



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



École Nationale Supérieure Agronomique

Département : Génie rural

Spécialité : Sciences de l'eau

مدرسة الوطنية العليا للفلاحة

القسم: الهندسة الريفية

التخصص: علوم الماء

Mémoire de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Thème

**Etude de la dynamique d'adsorption pour l'élimination
des polluants organiques dans l'eau**

Présenté par : **MAHI Chaima et BENAKCHA Souha**

Soutenu Publiquement le :29/10/2025

Devant le jury composé de :

Président :	Mme. Bouras-Chekired	MCA, ENSA
Promotrice :	Mme. HANK Dalila	Professeur, ENSA
Co-promoteur :	Mme BOULAHIA Nadjiba	Docteur, ENSA
Examinatrice :	Mme.LARFI Bouchra	MAA, Univ Blida
Examinatrice :	Mme LOUNIS Amal	MAA, ENSA

Année Universitaire : 2025-2026

Table des matières

Résumé

Abstract

Liste des Figures IV

Liste des tableaux..... VI

Introduction généralea

Chapitre 1 : Pollution de l'eau..... 5

1.1 Pollution de l'eau..... 5

1.2 Les Sources des eaux usées..... 5

1.2.1 Les eaux usées domestiques 5

1.2.2 Les eaux usées industrielles 6

1.2.3 Les eaux usées agricoles 6

1.2.4 Les eaux pluviales..... 6

1.3 Les composés organiques dans les eaux usées 7

1.3.1 Les colorants 7

1.3.1.1 Bleu de méthylène 7

1.3.2 Les phénols 8

1.4 Différentes étapes de traitement des eaux : 8

1.4.1 Prétraitement 8

1.4.2 Traitement primaire..... 8

1.4.3 Traitement secondaire 9

1.4.4 Traitement tertiaire..... 9

1.5 Les procédés d'élimination du polluant organique..... 9

CHAPITRE 2 : Adsorption..... 10

2.1 Introduction..... 10

2.2 Définition 10

2.3 Types d'adsorption..... 10

2.3.1 L'adsorption chimique (Chimisorption) 11

2.3.2 L'adsorption physique (physiosorption) 11

2.4 Mécanismes d'adsorption 12

2.5	Les facteurs influençant l'adsorption.....	13
2.6	Les Isothermes d'adsorption	14
2.7	Modélisation de l'isotherme d'adsorption	15
2.7.1	Modèle de Langmuir.....	15
2.7.2	Modèle de Freundlich.....	17
2.7.3	Modèle de Temkin.....	18
2.8	Modélisation des cinétiques d'adsorption.....	18
2.9	Adsorption_dynamique en système continu	20
2.9.1	Définition.....	20
2.9.2	Influence de certains paramètres sur la courbe de percée.....	22
2.9.3	Modèles de percée :	23
2.9.3.2	Modèle de Yoon-Nelson	24
2.1	Matériel et Méthodes.....	27
2.1.1	Introduction.....	27
2.1.2	Polluants.....	27
2.1.3	Adsorbant : le charbon actif en grain.....	27
2.1.4	Procédés de traitement utilisés :	28
2.1.4.1	Mode batch	28
2.1.4.2	Mode continu	29
2.1.5	Analyse de l'eau	30
2.2	RESULTATS ET DISCUSSION :.....	32
2.2.1	Adsorption en batch :.....	32
2.2.2	Modélisation des isothermes de l'adsorption du phénol et le bleu de méthylène sur le charbon active en grain	32
2.2.2.1	Isotherme de Freundlich	32
2.2.2.2	Modèle de Temkin.....	33
2.2.2.3	Isotherme de Langmuir.....	33
2.2.3	Etude de l'effet de quelques paramètres sur la capacité d'adsorption du phénol et du bleu de méthylène sur CAG.....	34
2.2.3.1	Effet de la vitesse d'agitation.....	35
2.2.3.2	Effet de la masse de CAG :.....	36

