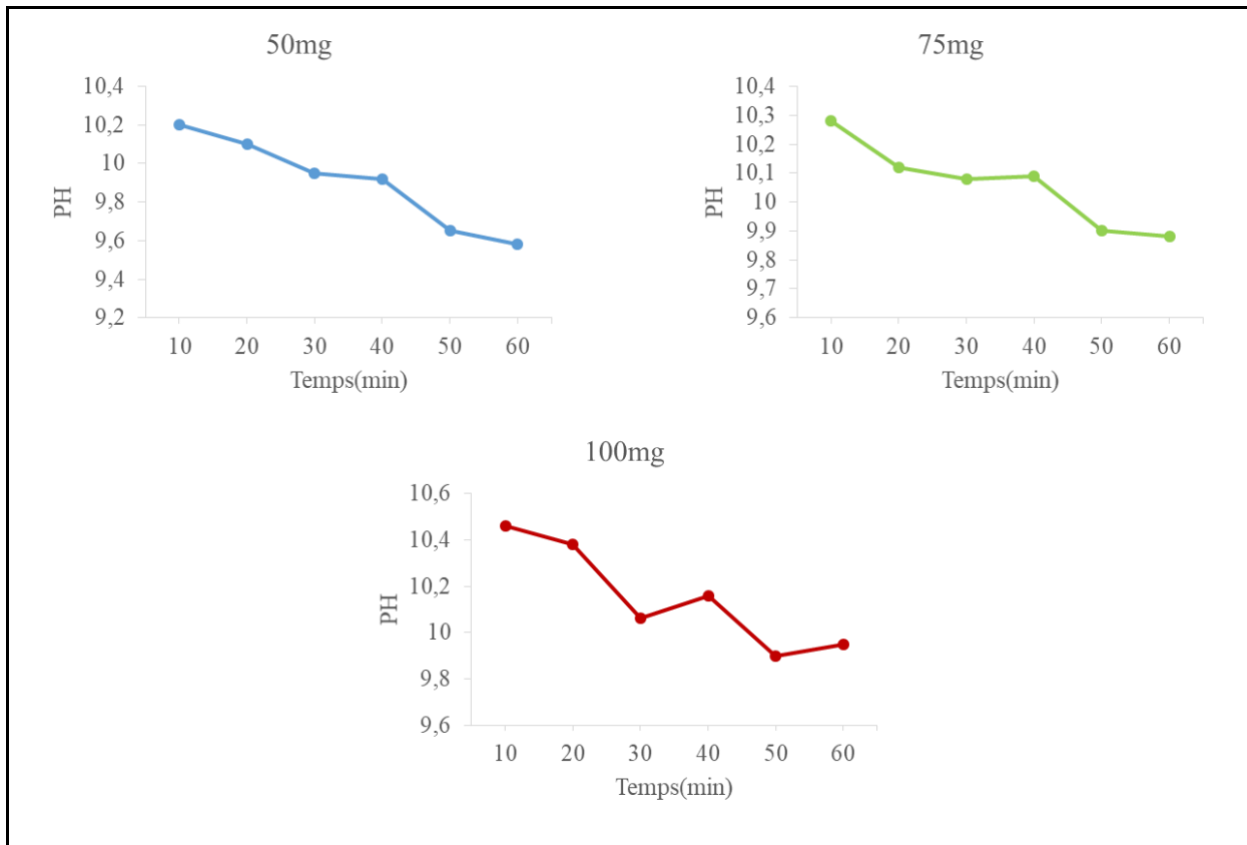


Figure III.23 :Effet du pH sur l'adsorption du polluant AV en présence de CAEPT comme adsorbant.

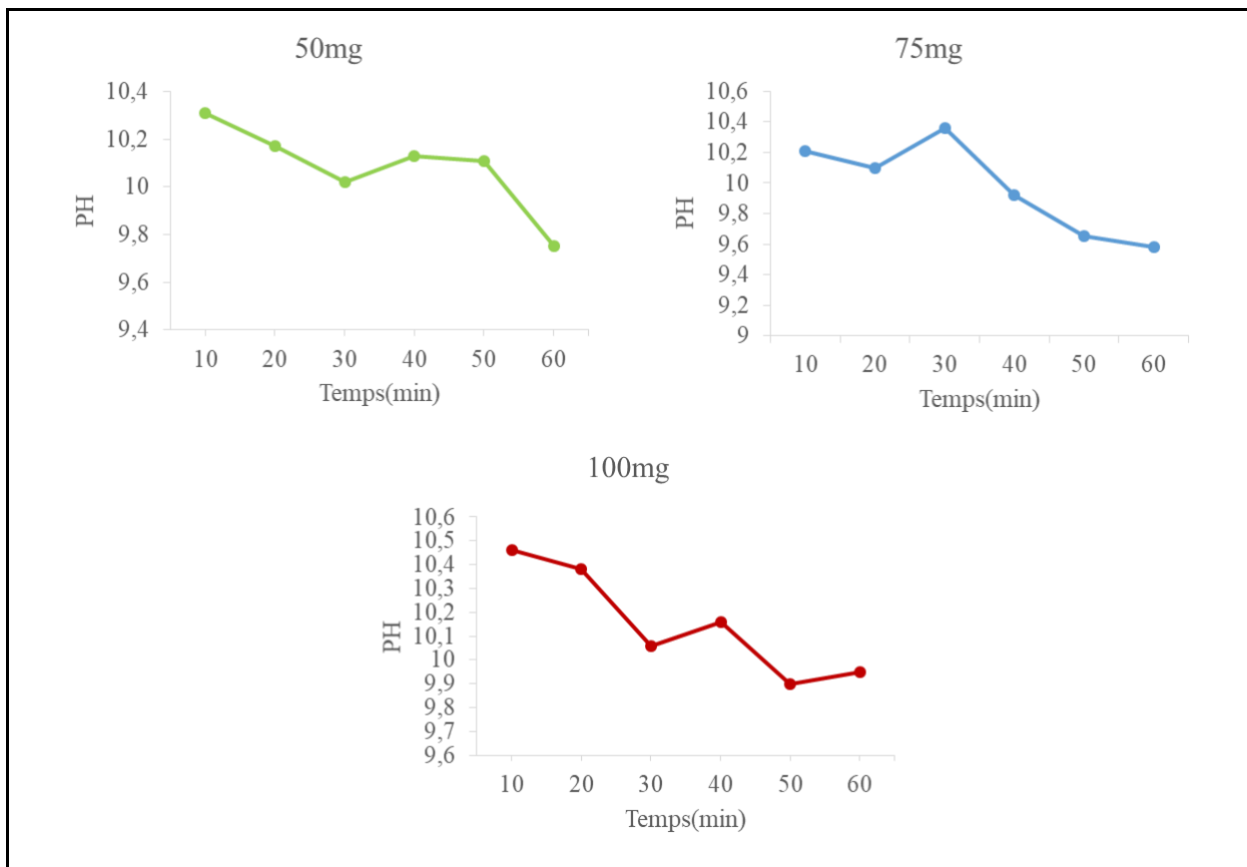


Figure III.24 : Effet du pH sur l'adsorption du polluant AV en présence de CAEPD comme adsorbant.

D'après les figures(III.23) et (III.24) qui représente le pH en fonction du temps du colorant acide violet (AV) avec les deux adsorbants CAEPT et CAEPD. Le ph initial des solutions filles de concentration 600 mg/l est qualifié de faiblement acide (pH=6.38) devient modérément basique lorsque on ajoute les adsorbant, puis commence à diminuer pour devenir faiblement basique (pH≈9.5- 9.9).

III .4.4 Modélisation de la cinétique d'adsorption

Les isothermes d'adsorption sont utilisées pour analyser le comportement à l'équilibre des deux colorants et pour obtenir des informations sur les mécanismes impliqués dans le processus d'adsorption. Plusieurs modèles sont proposés dans la littérature pour décrire la cinétique de ce phénomène, notamment les modèles cinétiques du premier et du second ordre.

III .4.4.1 Modèle cinétique de premier ordre

La modélisation de la cinétique d'adsorption des deux polluants carmin d'indigo (CI) et l'acide violet (AV) en présence les deux adsorbants CAEPT et CAEPD à l'aide de l'équation du pseudo-premier ordre est illustrée dans les figures (III.25), (III.26), (III.27) et (III.28).

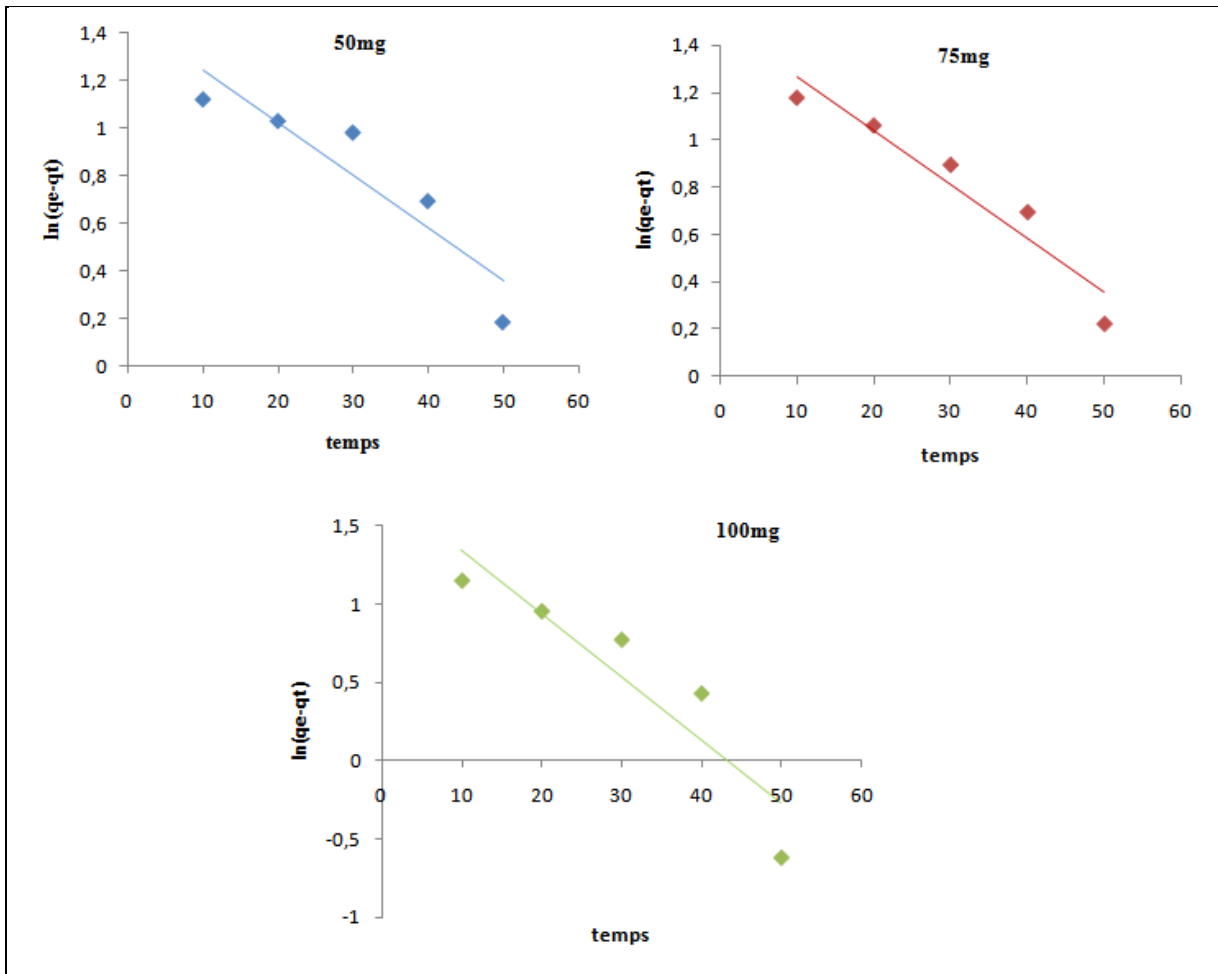


Figure III. 18: Modélisation de la cinétique d’adsorption par l’équation pseudo-première ordre du colorant CI en en présence de CAEPT comme adsorbant.

