

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE SAÏDA - Dr MOULAY TAHAR-



Faculté de technologie

Département de Génie des procédés



Mémoire de fin d'étude
Pour l'obtention du diplôme de Master

En Génie des Procédés
Spécialité : Génie des Procédés des Matériaux

Présenté par :

YAHIAOUI Noha Ines et MOULAI Lina

Thème :

**Adsorption d'un colorant acide par deux bio-adsorbants
pour traitement des eaux usées**

Devant le jury

Dr B. Guezzen	Maitre de conférences « A »	Président	Université de Saida
Mr Z. Tebbal	Maitre-Assistant	Examineur	Université de Saida
Pr N. Ghali	Professeur	Encadreur	Université de Saida

Année universitaire 2022 - 2023

REMERCIEMENT

Un grand merci à DIEU pour m'avoir donné le courage et la volonté pour achever ce modeste travail.

Ce travail est réalisé au sein du laboratoire des sciences et Technologie 3000 à **l'Université du Dr Moulay Taher à Saida**, sous la direction du **Pr N.Ghali**

Premièrement, Je tiens à remercier mon encadreur **Pr Ghali.N** pour ses conseils et ses remarques afin d'accomplir ce travail à bon port.

Mes vifs remerciements s'adressent aussi à **Dr Guezzen. B** et **Mr Tabel. Z**, d'avoir accepté de participer à ce jury et d'examiner notre travail.

Un grand merci aussi à **Mme Lahreche Saadia** directrice de laboratoire, de m'avoir si bien accueilli et de m'avoir permis de réaliser ce travail au sein de son laboratoire

Nous remercions responsable **Laboratoire N°5**, responsable du **Laboratoire N°4**, pour nous accueillir au Laboratoire **Génie des Procédés**, et pour nous permettre de réaliser le projet de fin d'étude dans les meilleures conditions.

Nous tenons également à remercier tous les professeurs qui ont eu le privilège de nous connaître et de nous apprécier durant toutes ces années scolaires

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ce qui, quelles que soient les termes embrassés, je n'arrive jamais à leur exprimé mon amour sincère

- *A l'homme mon précieux offre de dieu qui doit ma vie, ma réussite et tt mon respect : mon chère père Yahiaoui Aissa*
- *A la femme qui a souffert sans me laissé souffrir, qu'il n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère Merah Rachida*
- *A mes chères sœurs Bouchra et Katre El Nada pour Leur soutien et leur amour*
- *A mes grands mère, mes oncles et mes tante .que dieu leur donne une long et joyeuse vie A tous les cousins les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant. merci pour leur amour et leur encouragements sans oublié mon binôme Lina pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

YAHIAOUI Noha Ines

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ce qui, quelles que soient les termes embrassés, je n'arrive jamais à leur exprimé mon amour sincère

- *A l'homme mon précieux offre de dieu qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon chère père Moulai Mohamed El Bachir*
- *A la femme qui a souffert sans me laissé souffrir, qu'il n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère Benghabrit Amel Fatima Zohra*
- *A mon chère oncle Slimane et sa femme Fatiha qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur*
- *A mon adorable petite sœur Manel qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille*
- *A mes grands mère, mes oncles et mes tante .que dieu leur donne une long et joyeuse vie A tous les cousins les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant. merci pour leur amour et leur encouragements sans oublié mon binôme Noha Ines pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

MOULAI Lina

Sommaire

Liste des tableaux

Listes des Figures

Liste des équations

Introduction générale	1
References bibliographiques (Introduction générale)	3
CHAPITRE I (Généralités sur l'adsorption)	4
I.1 .Introduction :	4
I.2 .Adsorption :	4
I.2.1. Définition de l'adsorption :.....	4
I.2.2. Types d'adsorption :.....	4
I.3.Mécanisme d'adsorption :	6
I.4. Facteurs affectant l'équilibre d'adsorption :	6
I.5.Adsorbants :	7
I.5.1. Définition :.....	7
I.5.2.Types d'adsorbants.....	7
I.5.2.1. Adsorbants de faible capacité :	7
I.5.2.2. Adsorbant de grande capacité :.....	8
I.6. Bio-adsorbant :	9
I.7. Quelques travaux sur l'adsorption des colorants par des bio-adsorbants :	9
I.8. Isotherme d'adsorption :	12
I.8.1. Classification des isothermes d'adsorption :.....	13
I.9. Modélisation des isothermes d'adsorption :	14
I.9.1. Modèle de Langmuir :	14
I.9.2. Modèle de Freundlich :.....	15
I.10. Modèles cinétiques :	15
I.10.1.Modèles cinétiques du pseudo-premier ordre :.....	16
I.10.2. Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre :.....	16
I.10.3. Coefficient de distribution :.....	16
I.11. Etude des paramètres thermodynamiques :	17
Reference bibliographique (Chapitre I)	19
CHAPITRE II : Matériels et Méthodes d'analyses	23

II.1. Introduction	24
II.2. Méthodes de caractérisation :	24
II.3. Technique de caractérisation :	24
II.3.1. Spectroscopie infrarouge :	24
II.3.2. Méthode d'analyse-Spectrophotométrie UV-Visible :	25
II.4. Mode opératoire :	26
II.4.1. Préparation des adsorbants :	26
II.4.2. Caractérisation de bio-adsorbant :	26
II.4.2.1. Taux humidité:	26
II.4.2.2. pH _{pzc} (point de charge zéro) :	27
II.4.2.3. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) :	28
II.4.2.4. Indice de bleu de méthylène :	28
II.5. Choix du Colorant : acide vert 25 (Acid Green 25 : AG25) :	28
II.5.1. Les caractéristiques physico chimiques du colorant	29
II.5.2. Leur Utilisations :	30
II.5.3. Préparation de solution de colorant :	30
II.6. Droite d'étalonnage en spectrophotométrie UV/Visible :	30
II.6.1. Etablissement de la courbe d'étalonnage	31
II.6.2. Effets de la concentration initiale	32
II.6.3 Effet de masse d'adsorbant	32
II.6.4 Effet de temps :	33
II.6.5 Effet de Température	33
Reference bibliographique (Chapitre II)	34
Chapitre III : Résultats et discussions	35
III.1 Caractérisation du bio-adsorbant :	35
III.1.1. Taux humidité:	35
III.1.2. pH point de zéro charge :	36
III.2. Etude qualitative de l'adsorption du AG 25 sur les bio-adsorbants :	36
III.3. Etude d'optimisation des conditions opératoires d'adsorption :	38
III.3.1. Effet de la masse de bio-adsorbant :	38
III.3.2. Effet de temps de contact :	38
III.3.3. Effet de concentration initiale de l'adsorbat :	39
III.4.1. Isothermes d'adsorption :	40

III.4.1.1.Modèle de Langmuir :.....	41
III.4.1.2Modèle de Freundlich :	42
III.4.2.Modélisation de la cinétique:	43
III.4.2.1.Modèle cinétique du pseudo premier ordre :	43
III.4.2.2.Modèle cinétique du pseudo premier Deuxième :	44
III.5.Effet de la température :	45
III.6. Etude thermodynamiques :	46
Reference bibliographique (Chapitre III)	48
Conclusion Générale	49
Résumé	51

Erreur ! Signet non défini.

Listes des Figures

Figure	Titre	Page
I-1	Comparaison entre l'adsorption chimique et l'adsorption physique [3].	5
I-2	Schéma expliquant le phénomène d'adsorption [6]	6
I-3	Schéma expliquant le phénomène d'adsorption [6]	14
II-1	Spectre électromagnétique [3]	25
II-2	Spectrophotomètre UV-visible	25
II-3	séchage des matières premières dans l'étuve	27
II-4	Essais de détermination de pH_{PZC} de Bio-C (a) et Bio-PD (b)	27
II-5	Structure chimique de l'AG25	29
II-6	AG25 à l'état de poudre fine	30
II-7	Solution mère d'AG2530	30
II-8	Courbe d'étalonnage de l'AG 25 à 643 nm	32
II-9	Essais de détermination concentration de Bio-C (a) et de Bio-PD (b)	33
II-10	Effet de température sur les deux bio-adsorbants (Bio-C et Bio-PD)	34
III-1	Taux d'humidité de Bio-PD et Bio-C	35
III-2	Point de zéro charge (pH_{PZC}) de Bio-PD et Bio-C	36
III-3	Spectre IR/TF des adsorbants	37
III-4	Effet de la masse de bio-adsorbant (Bio-PD et Bio-C) sur l'adsorption d'AG 25. (Temps d'agitation = 60min et $C_{AG25} = 100$ mg/l)	38
III-5	Effet du temps d'agitation sur l'adsorption d'AG 25 par deux Bio-adsorbants (Bio-PD et Bio-C). (Masse de bio-adsorbant =2g et $C_{AG25} = 100$ mg/l)	39
III-6	Effet de concentration initial de l'AG25 sur l'adsorption par deux Bio-adsorbants (Bio-PD et Bio-C). (Masse de bio-adsorbant =2g et Temps d'agitation = 45 min)	40
III-7	Isothermes de sorption d'AG25 par les deux bio-adsorbants.	41
III-8	Transformées linéaires de l'isotherme de Langmuir pour l'adsorption	42

d'AG25 sur les deux bio-adsorbants (Bio-PD et Bio-C)

III-9	Transformées linéaires de l'isotherme de Freundlich pour l'adsorption d'AG25 sur les deux bio-adsorbants (Bio-PD et Bio-C)	42
III-10	Cinetique du pseudo premier ordre d'elimination des colorants par le matériau à concentration initiale de 100 mg/l	44
III-11	Cinetique du pseudo second ordre d'elimination des colorants par le matériau a concentration initiale de 100mg/l	44
III-12	Effet de la température sur l'adsorption d'AG25 par les deux bio-adsorbants (Bio-C et Bio-PD)	46
III-13	Représentation de l'étude thermodynamique de l'adsorption de l'AG25 par les deux Bio-adsorbants (Bio-C et Bio-PD)	46

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
II-1	Valeurs obtenues pour l'établissement de La courbe d'étalonnage de l'AG 25 de longueur d'onde ($\lambda_{\max} = 643\text{nm}$).	31
III-1	Paramètre de linéarisation du modèle de Langmuir et de Freundlich pour l'adsorption de l'AG25 par Bio-adsorbant1 et par Bio-adsorbant 2.	43
III-2	modélisation de la cinétique d'ordre 1 et d'ordre 2 pour l'adsorption de l'AG25 par Bio-adsorbant1 et par Bio-adsorbant 2	45
III-3	valeurs des paramètres thermodynamiques pour la sorption de l'AG 25.	47

Liste des Équations

Équations	TITRE	PAGE
I-1	$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m} * V_m$	12
I-2	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} * K_L} + \frac{1}{q_{\max}} * C_e$	15
I-3	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} K_L} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_{\max}}$	15
I-4	$q_e = K_f C^{1/n}$	15
I-5	$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e$	15
I-6	$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$	16
I-7	$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log} q_e - \frac{k_1}{2.303} t$	16

I-8	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$	16
I-9	$K_d = \frac{C_i - C_e}{C_e} * \frac{V}{m} \quad (\text{cm}^3/\text{g})$	17
I-10	$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$	17
I-11	$\Delta G^\circ = -RT \cdot \ln K_d$	17
I-12	$\ln K_d = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$	17
I-13	$K_d = \frac{q_e}{C_e}$	17
I-14	$\Delta G^\circ = -RT \ln K_d$	17
I-15	$\ln K_d = \left(\frac{\Delta G^0}{R}\right) - \left(\frac{\Delta H^0}{R}\right) \frac{1}{T}$	18
II-1	$A = -\log \left(\frac{I}{I_0}\right)$	25
II-2	$A = \epsilon \cdot l \cdot c$	26
II-3	$\text{H\%} = ((m_1 - m_2)/m_1) * 100$	26
II-4	$IBM = (C_0 - C_f) x \frac{V}{m}$	28
II-5	$q_e = \frac{x}{m} = \frac{(C_i - C_e) \cdot V}{m}$	32

Introduction générale

Les colorants synthétiques organiques sont des composés utilisés dans de nombreux secteurs industriels tels que le domaine automobile, chimique, la papeterie, l'agroalimentaire, cosmétique et plus particulièrement le secteur de textile. Ces colorants sont évacués avec les effluents liquides qui sont la plupart du temps directement rejetés vers les cours d'eau sans traitement préalable. Certains de ces composés se dégradent difficilement, diffusent rapidement dans l'eau et dans les sols, et cause un vrai problème pour l'environnement [1,2]. Le traitement de ces rejets a fait l'objet de très nombreuses études. Diverses techniques physiques, chimiques et biologiques ont été développées et testées pour le traitement des effluents chargés en colorants. Ces procédés incluent la coagulation- floculation, l'oxydation et l'ozonation [3,4], la filtration sur membranes [5-6], etc. L'adsorption est l'une des technologies faciles à mise en œuvre, elle est largement utilisée pour le traitement des eaux.

Dans l'industrie textile, l'acide vert est utilisé comme colorant pour teindre les tissus en vert. Il est également utilisé dans la coloration des papiers, des encres et des plastiques. En raison de sa teinte vive et de sa résistance à la décoloration, il est très prisé dans l'industrie de la mode et de la décoration, l'acide vert trouve également des applications dans le domaine pharmaceutique. Il est utilisé comme indicateur coloré dans les réactions chimiques et les tests de laboratoire. Sa couleur verte distinctive permet de détecter et de mesurer certains composés ou paramètres chimiques, facilitant ainsi l'analyse et le suivi de divers processus.

Cependant, en raison de son utilisation répandue, l'acide vert peut également présenter des risques pour l'environnement et la santé. En effet, il peut être toxique pour les organismes vivants et peut entraîner des effets néfastes, s'il est rejeté dans les eaux usées sans traitement adéquat, donc il est important de prendre ces risques en considération.

A cet effet, nous sommes intéressés à l'étude de l'adsorption du colorant acide vert (AG25) sur des déchets ménagers (les pelures de patate douce et les pelures de coing).

Le présent rapport comporte trois chapitres, dont le premier sera consacré à une étude bibliographique sur le processus d'adsorption, le deuxième chapitre présente le matériel et les méthodes utilisées pour la préparation et la caractérisation des bio-adsorbants, ainsi les méthodes d'évaluation l'adsorption. Enfin le troisième chapitre est consacré à la partie discussion et résultat relative au processus d'adsorption de l'AG25 sur les bio-adsorbants

Introduction Générale

telles que les pelures de patate douce et les pelures de coing. Sur ce chapitre, nous suivons l'adsorption en optimisant l'effet de plusieurs paramètres sur le pouvoir décolorant du matériau utilisé, en particulier, la masse de l'adsorbant, le temps de contact et la température du milieu de la solution. Nous utilisons, les modèles cinétiques du pseudo-premier ordre et pseudo-second ordre aux résultats expérimentaux pour définir l'ordre de la réaction d'adsorption dans le cas du système adsorbant/adsorbât étudié. Nous utilisons aussi, les isothermes d'adsorption en utilisant le modèle de Langmuir et celui de Freundlich, l'effet de la température sur l'adsorption du colorant AG25 et les paramètres thermodynamiques (ΔG° , ΔH° , ΔS°). Et enfin, ce mémoire est achevé par une conclusion générale.

References bibliographies

- [1] Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., & Ahmad, A. (2010). Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. *Journal of hazardous materials*, 177(1-3), 70-80.
- [2] Zhang, W., Yan, H., Li, H., Jiang, Z., Dong, L., Kan, X., & Cheng, R. (2011). Removal of dyes from aqueous solutions by straw based adsorbents: Batch and column studies. *Chemical Engineering Journal*, 168(3), 1120-1127.
- [3] Hameed, B. H., & Ahmad, A. A. (2009). Batch adsorption of methylene blue from aqueous solution by garlic peel, an agricultural waste biomass. *Journal of hazardous materials*, 164(2-3), 870-875.
- [4] Zheng, Y. M., Zhao, Q. B., & Yu, H. Q. (2005). RETRACTED: Adsorption of a cationic dye onto aerobic granules
- [5] Koch, M., Yediler, A., Lienert, D., Insel, G., & Kettrup, A. (2002). Ozonation of hydrolyzed azo dye reactive yellow 84 (CI). *Chemosphere*, 46(1), 109-113.
- [6] Loukili, H., Alami Younssi, S., Albizane, A., Bennazha, J., Persin, M., Larbot, A., & Tahiri, S. (2008). The rejection of anionic dyes solutions using an ultrafiltration ceramic membrane. *Physical & chemical news*, (41), 98-101.