2.2.3.3	Effet de la concentration initiale du composé organique :	37
2.2.4	Modélisation de la cinétique d'adsorption du phénol.....	38
2.2.4.1	Modèle du pseudo premier ordre	39
2.2.3.2	Modèle du pseudo second ordre	39
2.2.4.3	Modèle de la diffusion intra-particulaire	39
2.2.5	Cas d'un mélange des deux polluants.....	41
2.2.6.1	Effet de la concentration initiale du phénol :.....	43
2.2.6.2	Effet de la masse de CAG :.....	44
2.2.6.3	Effet du débit d'alimentation :.....	44
2.2.6.4	Les volumes traité aux temps de percée et de saturation.....	46
2.2.7	Application des modèles mathématiques sur la dynamique d'adsorption	50
2.2.7.1	Modèle de Thomas.....	50
2.2.7.2	Modèle de YOON NELSON	54
2.2.8	Comportement du phénol dans un mélange (phénol + bleu de méthylène) :.....	59
Conclusion générale.....		63
Les références :		66
Annexe :.....		74

Résumé :

Le but de notre travail est l'étude de l'élimination des composés organiques dans l'eau par adsorption en batch et dans un lit de charbon actif en grain.

Ce travail porte sur l'étude de l'élimination de deux polluants organiques couramment présents dans les eaux usées, à savoir le phénol et le bleu de méthylène, par adsorption sur charbon actif en grain (CAG). Les performances du procédé ont été évaluées en mode discontinu (batch) et en mode continu (lit fixe), en considérant le cas de polluants seuls ainsi que celui de leur mélange, afin d'analyser l'effet compétitif entre les deux composés.

En mode batch, l'étude des isothermes d'adsorption a montré que les modèles de Langmuir, Freundlich et Temkin décrivent correctement l'adsorption du phénol et du bleu de méthylène sur le CAG, avec une meilleure adéquation globale du modèle de Langmuir, indiquant une adsorption majoritairement en monocouche. Les résultats révèlent une capacité d'adsorption plus élevée pour le bleu de méthylène comparativement au phénol, traduisant une plus grande affinité du CAG pour le colorant.

L'étude cinétique a mis en évidence que l'adsorption des deux polluants suit principalement le modèle du pseudo-second ordre, suggérant que le mécanisme d'adsorption est dominé par des interactions de type physico-chimique. Le modèle de diffusion intra-particulaire a montré que la diffusion dans les pores intervient dans le processus sans toutefois constituer l'unique étape limitante.

En système continu, les courbes de percée ont permis d'analyser l'influence des paramètres opératoires. Les résultats montrent que l'augmentation de la concentration initiale et du débit d'alimentation entraîne une diminution des temps de percée et de saturation, tandis que l'augmentation de la masse de charbon actif améliore significativement les performances du lit en retardant la saturation. Les modèles dynamiques de Thomas et de Yoon–Nelson ont été appliqués avec succès aux données expérimentales, présentant de bons coefficients de corrélation et permettant d'estimer les paramètres caractéristiques de la colonne.

L'étude du mélange phénol–bleu de méthylène a mis en évidence un effet compétitif marqué, se traduisant par une diminution de l'adsorption du phénol en présence du bleu de méthylène, ce dernier présentant une affinité plus élevée pour les sites actifs du CAG.

En conclusion, les résultats obtenus confirment l'efficacité du charbon actif en grain pour l'élimination des polluants organiques étudiés, aussi bien en mode batch qu'en mode continu, et soulignent l'importance de la prise en compte des phénomènes de compétition lors du traitement d'eaux contenant plusieurs contaminants.

Mots-clés : adsorption, charbon actif en grain, batch, adsorption continue, phénol, bleu de méthylène, effet compétitif.

Abstract :

This work investigates the removal of two common organic pollutants in wastewater, phenol and methylene blue, by adsorption onto granular activated carbon under batch and continuous fixed-bed operating modes. The adsorption behavior was examined for single-solute systems as well as for a binary mixture, in order to assess the competitive adsorption effects between the two pollutants.

In batch experiments, the adsorption equilibrium data were described using the Langmuir, Freundlich, and Temkin isotherm models, with the Langmuir model providing the best overall fit, indicating monolayer adsorption. The results showed that methylene blue exhibits a higher adsorption capacity than phenol, reflecting a stronger affinity toward the granular activated carbon. Kinetic studies revealed that the adsorption process for both pollutants follows predominantly the pseudo-second-order model, suggesting that physicochemical interactions control the adsorption mechanism. Intraparticle diffusion contributes to the adsorption process but is not the only rate-limiting step.

