

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université A. M. OULHADJ - Bouira  
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées  
Département de Génie des Procédés



# Mémoire

Présenté par

**BOUFES Meriem**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER**

Filière: **Génie des Procédés**

Spécialité : **Génie Chimique**

Etude cinétique du procédé d'adsorption d'un résidu  
pharmaceutique sur deux adsorbants

Soutenu le 18 /09 / 2022

Devant le jury:

M <sup>me</sup> ZIANI	Salima	MCA	UAMO, Bouira	Examinatrice
M <sup>me</sup> ZAABAR	Aida	MCA	UAMO, Bouira	Examinatrice
M <sup>me</sup> HAMMACHE	Fadila	MCB	UAMO, Bouira	Encadrant
M <sup>me</sup> MOULAHCENE	Lamia	MCB	UAMO, Bouira	Co-Encadrant

Année Universitaire : 2021/2022

## Remerciements

Nous remercions tout premièrement Dieu tout puissant qui nous a donné la santé, la volonté et la patience, durant toutes ces longues années pour achever à ce modeste travail qui a été réalisé au sein du laboratoire de Génie des Procédés de l'université Akli Mouhand Oulhadj de Bouira

En premier lieu, je tiens à exprimer mes remerciements et reconnaissances, les plus distingués, envers mes promotrices Madame HAMMACHE-OUGHILIS F ; MOULAHCENE .L, qui ont dirigé ce travail, Pour leur soutien, leurs qualités humaines, leurs précieux conseils, leurs encouragements et leur patience dans la réalisation de ce travail.

Je tiens à remercier les membres du jury d'avoir accepté d'évaluer ce travail et pour toutes leurs remarques et critiques, J'adresse mes sincères remerciements à tous l'ensemble du personnel du laboratoire de Génie des Procédés, pour leurs accueils chaleureux, pour leurs aides et leurs conseils.

Un grand merci à tous Nos enseignants qui nous ont initiés aux valeurs authentiques, en signe d'un profond respect.

Merci également à tous ceux qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici notre profonde reconnaissance.

Enfin mes remerciements sont adressés plus particulièrement à ma grande familles, mon mari, mes chères enfants et mes amis(es) qui ont su me soutenir, nous encourager, nous aider et nous supporter tout au long des années.

## *Dédicaces*

*A Dieu tout puissant de m'avoir donné santé : physique et morale.*

*A mes très chers parents qui ont beaucoup sacrifié pour faire de moi ce que je suis aujourd'hui. A mon cher mari **Amezki** pour ses encouragements, sa patience, son appui et son soutien moral tout au long de ce travail. A la mémoire de ma chère fille **Malak Ranim** . A mes chers enfants **Anes** et **Belcem** pour leur présence quotidienne dans ma vie.*

*A mes frères **Fathi**, **Zakaria**, **Chouïab**, **Yahia**, **Ahmed** pour leur soutien moral.*

*A ma grand-mère qui me souhaite toujours bonne chance et réussite.*

*A la mémoire de mes grands-parents. Que Dieu les accueille dans son vaste paradis*

*A tous mes amis (es) pour leur soutien psychologique, et en particulier : **Ikhadachenne***

