



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université Kasdi MERBAH Ouargla
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés



Mémoire

MASTER ACADÉMIQUE

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Génie pétrochimique

Présenté par :

Houria DIDA et Fadoua Oualaa SOUDANI

Thème

Préparation de Charbon Actif à partir de Pelures d'Orange.

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Noura CHAOUCH

Pr. (UKM Ouargla)

Présidente

Warda HADJI

MCB (UKM Ouargla)

Examineur

Ridha CHERRAYE

MCA (UKM Ouargla)

Encadreur

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le Tout-Puissant de nous avoir donné la force et la patience pour accomplir ce modeste travail.

Nous exprimons notre profonde gratitude et nos vifs remerciements à notre encadreur, Dr. Ridha CHERRAYE, pour sa disponibilité, sa patience, ses précieux conseils et son suivi rigoureux tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons également nos remerciements aux membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail et de l'enrichir par leurs remarques.

Enfin, nous remercions tous les enseignants de la promotion de Master qui ont contribué à notre formation durant notre cursus universitaire.

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail fruit de nos efforts A nos chers parents pour leurs sacrifices leur soutien infini et leurs prières qui nous ont éclairé le chemin. Aucune parole ne saurait exprimer notre gratitude.

A nos familles frères et sœurs pour leur présence et leurs encouragements constants.

A nos camarades de la promotion de Master et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Table des matières

Remerciements	I
Dédicace	II
Introduction Générale	1
I PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	2
I.1 Généralités sur l'adsorption	2
I.1.1 Introduction	2
I.1.2 Les types d'adsorption	3
I.1.3 Facteurs influençant le phénomène d'adsorption	4
I.1.4 Mécanisme d'adsorption	4
I.1.5 Les isothermes d'adsorption	5
I.1.6 Classification des isothermes d'adsorption	5
I.1.7 Modèles des isothermes	6
I.1.7.1 Modèle de Langmuir	6
I.2 Généralités sur le charbon actif	7
I.2.1 Introduction	7
I.2.1.1 La pyrolyse	7
I.2.1.2 Activation	8
I.2.2 Propriétés	8
I.2.2.1 Propriétés chimiques	9
I.3 Conclusion	9
II Synthèse bibliographique	11
II.1 Introduction	11
II.2 Conclusion	13
III Partie Pratique	14
III.1 Préparation et caractérisation des adsorbants	14
III.1.1 Préparation des adsorbants	14
III.2 Caractérisation par adsorption du phénol	18
III.2.1 Introduction	18
III.2.2 Préparation des solutions du phénol	18
III.2.3 Dosage des solutions du phénol	19

III.2.4	Protocole expérimental d'adsorption	20
III.2.5	Isothermes d'adsorption	22
III.2.5.1	Analyse des coefficients de détermination	22
III.2.5.2	Signification physique	23
III.2.6	Étude comparative avec la littérature	23
III.2.6.1	Interprétation du modèle de Freundlich	24
III.2.6.2	Étude comparative avec la littérature	25
III.3	Effet de quelques paramètres sur la capacité d'adsorption	26
III.3.1	Effet de la masse d'adsorbant	26
III.3.2	Effet du temps de contact	27
III.3.3	Effet du pH	28
III.3.4	Conclusion	29
	Conclusion Générale	30
	Bibliographie	31
	Résumé	33
	Abstract	34

Table des figures

I.1	Le charbon et les activités industrielles : histoire de l'humanité et environnement de la pollution	2
I.2	Adsorption physique (ou physisorption)	3
I.3	Adsorption chimique	3
I.4	Les factures infuants sur l'adsorption	4
I.5	Les isothermes d'adsorption	5
I.6	modèle de langmuir	6
I.7	Carbonisation	8
I.8	propriétés des matériaux	9
II.1	Transformation des écorces d'orange en charbon actif	11
III.1	séchage des écorces d'orange	14
III.2	broyage des ecorces d'orange	15
III.3	tamissage	15
III.4	carbonisation	16
III.5	Les étapes de carbonisation	16
III.6	Les étapes de carbonisation	17
III.7	Le pré-traitement du charbon	18
III.8	Préparation des solutions de phénol	19
III.9	appareil d'agitation	20
III.10	filtration	21
III.11	Le spectromètre UV-Visible	21
III.12	Linéarisation du modèle de Langmuir	23
III.13	Linéarisation du modèle de Freundlich	25
III.14	L'effet de masse sur la capacité d'adsorption	27
III.15	L'effet de temps	28
III.16	L'effet de pH	29

Liste des tableaux

Introduction Générale

Aujourd'hui, il est impossible d'aborder la question de la durabilité environnementale sans placer la préservation de l'eau au centre des préoccupations. Ce pilier de la vie fait face à des menaces sans précédent dues à une industrialisation effrénée. Nos réserves hydrique vulnérables à des polluants complexes et dangereux, notamment les métaux lourds et les colorants organiques, rendant ainsi impérieuse la recherche de solutions de traitement efficaces, économique et respectueuses de l'écosystème.

Dans cette optique, le procédé d'adsorption sur charbon actif s'impose comme une solution de choix grâce à sa remarquable capacité de purification. Toutefois le coût élevé du charbon actif commercial demeure un obstacle majeur à son utilisation à grande échelle.

C'est ici que prend tout son sens notre travail, guidé par le principe de la valorisation des déchets agroalimentaires. Nous avons choisi les pelures d'orange (citrus réticulé) comme matière première, non seulement pour leur abondance, mais aussi pour leur richesse en composés structure (cellulose et lignine) permettant de créer une structure poreuse performante.

L'objectif central de cette étude est de transformer ce qui est perçu comme un (fardeau environnemental) en un charbon actif de haute qualité, tout en évaluant sa capacité réelle à éliminer les contaminants. Plus qu'une simple expérimentation en laboratoire, ce travail s'inscrit dans une démarche de chimie verte, visant à transformer des résidus organique en ressources technologiques. Pour structurer notre démarche, ce mémoire est organisé en deux chapitres essentiels :

- **Le premier chapitre** : constitue le volet théorique de notre recherche. nous y explorons les concepts fondamentaux du charbon actif, les mécanismes d'adsorption et l'intérêt écologique de la valorisation de la biomasse.
- **Le deuxième chapitre** : représente le cœur du travail pratique. Il détaille les protocoles de préparation et de carbonisation suivis au laboratoire, pour finir par l'analyse et la discussion des résultats obtenus au regard des études scientifiques récentes.

Chapitre I

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Généralités sur l'adsorption

I.1.1 Introduction

Depuis l'existence de l'humanité le charbon et le moteur de la révolution industrielle jusqu' au aujourd'hui ; d'allumant le premier feu et le produit chimique vers L'exploitation des propriétés filtrantes du charbon de bois pour la purification et en médecine débute avec les égyptiens en l'an 1500 avant Jésus Christ. Quant aux anciens hindous, ils filtraient déjà leur eau avec des charbons pour la rendre potable [1].

Les activités industrielles représentent une source de pollution très importante et contribuent d'une façon certaine à la détérioration de l'environnement et de la santé publique. Ces activités, génératrices de pollution, couvrent les domaines suivants : l'agro-alimentaire, l'extraction et la transformation du phosphate, la transformation du papier, les matériaux de construction, la production d'énergie et le textile (voir figure I.1).



FIGURE I.1 – Le charbon et les activités industrielles : histoire de l'humanité et environnement de la pollution

I.1.2 Les types d'adsorption

1. **Adsorption physique (ou physisorption)** (voir figure I.2) : Il s'agit d'une adsorption non spécifique basée sur des forces de Van der Waals entre les molécules de l'adsorbant et de l'adsorbant. Les molécules adsorbées sont généralement faiblement liées à la surface de l'adsorbant et peuvent être facilement désorbées par des changements de conditions, tels que la température ou la pression [2]

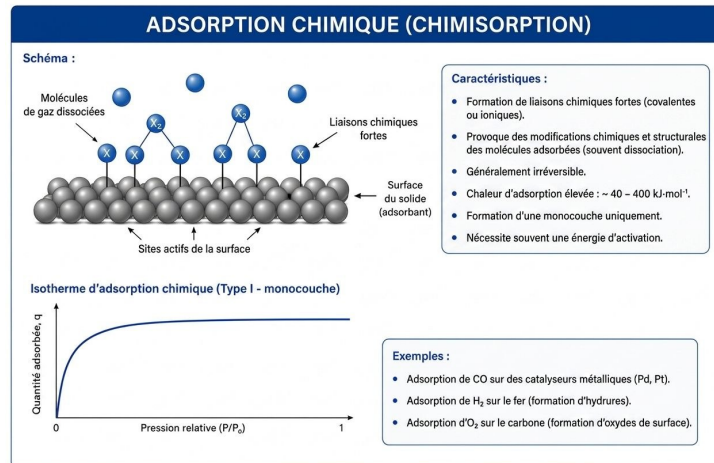


FIGURE I.2 – Adsorption physique (ou physisorption)

2. **Adsorption chimique (ou chimisorption)** (voir figure I.3) : Ce type d'adsorption implique des interactions chimiques spécifiques entre les molécules de l'adsorbant et de l'adsorbant, conduisant à la formation de liaisons chimiques. La force d'adsorption est généralement plus forte que dans l'adsorption physique, et les molécules adsorbées peuvent nécessiter des conditions plus rigoureuses pour être désorbées [2] .