In continuous fixed-bed column experiments, breakthrough curves were analyzed to evaluate the effects of operating parameters. An increase in the initial concentration and flow rate led to shorter breakthrough and saturation times, while increasing the mass of granular activated carbon improved column performance by delaying saturation. The experimental data were well fitted by the Thomas and Yoon–Nelson models, allowing the determination of the characteristic parameters of the adsorption column.

The study of the phenol–methylene blue mixture highlighted a competitive adsorption effect, resulting in a decrease in phenol removal in the presence of methylene blue, which shows a preferential adsorption onto granular activated carbon.

Overall, the results confirm that granular activated carbon is an effective adsorbent for the removal of organic pollutants from water in both batch and continuous systems and underline the importance of considering competitive effects in multi-component wastewater treatment.

Key word: adsorption, granular activated carbon, batch adsorption, continuous adsorption, phenol, methylene blue, competitive effect.

الملخص:

يهدف هذا العمل إلى دراسة إزالة ملوثين عضويين شائعين في المياه العادمة، وهما الفينول وأزرق الميثيلين، بواسطة عملية الامتزاز على الفحم النشط الحبيبي، وذلك في نظامين تشغيليين: النظام المتقطع (على دفعات) والنظام المستمر (عمود ذي سرير ثابت). كما تمت دراسة سلوك الامتزاز لكل ملوث على حدة، إضافة إلى حالتها في خليط ثنائي، من أجل تقييم التأثير التنافسي بينهما على سطح الفحم النشط.

في نظام الدفعات، أظهرت نتائج دراسة توازن الامتزاز أن نماذج لانغموير وفريدلخ وتيمكين تصف بشكل جيد سلوك امتزاز الفينول وأزرق الميثيلين على الفحم النشط الحبيبي، مع أفضل توافق عام لنموذج لانغموير، مما يدل على حدوث امتزاز أحادي الطبقة. كما بينت النتائج أن أزرق الميثيلين يمتلك سعة امتزاز أعلى مقارنة بالفينول، مما يعكس ألفة أكبر للفحم النشط. وأوضحت الدراسة الحركية أن عملية الامتزاز لكلا الملوثين تتبع أساساً نموذج الرتبة الثانية الكاذبة، مما يشير إلى أن التفاعلات الفيزيائية-الكيميائية تتحكم في آلية الامتزاز، في حين تساهم عملية الانتشار داخل المسام دون أن تكون المرحلة المحددة الوحيدة للسرعة.

أما في نظام العمود المستمر، فقد تم تحليل منحنيات الاختراق لدراسة تأثير العوامل التشغيلية. وأظهرت النتائج أن زيادة التركيز الابتدائي ومعدل الجريان تؤدي إلى تقليص زمن الاختراق وزمن التشبع، في حين أن زيادة كتلة الفحم النشط الحبيبي تحسن أداء العمود من خلال تأخير تشبع السرير. كما أظهرت نماذج توماس ويون-نلسون توافقاً جيداً مع النتائج التجريبية، مما سمح بتحديد المعاملات المميزة لديناميكية الامتزاز في العمود.

وأبرزت دراسة خليط الفينول وأزرق الميثيلين وجود تأثير تنافسي واضح، تمثل في انخفاض امتزاز الفينول بوجود أزرق الميثيلين، الذي أظهر أولوية في الامتزاز على مواقع السطح الفعالة للفحم النشط.

وبصفة عامة، تؤكد النتائج المتحصل عليها فعالية الفحم النشط الحبيبي في إزالة الملوثات العضوية من المياه سواء في النظام المتقطع أو المستمر، مع التأكيد على أهمية أخذ التأثيرات التنافسية بعين الاعتبار عند معالجة المياه المحتوية على أكثر من ملوث عضوي واحد.

كلمات مفاتيح: الامتزاز، الفحم النشط الحبيبي، الامتزاز على دفعات، الامتزاز المستمر، الفينول، أزرق الميثيلين، التأثير التنافسي.