***Hassiba** et **Bouafia Idir**.*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce Travail, je dédie*

*ce modeste travail.*

*Meriem.*

## Liste des abréviations

**AOP**: Advanced Oxidation Processes

**POP** : polluants organiques persistants

**STEP** :station d'épuration

**$\alpha$  - CDs** : Alpha cyclodextrines

**$\beta$  - CDs** : béta cyclodextrines

**$\gamma$  - CDs** : gamma cyclodextrines

**AC** : Acide citrique

**BM** : Bleu de Méthylène

**CAG** : Charbon Actif en Grains

**CDs** : Cyclodextrines

**CGTase** : Cyclodextrine glucosyltransférase

**EP** : Epichlorhydrine

**IB** : Ibuprofène

**CD-PR** : polyrotaxanes à base de cyclodextrine

**PEO** : poly (oxyde d'éthylène)

**PCB** : Polychlorobiphényles

**COV** :Les composés organiques volatils

**NaOH** :Hydroxyde de sodium

**MB** : Bleu de méthylène

**pH** : Potentiel Hydrogène

**pH<sub>PZC</sub>**:Potentiel Hydrogène au point de charge nulle

**Poly- $\alpha$ - $\gamma$ - $\beta$ -CD** : Polymère  $\alpha$ - $\gamma$ - $\beta$ -Cyclodextrine

**CG** : Capacité de gonflement (%)

**AT** : Groupements acides totaux

**P** : La porosité

**mads**: Masse de l'adsorbant (mg)

**NR** : rouge neutre

**W**: Vitesse de circulation de la solution (tr/min)

**Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**: le carbonate de sodium

**NaHCO<sub>3</sub>** : bicarbonate de sodium . Le charbon a été également titré par

**HCl** : l'acide chlorhydrique .

## Liste des tableaux

### CHAPITRE I

<b>Tableau I.1.</b> Caractéristiques des deux types d'adsorption.....	10
---	----

### CHAPITRE II

<b>Tableau II.1.</b> Caractéristiques physico-chimiques des cyclodextrines natives.....	22
---	----

### CHAPITRE III

<b>Tableau III.1</b> Solubilité de l'ibuprofène en fonction du pH dans l'eau.....	38
---	----

### CHAPITRE IV

<b>Tableau IV.1 :</b> Taux d'humidité du CAG.....	42
---	----

<b>Tableau IV.2 :</b> Taux de cendre de CAG.....	43
--	----

<b>Tableau IV.3 :</b> Caractéristiques texturales du CAG.....	43
---	----

<b>Tableau IV.4 :</b> Valeurs des indices $I_{BM}$ et $I_d$ .....	44
---	----

<b>Tableau IV.5 :</b> Quantités en groupements fonctionnels à la surface du CAG.....	45
--	----

<b>Tableau IV.6 :</b> valeurs de la capacité de gonflement, des groupements acide totaux et de la surface spécifique du polymère en ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) cyclodextrine.....	45
--	----

<b>Tableau IV.7 :</b> Rendement d'adsorption pour différentes concentrations initiales en ibuprofène.....	48
---	----

<b>Tableau IV.8 :</b> Constantes de Langmuir.....	50
---	----

<b>Tableau IV.9 :</b> Constantes de Freundlich.....	51
---	----

<b>Tableau IV.10 :</b> Constantes de Temkin.....	52
--	----

<b>Tableau IV.11 :</b> Constantes de la cinétique du premier ordre.....	54
---	----

<b>Tableau IV.12 :</b> Constantes cinétiques du modèle de pseudo second-ordre.....	56
--	----

## Liste des figures

### CHAPITRE I

<b>Figure I.1</b> - Transferts de polluants dans les milieux aquatiques.....	4
<b>Figure I.2</b> : Principales classes de molécules quantifiées dans l'environnement.....	5
<b>Figure I.3</b> : Oxydation des micropolluants par voie physico-chimique.....	7
<b>Figure I.4</b> : Traitement des micropolluants par adsorption.....	7
<b>Figure I.5</b> : Technologies disponibles pour l'élimination des contaminants émergents des eaux usées.....	8
<b>Figure I.6</b> . Phénomène d'adsorption.....	9
<b>Figure I.7</b> . Schéma de l'adsorption physique et chimique.....	10
<b>Figure I.8</b> . Schéma de mécanisme d'adsorption.....	11
<b>Figure I.9</b> : Classification des isothermes d'adsorption.....	13
<b>Figure I.10</b> : Courbe illustrant le modèle de Langmuir.....	15
<b>Figure I.11</b> : Modèle d'adsorption en multicouche selon Freundlich.....	16