CHAPITRE I

Généralités sur l'adsorption

I.1.Introduction

L'eau est la ressource naturelle la plus importante sur terre. Cependant, diverses activités humaines contribuent à la pollution, notamment l'industrie, les villes et l'agriculture. Par exemple, les colorants synthétiques utilisés dans l'industrie textile sont rejetés directement dans le milieu aquatique sans prétraitement. En raison de cette grande menace pour l'environnement, de nombreux travaux de conservation de l'eau ont été réalisés ces dernières années. Plusieurs techniques de détoxification ont été développées, dont l'adsorption est la plus utilisée.

Le processus d'adsorption est la technique la plus efficace pour l'élimination des colorants en raison de son faible coût, de sa capacité d'adsorption élevée et de sa sécurité environnementale. Le principe du traitement par adsorption est de piéger le colorant avec un matériau solide appelé adsorbant. Il existe d'autres matériaux solides dans le matériau qui peuvent être utilisés dans le processus d'aquarelle. Tels que le charbon actif, l'argile, la biomasse... etc.

I.2. Adsorption

I.2.1. Définition de l'adsorption

L'adsorption est un phénomène d'interface qui se produit entre les solides et les gaz ou entre les solides et les liquides.

Le principe de ce procédé repose sur un transfert de masse entre une phase liquide (ou gazeuse) contenant des composés organiques ou inorganiques, appelée adsorbat, et une phase solide, appelée adsorbant. De plus, l'adsorption est un phénomène spontané qui se produit dès qu'un gaz ou un liquide entre en contact avec une surface solide, puisqu'il existe des forces non compensées à la fois sur la surface de l'adsorbant et sur cette dernière surface qui sont dépendantes de l'adsorbant. Propriétés physico-chimiques des adsorbats [1].

I.2.2. Types d'adsorption

L'affinité des adsorbants pour les adsorbats repose sur deux types de liaison : chimique ou physique. Parlons maintenant de la physisorption ou de la chimisorption.

I.2.2.1. Adsorption physique

L'adsorption physique ou physisorption est l'accumulation de molécules adsorbées à la surface d'un solide (adsorbant) en raison de leur force d'attraction mutuelle sous l'influence

des forces de van der Waals. La physisorption est favorisée aux basses énergies et températures et se produit sans modifier la structure moléculaire de l'adsorbat [2].

I.2.2.2. Adsorption chimique

L'adsorption chimique ou chimisorption, contrairement à la physisorption, résulte de la formation de liaisons chimiques entre l'adsorbant et le substrat, l'énergie d'interaction est élevée et le processus est accéléré par une température élevée. La chimisorption est complète lorsque tous les centres actifs présents à la surface sont liés aux molécules de l'adsorbant [2].

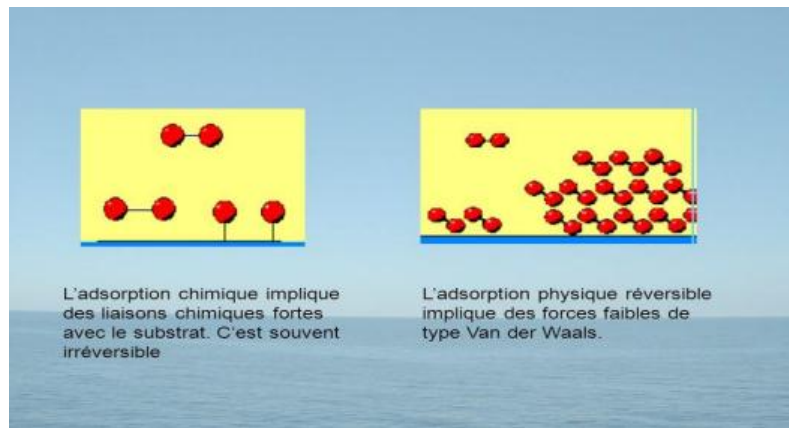


Figure I-1: Comparaison entre l'adsorption chimique et l'adsorption physique [3].

Tableau 2-1: Propriétés de l'adsorption physique et l'adsorption chimique [4]

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Energie d'adsorption	2 à 10 Kcal/mole	20 à 80 Kcal/mole
Température de processus	Inférieure à la température d'ébullition de l'adsorbat	Elevée
Nature de liaison	Physique (Van der Waals)	Chimique
Processus	réversible	Irréversible
Energie d'activation	Non appréciable	Peut être mise en jeu
Cinétique	Très rapide	Lente
Etat de surface	Formation de multicouches	Seulement une monocouche peut être formée

I.3. Mécanisme d'adsorption

Lorsqu'une espèce est adsorbée sur un solide, un transfert de masse moléculaire se produit de la phase liquide vers le cœur de l'adsorbant. Ce processus se déroule en plusieurs étapes au sein des particules d'adsorbant (Figure I-2) [5].

1. Diffusion des molécules adsorbées à l'interface.
2. Transfert vers l'extérieur (diffusion vers l'extérieur) à travers la couche limite.
3. Mouvement des molécules adsorbées dans le volume poreux (diffusion interne).
4. Adsorption superficielle.
5. Possibilité de diffusion des molécules adsorbées à la surface de l'adsorbant.
6. Dégagement de chaleur dû à la nature exothermique du processus.
7. Transfert d'énergie à travers les films et les liquides.

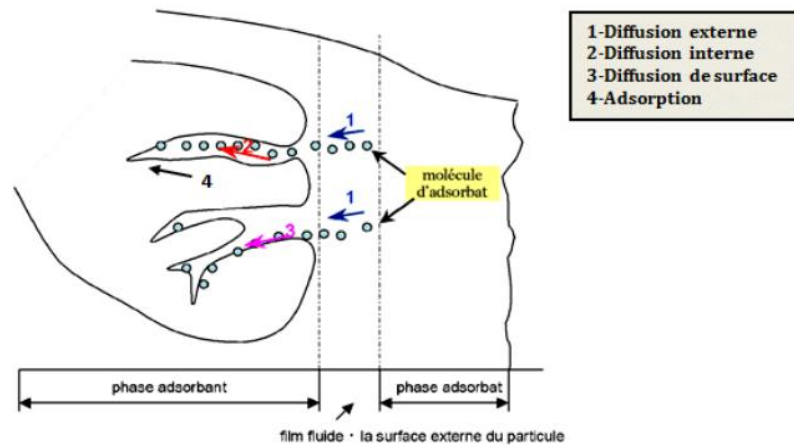


Figure I-2:Schéma expliquant le phénomène d'adsorption [6].

I.4. Facteurs affectant l'équilibre d'adsorption

Le bilan d'adsorption entre adsorbant et adsorbant dépend de nombreux facteurs dont les plus importants sont :

- **Surface spécifique**

La dépendance de la cinétique d'adsorption à la taille de la surface externe d'une particule est essentielle pour l'utilisation des adsorbants, mais cette surface spécifique externe n'est qu'une fraction de la surface minimale d'adsorption disponible [7].

- **Porosité**

La porosité est liée à la distribution des tailles de pores. Ceci reflète la structure inerte de l'adsorbant microporeux [8].

- **Nature de l'adsorbant**

Selon la loi de Lundenius, moins une substance est soluble dans un solvant, plus elle a de chances d'être adsorbée". [9]

- **Polarité**

Les solutés polaires ont une plus grande affinité pour les solvants ou les adsorbants plus polaires.

L'adsorption préférentielle des composés organiques (hydrocarbures, dérivés chlorés, phénols et autres dérivés du benzène) à solubilité aqueuse limitée est importante pour les adsorbants hydrophobes (charbon actif, polymères poreux). Mais ce n'est pas pertinent. Adsorbants polaires très hydrophiles (gel de silice, oxyde d'aluminium) [10].

- **Température**

L'adsorption est un phénomène endothermique ou exothermique et selon la nature du matériau adsorbant et des molécules adsorbants définit la nature de l'adsorption. De nombreuses valeurs d'enthalpie d'adsorption ont été présentées dans la littérature, indiquant la variabilité des processus thermodynamiques [11].

- **pH**

Le pH de la solution joue un rôle important dans la cinétique d'adsorption. En général, les composés acides s'adsorbent à faible pH et les composés basiques à pH élevé [11].

I.5.Adsorbants

I.5.1. Définition

À proprement parler, tous les solides sont des adsorbants. Cependant, seuls les adsorbants ayant une surface spécifique suffisante (surface par unité de masse) ont une importance pratique. Les adsorbants industriels ont généralement des surfaces spécifiques supérieures à 100 m²/g et peuvent même atteindre des milliers de m²/g. Ces adsorbants sont nécessairement microporeux avec des tailles de pores inférieures à 2 nm, ou méso-poreux avec des tailles de pores comprises entre 2 nm et 50 nm (selon la classification UPAC) [12].

I.5.2.Types d'adsorbants

I.5.2.1. Adsorbants de faible capacité

Les scories, les cendres et l'argile doivent être mentionnées. Ces solides ne sont pas renouvelables. L'adsorbant le plus couramment utilisé dans cette classe est l'argile [13].

I.5.2.2. Adsorbant de grande capacité

Cette classe distingue différentes marques de charbon actif, de gel de silice, de résines synthétiques macroporeuses et d'autres solides. Tous ces adsorbants sont renouvelables [14].

a) Les charbons actifs

Les charbons actifs sont préparés par pyrolyse d'une matière contenant du carbone, charbon ou matériau végétal, pour conduire à un charbon de bois qui est ensuite oxydé par la vapeur d'eau dans les conditions contrôlées pour créer une structure microporeuse. Il existe plusieurs centaines de qualités de charbons actifs suivant le précurseur et les conditions de traitement. On peut aussi trouver des charbons actifs dits « chimique », car activés à chaud en présence d'agents chimiques déshydratants, acide phosphorique chlorure de zinc. Ce sont des adsorbants hydrophobes dont la surface spécifique se situe entre 500 et 1500 m²/g.

Leur porosité, leur vaste domaine d'application et leur coût font des charbons actifs les adsorbants plus répandus [15].

b) Adsorbant minéral:

Les adsorbants minéraux se trouvent sous forme naturelle ou synthétique.

- **Argiles :**

Les argiles sont des aluminosilicates. Ce sont des produits naturels avec de meilleures propriétés d'adsorption.

- **Zéolithe :**

La zéolithe est un adsorbant à charpente cristalline tridimensionnelle d'aluminosilicate composée de tétraèdres SiO₄ et AlO₄, la formule générale est (AlO₂M, NSiO₂), où M est principalement un métal alcalin ou alcalino-terreux représente un métal.

Il existe plus de 100 types de zéolithes avec différentes structures cristallines. Ils ont une structure microporeuse de cavités et de canaux qui leur confèrent des propriétés d'adsorption. Ils se présentent sous forme de poudres, de granulés ou d'extrudés. La surface spécifique ne dépasse pas 900 m²/g. Cependant, ils montrent une bonne sélectivité [16].

- **Alumine activée :**

L'alumine activée est obtenue par pyrolyse du tri-hydroxyde d'alumine Al(OH)₃, résultant en un produit de composition approximative Al₂O₃, 0,5 H₂O avec une structure poreuse due à la fuite de molécules d'eau. La surface des pores est recouverte de groupes Al-OH et l'adsorption se produit préférentiellement via une liaison hydrogène.

L'alumine activée est un adsorbant hydrophile amorphe, modérément polaire. Ils ont une surface spécifique de $300 \text{ m}^2/\text{g}$ [17].

- **Gel de silice :**

Le gel de silice est produit à partir de Si(OH)_4 dans la phase aqueuse obtenue par acidification du silicate de sodium ou du sol de silice. Les groupes SiOH fournissent une liaison hydrogène. Il existe deux types de silice. Microporeux assez hydrophile et macroporeux polyvalent, avec différentes tailles de pores comme son nom l'indique. Leur surface spécifique est comprise entre 300 et $800 \text{ m}^2/\text{g}$ [18].

I.6. Bio-adsorbant

L'idée d'utiliser des substances naturelles appelées biosorbants (bioproduits, biopolymères) dans le traitement de l'eau n'est pas nouvelle puisqu'elles sont utilisées pour purifier l'eau depuis plus de 2000 ans en Inde, en Afrique et en Chine. Ces ressources présentent de nombreux avantages et des propriétés intéressantes. Ils sont abondants, renouvelables, biodégradables et peu coûteux. D'un point de vue chimique, ils contiennent des chaînes polymères avec de nombreuses fonctions chimiques très réactives [19].

I.7. Quelques travaux sur l'adsorption des colorants par des bio-adsorbants

- **Sur l'Épluchures de pommes de terre :**
 - Samarghandy et al. (2011) [20] ont étudié l'élimination du noir réactif 5 en utilisant de la biomasse de déchets de pelures de pommes de terre modifiée par des acides. Plusieurs paramètres ont été étudiés dans cette expérience telle que la cinétique et les isothermes d'adsorption. L'expérience était bien adaptée à l'isotherme d'adsorption de Langmuir et la cinétique de pseudo-premier ordre avec un pourcentage d'élimination de 85,5 %.
 - Malekl et al. (2013)[21] ont étudié l'efficacité de la pelure de pomme de terre pour l'élimination du rouge réactif 198. L'expérience a été bien établie pour l'isotherme d'adsorption de Langmuir avec une capacité de 93 mg/g . plusieurs paramètres ont également été réalisées dans cette expérience telles que $\text{pH}=11$ et temps de contact, la masse, la concentration initiale de colorant.
- **Sur le Pelure de banane :**
 - Moubarak et al [22] ont étudié l'élimination de la BM en utilisant la forme de la peau de banane sous forme de poudre. Ils ont étudié les processus d'adsorption en discontinu tels que la température, temps de contact, l'agitation, le pH et le dosage de

l'adsorbant. Le temps de contact s'est avéré être de 40 minutes et l'efficacité de l'élimination a été de 90 %. L'expérience a été bien établie pour l'isotherme d'adsorption de Langmuir.

- Amel et al. (2012) et Liu (2014) [23,24] ont rapporté l'adsorption de BM en utilisant le Nano composite de peau de banane à pH = 8; La peau de banane activée présente une capacité d'adsorption maximale de 19,671 mg/g. L'expérience était bien adaptée à l'isotherme d'adsorption de Langmuir et à la cinétique du pseudo-second ordre.
- Pishgar et al. (2013) [25] ont étudié l'élimination du bleu basique 159 (BB159) d'une solution aqueuse en utilisant du biochar activé de peau de banane. L'expérience a été bien ajustée à la cinétique du pseudo-second ordre et à l'isotherme d'adsorption de Freundlich.

- **Écorce de ramboutan :**

- En 2012, Alrozi et al [26] ont étudié l'élimination du colorant Remazol Brilliant Blue R (RBBR) en utilisant la nano-structure de l'écorce de ramboutan. Les conditions d'adsorption en discontinu ont été observées à un pH de 2 à 12 et à un dosage de 0,05 à 1,2. L'équilibre a été bien établi par l'isotherme d'adsorption de Langmuir avec une valeur q_{max} de 112,69 mg/g. L'adsorption a été suivie par la cinétique du pseudo-second ordre avec une bonne corrélation.

- **Pelure de concombre :**

- Akkay et Guzel (2014) [27] ont étudié l'efficacité de la peau de concombre (CP) pour la bioadsorption du colorant bleu de méthylène (BM) des eaux usées. Ils ont également comparé l'élimination du bleu de méthylène (BM) sur des tiges de persil (PS) et des coques de graines de pastèque (WSH). L'adsorption du BM a été déduite dans les conditions suivantes : pH (2-10), température (293-333K), concentration initiale du colorant (25-450mg/L), force ionique (0.0-1.0 mol/L NaCl). La capacité d'adsorption de CP, PS et WSH était de 111,11 ; 400 et 57,14 mg/g à pH_{zpc} 6,42 ; 6,26 et 6,83 respectivement. L'expérience a été bien ajustée à l'isotherme d'adsorption de Langmuir, suivie d'une cinétique du pseudo-second ordre pour le PS et de pseudo-premier ordre pour le CP et le WSH.

Dans cette expérience, la capacité de désorption et l'efficacité de l'adsorbant ont également été améliorées par le traitement avec HCl et H₃PO₄.