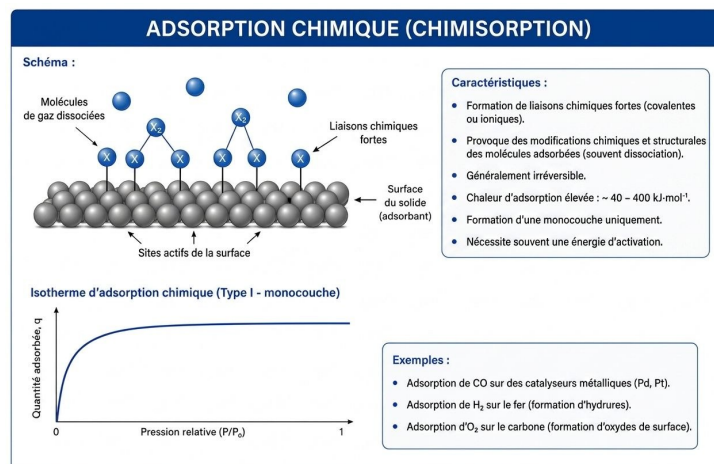


FIGURE I.3 – Adsorption chimique

I.1.3 Facteurs influençant le phénomène d'adsorption

Plusieurs paramètres influencent l'efficacité du processus d'adsorption :

- **La température** : une augmentation de température favorise généralement la chimisorption et diminue la physisorption.
- **Le pH du milieu** : il influence la charge de surface de l'adsorbant et la dissociation des molécules adsorbées.
- **La concentration initiale** : l'augmentation de la concentration augmente la quantité adsorbée jusqu'à saturation.
- **La surface spécifique de l'adsorbant** : une grande surface spécifique améliore la capacité d'adsorption.
- **Le temps de contact** : l'équilibre d'adsorption dépend du temps nécessaire pour atteindre la saturation.
- **La nature de l'adsorbant et de l'adsorbat** : les propriétés chimiques et physiques des matériaux influencent fortement les interactions de surface (voir figure I.4) [3].

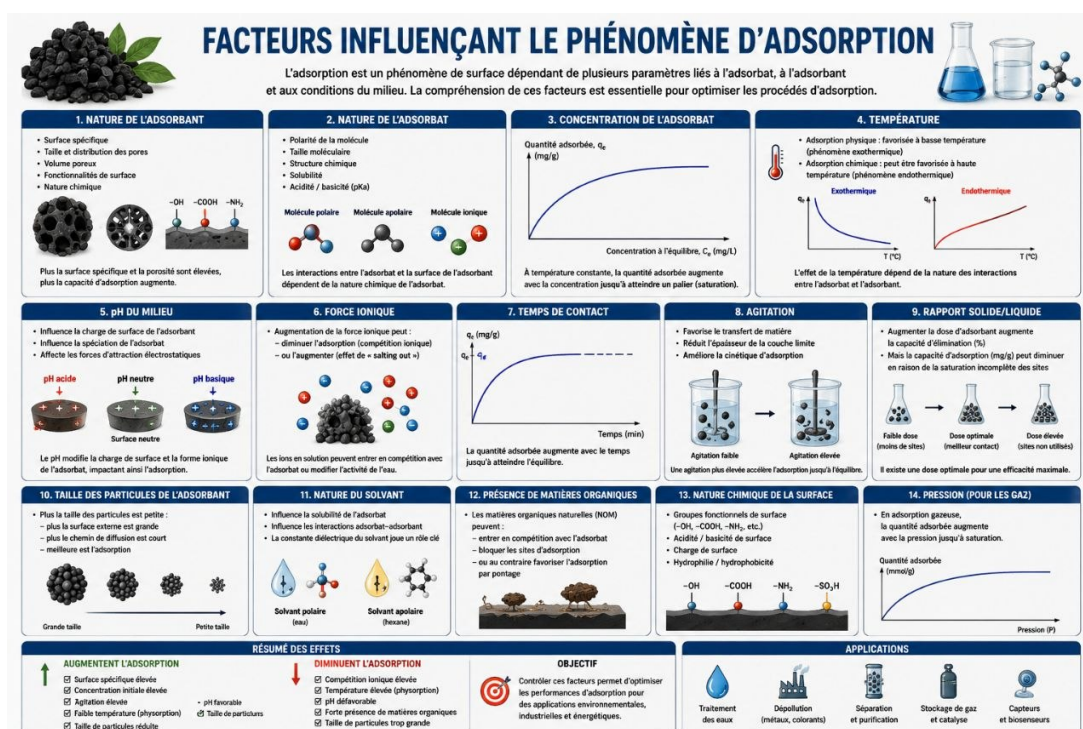


FIGURE I.4 – Les facteurs influant sur l'adsorption

I.1.4 Mécanisme d'adsorption

L'adsorption sur le charbon actif se produit grâce à plusieurs mécanismes tels que :

- Interactions physiques (forces de Van der Waals)
- Interactions électrostatiques
- Liaisons chimiques avec les groupes fonctionnels présents à la surface

Ces mécanismes permettent au charbon actif de capturer les ions métalliques, les composés organiques et d'autres polluants présents dans l'eau[4].

I.1.5 Les isothermes d'adsorption

- Les isothermes d'adsorption décrivent la relation entre la quantité de substance adsorbée par unité de masse d'adsorbant et la concentration de l'adsorbant dans la phase liquide ou gazeuse à température constante. Elles permettent d'évaluer la capacité d'adsorption et de comprendre les interactions entre les molécules adsorbées et la surface adsorbante. Les modèles d'isothermes sont largement utilisés dans les études environnementales et industrielles (voir figure I.5) [5].

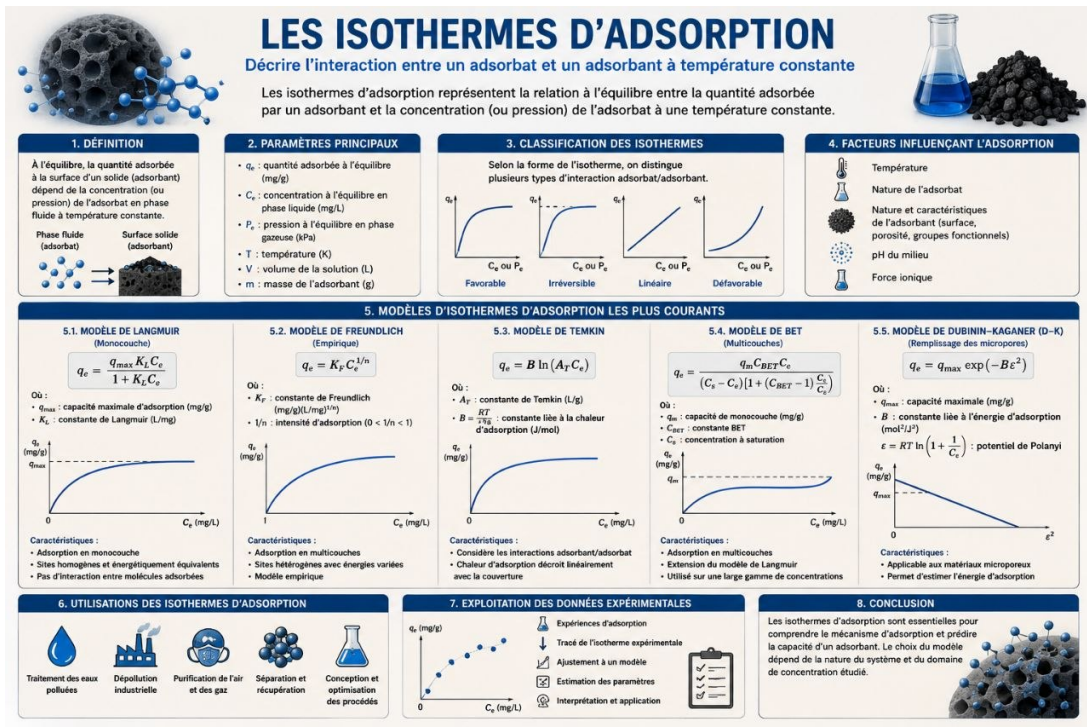


FIGURE I.5 – Les isothermes d'adsorption

I.1.6 Classification des isothermes d'adsorption

Classification des isothermes d'adsorption Les isothermes sont classés en quatre types principaux nommés : S (Sigmoïde), L(Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante).

1. **Type S (Sigmoïde)** : L'isotherme du type S s'obtient lorsqu'une adsorption de molécule du soluté polaire sur un adsorbant polaire
2. **Type L(Langmuir)** : L'isotherme de Langmuir s'obtient lorsque l'adsorption du solvant est faible et lorsque les molécules de l'adsorbant sont orientées à plat
3. **Type H (haute affinité)** : l'isotherme du type H s'obtient lorsqu'il y a chimisorption du soluté et indique une haute affinité. Il ne commence pas à zéro mais à

une valeur positive.

4. **Type C (partition Constante)** : L'isotherme du type C est une ligne droite s'obtient lorsqu'il y a compétition entre le solvant et le soluté pour occuper les sites de l'adsorbant [6].

I.1.7 Modèles des isothermes

- Les modèles d'isothermes sont des équations mathématiques utilisées pour interpréter les données expérimentales de l'adsorption. Ces modèles permettent de déterminer les capacités maximales d'adsorption, les constantes d'équilibre et les propriétés de surface des adsorbants. Les modèles les plus utilisés sont ceux de Langmuir, Freundlich et BET. Le choix du modèle dépend des caractéristiques du système étudié et du comportement expérimental observé [7].

I.1.7.1 Modèle de Langmuir

Le modèle de Langmuir est l'un des modèles les plus utilisés pour décrire les phénomènes d'adsorption (voir figure I.6).

Il suppose que [8] :

- l'adsorption se produit sur une surface homogène ;
- tous les sites d'adsorption sont identiques ;
- chaque site ne peut adsorber qu'une seule molécule ;
- il n'existe aucune interaction entre les molécules adsorbées.