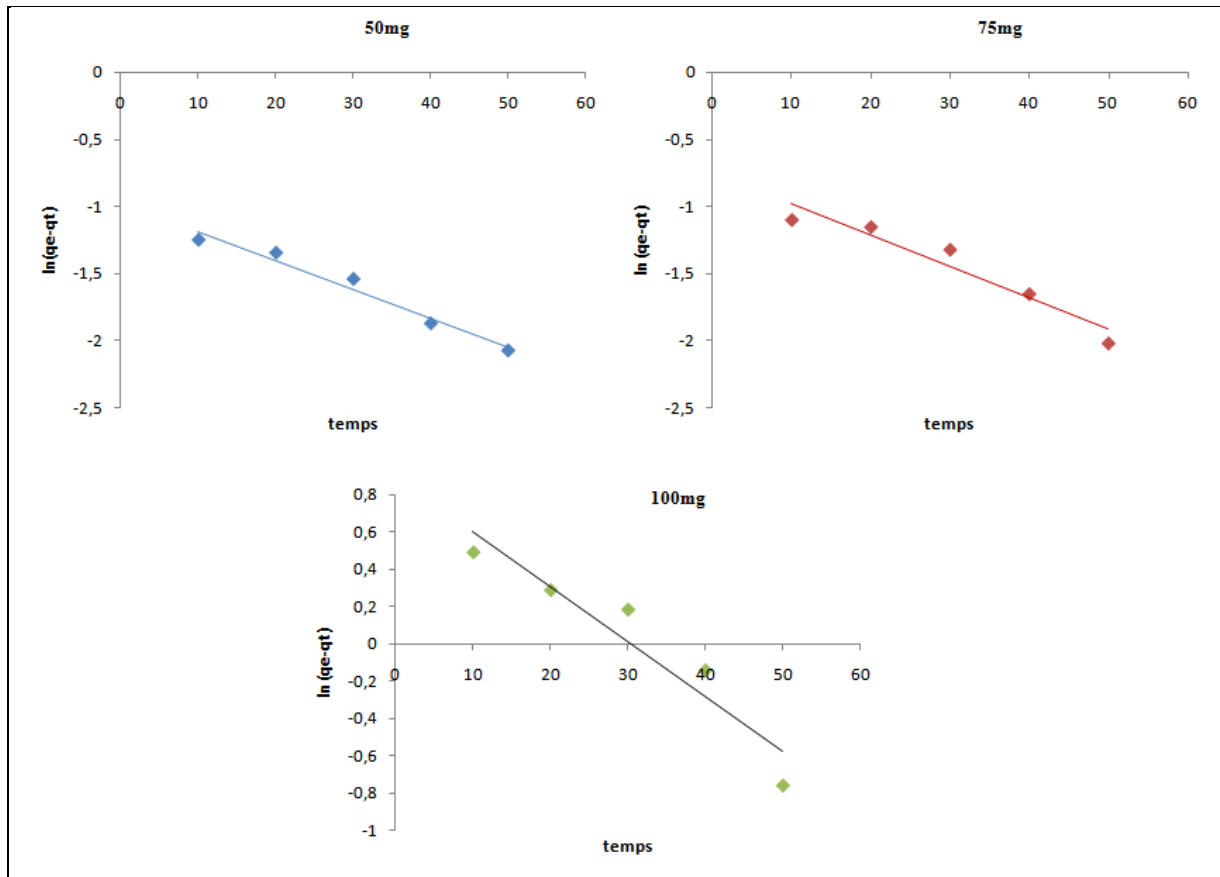


Figure III.26: Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-premier ordre du colorant CI en présence de CAEPD comme adsorbant.

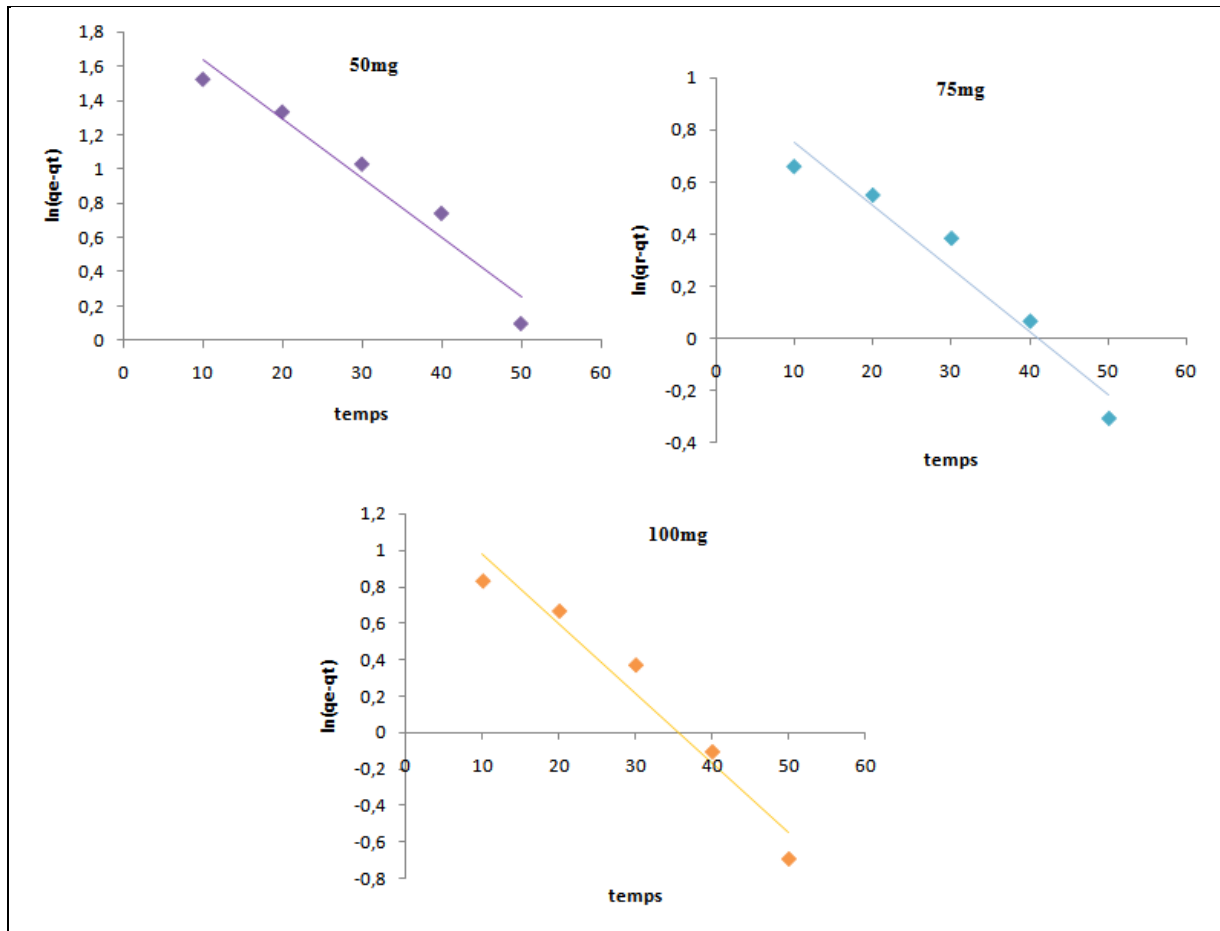


Figure III. 19: Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-première ordre de l'adsorbat AV en présence de CAEPT comme adsorbant.

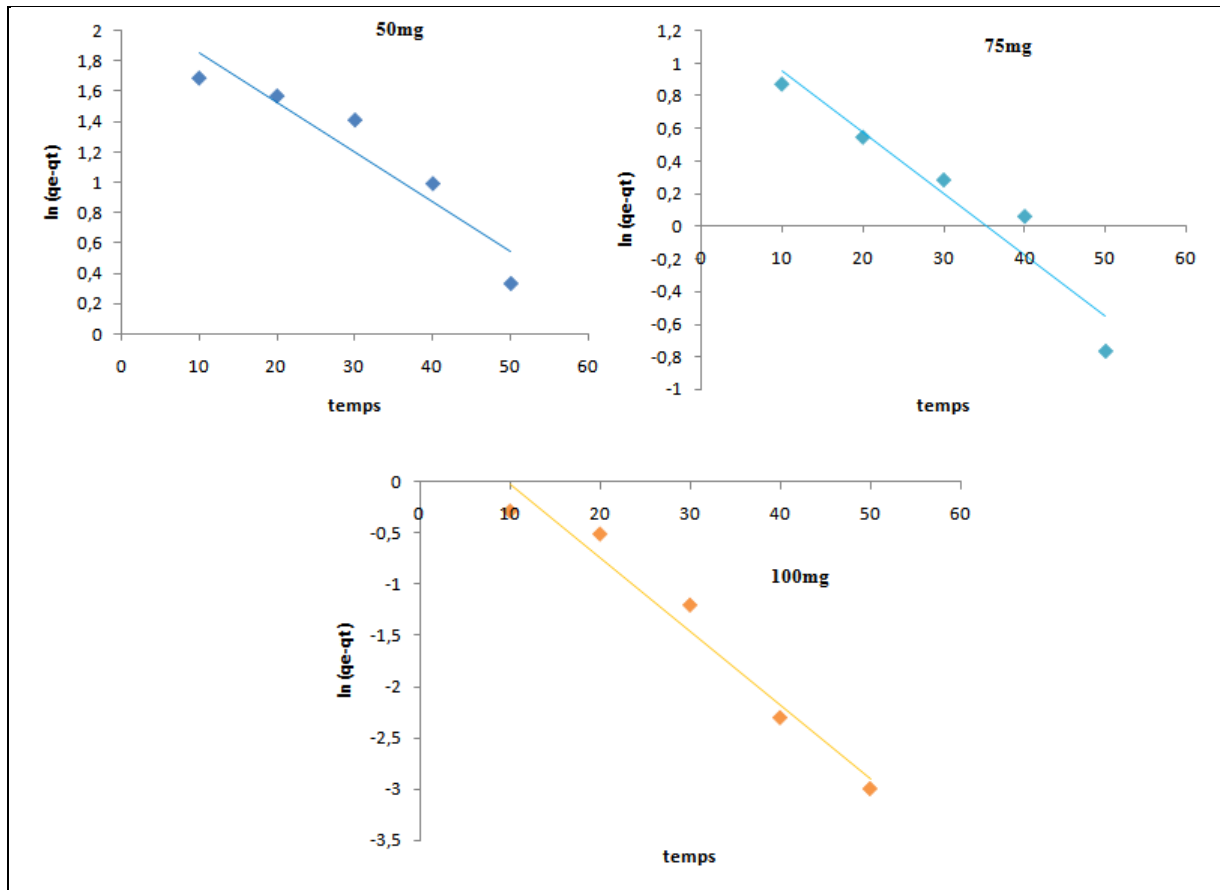


Figure III.28 : Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo-première ordre de l'adsorbat AV en présence de CAEPD comme adsorbant.