- **Écorce de pomelo :**

- Jayranjan et al. (2011)[28] ont étudié l'élimination du rouge Congo (RC) en utilisant l'écorce de Pomelo comme bio-adsorbant. L'expérience a été réalisée dans des

conditions d'adsorption en discontinu telles que comme le pH (5,99-8,73), la température (300-600C), et un dosage d'adsorbant de 1,0-3,0 g.L⁻¹. L'expérience sur le bio-adsorbant d'écorce de Pomelo était bien adaptée à l'isotherme d'adsorption de Langmuir avec une capacité d'adsorption de 1,08 à 0,75 mg/g.

- En 2014, Argun et al.[29] ont étudié l'adsorption du bleu réactif 114 (RB114) des eaux usées utilisant le composite nanoporeux Pomelo comme bio-adsorbant. L'équilibre en batch a été réalisé dans des conditions telles que pH=2, température =303 K, et temps de contact = 90 min. L'expérience a été bien adéquate par l'isotherme d'adsorption de Langmuir avec q_{\max} de 16 mg/g.
- **L'écorce d'orange :**
 - EI-Said et al. (2013) [30] ont utilisé l'écorce d'orange pour éliminer le rouge direct 79 et le jaune direct 27 des eaux usées. L'adsorption a été réalisée étudiant le pH, le rapport solide/liquide, la concentration initiale de colorant et le temps de contact. L'expérience a suivi l'isotherme d'adsorption de Freundlich et la cinétique du pseudo-second ordre.
 - Khafuoui et al. (2014)[31] ont étudié l'adsorption de BM à l'aide d'un bioadsorbant à base de peau d'orange. Ils ont également étudié la dépendance de la température sur l'adsorption et ont déduit que la capacité d'adsorption augmente avec la température, la capacité d'adsorption augmente. L'expérience a suivi l'isotherme d'adsorption de Langmuir avec une valeur q_{\max} de 9,74 mg/g et une cinétique de pseudo-second ordre.
 - Ahmed et al. (2012) ont étudié l'adsorption du bleu réactif 19 (RB19) en utilisant de la peau d'orange modifiée. L'expérience a été réalisée en rapportant différentes études d'équilibre en batch. L'expérience a été bien établie pour l'isotherme d'adsorption de Freundlich et la cinétique de pseudo-premier ordre [32].
- **Les déchets de brasserie :**
 - Jaikumar.V et Ramamurth.V [33] a étudiée La biosorption du vert acide (AG 25), utilisant des drêches de brasserie (SBG), un déchet de l'industrie brassicole, dans un système discontinu. La biomasse a montré la plus grande capacité d'absorption de colorant à 303 K, un pH initial de 3, une concentration initiale de colorant de 90 mg/L, un dosage de biosorbant de 0,2 g et un temps de contact de 75 min. Le degré d'élimination du colorant augmente avec l'augmentation du temps et du dosage de biosorbant et diminue avec l'augmentation de la température. La capacité de sorption à l'équilibre de la biomasse a augmenté avec l'augmentation de la concentration initiale

de colorant jusqu'à 90 mg/L. Les résultats expérimentaux ont montré que le pH acide favorise la biosorption. Les modèles d'adsorption de Langmuir et de Freundlich sont évalués. Les pseudo-modèles cinétiques du premier et du second ordre ont également été appliqués à la biosorption

- **Déchets de bois**

- CHEMIRIK.D et BOUMEDINE.H [34] ont étudié l'analyse des déchets de bois indique qu'ils sont riches en matière organique et ont un pH de 3,03. Des tests d'adsorption sur les deux matériaux MH350 et MH400 calcinés à 350 °C et 400 °C, respectivement, ont montré que l'équilibre était fonction de la concentration initiale de colorant. Pour les solutions à 300 ou 500 mg.l⁻¹ BM, l'équilibre est atteint après 4 ou 7 heures. L'adsorption du colorant bleu de méthylène sur les déchets de bois activés s'explique entièrement par une cinétique de pseudo-second ordre. La capacité maximale d'adsorption déterminée par le modèle mathématique de Langmuir est d'environ 694,44 mg.g⁻¹ pour le MH350 et 330,03 mg.g⁻¹ pour le MH400. Les paramètres thermodynamiques des systèmes adsorbant/adsorbat étudiés indiquent que le processus d'adsorption est spontané et exothermique.

- **Noyaux de Lilas perse**

BETTAYEB. A [35] a étudié l'adsorption de Gentian violet en milieu aqueux sur un adsorbant (biochar) issu des noyaux lilas perse. Les essais d'adsorption ont montré que l'équilibre s'établit au bout de 30 minutes. Diverses variables expérimentales ont été appliquées : le temps de contact est 240 minutes, la concentration initiale en colorant est C initiale = 150 mg/l, le pH= 10 et la température ambiante de réaction. La cinétique d'adsorption du Gentian violet a été étudiée à l'aide d'équations du premier ordre et du second ordre. D'après les résultats obtenus, le processus est identique à une cinétique de pseudo second ordre.

I.8. Isotherme d'adsorption

La relation entre la masse d'adsorbat (Q_e) fixée à l'équilibre sur la surface de l'adsorbant et sa concentration dans la phase liquide est donnée par l'équation suivante (I-1) [36] :

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m} * V_m \quad \text{Equation I-1}$$

Avec :

Q_e : Quantité adsorbée à l'équilibre par un gramme d'adsorbant (mg/g).

V : Volume de solution (L).

m : Masse de l'adsorbant (g).

C_0 : Concentration initiale en adsorbat en phase liquide (mg/L).

C_e : Concentration à l'équilibre en adsorbat en phase liquide (mg/L).

I.8.1. Classification des isothermes d'adsorption

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées: C (partitions constantes), L (Langmuir), H (Haut affinité) et S (Sigmoide). La figure II.3 représente la classification des isothermes d'adsorption selon Giles [37].

Entre autres choses, la classification tient compte de nombreuses hypothèses [38] :

- Les solvants s'adsorbent aux mêmes endroits que les solutés. Cela implique l'existence d'une compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté.
- À mesure que la quantité d'adsorption augmente, le nombre de sites appropriés pour l'absorption de molécules de soluté sur la surface solide diminue.
- Orientation des molécules sur la surface. C'est le cas lorsque les molécules sont adsorbées verticalement ou horizontalement à la surface.
- Enfin, les interactions attractives ou répulsives entre molécules adsorbées se manifestent de façon prépondérante dans les phénomènes d'adsorption.

a) Isothermes de type C

Le tracé isotherme en forme de C montre une ligne droite passant par l'origine. La forme du graphique (à droite) indique que le rapport entre la concentration résiduelle et la concentration adsorbée est le même pour chaque concentration. Ce rapport est appelé coefficient de partage 'Kd'.

Ce sont des molécules flexibles qui ne peuvent pas pénétrer dans les pores et déplacer le solvant [39].

b) Isotherme de type L

L'isotherme de type L « Langmuir » montre une adsorption plate de molécules bifonctionnelles. Le rapport de la concentration résiduelle à la concentration adsorbée dans la solution diminue avec l'augmentation de la concentration de soluté, ce qui donne une courbe concave. Cette courbe suggère : Saturation progressive des adsorbants [40].

c) Classe H

La première partie de l'isotherme est presque verticale et l'adsorption apparaît significative lorsque la concentration de soluté en solution est proche de zéro. Ce phénomène

se produit lorsque l'interaction entre les molécules adsorbées et la surface solide est très forte. Des isothermes de classe H sont également observées lors de l'adsorption de micelles ou de polymères formés à partir de molécules dissoutes [41].

d) Classe S

Cette classe d'isothermes a un pendage vers le haut à de faibles concentrations. Les molécules adsorbées facilitent l'adsorption ultérieure d'autres molécules (co-adsorption). En effet, les molécules sont attirées par les forces de van der Waals et se combinent pour former des îlots où elles s'empilent les unes sur les autres. Ce comportement est avantageux, d'une part, lorsque la molécule de soluté est adsorbée verticalement, comme c'est le cas pour les molécules à un seul groupement fonctionnel, et d'autre part, lorsque la molécule est en forte compétition d'adsorption avec le solvant [42].

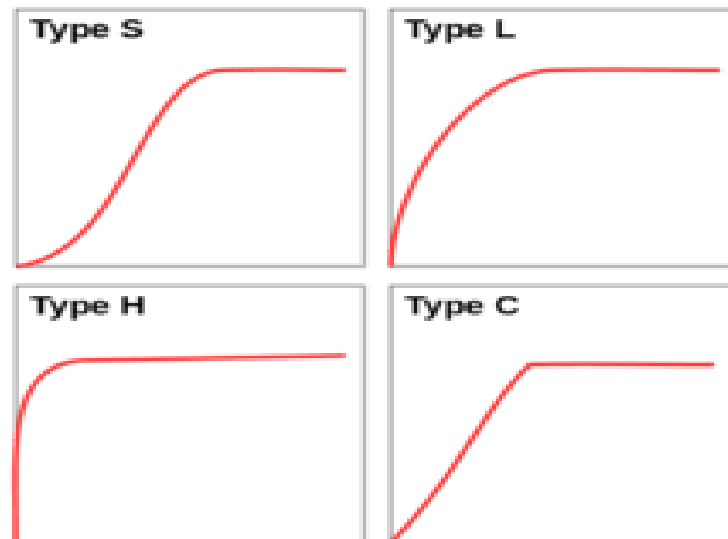


Figure I-3: les quatre types d'isotherme selon giles et all [43].

Après cette discussion, nous travaillerons sur l'interprétation des différentes classes d'isothermes.

I.9. Modélisation des isothermes d'adsorption

I.9.1. Modèle de Langmuir

L'isotherme de LANGMUIR a été proposée en 1918. Ceci est basé sur les hypothèses suivantes [44]:

- La surface du sorbant possède plusieurs sites d'adsorption.
- Chacun de ces sites peut adsorber une seule molécule.
- Différents sites ont la même affinité pour un type de soluté.

- Il n'y a pas d'interaction entre les molécules adsorbées car l'activité sur un site particulier n'affecte pas l'activité sur les sites voisins [45].

Ce modèle est appliqué à l'adsorption mono-moléculaire du soluté à la surface du solide et la quantité adsorbée est donnée par l'équation suivante : [46.47].

$$\text{Forme linéaire : } \frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} * K_L} + \frac{1}{q_{\max}} * C_e \quad \text{Équation I-2}$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} K_L} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_{\max}} \quad \text{Équation I-3}$$

q_e : Quantité d'adsorbat adsorbée à l'équilibre par un gramme d'adsorbant (mg/g).

q_m : Quantité d'adsorbant nécessaire pour couvrir la première couche de l'adsorbant (mg/g).

K_L : Constante d'équilibre caractéristique de l'adsorbat, dépend de la température et des conditions expérimentales (L/mg).

C_e : Concentration de l'adsorbat dans la phase liquide à l'équilibre (mg/L)

I.9.2. Modèle de Freundlich

Le modèle simple et empirique de Freundlich [48] est aussi très souvent utilisé. On considère qu'il s'applique à de nombreux cas, notamment dans le cas de l'adsorption en multicouches avec des interactions possibles entre les molécules adsorbées [49].

Equation suivant [50]:

$$q_e = K_f C^{1/n} \quad \text{Équation I-4}$$

K_f : [(mg/g)/ (mg/L)ⁿ] : Freundlich constant.

n : paramètre d'intensité de Freundlich sans dimension.

La linéarisation de l'équation du modèle de Freundlich peut être donnée selon l'équation suivant:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad \text{Équation I-5}$$

Le tracé de la courbe $\ln(q_e)=f(\ln C_e)$ permet de déterminer les valeurs des constantes K_f et n de Freundlich.

I.10. Modèles cinétiques :

Pour examiner le mécanisme du processus d'adsorption des solutés tel que la vitesse d'adsorption et la diffusion intra particulaire, des modèles cinétiques sont souvent utilisés pour l'analyse des résultats expérimentaux.

I.10.1. Modèles cinétiques du pseudo-premier ordre :

Le modèle cinétique du pseudo-premier ordre est souvent formulé par l'équation de Lagergren de la forme [51]:

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad \text{Équation I-6}$$

Après intégration et l'application des conditions aux limites ($t=0, q_t=0$) et ($t=t, q=q_t$), l'équation devient:

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log } q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad \text{Équation I-7}$$

q_t : quantité adsorbée (mg/g) du soluté par unité de masse de l'adsorbant au temps t

q_e : quantité adsorbée (mg/g) du soluté à la saturation en monocouche.

t : temps de contact (min)

k_1 : Constante de la vitesse d'adsorption du pseudo-premier ordre (min^{-1}).

Le tracé $\text{Log}(q_e - q_t)$ en fonction du temps t donne une droite linéaire de pente ($-k_1/2.303$) et l'ordonnée à l'origine $\text{log } q_e$, nous permet de déduire q_e .

I.10.2. Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre :

Ce modèle peut être exprimé par une équation (Équation I-6) :

Après l'intégration suivie de la linéarisation, l'équation devient sous la forme suivante:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad \text{Équation I-8}$$

t : temps de contact (min) ;

k_2 : constante de vitesse d'adsorption du pseudo deuxième ordre ($\text{g/mg}^{-1}\text{min}^{-1}$)

Le tracé de t/q_t en fonction du temps t donnera une droite de pente $1/q_e$ et l'ordonnée à l'origine $1/k_2 q_e^2$.

Ces valeurs obtenues permettent de déterminer la constante de vitesse apparente k_2 et la quantité adsorbée du soluté par unité de masse de l'adsorbant à la saturation q_e .

I.10.3. Coefficient de distribution :

Le coefficient de distribution K_d est défini comme étant le rapport des quantités fixées par gramme de solide sur la concentration de soluté restante en solution.

Le coefficient de distribution K_d caractérise l'affinité du soluté pour l'adsorbant, peut se traduire par l'expression :

$$K_d = \frac{C_i - C_e}{C_e} * \frac{V}{m} \quad (\text{cm}^3/\text{g}) \quad \text{Équation I-9}$$

C_i : concentration initiale de soluté (mg/L)

C_e : concentration résiduelle du soluté à l'équilibre dans la solution (mg/L)

m : masse de l'adsorbant (solide) (g)

V : le volume de la solution (cm^3)

I.11. Etude des paramètres thermodynamiques :

Les paramètres thermodynamiques mettant en évidence l'influence de la température, sont déterminés à partir des relations entre eux et le Coefficient de distribution K_d [53,54].

La relation thermodynamique:

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad \text{Équation I-10}$$

Associée a la relation obtenue par intégration de l'équation de Van' Hoff.

$$\Delta G^0 = -RT \cdot \text{Ln}K_d \quad \text{Équation I-11}$$

Nous permet de déterminer les paramètres thermodynamiques a partir de l'équation:

$$\text{ln} K_d = \frac{\Delta S^0}{R} - \frac{\Delta H^0}{RT} \quad \text{Équation I-12}$$

R est la constant des gaz parfaits, T la température absolue en Kelvin (K) et K_d est le coefficient de distribution.

Le tracé des droites $\text{Ln}K_d = f(1/T)$ permet de calculer les valeurs des paramètres thermodynamiques ΔS^0 et ΔH^0 à partir de l'ordonnée et de la pente.

L'évolution des paramètres cites ci-dessus nous indique si le phénomène est exothermique ou endothermique.