Ce modèle décrit une adsorption monocouche et s'exprime par l'équation suivante :

$$\frac{q_e}{q_m} = \frac{K_L \times C_e}{1 + K_L C_e} \quad (\text{I.1})$$

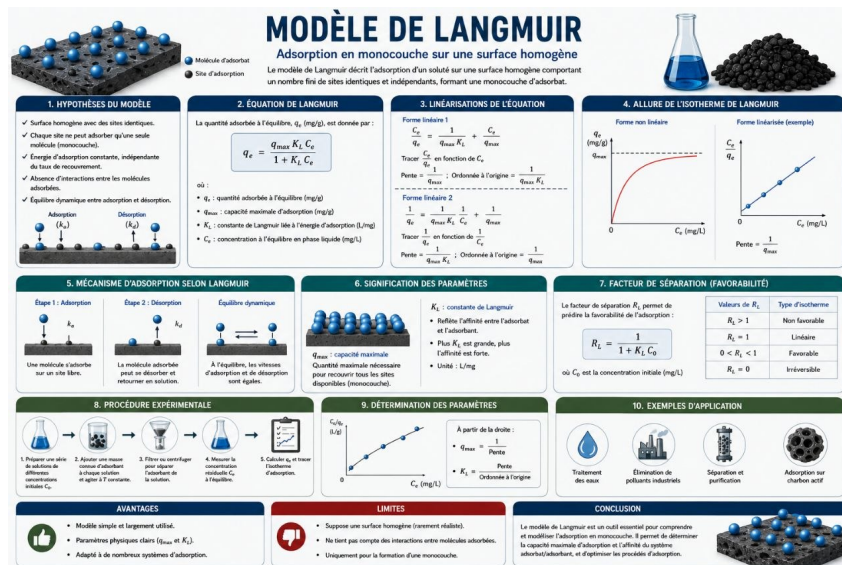


FIGURE I.6 – modèle de langmuir

— **Modèle de Freundlich :**

Les isothermes concaves sont les plus fréquentes. Le premier modèle utilisé dit de Freundlich était empirique (Van Bemmelen, 1888 ; Freundlich, 1909), basé sur la relation (4) entre la concentration de composé adsorbé sur la phase solide q_e et la concentration de composé restant en solution C_e . Cette (équation I.2) est aisément linéarisable (équation I.3).

$$q_e = K_F C_e^n \quad (\text{I.2})$$

Où K_F ($l.kg^{-1}$) et n (sans dimension) des constantes expérimentales.

$$\ln q_e = \ln K_F + n \ln C_e \quad (\text{I.3})$$

Le graphe décrivant $\log q_e$ en fonction de $\log C_e$ donne une droite de pente n , dont l'ordonnée à l'origine est $\log K_F$. Selon cette équation, l'isotherme possède une pente infinie à l'origine et ne comporte pas de plateau strict de saturation. Le paramètre n dans l'équation (I.2) de Freundlich est un indicateur de l'affinité et de la capacité de chaque couple charbon/polluant : pour $n > 1$, l'adsorption est quantitativement plus importante et pour $n < 1$ elle est plus faible [6]

I.2 Généralités sur le charbon actif

I.2.1 Introduction

Le charbon actif est un matériau carboné possédant une structure très poreuse et une grande surface spécifique, ce qui lui confère une capacité élevée d'adsorption des substances organiques et minérales. Il est largement utilisé dans plusieurs domaines industriels et environnementaux, notamment le traitement des eaux, la purification de l'air, l'industrie pharmaceutique et alimentaire. Le charbon actif peut être obtenu à partir de différentes matières premières riches en carbone telles que le bois, les coques de noix de coco, le charbon minéral et les résidus agricoles. Sa fabrication repose principalement sur deux étapes essentielles : la pyrolyse et l'activation.[9]

I.2.1.1 La pyrolyse

La pyrolyse est une étape thermique fondamentale dans la préparation du charbon actif. Elle consiste à chauffer la matière première à des températures élevées, généralement comprises entre 400 et 800 °C, en absence ou en faible présence d'oxygène. Cette opération permet l'élimination des composés volatils et la concentration du carbone dans le matériau obtenu (voir figure I.7).

Au cours de la pyrolyse, la structure interne du matériau se modifie progressivement, entraînant la formation d'un charbon poreux appelé « charbon brut ». Les paramètres tels



FIGURE I.7 – Carbonisation

que la température, la durée du traitement et la nature de la matière première influencent fortement les propriétés finales du charbon actif.[10]

I.2.1.2 Activation

1. L'activation est l'étape qui permet de développer la porosité du charbon et d'augmenter sa surface spécifique afin d'améliorer sa capacité d'adsorption. Elle peut être réalisée selon deux méthodes principales : l'activation physique et l'activation chimique.
2. L'activation physique consiste à traiter le charbon brut à haute température en présence de vapeur d'eau ou de dioxyde de carbone. Quant à l'activation chimique, elle repose sur l'utilisation d'agents chimiques tels que l'acide phosphorique (H_3PO_4) ou l'hydroxyde de potassium (KOH). Cette étape conduit à la formation d'un réseau poreux très développé, ce qui rend le charbon actif particulièrement efficace pour l'élimination des polluants et des composés indésirables.[11]

I.2.2 Propriétés

Le charbon actif possède des propriétés physiques et chimiques qui lui permettent d'être utilisé comme excellent adsorbant. Sa structure poreuse lui confère une très grande surface de contact avec les substances à éliminer. Les propriétés du charbon actif dépendent principalement de la matière première utilisée ainsi que des conditions de prépa-

ration et d'activation.

Les principales propriétés du charbon actif sont la surface spécifique élevée, la porosité développée, la stabilité thermique et chimique ainsi que sa forte capacité d'adsorption. Ces caractéristiques rendent ce matériau indispensable dans plusieurs applications industrielles et environnementales[9] (voir figure I.8)



FIGURE I.8 – propriétés des matériaux

I.2.2.1 Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques du charbon actif sont liées à la présence de différents groupements fonctionnels à sa surface, tels que les groupes carboxyliques, phénoliques et lactoniques. Ces fonctions chimiques influencent fortement les interactions entre le charbon actif et les molécules adsorbées. Le charbon actif présente également une bonne stabilité chimique et une résistance élevée vis-à-vis des milieux acides et basiques. Sa surface peut être modifiée chimiquement afin d'améliorer ses performances d'adsorption pour certains polluants spécifiques. Grâce à ces propriétés, le charbon actif est largement utilisé dans les procédés de dépollution et de purification [9].

I.3 Conclusion

Dans ce chapitre bibliographique, les notions fondamentales relatives au phénomène d'adsorption et au charbon actif ont été présentées. L'adsorption constitue l'un des procédés les plus efficaces pour l'élimination des polluants grâce aux interactions qui s'établissent entre l'adsorbant et les espèces adsorbées. Les différents types d'adsorption, les

facteurs influençant ce phénomène ainsi que les mécanismes mis en jeu ont permis de mieux comprendre les conditions qui gouvernent l'efficacité du processus.

Par ailleurs, les isothermes d'adsorption et leurs principaux modèles, notamment ceux de Langmuir et de Freundlich, représentent des outils essentiels pour l'interprétation des résultats expérimentaux et l'évaluation des capacités d'adsorption des matériaux étudiés.

Ce chapitre a également mis en évidence l'importance du charbon actif comme adsorbant de référence en raison de sa structure poreuse développée, de sa grande surface spécifique et de ses propriétés physicochimiques remarquables. Les différentes étapes de sa préparation, à savoir la pyrolyse et l'activation, ainsi que ses propriétés chimiques et physiques, expliquent son large domaine d'application dans le traitement des eaux et la dépollution environnementale.

L'ensemble des connaissances théoriques présentées constitue ainsi une base scientifique indispensable pour l'étude expérimentale qui sera développée dans les chapitres suivants, consacrés à la préparation, à la caractérisation et à l'évaluation des performances adsorbantes des charbons actifs élaborés.

Chapitre II

Synthèse bibliographique

II.1 Introduction

Le charbon actif est l'un des matériaux les plus utilisés dans le traitement des eaux et l'élimination des polluants organiques et inorganiques grâce à sa grande surface spécifique et à sa structure poreuse développée. Plusieurs recherches récentes se sont orientées vers la valorisation des déchets agricoles, notamment les pelures d'orange, afin de produire un charbon actif à faible coût et à fort pouvoir adsorbant. Cette valorisation repose principalement sur l'activation chimique, qui permet d'améliorer la porosité et les propriétés de surface du matériau.



FIGURE II.1 – Transformation des écorces d'orange en charbon actif

Kumar et ses collaborateurs ont préparé un charbon actif à partir des écorces d'orange par activation chimique avec KOH suivie d'une carbonisation à $800^{\circ}C$. Deux types de charbon actif ont été obtenus : $KAC - 1$ et $KAC - 2$. Les adsorbants ont été utilisés pour l'élimination du phénol des solutions aqueuses.

Les chercheurs ont étudié l'effet de plusieurs paramètres tels que la concentration initiale du phénol, le pH, la masse de l'adsorbant et le temps de contact. Les modèles d'isothermes de Langmuir et Freundlich ont été appliqués pour analyser les résultats expérimentaux. Les résultats ont montré une efficacité d'élimination de 95% pour $KAC - 1$ et de 99% pour $KAC - 2$. Le modèle de Langmuir a présenté le meilleur ajustement [12].

Fernandez, Nunell et Bonelli ont préparé un charbon actif à partir des écorces d'orange en utilisant l'acide phosphorique H_3PO_4 comme agent d'activation. La carbonisation et l'activation ont été réalisées à une température d'environ $450^\circ C$. Le matériau obtenu a été utilisé pour l'adsorption de colorants organiques tels que le Méthylène bleu et la Rhodamine B. le charbon actif préparé présentait une surface spécifique élevée d'environ $1090 m^2.g$. les chercheurs ont utilisé les modèles d'isothermes Langmuir et Freundlich pour étudier les isothermes d'adsorption forte capacité d'adsorption. Les résultats ont montré une efficacité d'élimination supérieure 90%, avec une adsorption plus importante du Rhodamine B par rapport au Méthylène Bleu [13].

Alqahtani et ses collaborateurs ont étudié l'élimination du phénol à l'aide des écorces d'orange brutes et modifiées chimiquement par traitement avec un acide afin d'améliorer la porosité et les groupes fonctionnels de surface, avec un traitement thermique d'environ $500^\circ C$. Les modèles de Langmuir et Freundlich ont été appliqués pour étudier les isothermes d'adsorption. Les résultats ont été montrés une efficacité maximale de 85,25% [14].

Fernandez et ses collaborateurs ont étudié l'adsorption du phénol sur différents charbons actifs à partir de solutions aqueuses. Ils ont analysé l'effet de la concentration initiale du phénol et des propriétés texturales du charbon (surface spécifique et porosité). Les modèles d'isothermes utilisés ont montré que le modèle de Langmuir décrit bien l'adsorption du phénol, indiquant une adsorption principalement en monocouche. Les résultats ont confirmé que le charbon actif est efficace pour l'élimination du phénol en phase aqueuse [?]