III .4.4.2 Modèle de pseudo-second ordre

La modélisation de la cinétique d'adsorption des deux polluants carmin d'indigo (CI) et l'acide violet (AV) par CAEPT et CAEPD, basée sur le modèle de pseudo-second ordre, est illustrée dans les figures (III.29) (III.30). (III.31) et (III.32)

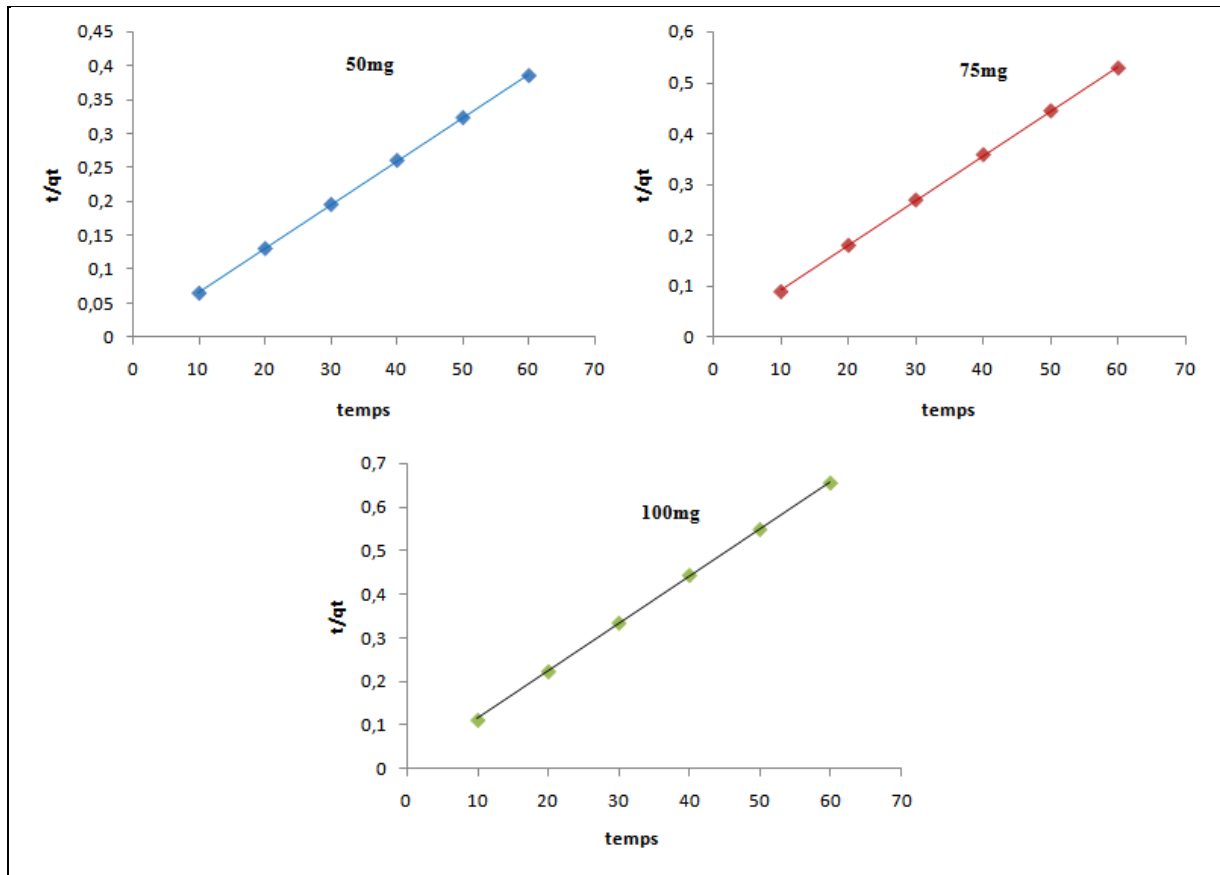


Figure III.29 : Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- second ordre du colorant CI en présence de CAEPT comme adsorbant.

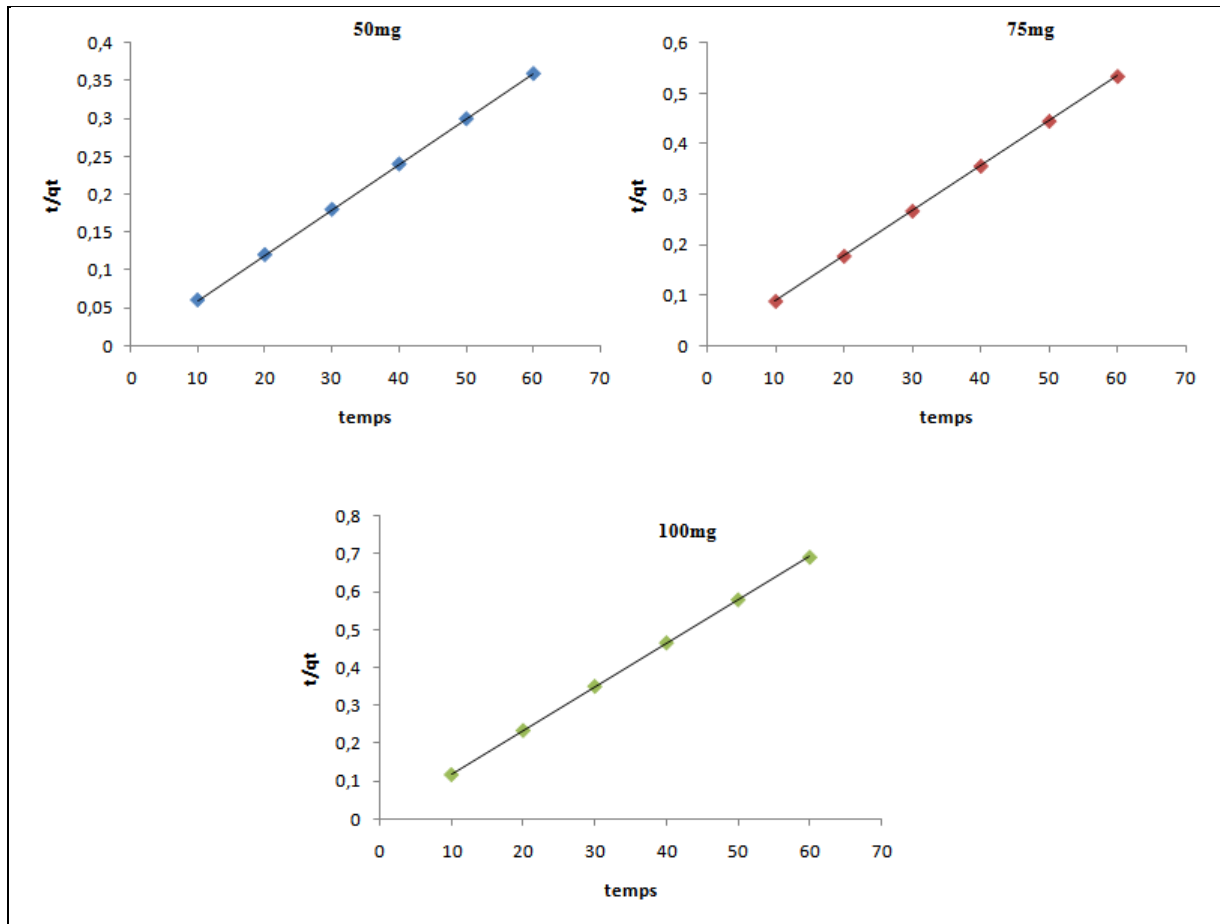


Figure III.30 : Modélisation de la cinétique d'adsorption par l'équation pseudo- second ordre du colorant CI en présence de CAEPD comme adsorbant.

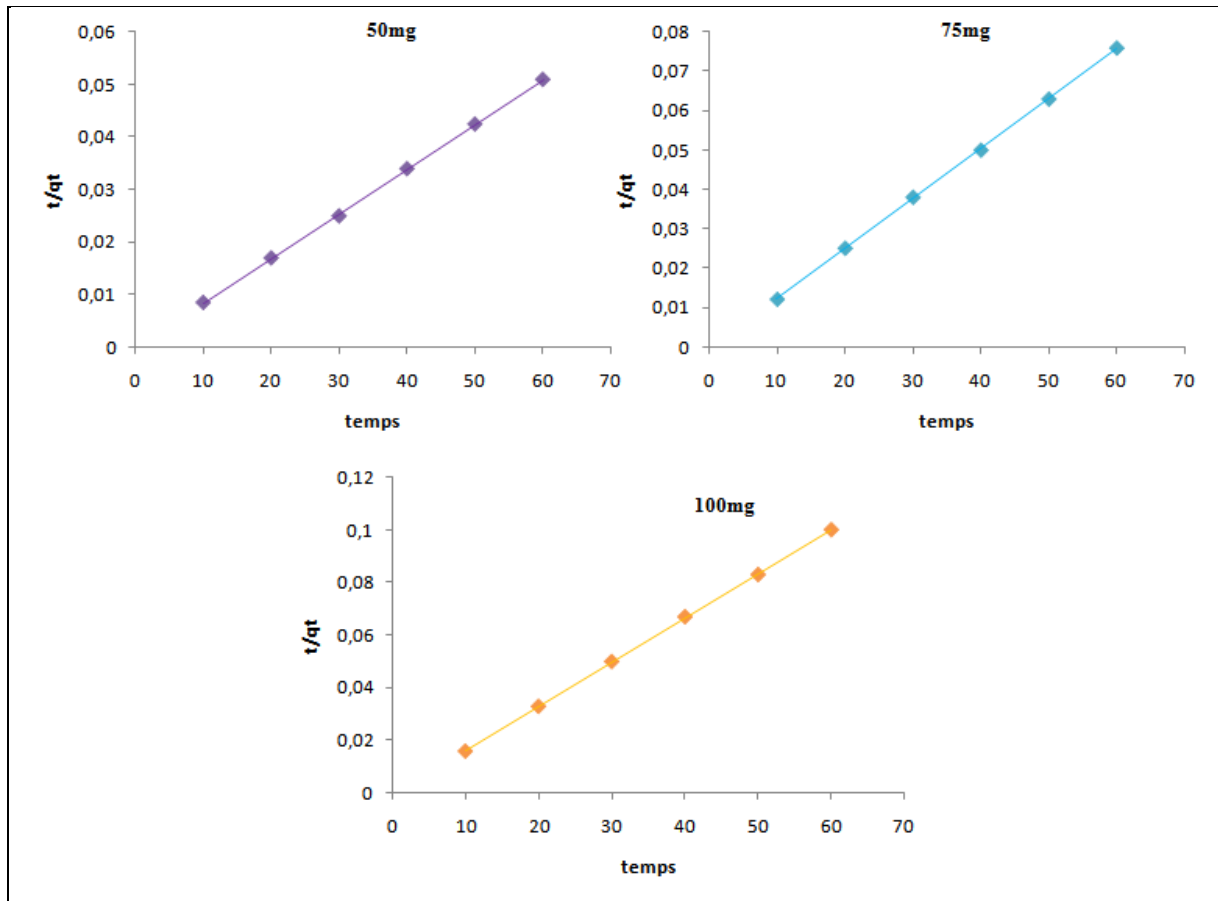


Figure III.31 : Modélisation de la cinétique d’adsorption par l’équation pseudo- second ordre de l’adsorbat AV en présence de CAEPT comme adsorbant.

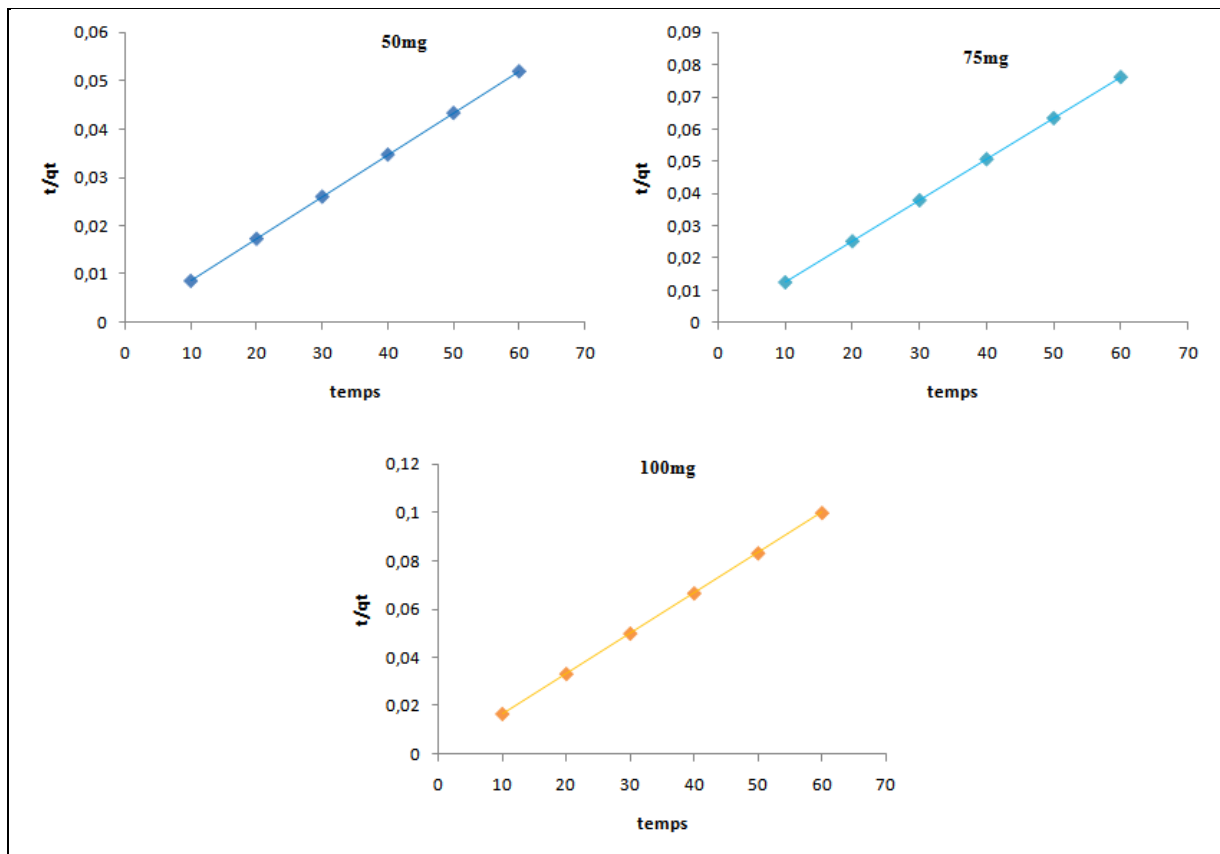


Figure III. 32 : Modélisation de la cinétique d’adsorption par l’équation pseudo- second ordre de l’adsorbat AV en présence de CAEPD comme adsorbant.