Les paramètres thermodynamiques tels que l'enthalpie libre standard (ΔG^0), l'enthalpie standard (ΔH^0) et l'entropie standard (ΔS^0) ont été déterminés en utilisant les équations suivantes [55]:

$$K_d = \frac{q_e}{C_e} \quad \text{Équation I-13}$$

$$\Delta G^0 = -RT \text{ln}K_d \quad \text{Équation I-14}$$

$$\ln K_d = \left(\frac{\Delta G^0}{R}\right) - \left(\frac{\Delta H^0}{R}\right) \frac{1}{T} \quad \text{Équation I-15}$$

Où

K_d : constante de distribution;

R : constante des gaz parfaits [J.mol⁻¹.K⁻¹];

T : température absolue [K]

Reference bibliographique

- [1] Bouanimba, N., & Zouaghi, R. (2017). Modélisation et optimisation de la cinétique de dégradation photocatalytique de polluants organiques en solution aqueuse.
- [2] Chemirik.D., & Boumedine, H. (2021). Etude de l'adsorption du bleu de méthylène sur un bioadsorbant à base d'un déchet de bois.Université de Mostaganem.
- [3] Khachkhouché,W.,Tebib,I.,& Bouchemma,A.(2020).Etude de l'adsorption dodedcylamine sur le quartz.
- [4]Ruthven, D. M. (1984). Principles of adsorption and adsorption processes. John Wiley & Sons.
- [5] Chemirik.D., & Boumedine,H. (2021). Etude de l'adsorption du bleu de méthylène sur un bioadsorbant à base d'un déchet de bois.Université de Mostaganem.
- [6] KHELIEL, O. (2018). Les nitrates dans les eaux souterraines de la région de Biskra et possibilités de traitement (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA).
- [7] Zhenwang, L., ZhenLu, C., & Jianyan, L. (2000, October). The PT dye molecular structure and its chromophoric luminescences mechanism. In 15th World Conference on Non-Destructive Testing (pp. 15-21)
- [8] Hedayatullah, M. (1976). Les colorants synthétiques (Vol. 15). Presses universitaires de France.
- [9] La règle de Lundenius.
- [10] Wang, X., Zhu, N., & Yin, B. (2008). Preparation of sludge-based activated carbon and its application in dye wastewater treatment. Journal of hazardous materials, 153(1-2), 22-27.
- [11] Chemirik.D., & Boumedine,H. (2021). Etude de l'adsorption du bleu de méthylène sur un bioadsorbant à base d'un déchet de bois.Université de Mostaganem.
- [12] Sun,L.M.,& Meunier,F.(2003). Adsorption: aspects théoriques. Techniques de l'ingénieur. Technologies de l'eau, 2(J2730).
- [13] Chitour,S. E.(1981). Chimie des Surfaces; Introduction à la Catalyse. Edition OPU Alger.
- [14] Ouali, M. (2008). Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux 2emeEdition.

- [15] Fiani, E. (2000). Adsorption de polluants gazeux sur des filtres de charbon actif. Modélisation des échanges couples de matière et de chaleur (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne).
- [16] BARRER. ZEOLITES and CLAY MINERALS adsorbent and moléculaire SIEVES.
- [17] Misra, C. (1986). Industrial alumina chemicals (No. 184). Amer Chemical Society.
- [18] Moreno-Castilla, C. (2004). Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. *Carbon*, 42(1), 83-94
- [19] Sancey, B. (2011). Développement de la bio-adsorption pour décontaminer des effluents de rejets industriels: abattement chimique et gain environnemental (Doctoral dissertation, Besançon)
- [20] Samarghandy, M. R., Hoseinzadeh, E., Taghavi, M., & Rahmani, A. (2011). Biosorption of reactive black 5 from aqueous solution using acid-treated biomass of potato peel waste. *BioResources*, 6(4), 4840-4855.
- [21] Maleki, A., Daraei, H., Khodaei, F., Bayazid-Aghdam, K., Rezaee, R., & Naghizadeh, A. (2013). Investigation of potato peel-based bio-sorbent efficiency in reactive dye removal: Artificial neural network modeling and genetic algorithms optimization. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 1(1), 21-28.
- [22] Moubarak, F., Atmani, R., Maghri, I., Elkouali, M. H., Talbi, M., Bouamrani, M. L., & Kenz, A. (2014). Elimination of methylene blue dye with natural adsorbent "banana peels powder". *Global Journal of Science Frontier Research: B Chemistry*, 14(1), 39-44
- [23] Liu, R. L., Liu, Y., Zhou, X. Y., Zhang, Z. Q., Zhang, J., & Dang, F. Q. (2014). Biomass-derived highly porous functional carbon fabricated by using a free-standing template for efficient removal of methylene blue. *Bioresource technology*, 154, 138-147
- [24] Amela, K., Hassen, M. A., & Kerroum, D. (2012). Isotherm and kinetics study of biosorption of cationic dye onto banana peel. *Energy Procedia*, 19, 286-295.
- [25] Pishgar, M., Yazdanshenas, M. E., & Ghorbani, M. H. (2013). Removal of basic blue 159 from aqueous solution using banana peel as a low-cost adsorbent. *Journal of Applied Chemical Research*, 7(4), 51-62.
- [26] Alrozi, R., Zamanhuri, N. A., & Osman, M. S. (2012, June). Adsorption of reactive dye Remazol Brilliant Blue R from aqueous solutions by rambutan peel. In 2012 IEEE Symposium on Humanities, Science and Engineering Research (pp. 21-26). IEEE.
- [27] Akkaya, G., & Güzel, F. (2014). Application of some domestic wastes as new low-cost biosorbents for removal of methylene blue: kinetic and equilibrium studies. *Chemical Engineering Communications*, 201(4), 557-578

- [28] Jayarajan, M., Arunachalam, R., & Annadurai, G. (2011). Use of low cost nano-porous materials of pomelo fruit peel wastes in removal of textile dye. *Research Journal of Environmental Sciences*, 5(5), 434
- [29] Argun, M. E., Güçlü, D., & Karatas, M. (2014). Adsorption of Reactive Blue 114 dye by using a new adsorbent: Pomelo peel. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(3), 1079-1084.
- [30] AG, E. S., AM, G., & Mansour, H. F. (2013). Potential application of orange peel as an eco-friendly adsorbent for textile dyeing effluents. *Research Journal of Textile and Apparel*, 17(4), 31-39.
- [31] Khalfaoui, A., Bendjamaa, I., Bensid, T., Meniai, A. H., & Derbal, K. (2014). Effect of calcination on orange peels characteristics: application of an industrial dye adsorption. *Chemical Engineering*, 38.
- [32] Sayed, A. S. A., El-Nabarawy, T., & Khalil, L. B. (2012). Removal of Reactive Blue 19 dye from aqueous solution using natural and modified orange peel. *Carbon letters*, 13(4), 212-220.
- [33] Jaikumar, V., & Ramamurthi, V. (2009). Effect of biosorption parameters kinetics isotherm and thermodynamics for acid green dye biosorption from aqueous solution by brewery waste. *International journal of chemistry*, 1(1), 2.
- [34] Chemirik.D., & Boumedine,H. (2021). Etude de l'adsorption du bleu de méthylène sur un bioadsorbant à base d'un déchet de bois.Université de Mostaganem.
- [35] NERMINE, B. A. Elimination d'un colorant cationique (GV) par adsorption sur un biochar synthétisé à partir des noyaux de Lilas perse.
- [36] Nouri, L. (2007). Elimination des ions métalliques à partir de solution aqueuse par le son de ble (Doctoral dissertation, Annaba).
- [37] Abid Hacini, O. (1987). Adsorption par le charbon actif de micropolluants organiques en solution aqueuse (Doctoral dissertation, Toulouse).
- [38] BAHNES, Z. (2018). Activation des noyaux des jujubes pour l'obtention d'un charbon actif (Doctoral dissertation, Université de Mostaganem-Abdelhamid Ibn Badis).
- [39] Wu, F. C., Tseng, R. L., & Juang, R. S. (2001). Kinetic modeling of liquid-phase adsorption of reactive dyes and metal ions on chitosan. *Water research*, 35(3), 613-618.
- [40] Braz, J. (2009). *Chem. Eng.* vol.26 no.2 São Paulo Apr.
- [41] Belmouden, M. (2000). Contribution à l'étude de l'adsorption de deux familles de polluants organiques sur charbons actifs et sols (Doctoral dissertation, thèse de doctorat, Faculté des Sciences d'Agadir).

- [42] Desjardins, R. (1997). Le traitement des eaux. 2eme édition. Ed. de l'école polytechnique de Montréal.
- [43] Febrianto, J., Kosasih, A. N., Sunarso, J., Ju, Y. H., Indraswati, N., & Ismadji, S. (2009). Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: a summary of recent studies. *Journal of hazardous materials*, 162(2-3), 616-645
- [44] Aksas, H. (2013). Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels (Doctoral dissertation, Université de Boumerdès-M'hamed Bougara).
- [45] GHALI, S. (2008). Etude de la carbonisation d'un précurseur végétal, les noyaux d'olives. Utilisation dans le traitement des eaux.
- [46] BOULKRAH, H. (2008). Etude comparative de l'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants
- [47] Freundlich, H. (1907). Über die adsorption in lösungen. *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 57(1), 385-470.
- [48] Limousin, G., Gaudet, J. P., Charlet, L., Szenknect, S., Barthes, V., & Krimissa, M. (2007). Sorption isotherms: A review on physical bases, modeling and measurement. *Applied geochemistry*, 22(2), 249-275.
- [49] Freundlich, H. (1906). Adsorption in solution, *Phys. In Chem.Soc* (Vol. 40, pp. 1361-1368)
- [50] Do, D. D. (1998). Adsorption analysis: Equilibria and kinetics (with cd containing computer MATLAB programs) (Vol. 2). World Scientific.
- [51] Lagergren, S. K. (1898). About the theory of so-called adsorption of soluble substances. *Sven. Vetenskapsakad. Handlingar*, 24, 1-39.
- [52] Ho, Y. S., & McKay, G. (1999). Pseudo-second order model for sorption processes. *Process biochemistry*, 34(5), 451-465.
- [53] Zeyneb, B., Amira, B., & Said, H. (2021). Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de bleu de méthylène sur une argile locale" région d'Oum-El-Bouaghi".
- [54] Belaid, K. D., & Kacha, S. (2011). Étude cinétique et thermodynamique de l'adsorption d'un colorant basique sur la sciure de bois. *Revue des Sciences de l'eau*, 24(2), 131-144.
- [55] Boubberka, Z., Kacha, S., Kameche, M., Elmaleh, S., & Derriche, Z. (2005). Sorption study of an acid dye from an aqueous solutions using modified clays. *Journal of Hazardous Materials*, 119(1-3),117-124

CHAPITRE II

Matériels et Méthodes d'analyses

II.1. Introduction

L'objectif de ce chapitre est d'exposer les moyens et les méthodes expérimentales que nous avons exploités pour mener à bien notre étude. Cela passe par une présentation des produits chimiques, du colorant et de l'adsorbant suivie d'une description du dispositif expérimental utilisé. Nous décrivons ensuite les techniques d'analyse et les méthodes de caractérisation mises en œuvre.

II.2. Méthodes de caractérisation

Pour déterminer les propriétés structurales et texturales de nos échantillons, nous utilisons les techniques:

- La spectroscopie Infra Rouge (IR)
- La spectroscopie UV-Visible
- La diffraction des rayons x

II.3. Technique de caractérisation :

II.3.1. Spectroscopie infrarouge

La technique de la spectroscopie vibrationnelle infrarouge (IR) est devenue aujourd'hui un outil indispensable dans le milieu de la recherche, elle a l'avantage d'être une technique non destructive de l'échantillon. Cette technique est non seulement complémentaire à d'autres méthodes de caractérisation de la matière (par exemple la spectroscopie de masse, la résonance magnétique nucléaire (RMN)), mais fournit aussi des informations, inaccessibles par d'autres techniques, sur la structure, la composition moléculaire et les interactions au sein d'un échantillon.

Cette technique est de plus en plus utilisée dans le domaine de l'industrie notamment pour reconstituer la nature chimique d'un produit minéral par identification de bandes d'absorption présentes sur un spectre [1].

L'infrarouge est subdivisé en:

- **a. IR proche** (PIR : de 0,78 μm à 2,5 μm),
- **b. IR moyen** (MIR : de 2,5 à 50 μm)
- **c. IR lointain** (de 50 μm à 1 000 μm) [2].

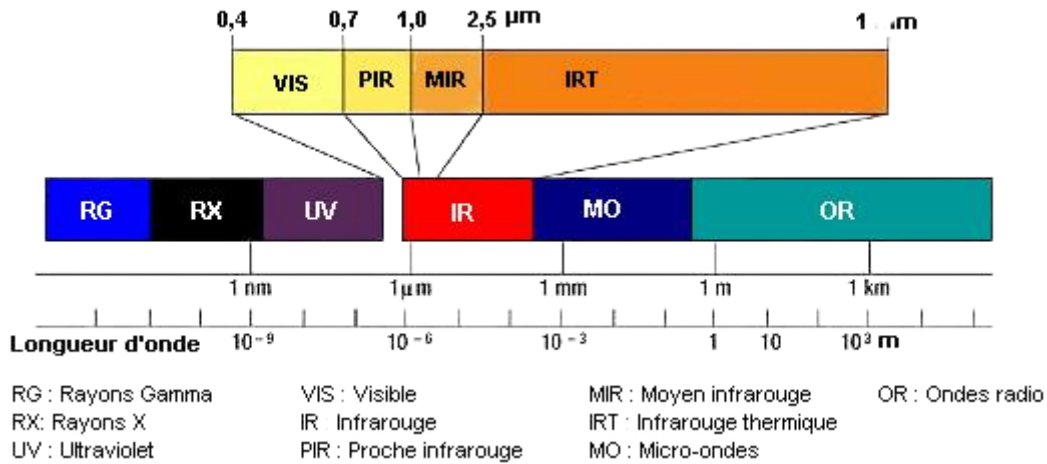


Figure II-1: Spectre électromagnétique [3]

II.3.2. Méthode d'analyse-Spectrophotométrie UV-Visible :

Le spectromètre UV-Visible que nous avons utilisé est un appareil qui permet de mesurer directement les densités optiques. Le spectrophotomètre utilisé est un spectrophotomètre à double faisceaux : une source de lumière blanche émet un rayon lumineux ; celui-ci passe dans un monochromateur permettant de sélectionner une longueur d'onde, puis est séparé en deux faisceaux. L'un est dirigé vers la cuve de référence contenant le solvant, l'autre traverse l'échantillon à analyser. Deux photorécepteurs permettent de mesurer l'intensité lumineuse de chaque faisceau.



Figure II-2: Spectrophotomètre UV-visible

L'absorbance A de la solution est ensuite calculée à partir de l'équation (II-1).

$$A = -\log \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad \text{Équation II-1}$$

Avec :

A: absorbance de la solution pour une longueur d'onde λ

I_0 : l'intensité du faisceau de référence

I: l'intensité transmise du faisceau traversant l'échantillon La concentration en polluant dans l'échantillon est déduite de l'absorbance à l'aide de la loi de Beer-Lambert (équation II-2).

$$A = \epsilon . l . c \quad \text{Équation II-2}$$

Avec :

ϵ : Coefficient d'absorption molaire (l/mol.cm) à la longueur d'onde λ

C : concentration molaire de l'espèce absorbante (mol/l)

l : L'épaisseur de la cuve (cm)

Le détecteur du spectrophotomètre utilisé étant saturé pour une absorbance supérieure à 3, il est nécessaire de diluer les échantillons les plus concentrés avant leur dosage. [4]

II.4. Mode opératoire

II.4.1. Préparation des adsorbants :

Les déchets (pelures de patate de douces et de coing) sont lavés à l'eau du robinet puis à l'eau distillée plusieurs fois avant utilisation, puis séchés dans une étuve à 30 °C pendant 24h, et enfin broyés et tamisés (tamis à mailles $\leq 250\mu\text{m}$) pour avoir une poudre fine.

a) **Bio-adsorbant 1** : c'est les pelures des Coings (**Bio-C**)

b) **Bio-adsorbant 2** : c'est les pelures des patates douces (**Bio-PD**)

La caractérisation préliminaire du biosorbant ainsi obtenu comprenait la détermination de Taux d'humidité, pH_{PCZ} (pH au point de charge potentiel zéro), l'indice de bleu de méthylène et à partir de ce dernier on peut déterminer la surface spécifique de biosorbants et finalement la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).

II.4.2. Caractérisation de bio-adsorbant

II.4.2.1. Taux humidité:

On pèse un creuset contenant 1 g la poudre bio-adsorbant (Bio-C) et bio-adsorbant (Bio-PD), on l'introduit ensuite dans l'étuve à une température de 105 °C pendant 2 heures. Après sa sortie de l'étuve, on le pèse à nouveau. La teneur d'humidité est donnée par la relation suivant (Équation II-3) :

$$H\% = ((m_1 - m_2) / m_1) * 100 \quad \text{Équation II-3}$$

Avec :

H (%) : taux d'humidité

m₁ : la masse du creuset rempli avant séchage (1g)

m₂ : la masse du creuset rempli après séchage en gramme



Figure II-3: séchage des matières premières dans l'étuve

II.4.2.2. pH_{pcz} (point de charge zéro)

Le pH_{pcz} est défini comme le pH auquel il n'y a pas de charge positive ou négative à la surface du bio-adsorbant. 50ml d'une solution de chlorure de sodium (0,01 M) sont placés dans des flacons, le pH est ajusté de 2 jusqu'à 12 par addition de soude ou d'acide chlorhydrique concentré ; Ensuite, nous ajoutons 1g du Bio-PD ou 1g du Bio-C aux solutions de NaCl. Après 48 heures d'agitation le pH final est mesuré. Et on trace la courbe de Δ pH en pHi (Δ pH = f(pHi)).