Baba et ses collaborateurs ont préparé un charbon actif à partir des écorces d'orange par activation chimique avec H_2SO_4 (acide sulfurique) et $ZnCl_2$ (chlorure de zinc) à une température de $400^\circ C$. Le matériau obtenu a été utilisé pour l'adsorption du bleu de méthylène. Les modèles de Langmuir et Freundlich ont été appliqués pour étudier les isothermes d'adsorption. Les résultats ont montré une bonne capacité d'adsorption du charbon actif préparé [?].

Hasdemir et ses collaborateurs ont préparé un charbon actif à partir des écorces d'orange et l'ont utilisé pour l'adsorption de l'acide acétique en solution aqueuse. Les chercheurs ont étudié les isothermes d'adsorption à l'aide des modèles de Langmuir et Freundlich. Les résultats ont montré que le charbon actif issu des écorces d'orange possède une bonne capacité d'adsorption et peut être utilisé dans le traitement des eaux [?].

Jimoh et ses collaborateurs ont préparé un charbon actif à partir des écorces d'orange par activation acide suivie d'une carbonisation. Le matériau obtenu a été utilisé

pour l'adsorption de la metformine en solution aqueuse. Les modèles de Langmuir et Freundlich ont été appliqués pour décrire les isothermes d'adsorption, montrant une bonne performance du charbon actif préparé [?].

II.2 Conclusion

Les études bibliographiques montrent que les pelures d'orange constituent une matière première prometteuse pour la production de charbon actif. L'activation chimique à base de H_3PO_4 , KOH , H_2SO_4 , et $ZnCl_2$ améliore significativement la surface spécifique, la porosité et les propriétés d'adsorption du matériau, ce qui augmente son efficacité dans l'élimination du phénol, des colorants des matériaux lourds.

Chapitre III

Partie Pratique

III.1 Préparation et caractérisation des adsorbants

Le phénol est un polluant organique toxique présent dans effluents industriels, notamment ceux des industries pétrochimiques. Son élimination est importante en raison de ses effets nocifs sur l'environnement et la santé. Dans ce travail, le charbon actif est utilisé comme adsorbant pour l'élimination du phénol par adsorption, afin d'évaluer sa capacité d'adsorption et l'influence de certains paramètres expérimentaux.

III.1.1 Préparation des adsorbants

1. **Séchage des écorces d'orange** : La matière première a été préparée à partir des pelures d'orange. Environ 15kg d'orange ont été achetées le 18 mars, puis soigneusement lavées afin d'éliminer les impuretés et les saletés. Ensuite, les pelures ont été placées dans un endroit bien aéré, à l'abri de la lumière directe du soleil, pendant 14 jours, afin de permettre un séchage progressif et d'obtenir une matière sèche utilisable pour les étapes ultérieures de la préparation (voir figure [III.1](#)).



FIGURE III.1 – séchage des écorces d'orange

-
2. **Broyage des écorces d'orange** : Après l'étape de séchage, les écorces d'orange ont subi une opération de broyage à l'aide d'un moulin à café afin de réduire leur taille et d'obtenir une poudre homogène. Cette étape permet d'augmenter la surface de contact du matériau et de faciliter les étapes suivantes de préparation et l'activation



FIGURE III.2 – broyage des ecorces d'orange

3. **Tamisage** : Après l'étape de broyage, les écorces d'orange ont subi une opération de tamisage à l'aide de tamis de 0,5 mm et 2,5 mm afin de sélectionner les particules de taille appropriée. Cette étape permet d'obtenir un matériau homogène, prêt pour l'étape suivante



FIGURE III.3 – tamisage

4. **Carbonisation** : Le four utilisé pour l'étape de carbonisation est un four à traitement thermique permettant un contrôle précis de la température et assurant une distribution homogène de la chaleur. Il permet également de limiter les échanges avec l'air ambiant, favorisant ainsi un milieu pauvre en oxygène.



FIGURE III.4 – carbonisation

Les écorces d'orange ont été placées dans des creusets résistants à la chaleur après préparation, en veillant à une bonne répartition à l'intérieur. Les creusets ont ensuite été soigneusement scellés à l'aide d'argile afin d'empêcher toute entrée d'air pendant le traitement thermique, puis introduits dans un four de carbonisation où la température a été réglée à 400°C pendant 2 heures, cette étape correspondant à la carbonisation en milieu pauvre en oxygène, permettant l'obtention d'un matériau carboné initial. Les creusets ne doivent être ouverts qu'après refroidissement complet.

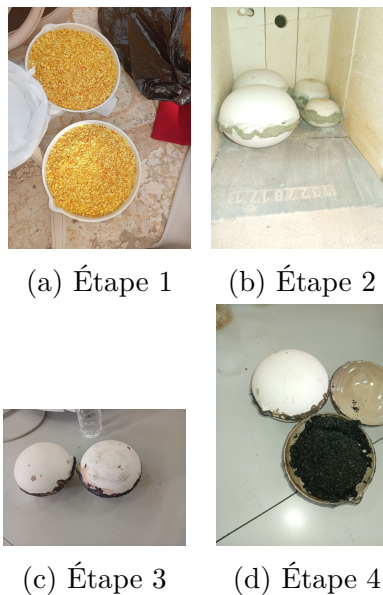


FIGURE III.5 – Les étapes de carbonisation

Avant l'opération de carbonisation, les écorces d'orange ont été pesées, puis repesées après la carbonisation. Ensuite, une relation de calcul a été appliquée afin de déterminer la perte de masse résultant de l'opération de carbonisation

Calcul de la perte de masse :

$$\% = \frac{m_i - m_f}{m_i} \quad (\text{III.1})$$

$$\% = \frac{415 - 130}{415} \times 100 = 68\%$$

F. Division du charbon obtenu : Le charbon brut obtenu a été divisé en deux parties :

- Une partie conservée comme charbon brut non activé.
- Une autre partie destinée à l'activation chimique.

G. L'activation chimique : L'activation chimique du charbon a été réalisée à l'aide de l'acide sulfurique (H_2SO_4) en utilisant une masse fixée de 35 g de charbon selon différents rapports d'imprégnation 1 :1,5 et 1 :2 et 1 :2,5 pendant 48 heures.



(a) 1 :1.5

(b) 1 : 2

(c) 1 :2.5

FIGURE III.6 – Les étapes de carbonisation

H. Lavage de charbon actif : Le charbon actif a été lavé après l'activation chimique à l'aide de 30 bouteilles d'eau distillée, d'une capacité de 730 ml chacune. Ensuite, il a été filtré à l'aide d'un tamis approprié afin d'éliminer les résidus de l'agent d'activation ainsi que les impuretés restantes. Enfin, le matériau a été laissé sécher à l'air libre pendant deux jours.



(a) Lavage

(b) Séchage

FIGURE III.7 – Le pré-traitement du charbon

III.2 Caractérisation par adsorption du phénol

III.2.1 Introduction

- Dans cette partie, nous avons préparé un charbon actif à partir des pelures d'orange puis évalué son efficacité dans l'adsorption du phénol en solution aqueuse. Une étude comparative a été réalisée entre les pelures d'orange brutes, le charbon initial et le charbon actif préparé. L'influence de plusieurs paramètres expérimentaux, tels que le temps, le pH, la masse de l'adsorbant et la concentration initiale du phénol, a également été étudiée. Enfin, les isothermes d'adsorption ont été analysées afin de déterminer le modèle décrivant le mieux le mécanisme d'adsorption du phénol sur le charbon actif préparé.

III.2.2 Préparation des solutions du phénol

- Les solutions de phénol utilisées dans cette étude ont été préparées à partir du phénol liquide afin d'obtenir une solution mère de concentration 0.1 mol/l , en utilisant de l'eau distillée. Par la suite, plusieurs solutions diluées de différentes concentrations ont été préparées : 100 ppm, 125 ppm, 150 ppm, 175 ppm et 200 ppm, dans le but d'étudier l'effet de la concentration initiale sur l'adsorption du phénol par

les adsorbants préparés à base d'écorces d'orange. Les solutions ont été préparées

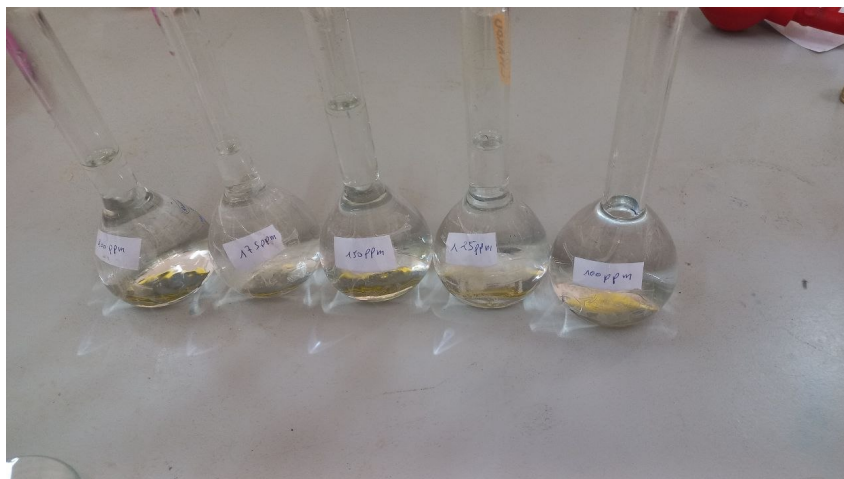


FIGURE III.8 – Préparation des solutions de phénol

avec précision à l'aide de fioles jaugées et de pipettes graduées afin d'assurer une bonne reproductibilité des résultats expérimentaux. Les solutions obtenues ont ensuite été conservées dans des flacons propres et à l'abri de la lumière jusqu'à leur utilisation dans les expériences d'adsorption.

Méthode de préparation :

La préparation des solutions diluées a été réalisée à partir de la solution mère en appliquant la relation de dilution suivante :

$$CV = C'V'$$

Où :

C : concentration de la solution mère

V : volume prélevé de la solution mère

C' : concentration désirée

V' : volume final de la solution préparée

Pour chaque solution, un volume déterminé de la solution mère a été prélevé puis complété avec de l'eau distillée jusqu'au volume final souhaité.