Les paramètres des deux modèles, ainsi que le coefficient de corrélation, sont regroupés dans les tableaux (III.17), (III.18), (III.19) et (III.20).

Tableau III.17 : Valeurs des modèles cinétiques d’adsorption du CI par en présence de CAEPT comme adsorbant.

Colorant	Masse d'adsorbant (mg)	Pseudo-premier ordre				Pseudo-second ordre		
		q_e (exp) Mg/g	q_e (cal) Mg/g	k_1 (min ⁻¹)	R ²	q_e (cal) Mg/g	k_1	R ²
CI	50	155.14	4.336	0.022	0.843	164.66	0.134	0.999
	75	113.386	4.459	0.02	0.919	125	0.178	0.999
	100	91.50	5.783	0.04	0.845	100	0.223	0.999

Tableau III.18 : Valeurs des modèles cinétique d'adsorption du CI en présence de CAEPD comme adsorbant.

Colorant	Masse d'adsorbant (mg)	Pseudo-premier ordre				Pseudo-second ordre		
		$q_e(\text{exp Mg/g})$	$q_e(\text{cal Mg/g})$	$k_l(\text{min}^{-1})$	R^2	$q_e(\text{cal Mg/g})$	k_l	R^2
CI	50	167.154	0.380	0.021	0.969	166.666	$1.897 \cdot 10^{-1}$	0.999
	75	112.245	0.473	0.023	0.922	111.111	$2.846 \cdot 10^{-1}$	0.999
	100	86.9	2.440	0.029	0.900	83.333	$2.190 \cdot 10^{-1}$	0.999

Le modèle de pseudo-second ordre est le plus pertinent pour déterminer la vitesse d'adsorption du carmin d'indigo (CI) sur deux adsorbants CAEPT et CAEPD. Cela est confirmé par une bonne corrélation de ce modèle avec un coefficient de corrélation bien établi R^2 (0.999, 0.999, 0.999) en présence les deux adsorbants et par le fait que la valeur de la capacité d'adsorption à l'équilibre (q_e) calculée par ce modèle est très proche de la valeur expérimentale q_e (164.66, 125 et 100 mg/l) et (166.666, 111.111 et 83.333 mg/l) en utilisant le CAEPT et CAEPD respectivement. Ces résultats indiquent clairement que la cinétique d'adsorption du CI sur CAEPT et CAEPD suit un mécanisme de pseudo-second ordre.

Tableau III.19 : valeurs des modèles cinétique d'adsorption de l'AV en présence de CAEPT comme adsorbant.

Colorant	Masse d'adsorbant (mg)	Pseudo-premier ordre				Pseudo-second ordre		
		$q_e(\text{expo Mg/g})$	$q_e(\text{cal Mg/g})$	$k_l(\text{min}^{-1})$	R^2	$q_e(\text{cal Mg/g})$	k_l	R^2
AV	50	1177.2	6.699	0.033	0.940	1111.11	$2.846 \cdot 10^{-2}$	0.999

	75	790.533	4.903	0.030	0.982	769.23	4.11 10 ⁻²	0.999
	100	597.6	3.803	0.038	0.979	588.235	4.714 10 ⁻²	0.999

Tableauiii.20 : Valeurs des modèles cinétiques d'adsorption de l'AV en présence de CAEPD comme adsorbant.

Colorant	Masse d'adsorbant (mg)	Pseudo-premier ordre				Pseudo-second ordre		
		<i>q_e</i> (exp Mg/g)	<i>q_e</i> (cal) Mg/g	<i>k_t</i> (min ⁻¹)	R ²	<i>q_e</i> (cal) Mg/g	<i>k_t</i>	R ²
AV	50	1154.9	8.855	0.032	0.889	1000	2.236 10 ⁻¹	0.999
	75	787.066	3.784	0.037	0.924	769.23	9.192 10 ⁻²	0.999
	100	599.65	2.017	0.072	0.960	588.235	6.425 10 ⁻¹	0.999

Le modèle de pseudo-second ordre est le plus approprié pour déterminer la vitesse d'adsorption d'acide violet (AV) sur les deux adsorbants CAEPT et CAEPD. Ceci est étayé par les coefficients de corrélation élevés R² (0.999, 0.999, 0.999) pour les adsorbants et par la similitude frappante entre la valeur de la capacité d'adsorption à l'équilibre (*q_e*) calculée par ce modèle et celle obtenue expérimentalement. Ces résultats confirment que la cinétique d'adsorption de l'AV sur CAEPT et CAEPD respectivement est correctement décrite par le modèle de pseudo-second ordre.

III .4.5 Modélisation des équilibres des isothermes l'adsorption

Les modèles d'isothermes d'adsorption les plus couramment utilisés pour représenter les équilibres sont ceux de Langmuir, Freundlich et Temkin. Cette modélisation vise à fournir une description précise des données expérimentales des isothermes d'adsorption à l'aide de ces modèles.

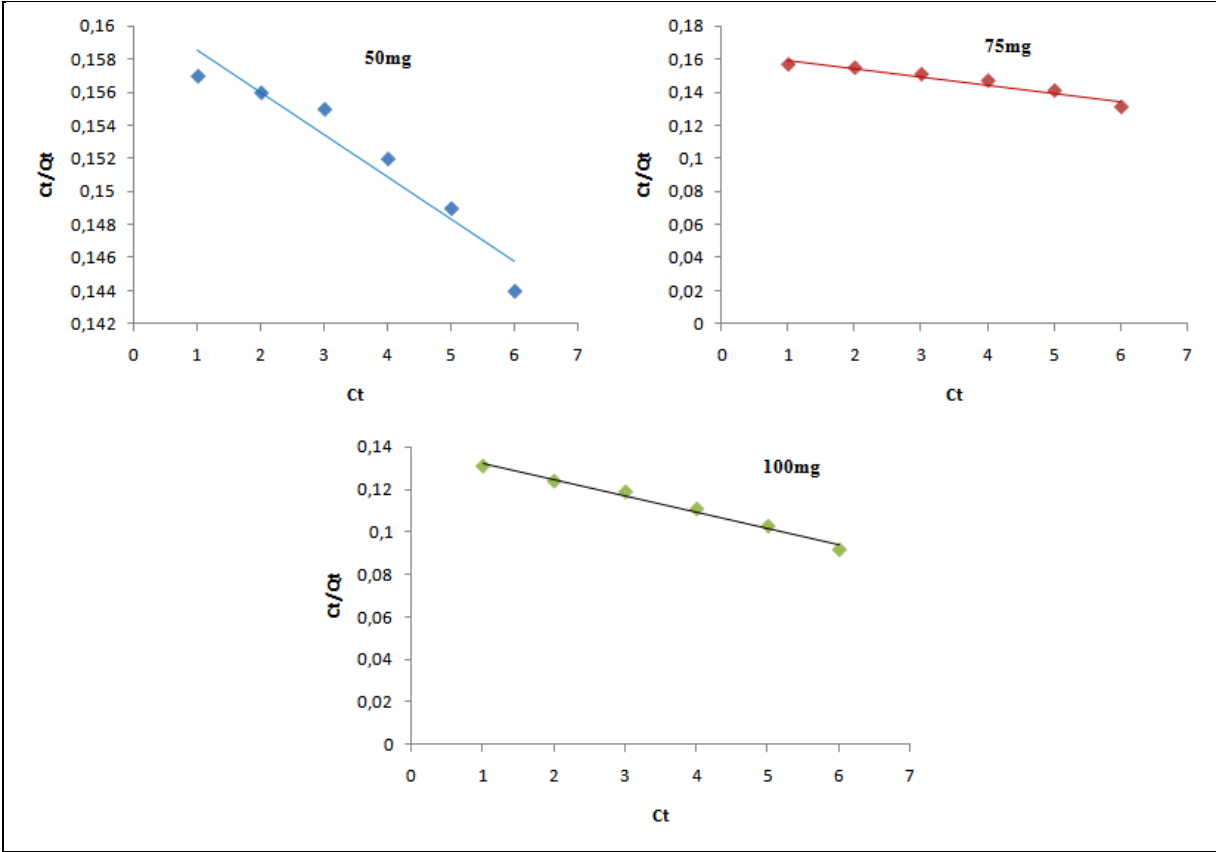


Figure III. 33 : Modélisation d’isotherme d’adsorption par l’équation de Langmuir du polluant CI en présence de CAEPT comme adsorbant.

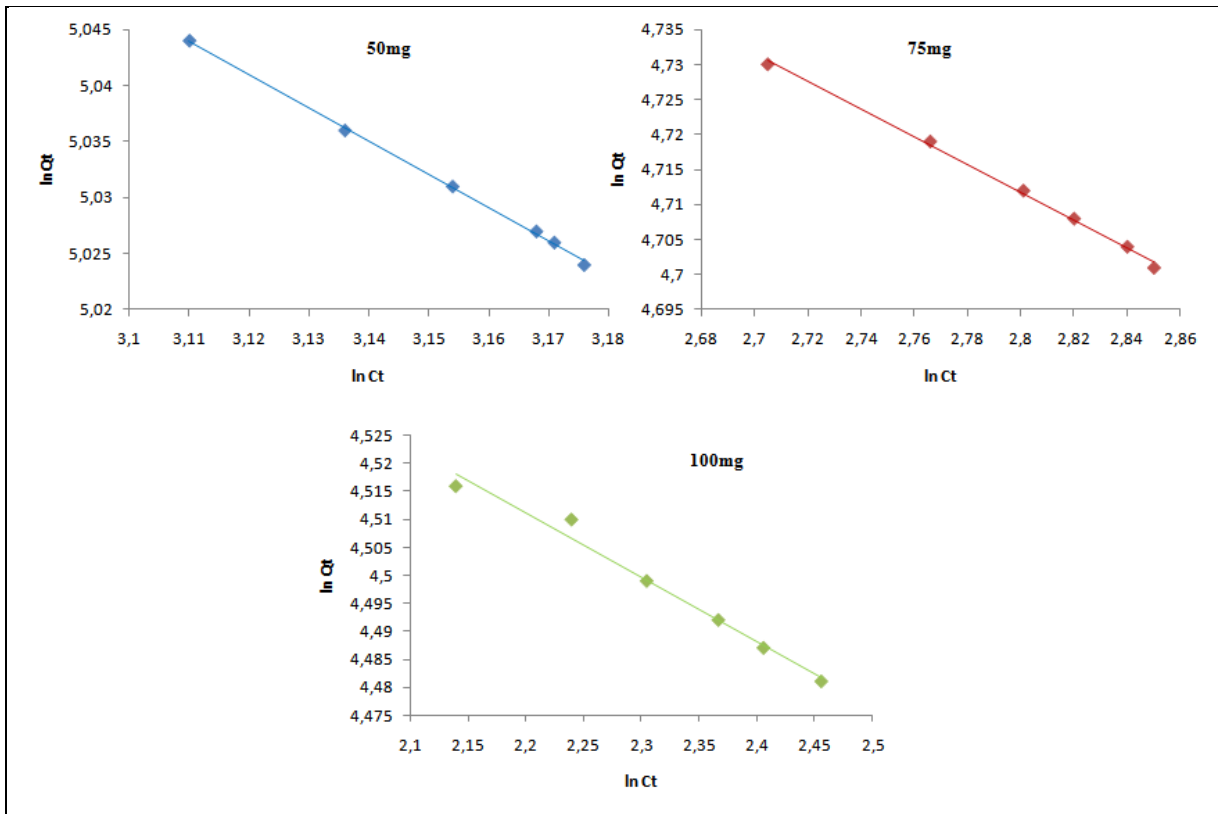


Figure III.34 : Modélisation de l’isotherme d’adsorption par l’équation de Freundlich du polluant CI en présence de CAEPT comme adsorbant.