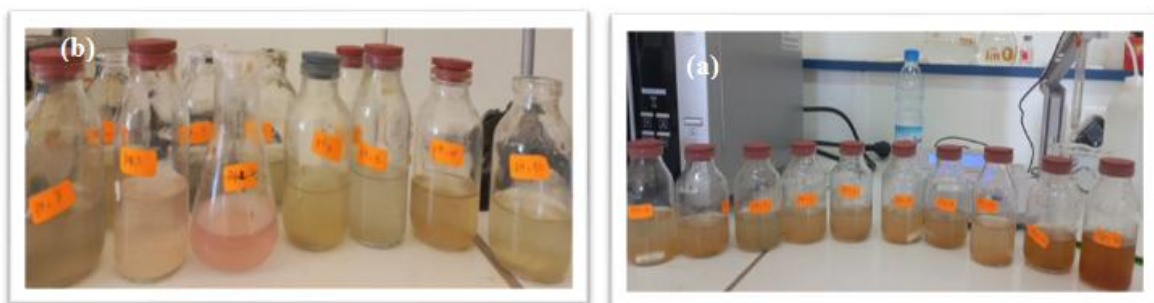


Figure II-4: Essais de détermination de pH_{pcz} de Bio-C (a) et Bio-PD (b)

II.4.2.3. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)

Dans ce travail, la spectroscopie infrarouge a été utilisée pour obtenir des informations sur la structure chimique et les groupes fonctionnels des matériaux adsorbants préparés et aussi pour déterminer la présence ou non de la matière organique dans les biosorbants après adsorption. Les spectres d'adsorption IR en phase solide ont été enregistrés avec le spectromètre de l'infrarouge (IR Prestige-21) dans de domaine de fréquences compris entre 4000 et 400 cm^{-1} . L'analyse infrarouge s'effectue sur des pastilles de KBr en respectant les étapes suivantes (A.Horn 1998):

- Les échantillons et le KBr sont laissés dans l'étuve pendant 1 heure avant utilisation pour sécher.
- 100 mg de KBr et 50 mg d'échantillon sont broyés finement dans un mortier en Agathe.
- Une fois le mélange pastillé est soumis directement à l'analyse IRT

II.4.2.4. Indice de bleu de méthylène

Nous avons préparé deux échantillons, chaque échantillon se compose de 100 mg de biosorbant (Bio-C et Bio-PD) et de 100 mL de BM d'une concentration de 100 mg/L. Les solutions sont mises sous agitation pendant quatre heures. Au bout des quatre heures, un volume de 10 ml du surnageant est centrifugé pendant 10 min a une vitesse de 6000 tr/min afin de séparer les biosorbants du bleu de méthylène. Enfin les absorbances sont mesurées au spectrophotomètre.

Les indices de bleu de méthylène sont calculés par la relation ci-dessus : [5]

$$IBM = (C_0 - C_f) \times \frac{V}{m} \quad \text{Équation II-4}$$

Avec :

C_0 et C_f respectivement les concentrations de BM initiale et finale en mg. L^{-1} ;

V : le volume de la solution en litre (L) ;

m : la masse de l'échantillon du biosorbant introduite pour le mélange en gramme (g) ;

IBM est l'indice du BM en mg/l .

II.5. Choix du Colorant : acide vert 25 (Acid Green 25 : AG25)

C'est un colorant acide de la famille des anthraquinoniques utilisé dans l'industrie cosmétique et pharmaceutique. Il est retrouvé dans les effluents causant des problèmes environnementaux évidents [6]. Il est fourni par Acros Organics sous forme solide, on a pris

ce colorant par rapport à leur utilisation excessive par les industries et leur présence dans les rejets industriels. En plus de ses nocivités pour l'environnement et l'eau en particule, il est le choix des modèles utilisés comme test pour plusieurs procédés des traitements des eaux il y a beaucoup d'études sur l'élimination de ce colorant par des bio-adsorbants comme le charbon actif qui est d'origine des déchets organiques [7].

II.5.1. Les caractéristiques physico chimiques du colorant

La structure de l'AG25 est présentée dans la figure suivante :

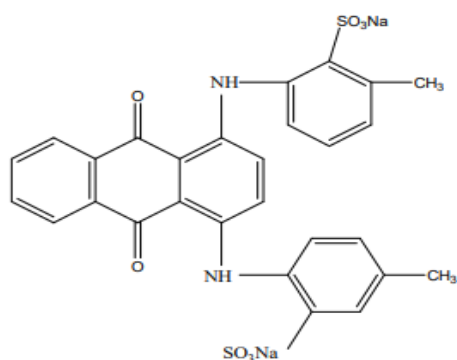


Figure II-5: Structure chimique de l'AG25

Le tableau suivant représente les principales caractéristiques physico-chimiques des deux colorants:

Tableau II-1:Caractéristiques physicochimiques de l'AG 25

Propriétés	Acid green 25 (AG25)
Formule brute	(C ₂₈ H ₂₂ N ₂ O ₈ S ₂ 2Na)
Masse molaire(g/mol)	622,58
Origine	Synthétique
Caractérisation chimique	Colorant acide anionique
Couleur	Bleu-vert foncé
La longueur d'onde (nm)	643

II.5.2. Leur Utilisations :

Un colorant anthraquinonique est un type de colorants extrêmement courant, provenant de l'antraquinone, une molécule chimique présente à l'état naturel dans la rhubarbe, l'aloès, les insectes ou les champignons et lichens. On retrouve le colorant anthraquinonique dans certains produits cosmétiques et pharmaceutiques, notamment dans des dentifrices antitartres. Cependant, cette famille de colorant est interdite depuis les années 1970 dans les produits alimentaires [8].

II.5.3. Préparation de solution de colorant :

Acid green 25 (AG25) : Ce colorant est un solide organique coloré à l'état de poudre fine (figure II.6). Ils appartiennent à la famille des pigments basiques hydrosolubles. Pour préparer le colorant (AG25) à une concentration de 100 mg/l, on dissout $m = 0.1g$ d'AG25 dans l'eau distillée dans une fiole de 1 litre comme montre la figure II.7.



Figure II-7: Solution mère d'AG25



Figure II-6: AG25 à l'état de poudre fine

II.6. Droite d'étalonnage en spectrophotométrie UV/Visible :

Une série de solutions standards de AG 25, de concentration variée ont été préparées à partir des solutions mère (AG 25) de 100 mg/L. Les échantillons réalisés sont analysés par le spectrophotomètre d'absorption moléculaire UV-Visible, afin de déterminer leur absorbance. Par la suite, une courbe d'étalonnage est établie à partir des différentes concentrations et absorbances. Grâce à l'équation de la droite : $y = a x + c$ (a = coefficient ou pente de la droite, x = absorbance ; c = constant et y = concentration de colorant résiduel).

II.6.1. Etablissement de la courbe d'étalonnage

La courbe d'étalonnage sert à déterminer les concentrations résiduelles en colorant, pour cela on a préparé par dilution plusieurs solutions filles à partir de la solution mère pour couvrir un domaine de concentration variant de 0 mg/l jusqu'à 4 mg/l. puis on a mesuré les absorbances correspondantes en utilisant un spectrophotomètre UV-visible et en fixant la longueur d'onde du maximum d'absorption ($\lambda_{\max} = 643 \text{ nm}$), les résultats obtenus sont les suivants (Tableau II-2) :

Tableau II-2: Valeurs obtenues pour l'établissement de La courbe d'étalonnage de l'AG 25 de longueur d'onde ($\lambda_{\max} = 643\text{nm}$).

C (mg/l)	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Abs	0	0,028	0,042	0,056	0,081	0,102	0,130	0,147	0,166

A partir de ces valeurs on a tracé la courbe d'étalonnage $A = f(C)$ (Figure II.8).

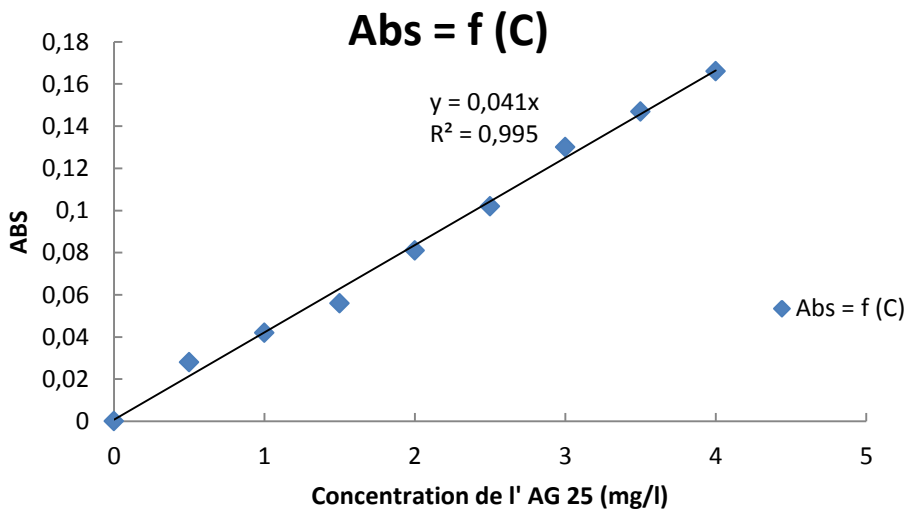


Figure II-8: Courbe d'étalonnage de l'AG 25 à 643 nm

La courbe est linéaire ; les données expérimentales rapportées dans la Figure II-8 indiquent une relation linéaire entre l'absorbance et la concentration avec un coefficient de corrélation plus élevé ($R^2 = 0,995$), ce qui peut être considéré comme un bon ajustement linéaire. La droite obtenue est une équation linéaire sous la forme : $A = 0,041C$. Cette équation est utilisée pour calculer la concentration d'une solution donnée (concentrations résiduelles après traitement).

II.6.2. Effets de la concentration initiale

Pour démontrer l'effet de la concentration en colorant sur l'adsorption, des expériences ont été effectuées à différentes concentrations en colorant (10 jusqu'à 100 mg/l). Des masses de 2g de l'adsorbant ont été mélangées avec 100 ml de la solution de colorant, L'agitation est assurée durant 45 minutes. Après agitation ; les suspensions sont centrifugation pendant 10 minutes à 6000 trs/min puis analysés à la longueur d'onde requise à la longueur d'onde $\lambda_{\max} = 643 \text{ nm}$.

La quantité adsorbée par unité de masse du solide à l'équilibre est déterminée par la relation:

$$q_e = \frac{x}{m} = \frac{(C_i - C_e).V}{m} \quad \text{Équation II-5}$$

m: masse du Bio-adsorbant (g)

C_i: Concentration initiale du soluté en (mg/l)

C_e: concentration résiduelle du soluté à l'équilibre dans la solution (mg/l)

V: Volume de la solution

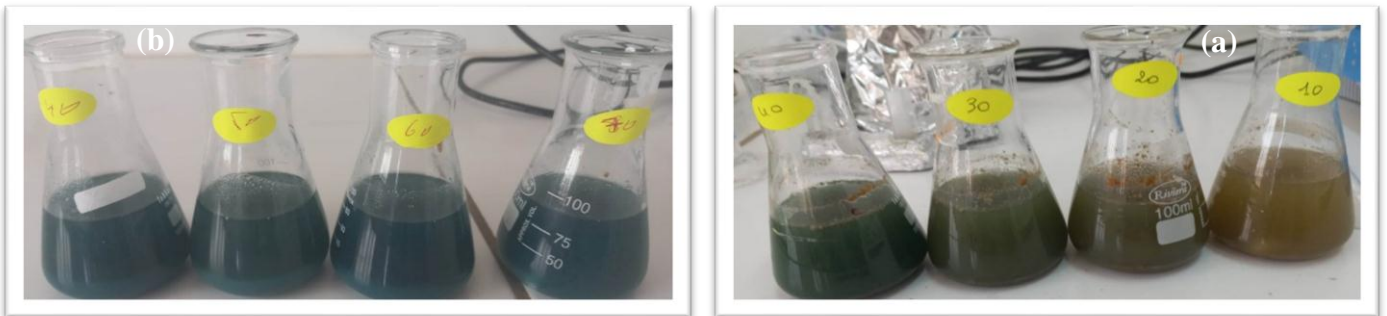


Figure II-9:Essais de détermination concentration de Bio-C (a) et de Bio-PD (b)

II.6.3. Effet de masse d'adsorbant

Pour l'optimisation de la masse du bio-adsorbant utilisée (Bio-PD ou Bio-C), on a introduit différentes masses (0,1 à 2g) de bio-adsorbant dans 100 ml d'une solution de l'AG 25 à concentration 100 mg/l. L'agitation est assurée durant 60 min au début. Après agitation ; les suspensions sont centrifugation pendant 10 minutes à 6000 trs/min puis analysés à la longueur d'onde requise.

II.6.4. Effet de temps :

Pour déterminer le temps de contact nécessaire pour l'élimination du colorant, on a ajouté 2 g du bio-adsorbant (Bio-C ou Bio-PD) à 100 ml solution d'AG 25 à concentration de 100 mg/L, le temps de contact est varié de 5 minutes jusqu'à 120 minutes.

Pour évaluer les paramètres cinétiques deux modèles ont été appliqués. Ces modèles sont : Modèle de pseudo-premier-ordre et Modèle de pseudo-second-ordre.

II.6.5. Effet de Température

Pour étudier l'effet de la température sur l'adsorption, des expériences ont été réalisées à différentes températures (25°C, 30°C, 40°C, 50 °C). 2g de l'adsorbant a été mélangé avec un volume de 100 ml de solution à concentrations 100 mg/l.



Figure II-10: Effet de température sur les deux bio-adsorbants (Bio-C et Bio-PD)

L'influence de la température a été étudiée dans l'intervalle 25 - 50 °C. Les essais ont été réalisés sur des mélanges de 100 mL de solutions de colorant à la concentration de 30 mg.L⁻¹ pour les pelures de patate douce et de coing (Bio-PD et Bio-C), en gardant la masse pour les deux bio-adsorbants constante (2g). Ces mélanges sont maintenus à des agitations constantes de 6000 tr.min⁻¹, pendant une durée de 10 minutes. La concentration résiduelle du colorant a été déterminée par spectrophotométrie UV-Visible à la longueur d'onde appropriée

Reference bibliographique

[1] BOURAHLA, S. DOCTORAT EN SCIENCES.

[2] Benamraoui, F. (2018). Elimination des colorants cationiques par des charbons actifs synthétisés à partir des résidus de l'agriculture (Doctoral dissertation).

[3] Kotchi, S. O. (2004). Détection du stress hydrique par thermographie infrarouge: Application à la culture de la pomme de terre (Doctoral dissertation, Université Laval).

[4] Obeid, L. G. (2014). Synthèse et caractérisation de matériaux magnétiques pour l'adsorption de polluants présents dans les eaux (Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI).

[5] Kouadio, D. L., Diarra, M., Djassou, A. C., Dibi, B., Dongui, B. K., Mamadou, K., & Traore, K. S. (2022). Etude expérimentale de l'adsorption du bleu 16 et du méthyle rouge sur du charbon issu de la coque de la cabosse de cacao. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 51, 17-30.

[6] Silva, J. P., Sousa, S., Rodrigues, J., Antunes, H., Porter, J. J., Gonçalves, I., & Ferreira-Dias, S. (2004). Adsorption of acid orange 7 dye in aqueous solutions by spent brewery grains. *Separation and Purification Technology*, 40(3), 309-315.

[7] Noucieba, B. M., & Hassiba, B. E. R. R. A. H. M. O. U. N. E. Mémoire de fin d'étude de Master académiques

[8] Adjaoud, S. (2018). Elimination d'un colorant anionique par un adsorbant naturel (Doctoral dissertation, UMMTO).