III.2.3 Dosage des solutions du phénol

- Le spectre d'absorption en UV-visible du phénol a été obtenu par un balayage spectral, entre 200 et 900 (nm), d'une solution de phénol à 100 (ppm). Ce spectre montre bien la longueur d'onde du maximum d'absorption de phénol (270 nm). Les concentrations des solutions du phénol ont été analysées en mesurant leur absorbance à 270 nm sur un spectrophotomètre LNICAM $He\lambda os$. Une courbe d'étalonnage des absorbances en fonction des concentrations en phénol a été obtenue en employant les solutions du phénol de concentrations comprises entre 10 et 100 (ppm). Les données expérimentales rapportées dans la Figure 5 indiquent une relation linéaire entre l'absorbance et la concentration avec un coefficient de

corrélation R

$$2 = 0,998.$$

III.2.4 Protocole expérimental d'adsorption

1. Dans cette étude, les expériences d'adsorption ont été réalisées afin d'évaluer l'efficacité des différents adsorbants préparés à partir des écorces d'orange dans l'élimination du phénol en solution aqueuse. Une quantité déterminée d'adsorbants (écorces d'orange broyée, charbon primaire ou charbon actif) a été mise en contact avec un volume connu de solution de phénol de concentration déterminée. Le mélange a ensuite été soumis à une agitation pendant un temps donné afin de favoriser le phénomène d'adsorption. [h]

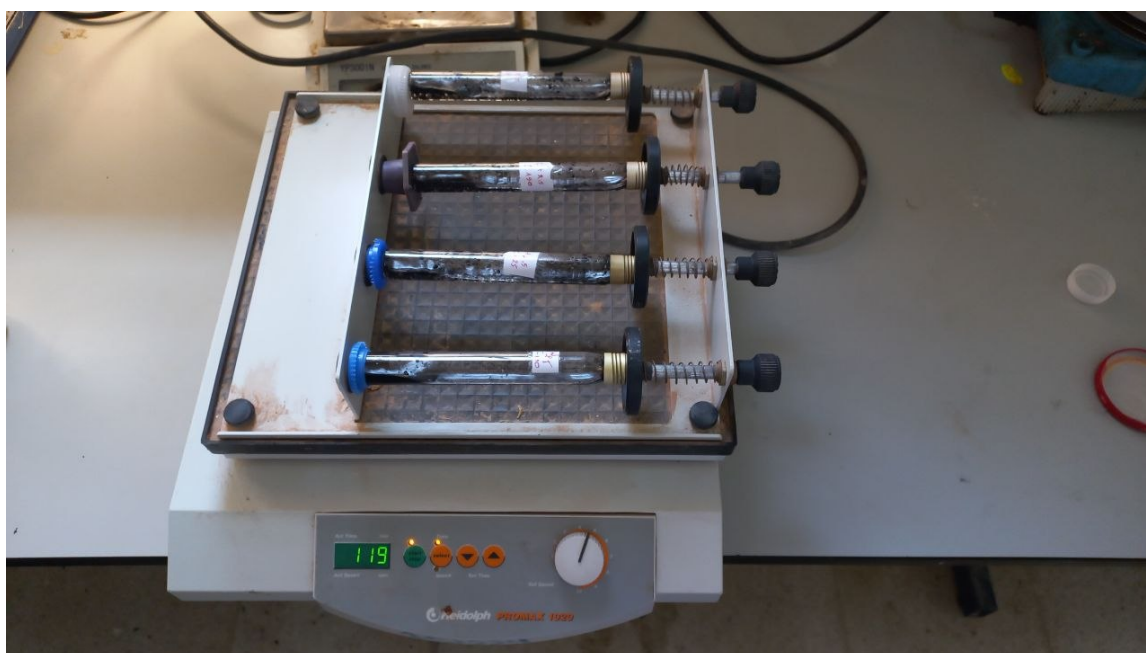


FIGURE III.9 – appareil d'agitation

au cours des expériences, plusieurs paramètres expérimentaux ont été étudiés, notamment :

- La concentration initiale du phénol
- La masse de l'adsorbant
- Le temps de contact
- Et le pH de la solution

après l'adsorption, l'adsorbant a été séparé de la solution par filtration :

La concentration résiduelle du phénol a ensuite été déterminée par analyse UV-Visible ou par dosage, afin d'évaluer le rendement d'adsorption et l'efficacité des matériaux utilisés. Le spectromètre UV-Visible est un appareil analytique utilisé pour mesurer l'absorbance des substances dans les domaines ultraviolet et visible. Son principe repose sur le passage d'un faisceau lumineux à travers l'échantillon



FIGURE III.10 – filtration

afin de mesurer la quantité de lumière absorbée par la solution. Dans cette étude, cet appareil a été utilisé pour déterminer la concentration du phénol avant et après l'adsorption.



FIGURE III.11 – Le spectromètre UV-Visible

Tableau des résultats expérimentaux de l'adsorption du phénol sur le charbon suivie par UV-Vis

III.2.5 Isothermes d'adsorption

Les validateurs des modèles de Langmuir et de Freundlich devraient être disponibles au téléchargement :

- C_e : concentration dans l'équipement (mg/L)
- q_e Quantité d'adsorbant dans l'estomac (mg/g)

Lorsque vos graphismes, les composants correspondants sont immédiatement (C_e, q_e) Je souhaite prélever de l'argent sur le don : Les formats linéaires comprennent :

Modèle de Langmuir

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{C_e}{q_m} \quad (\text{III.2})$$

$$\frac{C_e}{q_e} = f(C_e) \quad (\text{III.3})$$

Le coefficient de détermination R^2 Permettra de juger l'adéquation du modèle.

Modèle de Freundlich

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (\text{III.4})$$

$$\ln q_e = f(\ln C_e) \quad (\text{III.5})$$

Pour tracer les formats linéaires, il faut calculer les valeurs :

— Langmuir

$$\frac{C_e}{q_e} = f(C_e) \quad (\text{III.6})$$

— Freundlich

$$\ln(q_e) = f(\ln(C_e)) \quad (\text{III.7})$$

III.2.5.1 Analyse des coefficients de détermination

L'analyse des coefficients de détermination (R^2) obtenus à partir de la linéarisation du modèle de Langmuir montre que l'échantillon **CH1 :1.5** présente le meilleur ajustement avec une valeur de $R^2 = 0.764$. Toutefois, cette valeur demeure inférieure à 0.90, seuil généralement admis pour considérer une bonne adéquation au modèle de Langmuir. Les échantillons **CH** ($R^2 = 0.460$), **CH1 :2** ($R^2 = 0.442$) et **OR** ($R^2 = 0.324$) présentent des corrélations relativement faibles entre les données expérimentales et le modèle théorique. L'échantillon **CH1 :2.5** affiche quant à lui un coefficient de détermination très faible ($R^2 = 0.068$), révélant une absence quasi totale de linéarité.

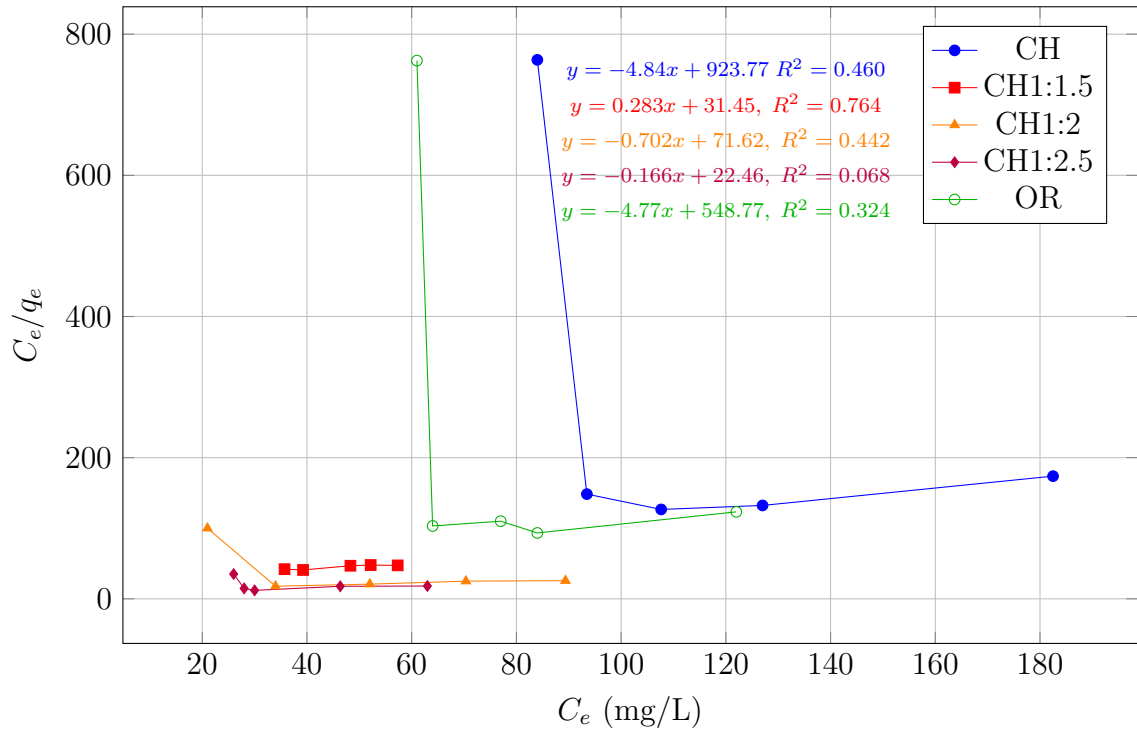


FIGURE III.12 – Linéarisation du modèle de Langmuir

III.2.5.2 Signification physique

Les faibles valeurs de R^2 obtenues suggèrent que l'adsorption du phénol sur les adsorbants étudiés ne suit pas parfaitement les hypothèses fondamentales du modèle de Langmuir. Cette observation peut être attribuée à plusieurs facteurs :

- La surface des adsorbants est probablement hétérogène ;
- Les sites d'adsorption ne possèdent pas tous la même énergie d'interaction ;
- Plusieurs mécanismes d'adsorption peuvent intervenir simultanément, notamment les interactions $\pi - \pi$, les liaisons hydrogène, les interactions électrostatiques ainsi que la diffusion intraparticulaire ;
- Une adsorption multicouche ou une adsorption sur des sites énergétiquement différents est susceptible de se produire.