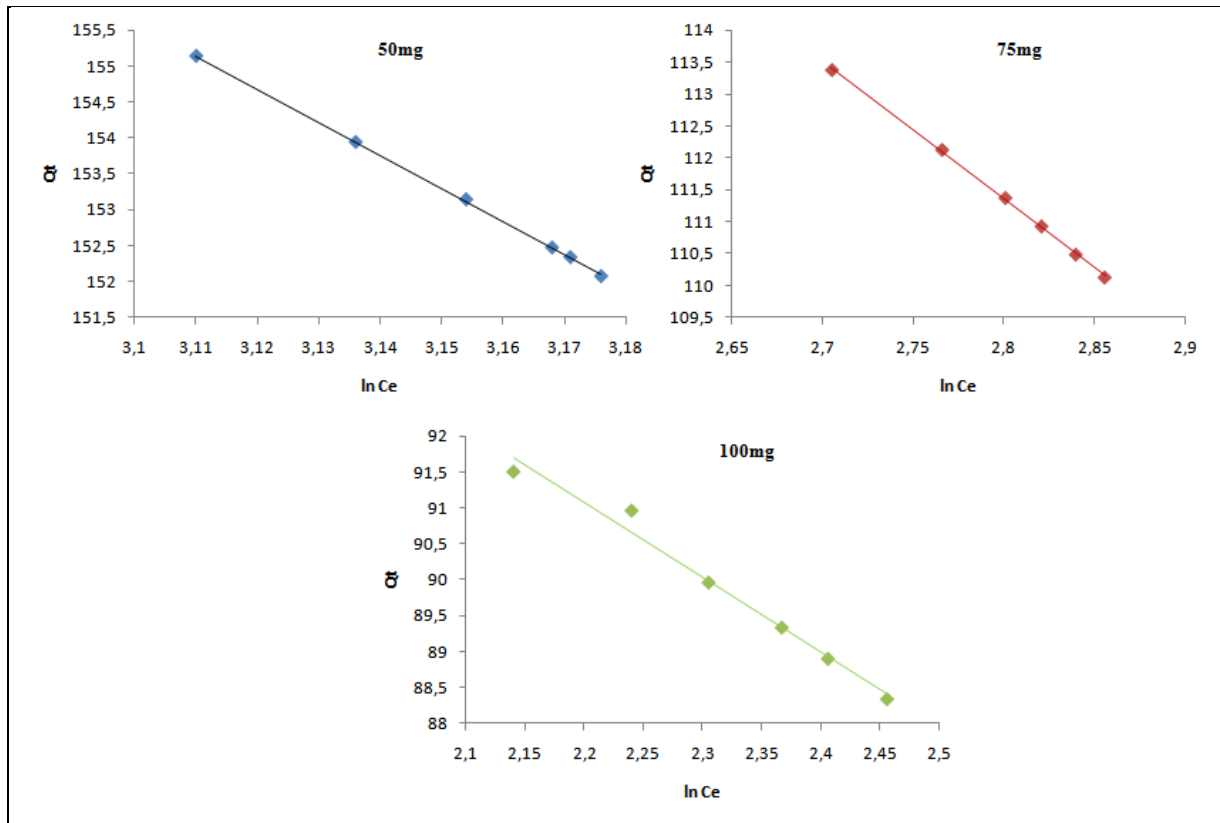


Figure III.35 : Modélisation de l’isotherme d’adsorption par l’équation de Temkin du polluant CI en présence de CAEPT comme adsorbant.

Tableau III.21 : Constante Langmuir, Freundlich et Temkin du colorant CI

Masse D'adsorbant mg	Paramètres de Langmuir				Paramètres de Freundlich			Paramètres de Temkin		
	Qmax	k_l	R ²	R_l	k_f	1/n	R ²	B (kJ/mol)	k_t	R ²
50	500	1.242 10 ⁻³	0.921	0.987	389.94	0.296	0.999	-46.25	1.56 10 ⁻³	0.999
75	200	3.04 10 ⁻¹	0.937	0.247	193.44	0.197	0.997	-21.56	3.478 10 ⁻⁴	0.999
100	142.857	5.03 10 ⁻¹	0.985	0.165	117.331	0.115	0.981	-10.41	1.77 10 ⁻⁵	0.981

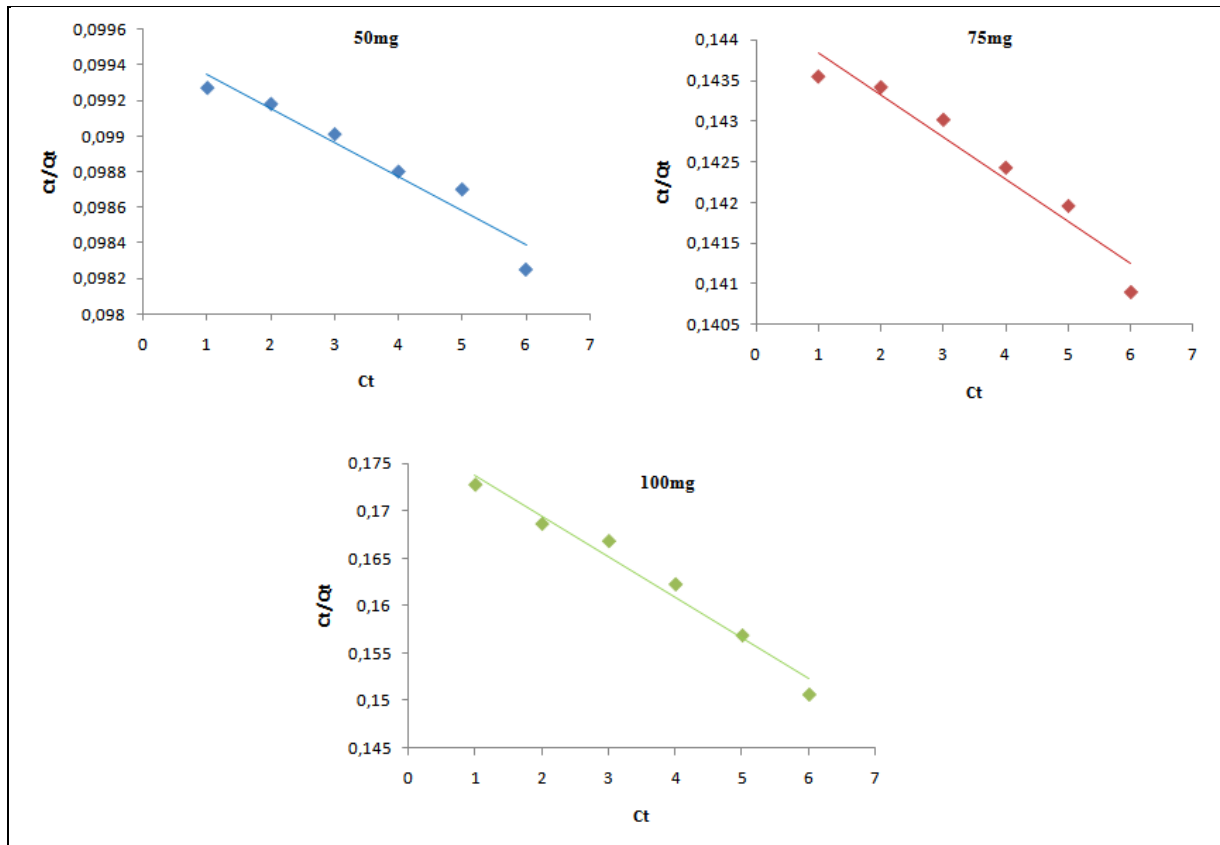


Figure III.36 :Modélisation d’isotherme d’adsorption par l’équation de Langmuir du polluant CI en présence de CAEPD comme adsorbant.

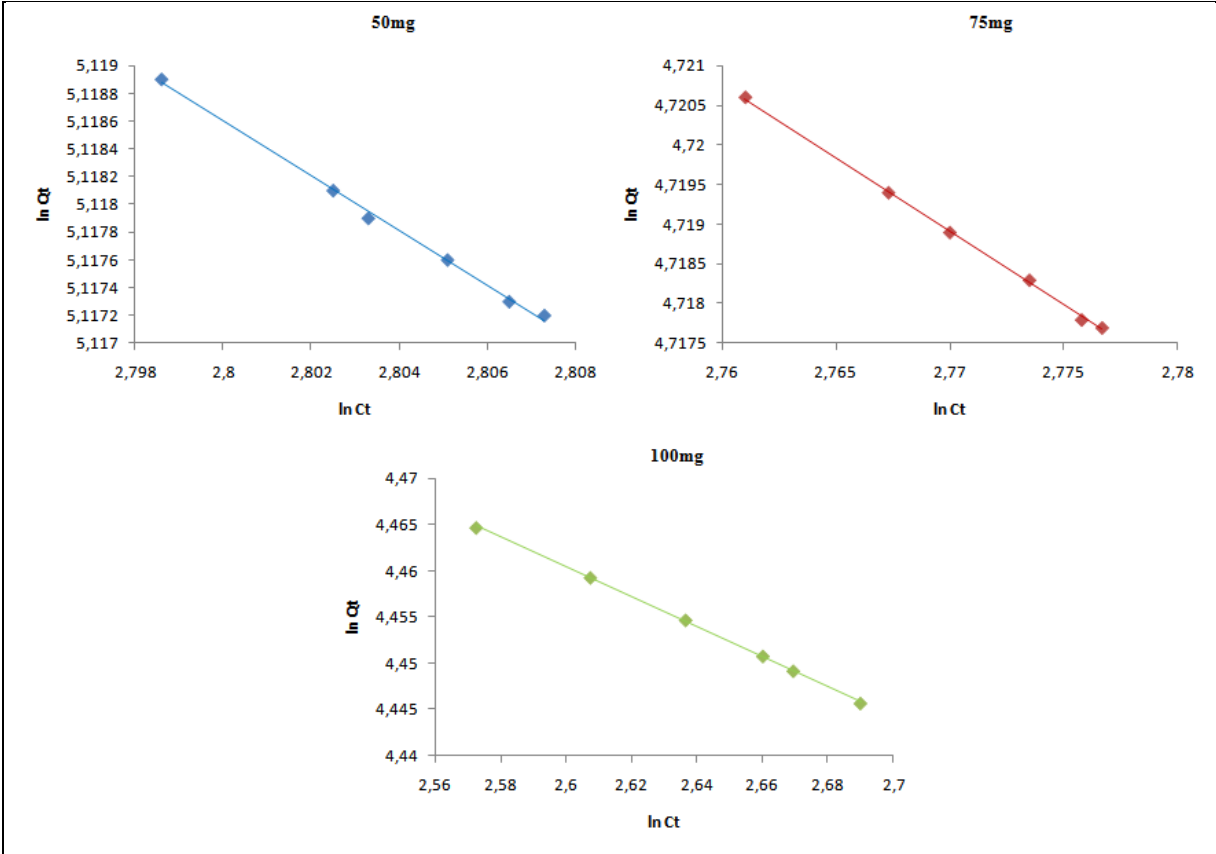


Figure III.37 :Modélisation d’isotherme d’adsorption par l’équation de Freundlich du polluant CI en présence de CAEPD comme adsorbant.