Chapitre III

Résultats et discussions

Ce dernier chapitre présent tous les résultats expérimentaux de l'étude d'élimination de l'AG25 sur les deux bio-adsorbants issu des pelures de patate douce (Bio-PD) et de coing (Bio-C):

- ♣ L'étude de l'effet des principaux paramètres sur la capacité d'adsorption tels que la masse de l'adsorbant, les concentrations de colorant, le temps de contact et la température,
- ♣ L'application du modèle de Langmuir et de Freundlich.
- ♣ L'application du modèle de réaction telles que le pseudo premier-ordre et le pseudo second-ordre

III.1 Caractérisation du bio-adsorbant

III.1.1. Taux humidité:

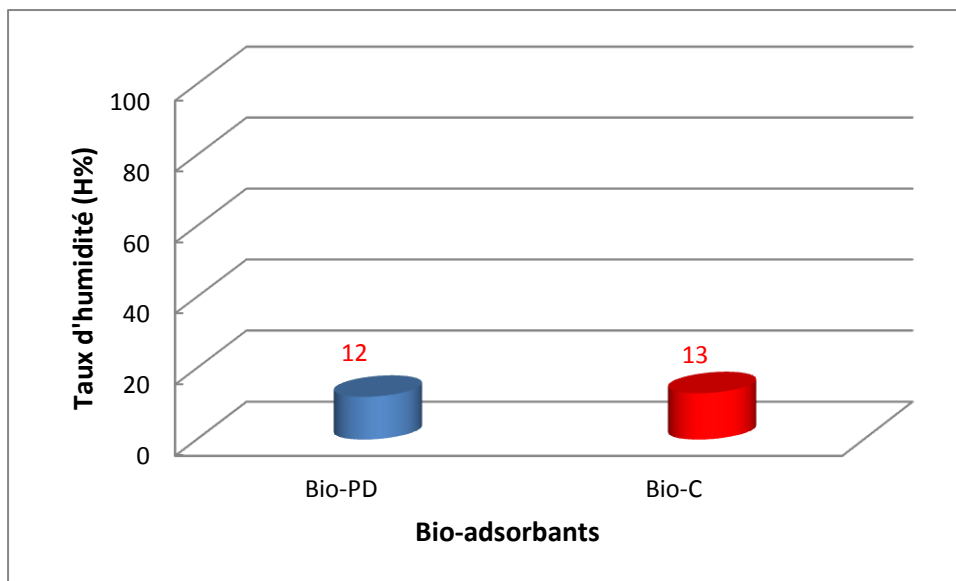


Figure III-1: Taux d'humidité de Bio-PD et Bio-C

Nous remarquons que la valeur de taux d'humidité est faible et même valeur pour les deux bio-adsorbants avec une valeur est de l'ordre de 12 % et de 13 % pour le Bio-PD et le Bio-C successives. Ces valeurs indiquent que les pelures de patate douce et de coing sont poreuses ce qui peut entraîner un taux d'humidité relativement plus bas.

III.1.2. pH point de zéro charge

C'est une méthode analytique qui a fait l'objet de plusieurs études. La détermination du point de charge zéro est importante au regard des forces électrostatiques adsorbant-adsorbé qui jouent un rôle important lors de l'adsorption [1].

Nous avons procédé à la détermination de la valeur de pH du milieu pour laquelle la résultante des charges positives et négatives de la surface est nulle. La figure (III-2) montre l'évolution de la variation du pH final (pH_f) en fonction du pH initial ajusté (pH_i).

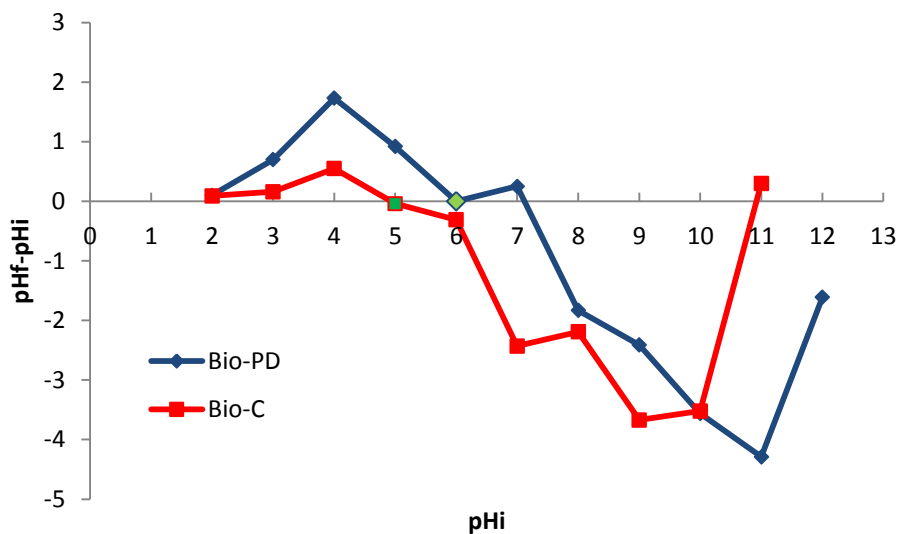


Figure III-2: Point de zéro charge (pH_{PZC}) de Bio-PD et Bio-C

Le point d'intersection entre les courbes et l'axe des abscisses correspond au point de zéro charge.

- La valeur de pH_{PZC} des pelures de patate douce (Bio-PD) égale à 6, en dessous du pH_{PZC} le bio-adsorbant est chargé positivement, tandis qu'au-delà de ce pH, la surface de bio-adsorbant étudié est chargée négativement.
- La valeur de pH_{PZC} des pelures de coing égale à 5, cette valeur est inférieure à celle trouvée des pelures de patate douce (Bio-PD)

III.2. Etude qualitative de l'adsorption du AG 25 sur les bio-adsorbants

Le spectrophotomètre infrarouge fonctionne dans l'intervalle de la longueur d'onde ($500-4500\text{ cm}^{-1}$) est la plus utilisée car la plupart des fréquences caractéristique des groupements fonctionnels y sont situées. Elle présente un intérêt considérable pour l'étude

qualitative de la structure des bio-adsorbants. Le spectre d'analyse par infrarouges des bio-adsorbant préparé est représenté sur la figure suivante :

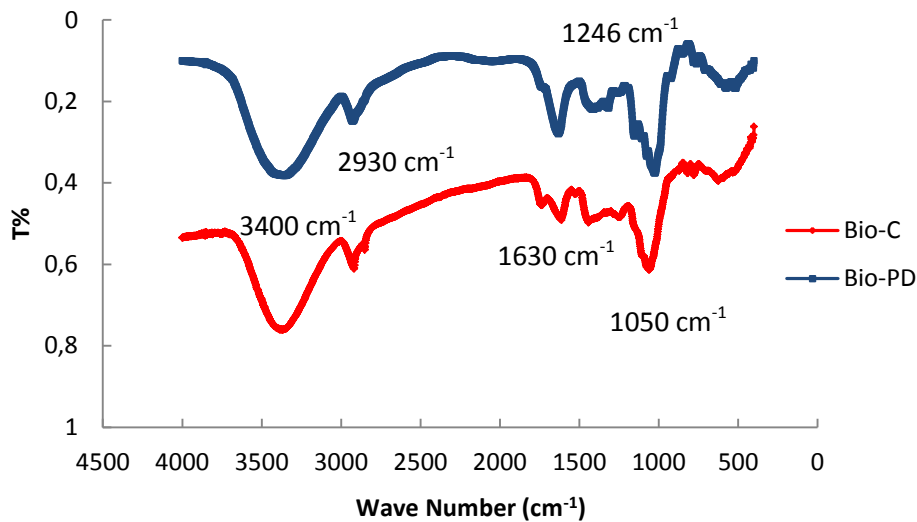


Figure III-3: Spectre IR/TF des adsorbants

La figure III-3 représente le spectre IRTF de l'adsorbant, ce dernier a été analysé en mode transmittance.

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est une technique très utile pour déterminer les groupements fonctionnels qui sont capables d'adsorber les colorants (Figure III-3). On remarque que les spectres sont pratiquement les mêmes pour les deux bio-adsorbants (Bio-PD et Bio-C) :

On remarque aussi la présence des pics pour les deux bio-adsorbants qui sont :

- un pic très large vers 3400 cm^{-1} dû aux vibrations d'élongation de l'hydrogène des groupes hydroxyles O-H associés à la cellulose, la lignine et à l'eau adsorbée. [2]
- Un petit pic observé à 2930 cm^{-1} est attribué aux vibrations C-H des chaînes alkyles.
- Un autre pic fin vers 1630 cm^{-1} caractéristique des fonctions carbonyles C=O.
- Une bande d'élongation C-O à 1246 cm^{-1} confirme aussi la structure de la lignine de l'adsorbant.
- Enfin, on observe un pic à 1050 cm^{-1} dû aux élongations C-O-C des fonctions cellulosiques présentes dans l'adsorbant.

III.3. Etude d'optimisation des conditions opératoires d'adsorption

III.3.1. Effet de la masse de bio-adsorbant

La masse de l'adsorbant est un facteur très important influençant sur l'adsorption du colorant. Dans cette étude nous allons étudier l'effet de la masse de deux bio-adsorbants (Bio-PD et Bio-C) sur l'adsorption de AG25. Les résultats obtenus sont reportés sur la figure suivante :

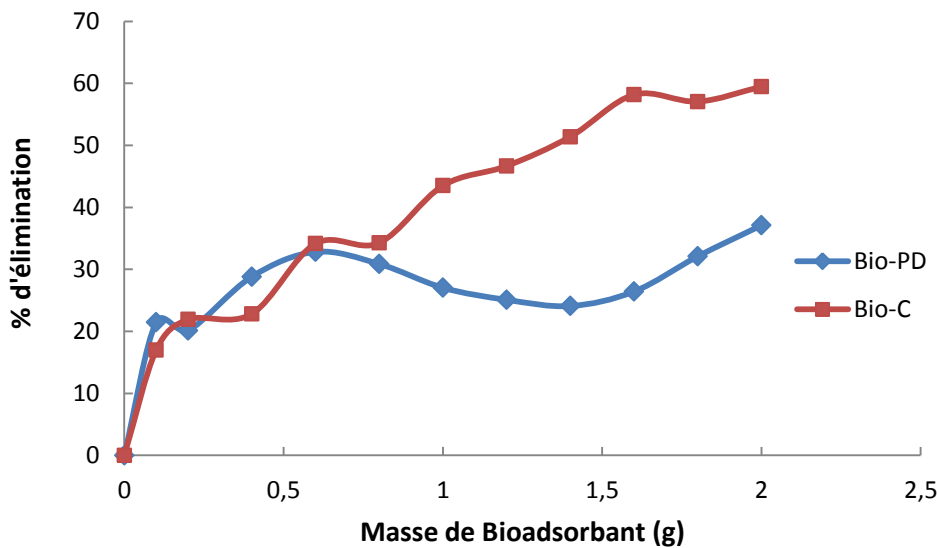


Figure III-4: Effet de la masse de bio-adsorbant (Bio-PD et Bio-C) sur l'adsorption d'AG 25. (Temps d'agitation = 60min et $C_{AG25} = 100$ mg/l)

Cette figure montre que les pourcentages d'élimination d'AG25 augmentent lorsque la masse des bio-adsorbants (Bio-PD et Bio-C) augmente. Ceci peut être attribué à l'augmentation de la surface disponible et à l'augmentation du nombre de sites actifs à la surface du matériau utilisé. Les meilleurs pourcentages d'élimination du colorant (59,4 %) pour Bio-C et (37,09 %) pour Bio-PD sont obtenus pour une masse d'adsorbant égale à 2g. Cette masse a donc été choisie pour la suite des expériences.

III.3.2. Effet de temps de contact

Puisque l'adsorption est un procédé de transfert d'un soluté de la phase liquide vers la phase solide, le temps de contact entre les deux phases est un facteur important. En effet une adsorption rapide des solutés avec établissement de l'équilibre dans une période courte explique les propriétés remarquables de l'adsorbant pour son utilisation dans le traitement des colorants [3].

Des expériences d'adsorption ont été réalisées pour différents temps de contact (5 à 120 min). Les résultats obtenus sont illustrés sur la figure suivante.

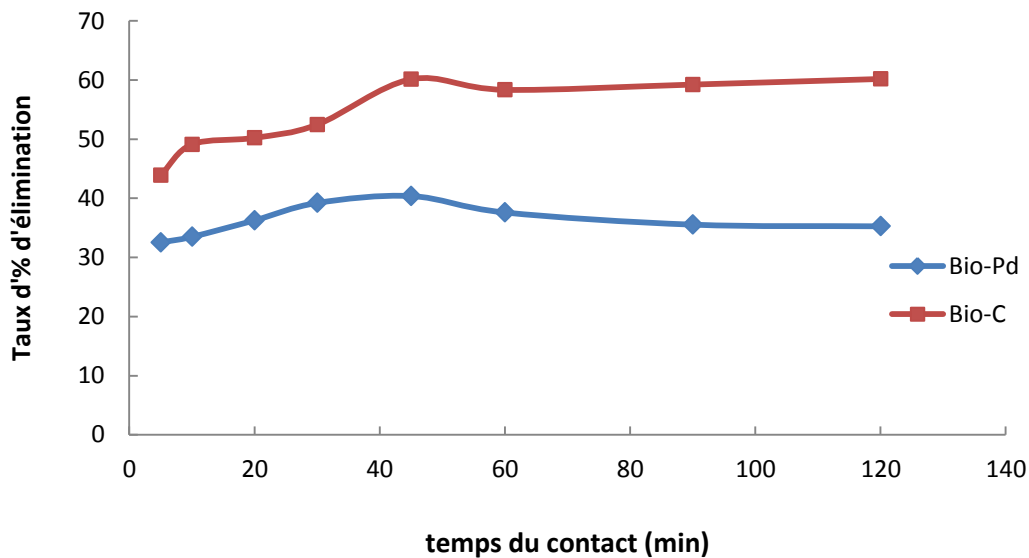


Figure III-5: Effet du temps d'agitation sur l'adsorption d'AG 25 par deux Bio-adsorbants (Bio-PD et Bio-C). (Masse de bio-adsorbant = 2g et $C_{AG25} = 100$ mg/l)

Les résultats obtenus (Figure III-5) montrent qu'il y a forte augmentation de l'adsorption du colorant dès que les premiers temps par les deux bio-adsorbants.

Ce phénomène constaté pendant les premières minutes de l'adsorption, peut être interprété par le fait qu'en début d'adsorption, le nombre de sites actifs disponibles à la surface du matériau adsorbant, est beaucoup plus important que celui des sites restant après un certain temps. Après 45 min, le processus d'adsorption devient en plus lent au cours du temps d'agitation. Au bout de 45 minutes on a obtenu un maximum de taux d'élimination d'environ 60 % pour Bio-C et d'environ 40 % pour Bio-PD. Par la suite, le taux d'adsorption devient pratiquement stable à cause de la saturation de la surface des adsorbants.

Pour la suite de notre travail, nous avons néanmoins choisi de mener nos expériences en prolongeant le temps de contact à 45 minutes pour les deux bio-adsorbants.