Ainsi, les résultats obtenus indiquent que le modèle de Langmuir n'est pas validé pour l'ensemble des adsorbants étudiés. Néanmoins, l'échantillon **CH1 :1.5** présente une tendance plus proche du comportement langmuirien comparativement aux autres matériaux analysés.

III.2.6 Étude comparative avec la littérature

Les résultats obtenus à partir de la linéarisation du modèle de Langmuir montrent des coefficients de détermination relativement faibles ($R^2 = 0,068 - 0,764$), ce qui indique que ce modèle ne décrit pas correctement l'adsorption du phénol sur la plupart des adsorbants étudiés. Seul l'échantillon CH1 :1.5 présente une corrélation relativement acceptable ($R^2 = 0,764$), tandis que les autres matériaux affichent des valeurs nettement inférieures.

Ces résultats suggèrent une hétérogénéité de la surface adsorbante et une distribution non uniforme des sites actifs. Contrairement à cette étude, Kumar et al. [12] ainsi que Fernandez et al. [?] ont rapporté une excellente adéquation du modèle de Langmuir pour l'adsorption du phénol sur des charbons actifs, avec des coefficients de détermination supérieurs à 0,95, traduisant une adsorption majoritairement en monocouche sur des sites énergétiquement homogènes.

En revanche, les résultats obtenus sont en accord avec les travaux de Singh et al. [?] et Alqahtani et al. [14], qui ont montré que les adsorbants dérivés d'écorces d'orange brutes ou faiblement modifiées présentent généralement une surface hétérogène mieux décrite par le modèle de Freundlich. Le faible coefficient de détermination observé pour l'adsorbant OR ($R^2 = 0,324$) confirme cette tendance et suggère que l'adsorption se produit sur des sites de différentes énergies. De même, Fernandez et al. [13] ont mis en évidence la présence simultanée de micropores et de mésopores dans les charbons issus d'écorces d'orange, favorisant un comportement non conforme aux hypothèses du modèle de Langmuir.

Par ailleurs, les études de Hasdemir et al. [?] et Jimoh et al. [?] ont montré que la nature du traitement appliqué à la biomasse influence fortement les propriétés de surface et le mécanisme d'adsorption. Dans la présente étude, l'amélioration observée pour l'échantillon CH1 :1.5 par rapport aux autres adsorbants indique que cette condition de préparation favorise une meilleure organisation des sites adsorbants. Cependant, les valeurs de R^2 restant inférieures à 0,90, il apparaît que le modèle de Langmuir n'est pas pleinement validé. Ces observations suggèrent que le modèle de Freundlich serait plus approprié pour décrire l'équilibre d'adsorption du phénol sur les matériaux préparés à partir d'écorces d'orange.

III.2.6.1 Interprétation du modèle de Freundlich

Les résultats obtenus à partir de la linéarisation du modèle de Freundlich montrent des coefficients de détermination relativement élevés, variant de $R^2 = 0,746$ à $R^2 = 0,934$. Les meilleures corrélations sont observées pour les adsorbants CH ($R^2 = 0,934$) et CH1 :2 ($R^2 = 0,926$), suivis de OR ($R^2 = 0,883$) et CH1 :1.5 ($R^2 = 0,867$). Seul l'échantillon CH1 :2.5 présente un ajustement moins satisfaisant avec $R^2 = 0,746$. Ces valeurs élevées indiquent que le modèle de Freundlich décrit convenablement l'équilibre d'adsorption du phénol sur la majorité des adsorbants étudiés. La bonne linéarité observée entre $\ln(q_e)$ et $\ln(C_e)$ confirme que les données expérimentales suivent globalement les hypothèses de ce modèle.

Contrairement au modèle de Langmuir, dont les coefficients de détermination étaient nettement plus faibles, le modèle de Freundlich fournit un meilleur ajustement des résultats expérimentaux. Cette observation suggère que l'adsorption du phénol ne se déroule pas sur une surface homogène constituée de sites identiques, mais plutôt sur une surface hétérogène comportant des sites d'adsorption de différentes énergies. Les valeurs des

pentés ($1/n$) obtenues indiquent également une variation de l'affinité des adsorbants vis-à-vis du phénol selon les conditions de préparation des matériaux. En particulier, l'échantillon CH1 :1.5 présente la plus faible pente ($1/n = 0,52$), traduisant une adsorption plus favorable.

Dans l'ensemble, les résultats montrent que le modèle de Freundlich représente mieux le comportement adsorptif des matériaux préparés à partir d'écorces d'orange que le modèle de Langmuir. Cela met en évidence la nature hétérogène de la surface des adsorbants et la possibilité d'une adsorption multicouche ou sur des sites possédant des énergies d'interaction différentes. Par conséquent, le modèle de Freundlich apparaît comme le modèle le plus approprié pour décrire l'adsorption du phénol dans les conditions expérimentales étudiées.

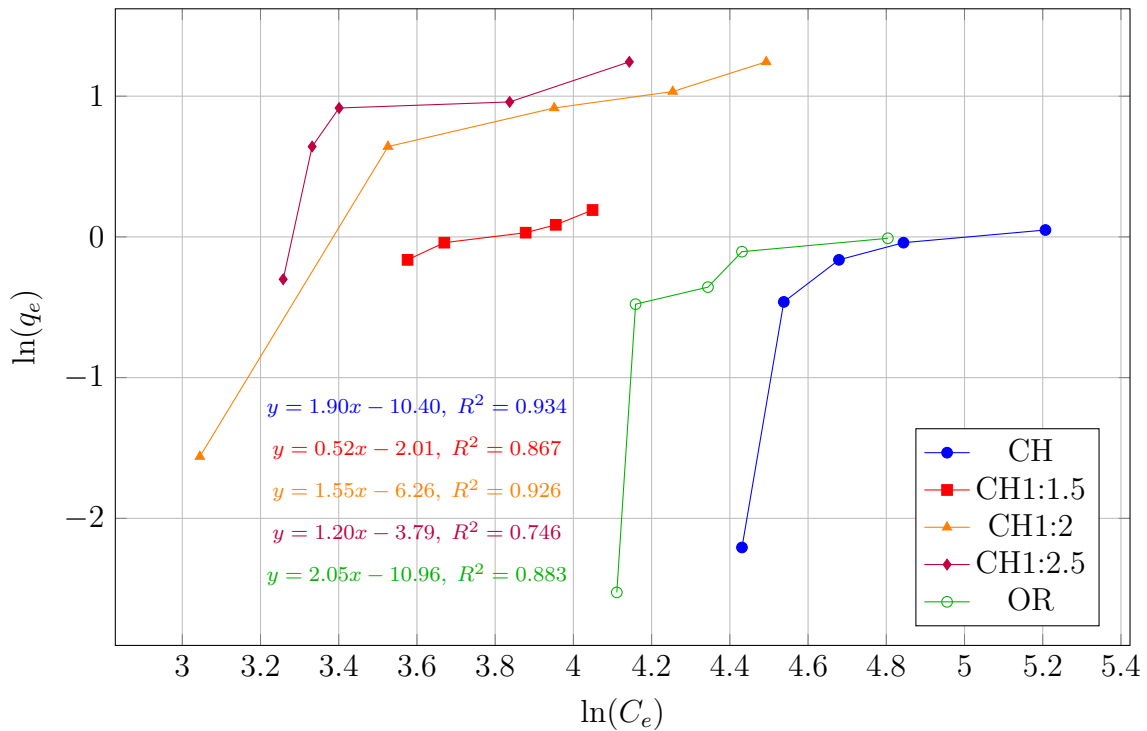


FIGURE III.13 – Linéarisation du modèle de Freundlich

III.2.6.2 Étude comparative avec la littérature

Les résultats obtenus à partir du modèle de Freundlich montrent des coefficients de détermination élevés ($R^2 = 0,746 - 0,934$), indiquant que ce modèle décrit convenablement l'adsorption du phénol sur les adsorbants préparés à partir d'écorces d'orange. Les meilleures corrélations ont été observées pour les échantillons CH ($R^2 = 0,934$) et CH1 :2 ($R^2 = 0,926$), ce qui traduit une adsorption sur une surface hétérogène comportant des sites de différentes énergies. Ces résultats sont cohérents avec ceux rapportés par Kumar et al. [12], qui ont montré que l'adsorption du phénol sur des charbons actifs dérivés d'écorces d'orange pouvait être décrite efficacement par les modèles d'équilibre, notamment lorsque les matériaux possèdent une structure poreuse développée et une forte densité de sites actifs. Toutefois, les valeurs de R^2 obtenues dans la présente étude restent légèrement

inférieures à celles rapportées par ces auteurs, ce qui peut être attribué aux différences de conditions d'activation et de préparation des adsorbants.

Les résultats obtenus sont également en accord avec les travaux de Alqahtani et al. [14] et Singh et al. [?], qui ont montré que les matériaux issus d'écorces d'orange présentent généralement une surface hétérogène mieux décrite par le modèle de Freundlich que par celui de Langmuir. De même, Fernandez et al. [13] ont mis en évidence l'existence de micropores et de mésopores dans les charbons préparés à partir d'écorces d'orange, favorisant une distribution non uniforme des sites d'adsorption. Cette observation rejoint les résultats de la présente étude, où le modèle de Freundlich fournit un ajustement nettement supérieur à celui de Langmuir, confirmant ainsi l'hétérogénéité de la surface adsorbante et la possibilité d'interactions multiples entre le phénol et les matériaux étudiés.