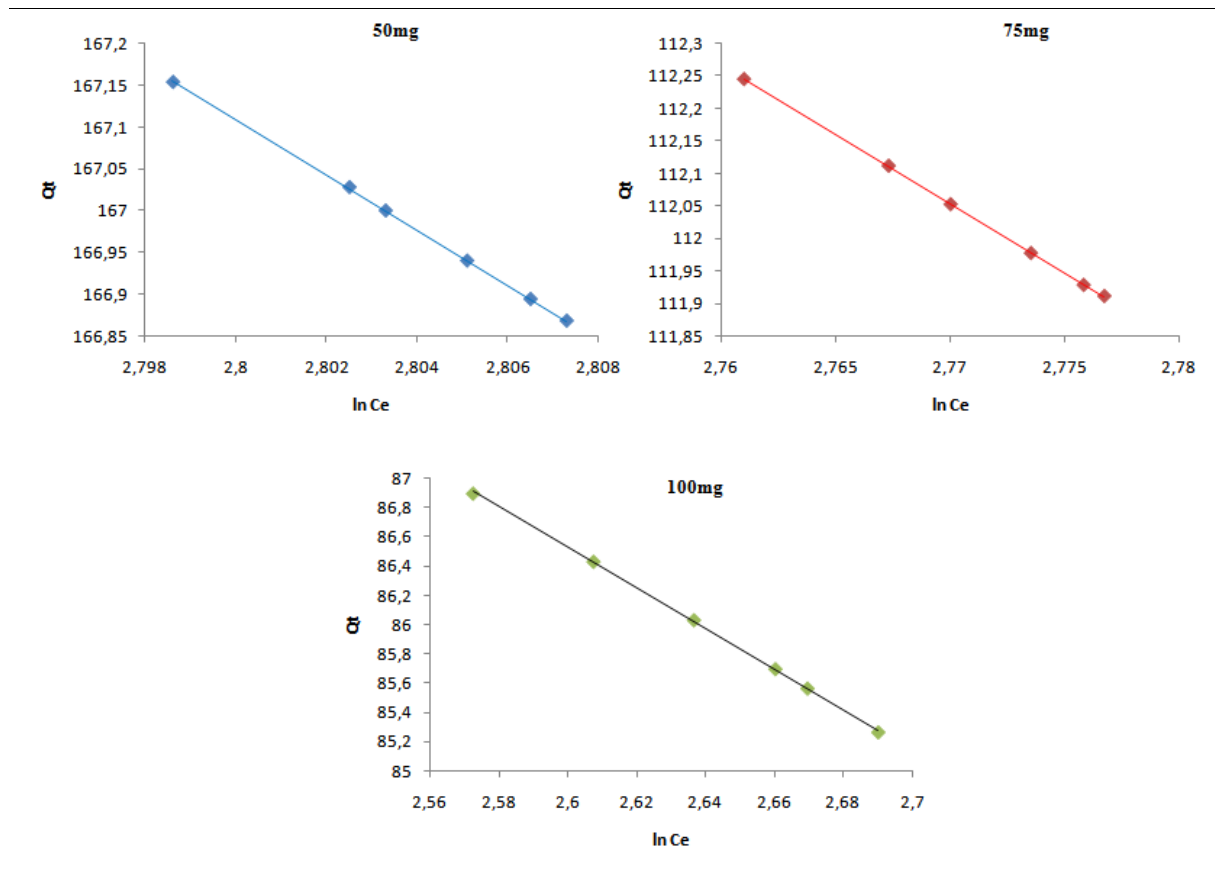


Figure III. 38 :Modélisation d’isotherme d’adsorption par l’équation de Temkin du polluant CI en présence de CAEPD comme adsorbant.

Tableau III.22 : Constante Langmuir, Freundlich et Temkin du colorant CI en présence de CAEPD comme adsorbant.

Masse D'adsorbant mg	Paramètres de Langmuir				Paramètres de Freundlich			Paramètres de Temkin		
	Qmax	k_l	R^2	R_l	k_f	$1/n$	R^2	B (kJ/mol)	k_t	R^2
50	1000	$1.010 \cdot 10^{-3}$	0.938	0.990	290.034	0.197	0.997	-32.96	$3.819 \cdot 10^{-4}$	0.999
75	500	$1.388 \cdot 10^{-3}$	0.936	0.986	187.354	0.185	0.999	-21.30	$3.261 \cdot 10^{-4}$	0.999
100	250	$2.247 \cdot 10^{-3}$	0.972	0.978	131.630	0.161	0.999	-13.89	$1.467 \cdot 10^{-4}$	0.999

Les résultats des isothermes d'adsorption du carmin d'indigo (CI) sur CAEPT et CAEPD, illustrés dans les Figures III. (33,34, 35,36, 37,38), ont été analysés à l'aide des modèles de

Langmuir, Freundlich et Temkin, dont les paramètres sont détaillés dans le tableau (III.21) et le tableau (III.22).

Le modèle de Langmuir a montré un faible ajustement aux données expérimentales, avec un coefficient de corrélation ($R^2 = 0.921$) pour notre colorant sur le CAEPT prit avec une masse de 50 mg, ainsi ce modèle a montré une bonne corrélation avec un coefficient de corrélation ($R^2 = 0.937, 0.985$) en présence du même adsorbant prit avec des masses 75 et 100 mg respectivement. Dans le cas de l'utilisation du CAEPD comme adsorbant, le modèle de Langmuir a présenté une mauvaise corrélation, avec le coefficient ($R^2 = 0.938, 0.936$ et 0.972) pour notre produit alimentaire sur l'adsorbant prit avec des masses 50, 75 et 100 mg. La valeur du facteur d'équilibre en présence du CAEPT prit avec des masses 75 et 100 mg a donné des valeurs $R_L < 1$ (0.247 et 0.165) respectivement, cela confirme que l'adsorption de ce produit alimentaire est favorable, et elle est linéaire lors d'utilisation de l'adsorbant prit avec une masse 50 mg et cela expliqué par la valeur du facteur $R_L = 0.987$ proche de 1.

L'adsorption du notre colorant est linéaire en présence du CAEPD, car la valeur du R_L calculée (0.990, 0.986, 0.978) est proche de 1.

Concernant le modèle de Freundlich, les résultats ont montré que les coefficients de corrélation (R^2) étaient proches de 1 dans tous les cas. Les valeurs de $1/n$ trouvées (0.296, 0.197, 0.115) et de n (3.378, 5.076, 8.695) en présence du CAEPT et (0,197, 0,185 et 0,161) et de n (5,076, 5,405 et 6,211) en présence du CAEPD suggèrent une adsorption efficace du colorant sur les deux adsorbants, quelle que soit la masse utilisée (50, 75 et 100 mg).

Enfin, le modèle de Temkin a également présenté des coefficients de corrélation (R^2) élevés (0,999) pour les masses de 50, 75 et 100 mg de chaque adsorbant. Cependant, ce modèle semble être le plus approprié pour décrire l'adsorption du CI sur les deux adsorbants, compte tenu de son excellent ajustement.

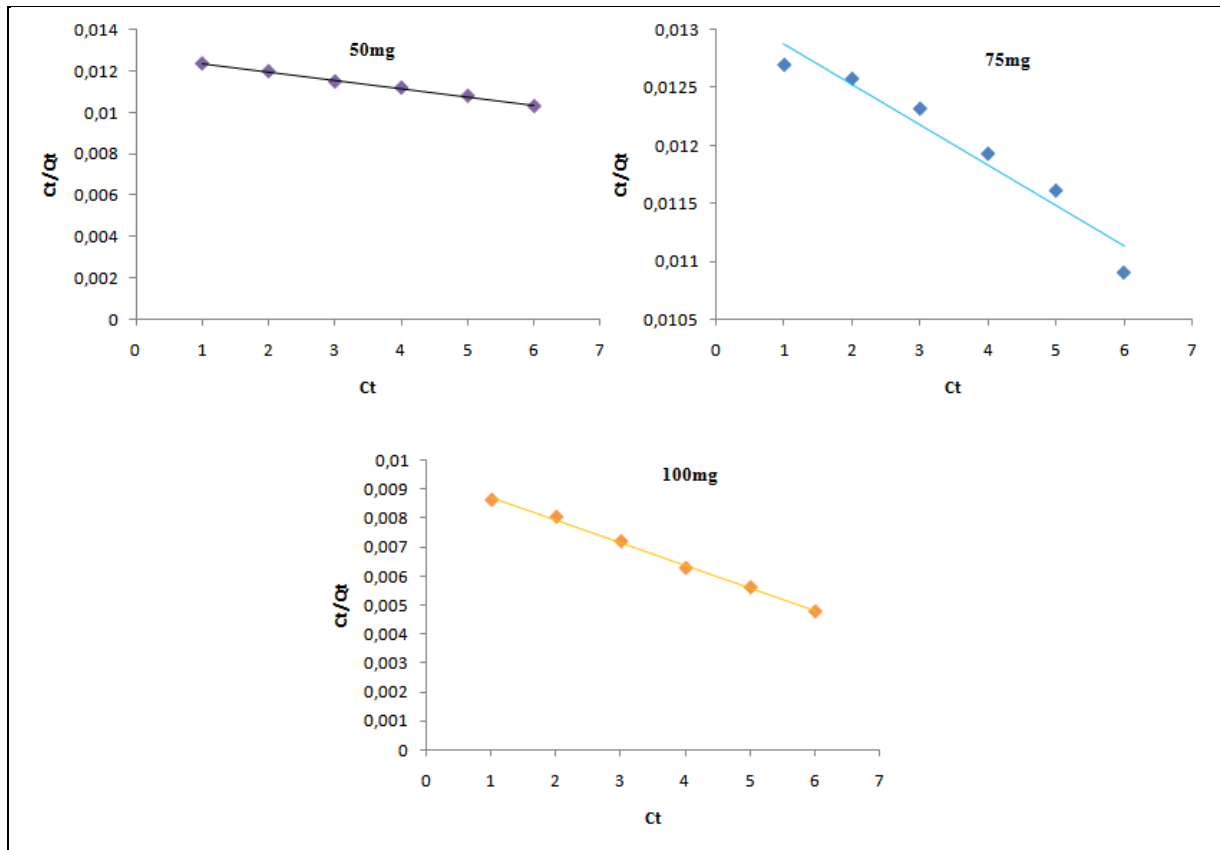


Figure III.39: Modélisation d'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du polluant AV en présence de CAEPT comme adsorbant.

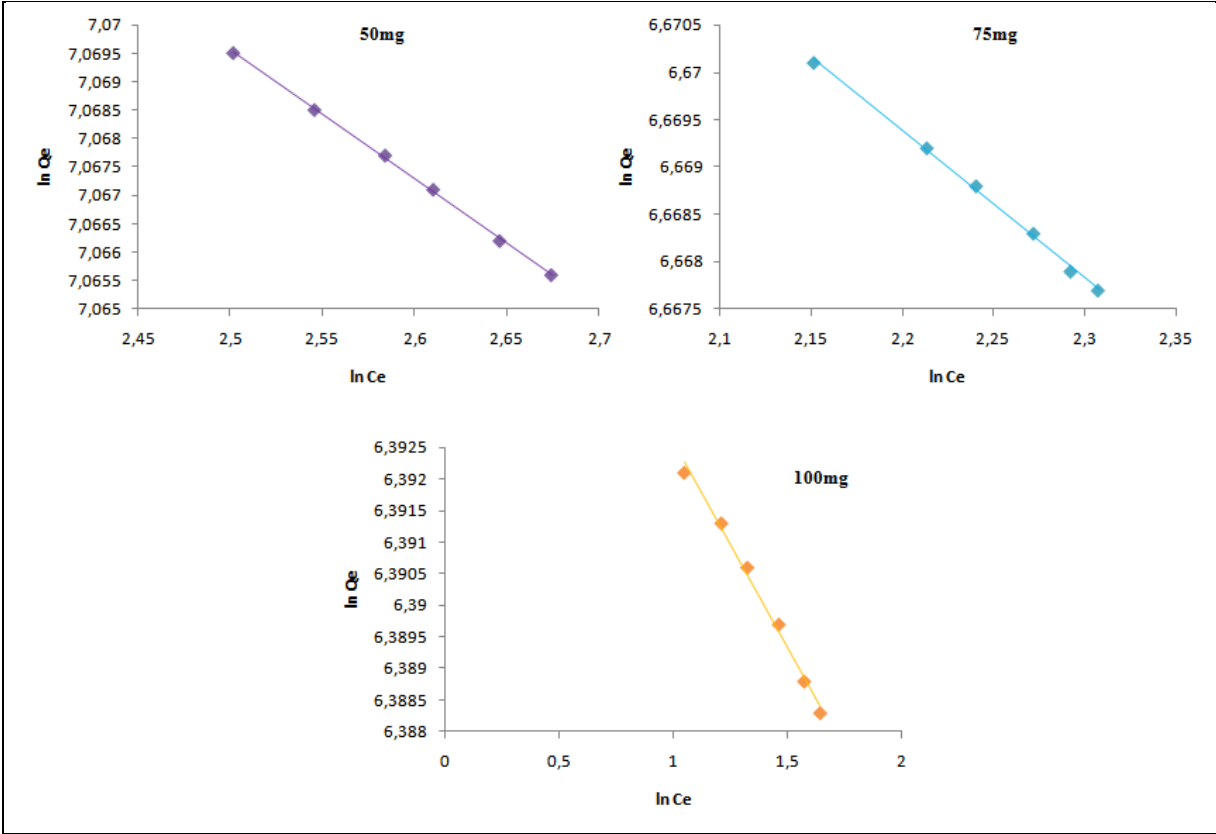


Figure III.40 : Modélisation de l’isotherme d’adsorption par l’équation de Freundlich du polluant AV en présence de CAEPT comme adsorbant.