III.3.3. Effet de concentration initiale de l'adsorbat

L'étude de l'effet de la concentration initiale sur l'adsorption de l'AG25 par les deux bio-adsorbants (Bio-C et Bio-PD) a été faite dans un intervalle de concentrations compris entre 10 et 100 mg/L, sous les conditions opératoires suivantes : m (Bio-C ou Bio-PD) = 2g

dans un volume de 100 ml, température ambiante est d'environ 25 °C et un temps de contact de 45min. Les résultats sont présentés sur la figure suivante :

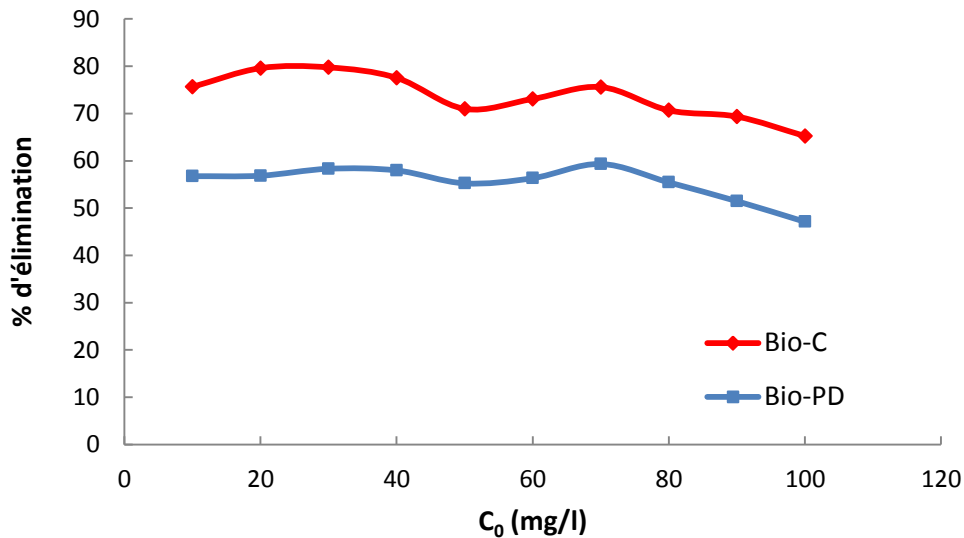


Figure III-6: Effet de concentration initial de l'AG25 sur l'adsorption par deux Bio-adsorbants (Bio-PD et Bio-C). (Masse de bio-adsorbant =2g et Temps d'agitation = 45 min)

La figure III-6 révèle que la majorité des ions de l'AG25 sont fixés dans les premières 20 min pour les deux bio-adsorbants. Ensuite la quantité adsorbée évolue plus lentement jusqu'à une concentration 40 mg/l. Au-delà de cette concentration un palier indiquant la saturation des sites actifs d'adsorption par l'AG25, donc l'équilibre est atteint au bout de 30 mg/l avec le pourcentage d'élimination de l'ordre 79,75 % et 58,31 % pour le Bio-C et le Bio-PD respectivement. Au-delà cette concentration le processus d'adsorption de l'AG25 sur les deux bio-adsorbants devient lente indiquant l'épuisement des sites actifs. On revanche que à des concentrations plus élevées, le pourcentage d'élimination de l'adsorption est plus faible en raison de la saturation des sites d'adsorption.

III.4.1. Isothermes d'adsorption

L'isotherme d'adsorption est une caractéristique représentative de l'équilibre thermodynamique entre un adsorbant et un adsorbé. Il est très utile pour la compréhension du mécanisme d'adsorption, Il fournit des informations sur l'affinité, sur l'énergie de liaison entre l'adsorbé et l'adsorbant et sur la capacité d'adsorption, il permet aussi d'avancer des hypothèses sur le mode d'adsorption : adsorption en monocouche ou en multicouche, interaction latérale entre molécules ou non

L'isotherme expérimentale d'adsorption pour les deux bio-adsorbants est illustrée sur la figure (III-7).

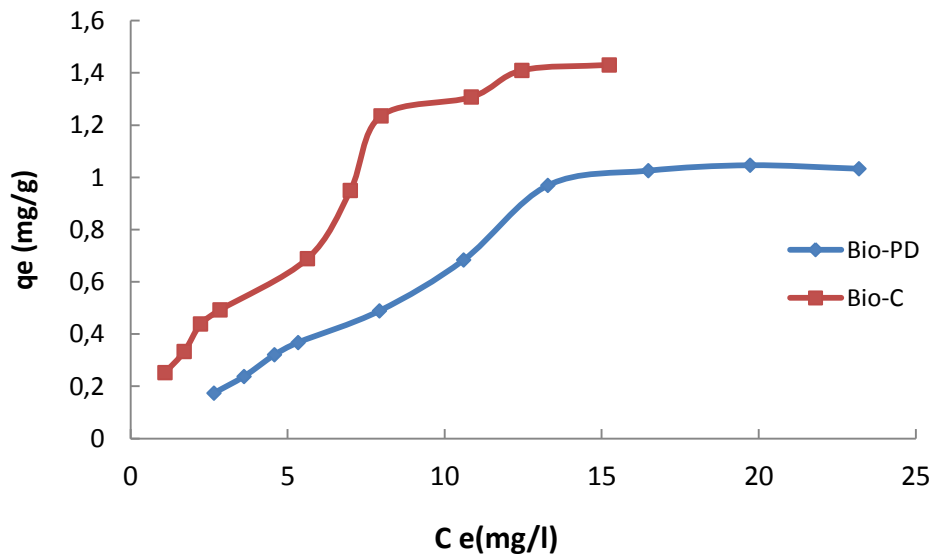


Figure III-7: Isothermes de sorption d'AG25 par les deux bio-adsorbants.

D'après la figure III-7, on observe que la capacité d'adsorption de l'AG25 à l'équilibre augmente avec l'augmentation de la concentration initiale. Selon la classification de Giles et al [4]. Ces isothermes sont de type S. La concavité tournée vers le haut aux faibles concentrations indique la formation de multicouches et l'existence de plus fortes interactions soluté/soluté que soluté /adsorbant. Nous pouvons dire aussi que les adsorbants ayant des distributions larges des tailles de pore avec une transition continue de l'adsorption en monocouche à l'adsorption en multicouche [5].

III.4.1.1. Modèle de Langmuir

Les caractéristiques essentielles de l'isotherme de Langmuir peuvent être exprimées en termes de facteurs constants (sans dimension) de séparation ou paramètre d'équilibre K_L qui est utilisé pour prédire si un système d'adsorption est "favorable" ou "défavorable". Pour évaluer le type optimal de Langmuir ayant donné le coefficient de corrélation R^2 le plus élevé La figure suivante présente le type de modèle de Langmuir.

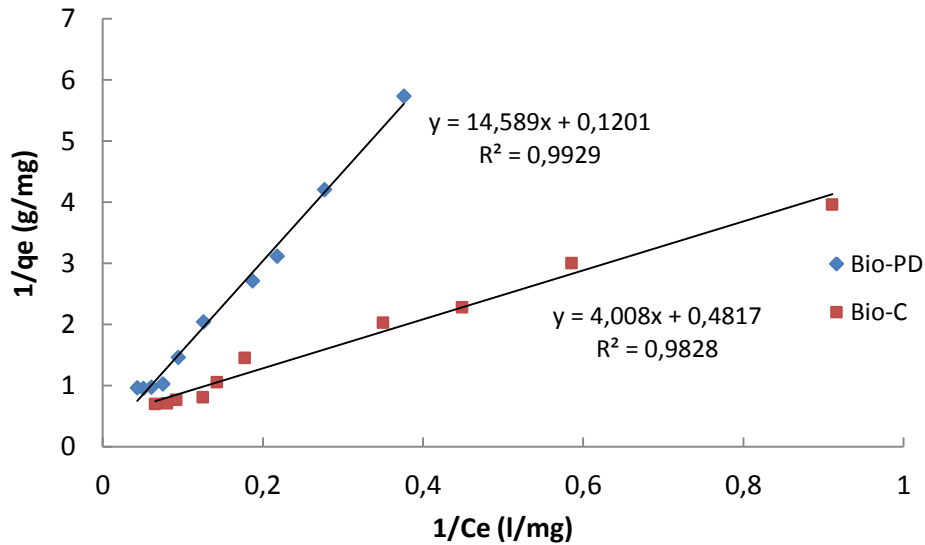


Figure III-8: Transformées linéaires de l'isotherme de Langmuir pour l'adsorption d'AG25 sur les deux bio-adsorbants (Bio-PD et Bio-C)

III.4.1.2. Modèle de Freundlich :

La représentation linéaire des valeurs expérimentales des processus d'adsorption de l'AG25 selon le modèle de Freundlich est illustrée dans la figure suivante. Cette équation est vérifiée avec les données de l'équilibre d'adsorption pour obtenir une droite dans le système de coordonnées $\ln(q_e) = f(\ln C_e)$, la pente et l'ordonnée à l'origine donnent respectivement $1/n$ et K_f , ainsi que le coefficient de corrélation R^2 .

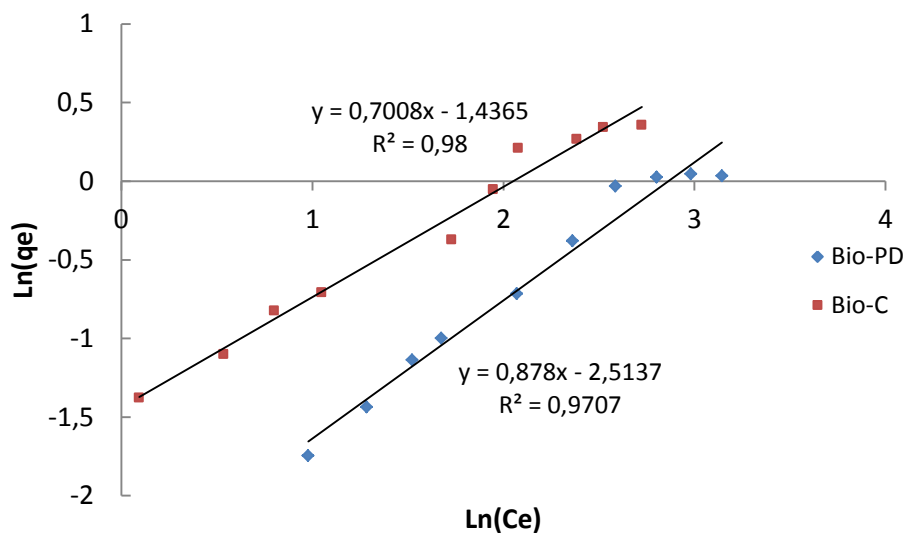


Figure III-9: Transformées linéaires de l'isotherme de Freundlich pour l'adsorption d'AG25 sur les deux bio-adsorbants (Bio-PD et Bio-C)

Les paramètres de linéarisation du modèle de Langmuir et de Freundlich pour l'adsorption de l'AG25 sur les deux bio-adsorbant (Bio-C et Bio-PD) sont reportés sur le tableau suivant.

Tableau III-1: Paramètre de linéarisation du modèle de Langmuir et de Freundlich pour l'adsorption de l'AG25 par Bio-adsorbant1 et par Bio-adsorbant 2.

Modèle	Isotherme : Langmuir			Isotherme : Freundlich		
Echantillon	Qm (mg/g)	K _L (l/mg)	R ²	n	K _L (l/mg)	R ²
Bio-adsorbant PD	8,31	0,008	0,99	1,14	0,003	0,97
Bio-adsorbant C	2,07	0,12	0,98	1,43	0,036	0,98

A partir des résultats de modélisation des isothermes donnés dans le Tableau III-1, nous constatons que l'isotherme des deux biosorbants est bien décrit par les deux modèles Langmuir et Freundlich, mais le modèle linéaire de Langmuir est le modèle le plus crédible qui décrit mieux nos résultats expérimentaux avec une valeur du coefficient de corrélation élevée de l'ordre de 0,99 pour Bio-PD, et de 0,98 pour le Bio-C . De plus, les valeurs de K_L dans le modèle de Langmuir sont comprises entre 0 et 1 ce qui montre aussi que l'adsorption est favorable.

L'isotherme est convexe de type S : $1/n > 1$ et l'adsorption est défavorable.

Le paramètre n dans l'équation de Freundlich est un indicateur de l'affinité et de la capacité d'adsorption :

Pour $n > 1$, l'adsorption est quantitativement plus importante

Pour $n < 1$ elle est faible.

Les résultats illustrés dans le tableau ci-dessus indiquent que $n > 1$ donc l'adsorption est favorable pour les deux adsorbants

III.4.2. Modélisation de la cinétique:

III.4.2.1. Modèle cinétique du pseudo premier ordre

L'exploitation des résultats de la figure III-10 nous permet de conclure si la cinétique de l'élimination est du premier ordre.

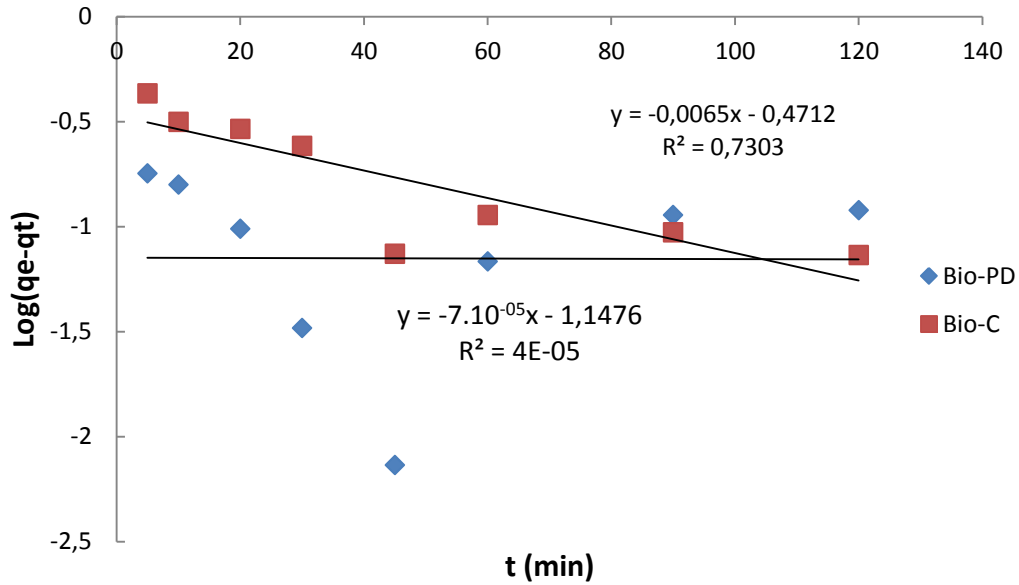


Figure III-10: Cinétique du pseudo premier ordre d'élimination des colorants par le matériau à concentration initiale de 100 mg/l

Les valeurs expérimentales et calculées des capacités de sorption à l'équilibre à partir du modèle cinétique du pseudo premier ordre (voir tableau III-2) ayant de larges variations de valeurs, ce qui suggère que le modèle cinétique du premier ordre n'est pas applicable dans ce cas. Pour cela nous avons testé le modèle cinétique du deuxième ordre.

III.4.2.2. Modèle cinétique du pseudo deuxième ordre

Cette figure a permis de calculer la constante de vitesse K_2 , la capacité d'adsorption à l'équilibre (q_e) ainsi que les coefficients de corrélation (R^2). Les résultats obtenus sont présentés sur le tableau III-11 :

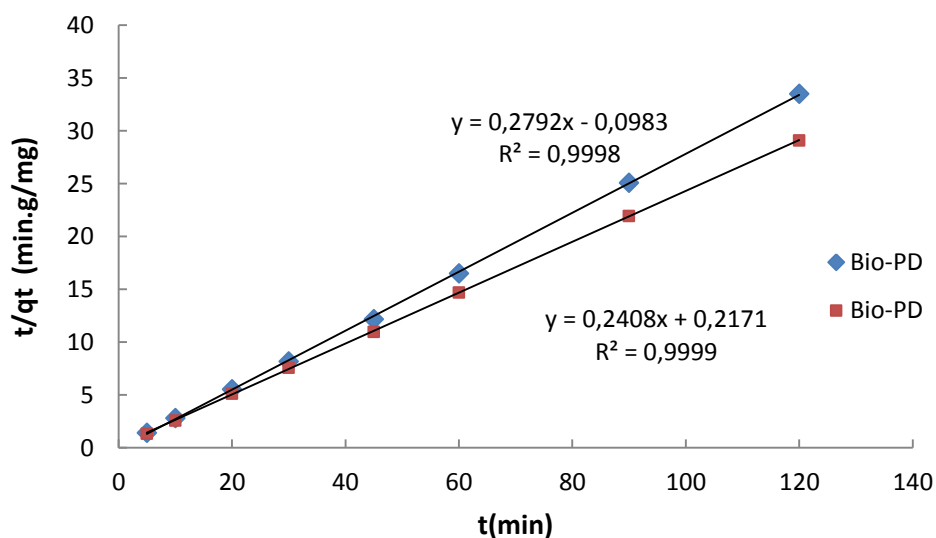


Figure III-11: Cinétique du pseudo second ordre d'élimination des colorants par le matériau a concentration initiale de 100mg/l.

Les valeurs calculées de k_1 ; k_2 et de q_e ainsi que les valeurs linéaires correspondantes aux coefficients de détermination R^2 sont reportées dans le tableau III-2.

Tableau III-2: modélisation de la cinétique d'ordre 1 et d'ordre 2 pour l'adsorption de l'AG25 par Bio-adsorbant1 et par Bio-adsorbant 2.