Par ailleurs, les études de Hasdemir et al. [?], Jimoh et al. [?] et Baba et al. [?] ont démontré que les propriétés adsorptives des charbons issus d'écorces d'orange dépendent fortement du procédé d'activation et de la structure poreuse développée. L'amélioration observée pour les échantillons CH et CH1 :2 suggère que les conditions de préparation adoptées dans cette étude ont favorisé la création de sites actifs accessibles au phénol. Les coefficients de détermination élevés obtenus avec le modèle de Freundlich, comparativement aux faibles valeurs observées pour le modèle de Langmuir, confirment que l'adsorption du phénol se produit principalement sur une surface énergétiquement hétérogène. Ces résultats sont donc en bon accord avec la majorité des travaux publiés sur les adsorbants à base d'écorces d'orange et confirment la pertinence du modèle de Freundlich pour décrire le mécanisme d'adsorption observé.

III.3 Effet de quelques paramètres sur la capacité d'adsorption

III.3.1 Effet de la masse d'adsorbant

Les résultats montrent que la capacité d'adsorption diminue lorsque la masse d'adsorbant augmente pour tous les charbons étudiés. Ce comportement s'explique par la diminution du nombre de sites actifs disponibles par unité de masse, entraînant une saturation progressive.

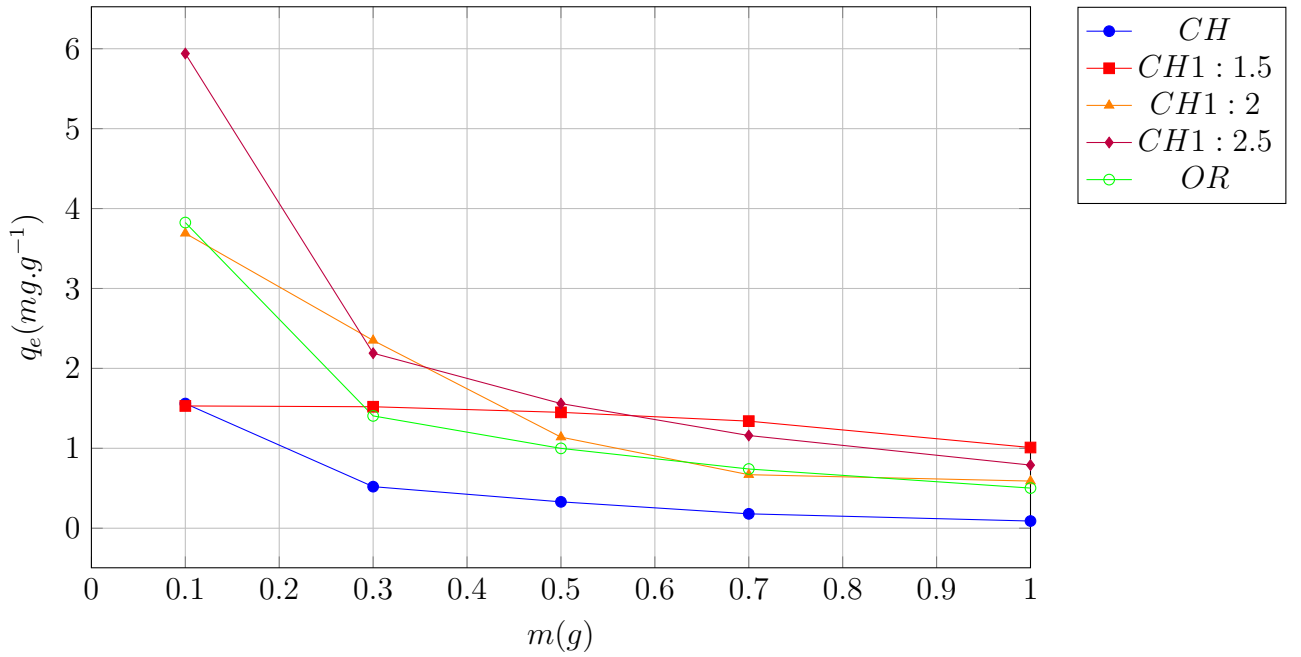


FIGURE III.14 – L'effet de masse sur la capacité d'adsorption

Les résultats obtenus pour les cinq charbons étudiés montrent que la capacité d'adsorption diminue lorsque la masse d'adsorbant augmente. Ce comportement est observé pour tous les matériaux, mais avec des intensités différentes selon le type de charbon.

Cette diminution s'explique par le fait qu'une augmentation de la masse entraîne une réduction du nombre de sites actifs disponibles par unité de masse, ainsi qu'un phénomène possible d'agglomération des particules, ce qui limite l'efficacité globale de l'adsorption.

Ces résultats sont en accord avec la littérature scientifique, où plusieurs études sur les adsorbants à base de biomasse ont montré la même tendance : l'augmentation de la masse d'adsorbant améliore le taux global d'élimination, mais diminue la capacité d'adsorption exprimée en .

Ainsi, les résultats obtenus pour les cinq charbons étudiés confirment le comportement classique rapporté dans les travaux antérieurs sur les matériaux adsorbants naturels.

III.3.2 Effet du temps de contact

Les courbes montrent que la capacité d'adsorption augmente avec le temps de contact jusqu'à atteindre un état d'équilibre. Ce comportement indique que l'adsorption est un processus dépendant du temps, avec une phase rapide initiale suivie d'une stabilisation due à la saturation des sites actifs.

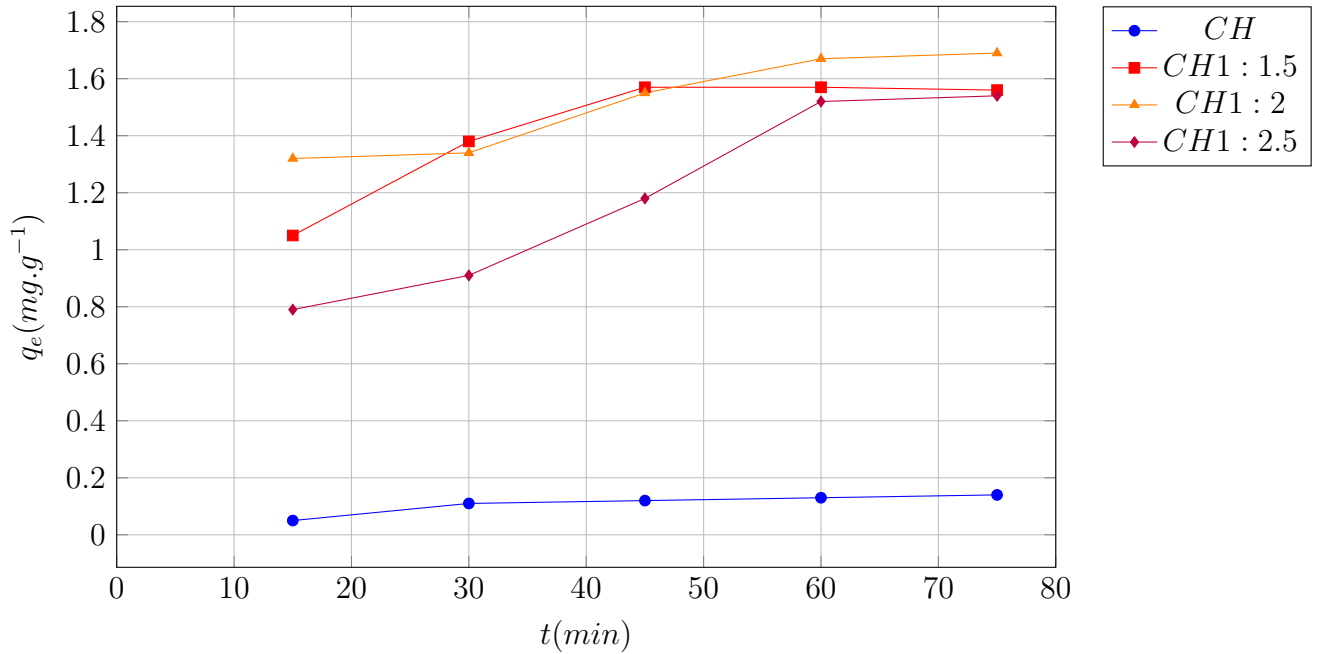


FIGURE III.15 – L'effet de temps

Les résultats obtenus pour les cinq charbons étudiés montrent que la capacité d'adsorption augmente avec le temps de contact jusqu'à atteindre un état d'équilibre. Ce comportement est observé pour tous les matériaux, avec une cinétique plus ou moins rapide selon le type de charbon.

Cette évolution s'explique par une phase initiale rapide d'adsorption, due à la disponibilité d'un grand nombre de sites actifs à la surface, suivie d'une phase plus lente liée à la saturation progressive de ces sites et à la diffusion du phénol vers les pores internes.

Ces résultats sont cohérents avec la littérature scientifique, qui montre que l'adsorption du phénol sur les adsorbants à base de biomasse suit généralement un comportement cinétique caractérisé par une étape rapide initiale suivie d'un palier d'équilibre.

Ainsi, le comportement observé pour les cinq charbons étudiés confirme les tendances rapportées dans les études antérieures sur les systèmes d'adsorption du phénol.

III.3.3 Effet du pH

Les résultats montrent que le pH influence fortement la capacité d'adsorption. En général, l'adsorption est plus élevée en milieu acide et diminue en milieu basique pour certains charbons, ce qui s'explique par la variation de la charge de surface de l'adsorbant et de la forme chimique du phénol.

Les résultats obtenus pour les cinq charbons étudiés montrent que la capacité d'adsorption diminue lorsque la masse d'adsorbant augmente. Ce comportement est observé pour tous les matériaux, mais avec des intensités différentes selon le type de charbon.

Cette diminution s'explique par le fait qu'une augmentation de la masse entraîne une réduction du nombre de sites actifs disponibles par unité de masse, ainsi qu'un phénomène possible d'agglomération des particules, ce qui limite l'efficacité globale de l'adsorption.