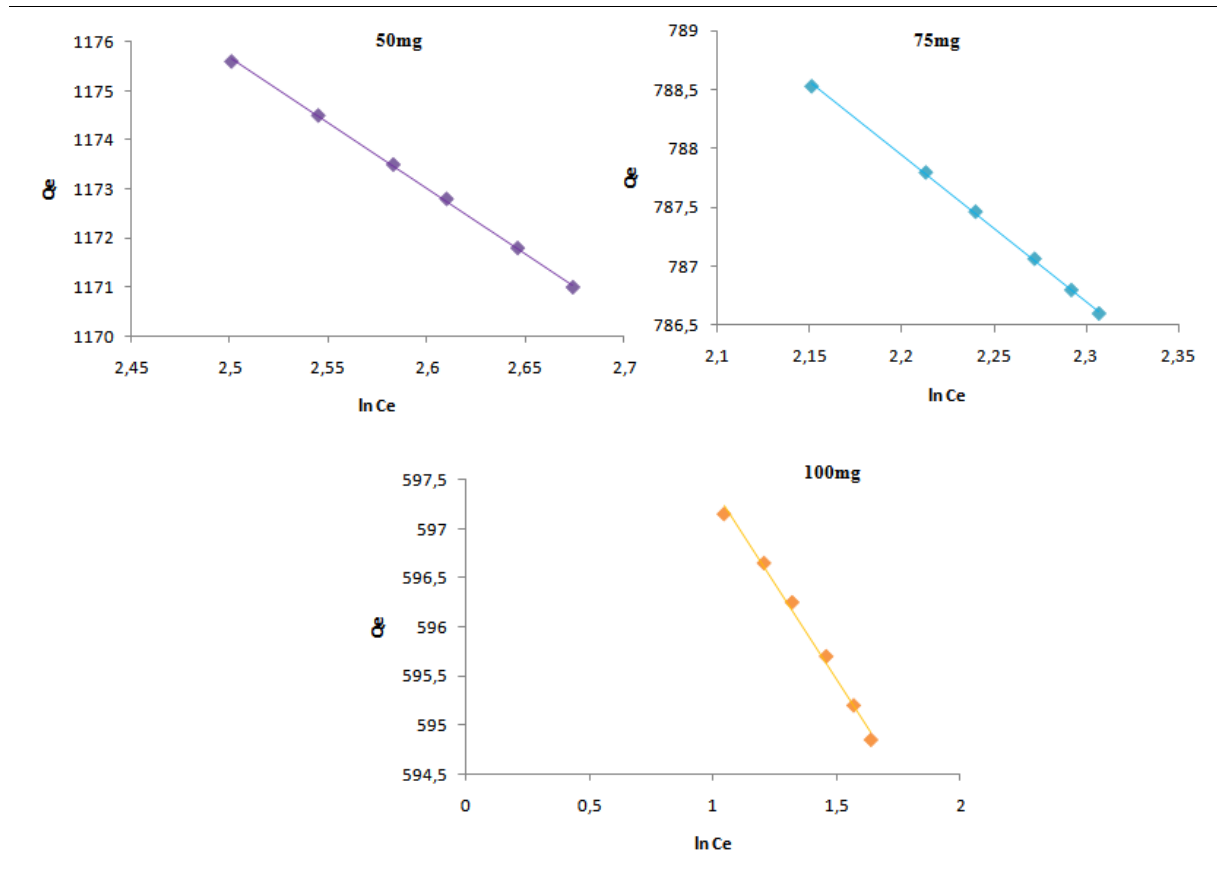


Figure III.41 : Modélisation de l’isotherme d’adsorption par l’équation de Temkin du polluant AV en présence de CAEPT comme adsorbant.

Tableau III.23 : Constantes Langmuir, Freundlich et Temkin de notre adsorbant Av en présence de CAEPT comme adsorbant.

Masse D'adsorbant mg	Paramètres de Langmuir				Paramètres de Freundlich			Paramètres de Temkin		
	Qmax	k_l	R ²	R_l	k_f	1/n	R ²	B (kJ/mol)	k_t	R ²
50	1000	8.33 10 ⁻²	0.996	0.019	1237.687	0.20	0.998	-36.88	1.169 10 ⁻¹⁵	0.999
75	366.66	2.097 10	0.941	0.00007	812.405	0.14	0.998	-12.38	2.546 10 ⁻²⁹	0.997
100	500	2.22 10 ⁻²	0.997	0.069	600.064	0.5	0.997	-3.439	1.382 10 ⁻⁷⁶	0.998

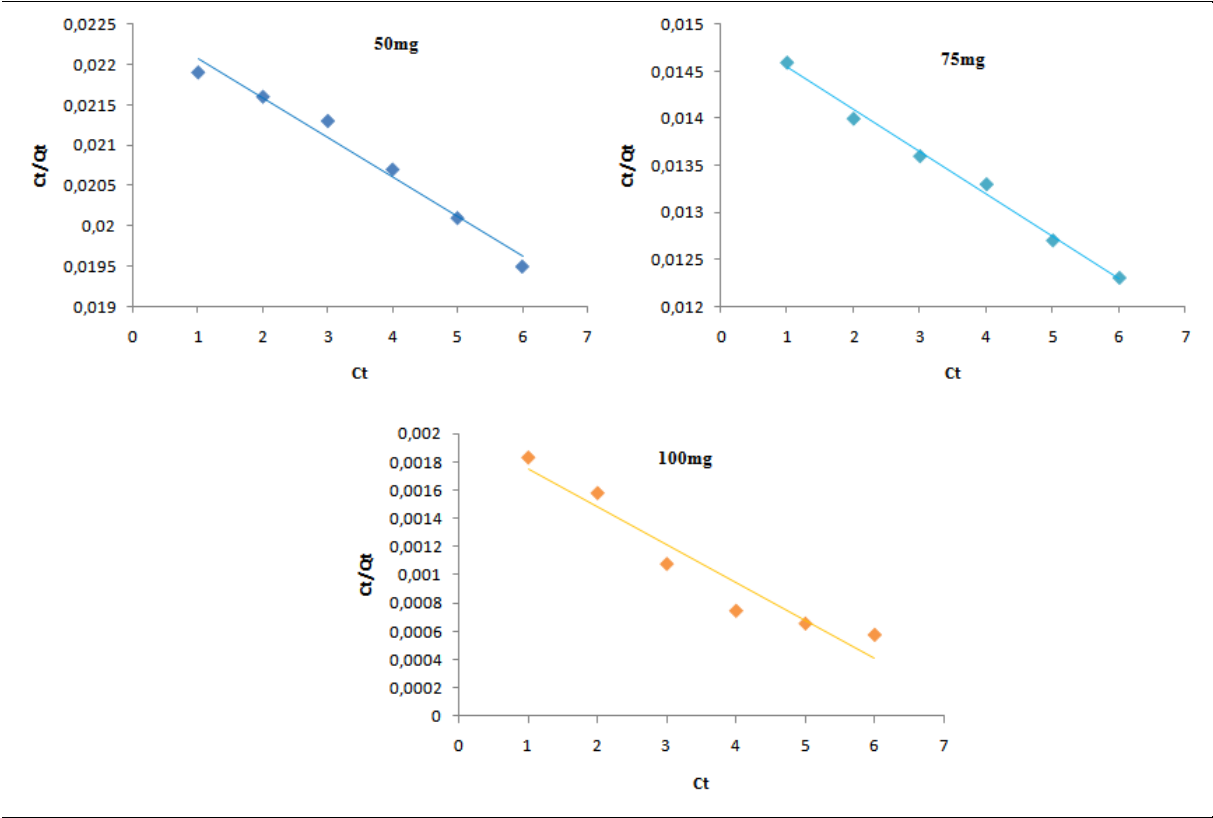


Figure III 42: Modélisation de l'isotherme d'adsorption par l'équation de Langmuir du polluant Aven présence de CAEPD comme adsorbant.

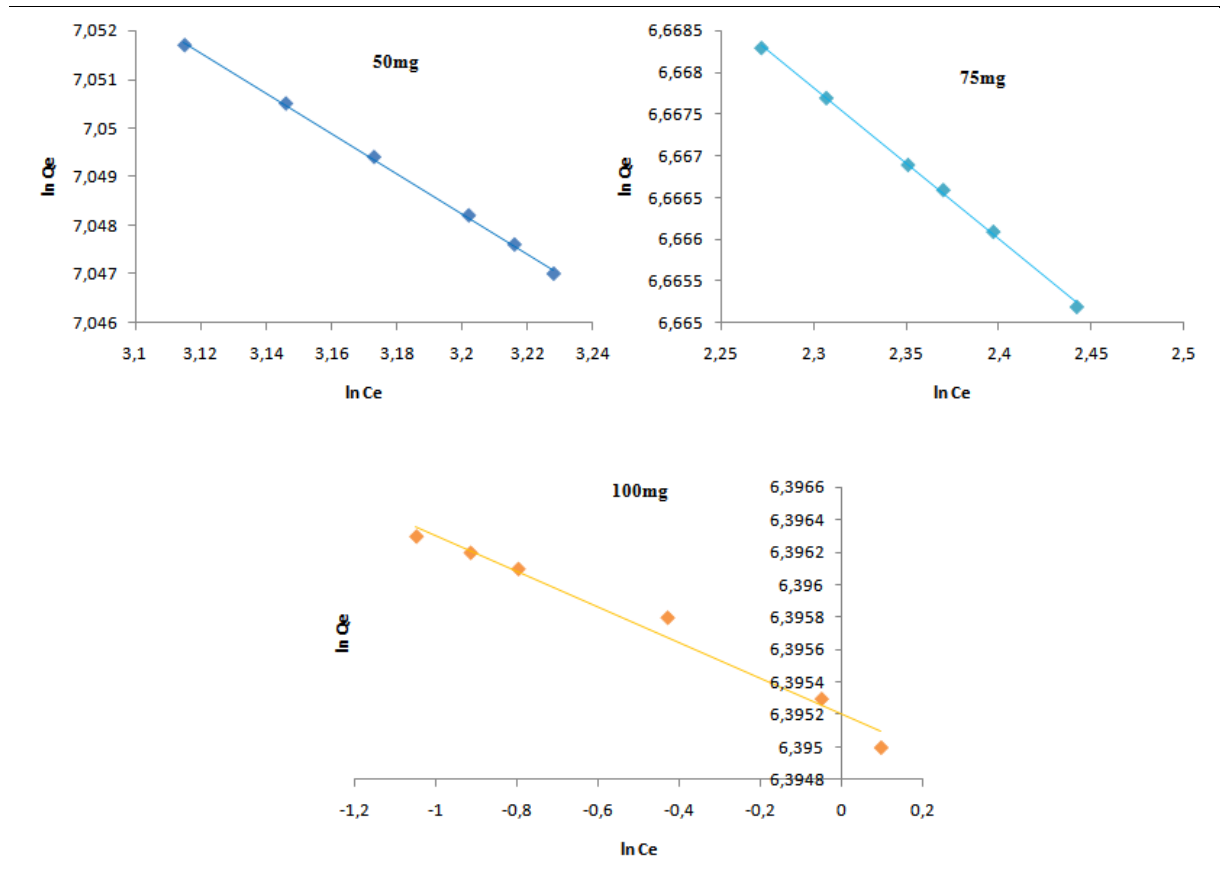


Figure III.43: Modélisation de l’isotherme d’adsorption par l’équation de Freundlich du polluant AV en présence de CAEPD comme adsorbant.