Colorant : AG25							
Bio-adsorbants	Qe (exp) mg/g	Cinétique d'ordre 1			Cinétique d'ordre 2		
		Qe (cal) (mg/g)	K_1 (min ⁻¹)	R^2	Qe (cal) (mg/g)	K_2 g/(mg.min)	R^2
Bio-C	4,12	0,34	0,015	0,73	4,15	0,27	0,999
Bio-PD	3,69	0,071	0,00016	4.10^{-5}	3,58	-0,80	0,999

Une bonne corrélation a été observée entre les données expérimentales, et le modèle cinétique du deuxième ordre dont les valeurs des coefficients de détermination sont supérieures à 0,999. Les valeurs expérimentales de la capacité de sorption à l'équilibre s'approche les valeurs calculées.

III.5. Effet de la température

La température du milieu est un paramètre très important dans ce procédé, car elle exerce une influence considérable sur le taux d'adsorption. Les températures utilisées dans cette phase expérimentale varient sur un intervalle de 25 à 50°C. Les résultats obtenus sont reportés sur l'histogramme suivant :

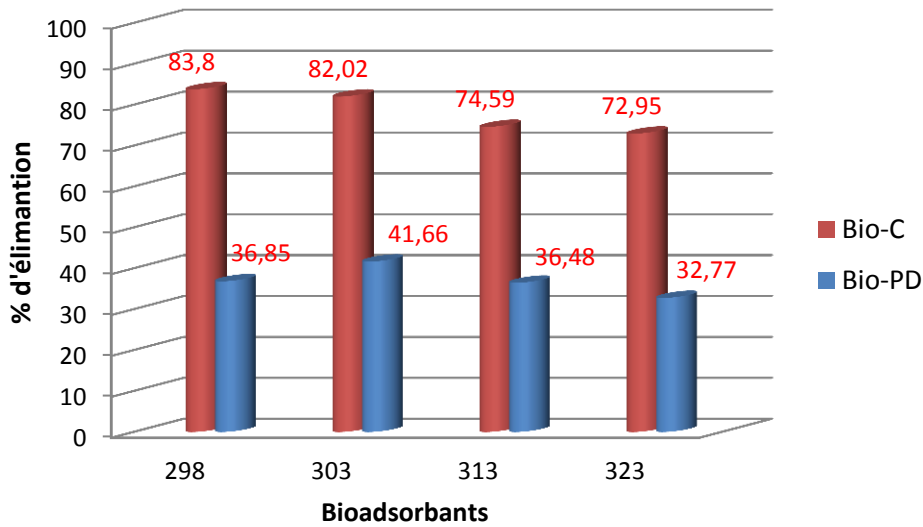


Figure III-12 Effet de la température sur l'adsorption d'AG25 par les deux bio-adsorbants (Bio-C et Bio-PD)

D'après la figure III-12, On observe que la quantité adsorbée de l'AG25 diminue légèrement avec l'augmentation de la température (de 25 à 50°C) pour les deux bio-adsorbants (Bio-C et Bio-PD).L'élévation de la température aurait pour incidence de déstabiliser les forces physiques mises en jeu [6].

III.6. Etude thermodynamiques

Afin de déterminer la nature du processus d'adsorption, nous avons réalisé une étude thermodynamique. Cette dernière permet de déterminer la quantité de chaleur échangée durant le processus d'adsorption et de préciser le sens et la possibilité du déroulement spontané du processus.

Pour cela, les propriétés thermodynamique (l'enthalpie échangée, l'énergie libre et l'entropie) de l'adsorption de l'AG25 ont été calculées à partir des relations énoncées dans le chapitre I.

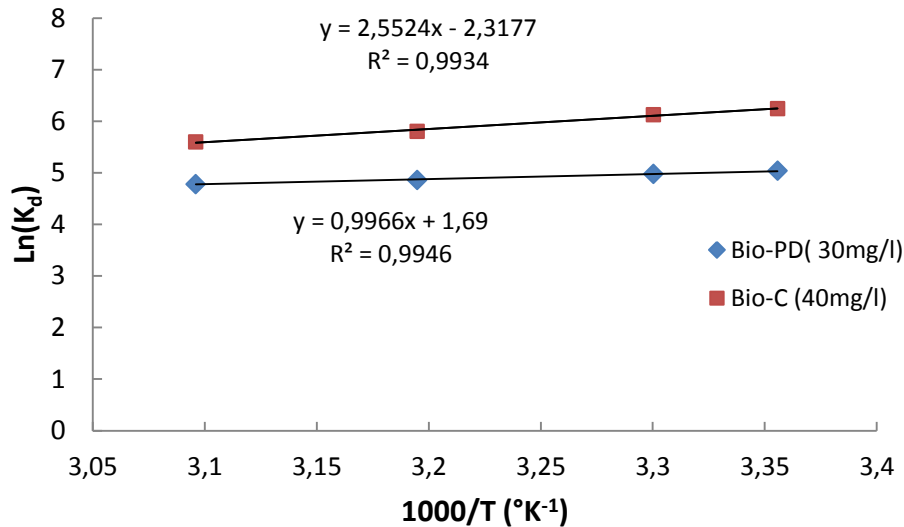


Figure III-13: Représentation de l'étude thermodynamique de l'adsorption de l'AG25 par les deux Bio-adsorbants (Bio-C et Bio-PD)

Tableau III-3: valeurs des paramètres thermodynamiques pour la sorption de l'AG 25.

C _i (mg/l)	ΔS^0 (J/mol,k)	ΔH^0 (KJ/mol)	ΔG^0 (KJ/mol)			
			298K	303K	313K	323K
Bio-C (30mg/l)	19,26	- 21,21	-15,4709	-15,3746	-15,1820	-14,9896
Bio-PD (30 mg/)	14,04	- 8,28	-12,4656	-12,5358	-12,6762	-12,8166

D'après les résultats regroupés dans le tableau III-3, nous pouvons dire que les valeurs négatives de l'énergie libre (ΔG^0) obtenues, indiquant un processus d'adsorption très favorable et spontané pour les deux bio-adsorbants (Bio-C et Bio-PD). Les valeurs de ΔG^0 sont comprises entre -20 et 0 KJ.mole⁻¹ [7,8] et celle de ΔH^0 qui appartient à l'intervalle (1-93 KJ.mole⁻¹) [9] montrent que l'adsorption la plus dominante est physique.

Les valeurs négatives de l'enthalpie (ΔH^0) montrent que le processus de rétention du colorant de l'AG 25 sur les deux bio-adsorbants est exothermique. Les valeurs positives de l'entropie ΔS^0 (19,26 et 14,04 J/mol.K), elles reflètent une augmentation aléatoire du désordre sur l'interface solide/solution durant le processus de fixation des molécules du colorant de l'AG 25 sur les sites actifs des adsorbants.

Référence bibliographique

- [1] Alili, N., & Larbi, D. (2019). Valorisation des déchets de la pomme de terre en vue de leur utilisation dans l'élimination du bleu de méthylène présent en solution aqueuse.
- [2] Wibowo, N., Setyadhi, L., Wibowo, D., Setiawan, J., & Ismadji, S. (2007). Adsorption of benzene and toluene from aqueous solutions onto activated carbon and its acid and heat treated forms: influence of surface chemistry on adsorption. *Journal of hazardous materials*, 146(1-2), 237-242.
- [3] Bouras, O. (2003). Propriétés adsorbantes d'argiles pontées organophiles: synthèse et caractérisation (Doctoral dissertation, Limoges).
- [4] Errais, E. (2011). Réactivité de surface d'argiles naturelles: Etude de l'adsorption de colorants anioniques (Doctoral dissertation, Strasbourg).
- [5] Weber Jr, W. J., & Morris, J. C. (1963). Kinetics of adsorption on carbon from solution. *Journal of the sanitary engineering division*, 89(2), 31-59.
- [6] Aarfane, A., Salhi, A., El Krati, M., Tahiri, S., Monkade, M., Lhadi, E. K., & Bensitel, M. (2014). Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants Red195 et Bleu de méthylène en milieu aqueux sur les cendres volantes et les mâchefers (Kinetic and thermodynamic study of the adsorption of Red195 and Methylene blue dyes on fly ash and bottom ash in aqueous medium). *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(6), 1927-1939.
- [7] Erentürk, S., & Malkoç, E. (2007). Removal of lead (II) by adsorption onto *Viscum album* L.:Effect of temperature and equilibrium isotherm analyses. *Applied surface science*, 253(10), 4727-4733.
- [8] Erentürk, S., & Malkoç, E. (2007). Removal of lead (II) by adsorption onto *Viscum album* L.:Effect of temperature and equilibrium isotherm analyses. *Applied surface science*, 253(10), 4727-4733.
- [9] El Haddad, M., Mamouni, R., Saffaj, N., & Lazar, S. (2012). Removal of a cationic dye—Basic Red 12—from aqueous solution by adsorption onto animal bone meal. *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, 12(1), 48-54.

Conclusion Générale

L'objectif de notre travail était d'étudier les possibilités d'utiliser les propriétés spécifiques d'adsorption des pelures patate douce et des coing en étudiant l'influence de certains paramètres tels que la masse de l'adsorbant, le temps du contact, la concentration initiale du colorant, et la température du milieu sur la rétention de l'AG25. A travers tous les résultats obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- la valeur de taux d'humidité (12% et 13%) indiquent que les deux bio-adsorbants sont poreuses ce qui peut entraîner un taux d'humidité relativement plus bas.
- pH_{pzc} des bio-adsorbants sont chargé positivement, tandis qu'au-delà de ce pH, la surface des bio-adsorbant étudié est chargée négativement.
Les points de charge zéro pH_{pcz} des deux biosorbants (Bio-c et Bio-PD) sont respectivement de 5 et 6. Ces résultats peuvent expliquer l'attraction ou la répulsion des polluants vis-à-vis des biosorbants.
- Nous avons d'abord caractérisé la surface de l'adsorbant par spectroscopiques IR. Les résultats obtenus par analyse IRTF confirment l'existence des groupements caractéristiques de la lignine, cellulose et à l'eau adsorbée et fonctions cellulosiques présentes dans l'adsorbant.
- La capacité de rétention de l'AG25 augmente lorsque la masse de l'adsorbant augmente. La masse nécessaire pour l'élimination de l'AG25 est de 2 g/l pour les deux bio-adsorbants : le Bio-C et le Bio-PD donnant un taux d'élimination d'environ 59% et 37% respectivement.
- La capacité d'élimination des bio-adsorbants augmente avec augmentation de temps d'agitation, la valeur maximale d'efficacité 45 min à laquelle l'équilibre est atteint une valeur d'environ 60 % et 40 % respectivement pour Le Bio-C et le Bio-PD.
- L'augmentation de la concentration initiale de l'AG25 entraine une augmentation de la capacité d'adsorption, est atteint une valeur d'environ 80% et 58% pour le Bio-C et le Bio-PD respectivement.
- La cinétique d'adsorption de l'Acide vert sur les bio-adsorbants est mieux décrite par le modèle de pseudo deuxième ordre que celui du modèle de premier ordre.

- L'adsorption de l'AG25 sur les biosorbants est mieux décrite par un modèle de Langmuir justifiant par des coefficients maximaux de régression.
- Les résultats expérimentaux obtenus montrent que la quantité d'adsorption de l'AG25 diminue légèrement avec l'augmentation de la température.
- Les paramètres thermodynamiques obtenus de processus d'adsorption de l'AG25 par les deux Bio-adsorbants (Bio-C et Bio-PD) montrent :
 - Les valeurs de l'enthalpie libre ΔG° sont négatives pour le Bio-C et le Bio-PD, ceci montre une réaction d'adsorption spontanée
 - Les valeurs négatives de ΔH° indiquent que le processus de l'adsorption exothermique.
 - Les ΔS° sont positive, cela veut dire que les molécules de l'AG25 restent moins ordonnées sur l'interface solide/ solution.

A partir de ces résultats, on peut conclure que le Bio-C peut être utilisé efficacement comme bio-adsorbant pour l'élimination de colorant de l'AG25

Résumé

Le but de notre travail est d'étudier l'adsorption de l'AG25 sur la poudre des pelures de la patate douce et aussi la poudre des pelures des coings. L'adsorption du l'acide vert (AG25) a été réalisé par deux bioadsorbants à base des déchets ménager (Bio-C et bio-PD) en optimisant la masse de bioadsorbant, le temps d'adsorption, la concentration initiale de colorant. La capacité d'adsorption augmente avec la masse de bioadsorbant à cause de la disponibilité des sites libres. Le taux d'élimination de l'AG25 est de 59% et de 37% pour le Bio-C et le Bio-PD respectivement pour une masse de 2g dans les conditions optimales ($t = 45$ min et $T = 25^{\circ}\text{C}$). Pour une concentration du colorant optimale l'élimination de l'AG25 est atteint une valeur de 80 % et 58 % par le Bio-C et le Bio-PD respectivement. Les isothermes obtenues sont toutes de type S. Le modèle de pseudo-ordre 2 est mieux approprié pour décrire l'adsorption d'AG25 sur les bio-adsorbants, comparé au modèle de pseudo-ordre 1. L'adsorption d'AG25 sur les deux bio-adsorbants est mieux décrite par le modèle de Langmuir. Le paramètre de séparation K_L de Langmuir et le paramètre $1/n$ de Freundlich, inférieurs à 1, indiquent que l'adsorption d'AG25 sur les deux bio-adsorbants est favorable. Les résultats de cette étude montrent que le Bio-C est le meilleur que Bio-PD pour l'élimination le colorant AG25.

Abstract

The purpose of our work is to study the adsorption of AG25 on the powder of the peels of the sweet potato and also the powder of the peels of quinces. The adsorption of green acid (AG25) was achieved by two household waste-based bioadsorbents (Bio-C and bio-PD) by optimizing the bioadsorbent mass, adsorption time, and initial dye concentration. Adsorption capacity increases with bioadsorbent mass due to availability of open sites. The elimination rate of AG25 is 59% and 37% for Bio-C and Bio-PD respectively for a mass of 2g under optimal conditions ($t = 45$ min and $T = 25^{\circ}\text{C}$). For an optimal dye concentration, the removal of AG25 is determined by 80 % and 58 % by Bio-C and Bio-PD respectively. The isotherms obtained are all of type S. The pseudo-order model 2 is better suited to describe the adsorption of AG25 on the bio-adsorbents, compared to the pseudo-order model 1. The adsorption of AG25 on the two bio-adsorbers is better described by the Langmuir model. Langmuir's K_L separation parameter and Freundlich's $1/n$, less than 1, indicate that AG25 adsorption on both

bio-adsorbents is favourable. The results of this study show that Bio-C is the best than Bio-PD for the removal of dye AG25.

ملخص

الهدف من عملنا هو دراسة امتزاز AG25 على مسحوق قشور البطاطا الحلوة ومسحوق قشور السفرجل. تم إجراء امتزاز الحمض الأخضر (AG25) بواسطة اثنين من المواد الماصة البيولوجية على أساس النفايات المنزلية (Bio-C و bio-PD) عن طريق تحسين كتلة مادة الامتصاص الحيوي ، ووقت الامتزاز ، والتركيز الأولي للصبغة. تزداد سعة الامتصاص مع زيادة كتلة مادة الامتصاص الحيوي بسبب توفر المواقع المجانية. معدل التخلص من AG25 هو 59% و 37% ل Bio-C و Bio-PD على التوالي لكتلة g2 في ظل الظروف المثلى (t = 45 دقيقة و T = 25 درجة مئوية). لتركيز الصبغة الأمثل ، يتم تحقيق إزالة AG25 بواسطة Bio-C و Bio-PD عند 80% و 58% على التوالي. جميع متساوي الحرارة التي تم الحصول عليها من النوع S. يعتبر نموذج الترتيب الزائف 2 أكثر ملاءمة لوصف امتزاز AG25 على الممتزات الحيوية ، مقارنة بنموذج الترتيب الزائف 1. امتزاز AG25 على الممتزات الحيوية اثنين من العناصر الحيوية أفضل وصف للمواد الماصة هو نموذج لانجموير. تشير معلمة فصل Langmuir's KL ومعلمة Freundlich $1/n$ ، أقل من 1 ، إلى أن امتزاز AG25 على اثنين من الممتزات الحيوية مفيد. تظهر نتائج هذه الدراسة أن Bio-C أفضل من Bio-PD لإزالة صبغة AG25.