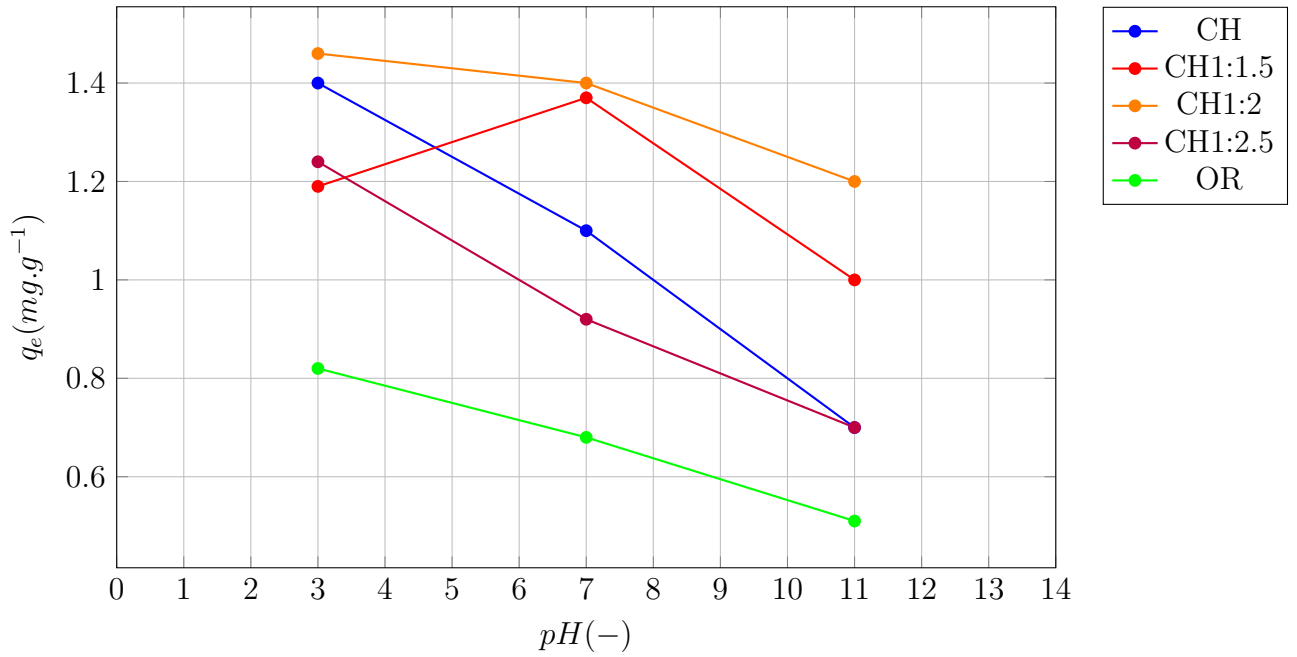


FIGURE III.16 – L'effet de pH

Ces résultats sont en accord avec la littérature scientifique, où plusieurs études sur les adsorbants à base de biomasse ont montré la même tendance : l'augmentation de la masse d'adsorbant améliore le taux global d'élimination, mais diminue la capacité d'adsorption exprimée en .

Ainsi, les résultats obtenus pour les cinq charbons étudiés confirment le comportement classique rapporté dans les travaux antérieurs sur les matériaux adsorbants naturels.

III.3.4 Conclusion

Ce travail a porté sur l'étude de l'adsorption du phénol en solution aqueuse sur cinq types de charbons (charbons) préparés à partir de biomasse, afin d'évaluer leurs performances et leur efficacité dans l'élimination des polluants organiques.

Les résultats expérimentaux montrent que la capacité d'adsorption varie d'un charbon à un autre, ce qui confirme l'influence des conditions de préparation et de la structure poreuse sur les performances des matériaux. L'étude des isothermes a montré que le modèle de Freundlich décrit mieux le comportement d'adsorption que celui de Langmuir, indiquant ainsi une surface hétérogène et un processus d'adsorption multicouche.

L'analyse des paramètres opératoires (temps de contact, masse d'adsorbant et pH) a montré que ces facteurs influencent fortement l'adsorption du phénol : l'augmentation du temps permet d'atteindre l'équilibre, l'augmentation de la masse diminue la capacité d'adsorption, et le pH joue un rôle important dans les interactions adsorbat/adsorbant.

Enfin, les résultats obtenus montrent que les meilleures performances d'adsorption ont été enregistrées pour : $CH1 : 2$ et $CH1 : 2.5$, qui présentent la capacité d'adsorption la plus élevée par rapport aux autres charbons étudiés, ce qui les rend les plus efficaces pour l'élimination du phénol en solution aqueuse.

Conclusion Générale

Dans ce travail, nous avons étudié l'élimination du phénol en milieu aqueux par adsorption en utilisant cinq types de charbons préparés à partir de la biomasse de la pelure d'orange, afin de comparer leur efficacité.

Les résultats obtenus montrent que la performance d'adsorption varie selon la nature et le traitement du charbon utilisé. Les cinq adsorbants étudiés sont : les écorces d'orange brutes, les écorces d'orange broyées, le charbon carbonisé (brut), le charbon activé, et le charbon activé modifié. Cette diversité a permis de mettre en évidence l'influence directe du mode de préparation sur la capacité d'élimination du phénol.

L'étude des différents paramètres expérimentaux (temps de contact, pH, masse de l'adsorbant et concentration initiale) a montré que les conditions opératoires jouent un rôle essentiel dans l'amélioration du rendement d'adsorption.

L'analyse des isothermes a confirmé que les modèles de Langmuir et de Freundlich décrivent correctement le comportement du système, indiquant une adsorption pouvant être à la fois homogène et hétérogène selon les conditions.

En conclusion, les résultats montrent que les charbons issus de déchets végétaux, en particulier le charbon activé, présentent une efficacité remarquable pour l'élimination du phénol. Ce procédé représente une solution prometteuse, économique et écologique pour le traitement des eaux contaminées.

Bibliographie

- [1] S. Belaid, “Fixation d’un colorant sur une colonne d’adsorption garni de charbon actif granulé,” *Mémoire Master Analyse Spectrale en Chimie, Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem*, 2014.
- [2] S. OULD MOHAMED and A. BACHA, “Adsorption des colorant< orange de methyle< par charbon actif,” 2018.
- [3] Amrutha, G. Jeppu, C. Girish, B. Prabhu, and K. Mayer, “Multi-component adsorption isotherms : review and modeling studies,” *Environmental processes*, vol. 10, no. 2, p. 38, 2023.
- [4] F. Al-Qadri, K. ALSAEREE, R. Alsaeree, and R. Mesefer Alyamee, “Orange peels as activated carbon charcoal for cu (ii) ions elimination from water sources,” *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 17, no. 36, pp. 3733–3742, 2024.
- [5] I. Kecir, *Synthèses et caractérisations de nouveaux composites à structures lamellaires*. PhD thesis, 2025.
- [6] S. Oumelkheir and K. Fatma, “Mémoire de master.”
- [7] K. E. N'TSOUKPOE, “Matériaux pour le stockage thermochimique et par sorption,” *Stockage de la chaleur et du froid 2 : Stockage thermochimique*, vol. 2, p. 5, 2023.
- [8] N. B. Ghomrasni, *Identification et caractérisation métrologique des nanoparticules en matrices complexes*. PhD thesis, Université Paris-Saclay, 2021.
- [9] R. C. Bansal and M. Goyal, *Activated carbon adsorption*. CRC press, 2005.
- [10] D. Mohan, C. U. Pittman Jr, and P. H. Steele, “Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil : a critical review,” *Energy & fuels*, vol. 20, no. 3, pp. 848–889, 2006.
- [11] J. Guo and A. C. Lua, “Preparation of activated carbons from oil-palm-stone chars by microwave-induced carbon dioxide activation,” *Carbon*, vol. 38, no. 14, pp. 1985–1993, 2000.
- [12] L. e. a. Kumar, “Adsorption très efficace du phénol à l’aide de charbon actif dérivé de déchets d’écorces d’orange,” *Water, Air, Soil Pollution*, 2025.
- [13] G. e. B. P. e. C. A. Fernandez, ME et Nunell, “Charbon actif développé à partir d’écorces d’orange : adsorption compétitive par lots et dynamique de colorants basiques,” *Industrial Crops and Products*, vol. 62, pp. 437–445, 2014.
- [14] Y. e. a. Alqahtani, “Phénol adsorption sur des écorces d’orange brutes et traitées à l’acide : étude d’équilibre et d’isotherme,” *Scientific Reports*.

-
- [15] *Bioresource Technology*, vol. 104, pp. 679–686.
 - [16] *International Journal of Technology*.
 - [17] *Desalination and Water Treatment*.

Résumé

Cette étude vise à éliminer le phénol des solutions aqueuses par adsorption sur un charbon préparé à partir de pelures d'orange. L'influence du pH, de la masse de l'adsorbant, du temps de contact et de la concentration initiale a été étudiée. Les résultats ont montré une bonne capacité d'adsorption du phénol et une efficacité variable selon les conditions opératoires.

Mots-clés

Phénol ; Adsorption ; Charbon actif , pelures d'orange ; pH ; Temps de contact ; Isothermes ; Traitement des eaux.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى إزالة الفينول من المحاليل المائية باستعمال الفحم المنشط المحضر من قشور البرتقال والمنشط كيميائياً. تمت دراسة تأثير الأس الهيدروجيني وكتلة المادة المازة وزمن التماس والتركيز الابتدائي للفينول. أظهرت النتائج فعالية جيدة في إزالة الفينول، كما تبين أن نموذج لانغموير هو الأكثر توافقاً مع البيانات التجريبية. وتؤكد الدراسة إمكانية استعمال هذا الفحم كحل اقتصادي وصديق للبيئة لمعالجة المياه الملوثة.

الكلمات المفتاحية: الفينول؛ الامتزاز؛ الفحم المنشط؛ قشور البرتقال؛ درجة الحموضة؛ مدة التلامس؛ امتزاز في درجة حرارة ثابتة؛ معالجة المياه .

Abstract

This study aims to remove phenol from aqueous solutions by adsorption using activated carbon prepared from orange peels. The effects of pH, adsorbent mass, contact time, and initial phenol concentration were investigated. The results showed a good adsorption capacity for phenol and an efficiency that varied according to the operating conditions.

Keywords

Phenol; Adsorption; Orange peel , activated carbon; pH; Contact time; Isotherms; Water treatment.