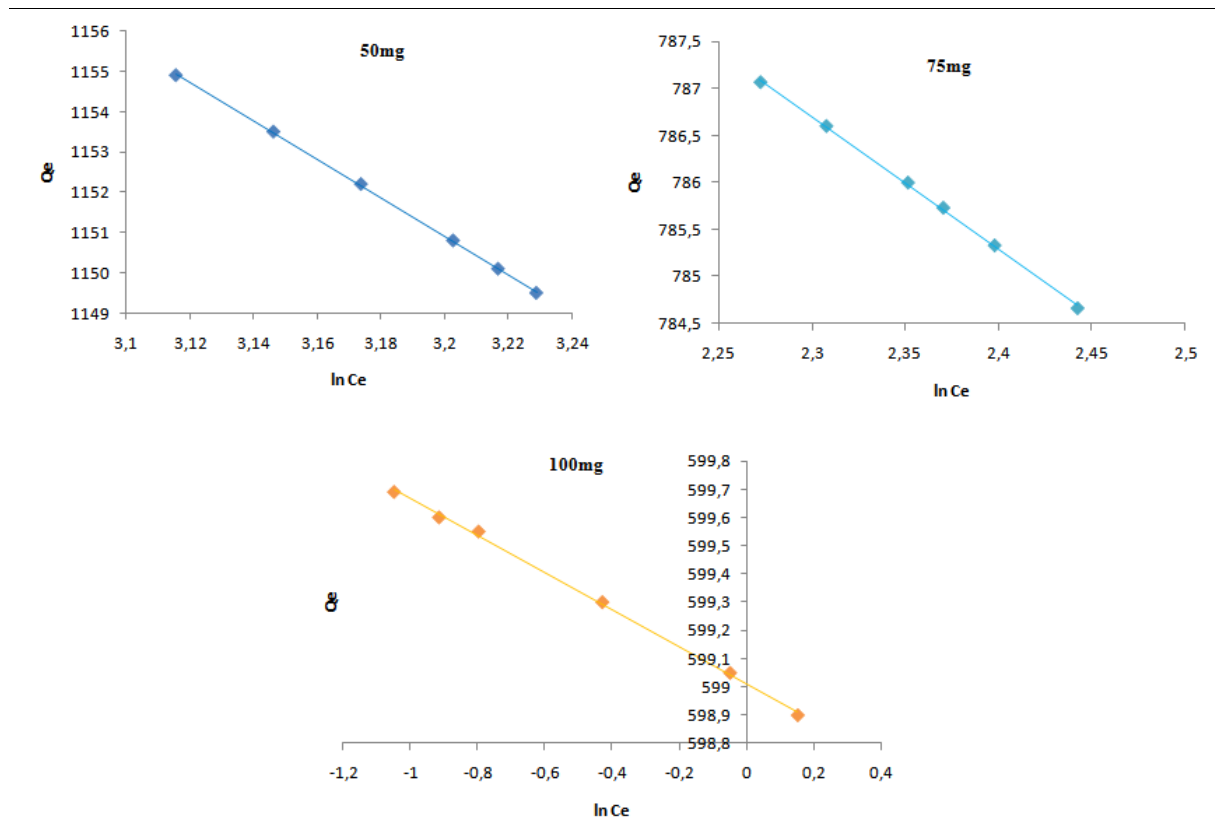


Figure III. 44 :Modélisation de l’isotherme d’adsorption par l’équation de Temkin du polluant AV en présence de CAEPD comme adsorbant.

Tableau III.24 : Constantes Langmuir, Freundlich et Temkin de notre adsorbant AV En présence de CAEPD comme adsorbant.

Masse D'adsorbant mg	Paramètres de Langmuir				Paramètres de Freundlich			Paramètres de Temkin		
	Qmax	k_l	R^2	R_l	k_f	$1/n$	R^2	B (kJ/mol)	k_t	R^2
50	1000	4.545	0.977	0.00003	1312.908	0.041	0.999	-47.79	1.441	0.999
		10							10^{-12}	
75	344.827	1.933	0.992	0.00008	819.75	0.018	0.998	-14.08	5.141	0.999
		10							10^{-26}	
100	285.714	1.750	0.924	0.00009	598.843	0.1	0.912	-6.55	1.921	0.998
		10							10^{-40}	

Les isothermes d'adsorption d'acide violet (AV) en présence des deux bio adsorbants CAEPT et CAEPD, présentées dans les Figures III. (39,40, 41, 42, 43, 44, 45), ont été analysées à l'aide

de plusieurs modèles, dont les résultats expérimentaux sont détaillés dans les tableaux (III.23 et III.24).

Le modèle de Langmuir montre un bon ajustement en utilisant le CAEPT prit avec des masses de 75 et 100 mg, en donnant les coefficients de corrélation R^2 élevés proche de 1 (0.996 et 0.997) respectivement. Cela indique que le processus d'adsorption est favorable. En présence du même adsorbant prit avec une masse de 75 mg, ce modèle a donné une mauvaise corrélation avec $R^2 = 0.941$, dans ce cas d'après la valeur calculée du facteur R_L (0.0007) l'adsorption de notre colorant est irréversible. Ce modèle a montré une mauvaise corrélation en utilisant le CAEPD comme adsorbant prit avec les trois masses, cela est confirmé par les valeurs calculées du coefficient R_L (0.00003, 0.00008 et 0.00009), ce qui résulte que l'adsorption est irréversible. Dans l'isotherme de Freundlich, les résultats ont présenté une bonne corrélation en présence du CAEPT dans tous les cas testés, cela est confirmé par les valeurs du coefficient de corrélation R^2 trouvé (0.998, 0.998 et 0.997), ainsi les valeurs de $1/n$ (0.20, 0.14, 0.5) et les valeurs de n (5, 7.14, 2) ont montré que l'adsorption du notre colorant est favorable.

Notre étude d'adsorption est favorable en présence du CAEPD prit avec des masses de 50 et 75 mg, cela est expliqué par les valeurs de $1/n$ et n trouvées (0.041 et 0.018) (24.390 et 55.55) respectivement, mais dans le cas d'utilisation de l'adsorbant avec une masse de 100 mg, l'adsorption du colorant n'est pas favorable, cela peut expliquer par la valeur du n (0.1) calculée. Quant au le modèle de Temkin, il s'adapte bien à l'élimination d'av sur les deux adsorbants prisent avec les masses 50, 75 et 100 mg. Car ce modèle présente une bonne corrélation, avec R^2 donné comme suit (0.999, 0.997 et 0.998) et (0.996, 0.999 et 0.998) respectivement.

III.5 Conclusion

Cette recherche met en évidence la capacité de nos matériaux, le CAEPT et le CAEPD, à éliminer les colorants organiques tels que le carmin d'indigo CI existant dans le colorant alimentaire et l'acide violer AV existant dans le produit cosmétique. Les résultats expérimentaux révèlent que :

- L'effet de certains paramètres a été analysé et discuté.
- Le taux d'adsorption varie en fonction de la masse de l'adsorbant.
- L'analyse de la cinétique d'adsorption a montré que la cinétique apparente suit un modèle d'ordre 2, avec une quantité adsorbée calculée proche les valeurs expérimentales
- Les isothermes d'adsorption ont été étudiées en utilisant les trois modèles les plus courants : Langmuir, Freundlich et Temkin. Ces modèles ont été appliqués pour décrire

le processus d'adsorption du carmin d'indigo CI et l'acide violer AV) sur les deux matériaux solides, le CAEPT et le CAEPD.

Références bibliographies

- [1] Kra, D. O., Kouamé, K., & Yao, B. Adsorption of methylene blue and acetic acid on agricultural-waste-based activated carbons: equilibrium and kinetic investigations. *Journal of Encapsulation and Adsorption Sciences*, 9(2), 72–83. (2019).
- [2] Kumar, P. S., Ramalingam, S., & Dinesh Kirupha, S. Preparation and characterization of activated carbon from agricultural waste – Potato peels. *Desalination and Water Treatment*, 57(52), 24902–24911. (2016).
- [3] Guo, Y., Qi, J., Yang, S., Wang, Z., Xu, H., & Xu, H. Adsorption of methylene blue from aqueous solutions on activated carbon derived from agricultural waste. *Bioresource Technology*, 152, 83–91. (2014).
- [4] Den den Rania Chibani Asma, « Etude de l'adsorption du colorant azoïque noir eriochromet par charbon actif », mémoire de master, université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem, 2021.
- [5] Ramya M., Anusha B. ET Kalavathy S, «Decolorization and biodegradation of indigo carmine by a textile soil, isolate paenibacillus larvae», *Earth and Environmental Science*, 2008.
- [6] Alahiane S., Qourzal S., El Ouardi M., Belmouden M., Assabbane A. Et Ait-Ichou Y., «Adsorption et photo dégradation du colorant indigo carmine en milieu aqueux en présence de $\text{TiO}_2/\text{UV}/\text{O}_2$ », 2013.
- [7] Sadhana A. Sawant, Savita P. Somani, shreenivaskerbaomanwar, Prakash R. Somani. «Chemical and photocatalytic degradation of crystal violet dye by Indian Edible Chuna (Calcium Oxide/Hydroxide) », *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2015.
- [8] LemoueddaSaddek Et MadouiImene, «Elimination du bleu de méthylène par adsorption sur les coquilles de noix», mémoire de Master, universite Salah Boubnider, Constantine ,2019.
- [9,10] Medekhel Abdallah, «adsorption du bleu de méthylène par charbona actif», mémoire De Master, Université EchahidHamma Lakhdar -El Oued, 2018.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Conclusion Général

La préservation de notre environnement est cruciale pour l'avenir de l'humanité. Les colorants, en tant que contaminants très répandus à l'échelle mondiale, sont particulièrement préoccupants. Il est donc impératif de mettre en œuvre des méthodes de traitement – biologiques, physiques et chimiques pour les réduire et les éliminer.

L'objectif de ce travail est étudié l'élimination d'es colorants organiques en utilisant des matériaux bio-adsorbants. Nous avons utilisé le CAEPT et le CAEPD comme des matériaux adsorbants pour éliminer les colorants.

Nous avons opté pour le processus d'adsorption, reconnu comme l'une des méthodes les plus courantes et efficaces pour l'élimination des polluants.

Les études cinétiques et les isothermes d'adsorption ont été réalisées pour mieux comprendre le mécanisme de fixation de ce colorant sur le matériau testé. Les effets de divers paramètres expérimentaux ont été examinés dans le cadre de l'application de la technique d'adsorption. La modélisation cinétique révèle que le modèle de pseudo-second ordre offre la meilleure description de la cinétique d'adsorption. Les quantités maximales adsorbées pour une masse de 100 mg des adsorbants utilisés dans l'élimination des colorants CI et AV sont respectivement de 91.5, 86.9, 597.6 et 599.65mg/g.

L'adsorption du carmin d'indigo sur les pelures de pomme de terre et patate douce a été modélisée en utilisant les isothermes les plus courants tels que les modèles de Langmuir, Freundlich et de Temkin.

Le modèle de Langmuir a montré un ajustement limité pour le CAEPT à 50 mg ($R^2 = 0,921$), mais une meilleure corrélation à 75 et 100 mg ($R^2 = 0,937$ et $0,985$). En revanche, l'ajustement était faible pour le CAEPD, avec des R^2 de 0,938, 0,936 et 0,972 pour des masses de 50, 75 et 100 mg. Les facteurs d'équilibre ($RL < 1$) confirment une adsorption favorable avec le CAEPT à 75 et 100 mg, tandis qu'à 50 mg, l'adsorption est linéaire ($RL \approx 1$). Avec le CAEPD, les valeurs RL proches de 1 indiquent également une adsorption linéaire.

Le modèle de Freundlich a montré une bonne adéquation dans tous les cas (R^2 proche de 1), avec des valeurs de $1/n$ et n qui confirment une adsorption efficace pour les deux adsorbants. Enfin, le modèle de Temkin a offert le meilleur ajustement ($R^2 = 0,999, 0,999, 0,999$), ce qui le rend le plus adapté pour décrire l'adsorption du colorant sur les deux adsorbants, quelle que soit la masse utilisée.

Pour l'Acide Violet, on remarque que Le modèle de Langmuir montre un ajustement satisfaisant avec le CAEPT pour des masses de 75 et 100 mg ($R^2 = 0,996$ et $0,997$), confirmant une adsorption favorable. Cependant, pour une masse de 50 mg, une mauvaise corrélation ($R^2 =$

Conclusion Générale

0,941) et un facteur RL très faible (0,0007) indiquent une adsorption irréversible. Avec le CAEPD, ce modèle présente une mauvaise corrélation pour toutes les masses testées, avec des facteurs RL extrêmement faibles (0,00003 à 0,00009), suggérant également une adsorption irréversible.

Le modèle de Freundlich montre une bonne adéquation pour le CAEPT dans tous les cas ($R^2 \approx 0,998$), avec des valeurs de $1/n$ et n (0,20 à 0,5 ; 2 à 7,14) indiquant une adsorption favorable. Pour le CAEPD, l'adsorption est favorable à 50 et 75 mg ($1/n = 0,041$ à $0,018$; $n = 24,39$ à $55,55$), mais pas à 100 mg ($n = 0,1$).

Le modèle de Temkin s'adapte bien à l'adsorption sur les deux adsorbants et pour toutes les masses testées, avec des coefficients de corrélation élevés ($R^2 = 0,996$ à $0,999$), indiquant qu'il est le plus approprié pour décrire l'élimination du colorant.