### CHAPITRE II

<b>Figure. II .1</b> : Périodes de développement des CD, avec les noms des chercheurs qui ont contribué à chaque étape depuis la découverte.....	19
<b>Figure II .2</b> : Représentation de la structure chimique des cyclodextrines naturelles.....	20
<b>Figure II .3</b> : Structure développée des trois cyclodextrines.....	20
<b>Figure II .4</b> : Représentation tronconique des trois principales cyclodextrines.....	20
<b>Figure II. 5</b> : Structure chimique d'un cône CD.....	21
<b>Figure II.6</b> : Polyrotaxane et leurs dérivés.....	23
<b>Figure II.7</b> : Polymères CD greffés: (a) CDP râpés à noyau 0D; (b) CDP à grille de chaîne linéaire 1D et (c) CDP greffés sur plaque 2D.....	23
<b>Figure II.8</b> : Auto-assemblage de G-CDP pour des hydrogels supramoléculaires ou des micelles.....	24

<b>Figure II.9:</b> schéma du copolymère amphiphile structurel cœur-enveloppe $\beta$ -CD .....	24
---	----

### CHAPITRE III

<b>Figure III. 1 :</b> Image du polymère avant et après immersion dans l'eau.....	37
<b>Figure III.2 :</b> structure de la molécule d'ibuprofène.....	38
<b>Figure III.3 :</b> Schéma du dispositif expérimental.....	39
<b>Figure III.4:</b> Image du spectrophotomètre UV-visible.....	39
<b>Figure III.5 :</b> Principe de la spectrophotométrie UV.....	40
<b>Figure III.6:</b> Courbe d'étalonnage.....	41

### CHAPITRE IV

<b>Figure IV. 1:</b> Détermination du point de charge nulle (pHpzc) du CAG.....	44
<b>Figure IV.2 :</b> Quantités adsorbées en fonction du temps à différentes concentrations initiales en ibuprofène ( $V=100$ ml, $m_{ads}= 100$ mg, $pH=5,65$ et $W = 250$ tr/min).....	47
<b>Figure IV.3 :</b> Rendement d'adsorption à l'équilibre en fonction des différentes concentrations initiales en ibuprofène ( $V= 100$ ml, $m_{ads} = 100$ mg, $pH=5,65$ et $W = 250$ tr/min).....	48
<b>Figure IV.4:</b> Isothermes d'adsorption de l'ibuprofène sur les deux adsorbants ( $T= 25$ °C, $V= 100$ ml, $m_{ads}= 100$ mg, $pH=5,6$ , $W = 250$ tr/min, $teq$ CAG=210min et $teq$ CDP = 300 min).....	49
<b>Figure IV.5 :</b> Isotherme de Langmuir linéarisée.....	50
<b>Figure IV.6 :</b> Isotherme de Freundlich linéarisée.....	51
<b>Figure IV.7 :</b> Isotherme de Temkin de linéarisée.....	52
<b>Figure IV.8:</b> Cinétique d'adsorption du premier ordre du CAG.....	53
<b>Figure IV.9:</b> Cinétique d'adsorption du premier ordre du POLY( $\alpha\beta\gamma$ )CD.....	53
<b>Figure IV.10 :</b> Cinétique d'adsorption du second-ordre du CAG.....	55
<b>Figure IV.11 :</b> Modèle cinétique de pseudo second-ordre d'adsorption de l'IB sur le poly ( $\alpha, \beta, \gamma$ ) - CDs.....	55



## Sommaire

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

<b>Introduction générale</b> .....	1
I.1. Définition des micropolluants .....	3
I.2. Les principaux types de micropolluants .....	3
I.3. Origines des micropolluants.....	4
I.4. La pollution pharmaceutique.....	4
I.4.1. voies de contamination des milieux aquatiques par les produits pharmaceutiques.....	5
I.4.2. Impacts des produits pharmaceutiques sur l'environnement et sur la santé.....	6
I.4.3. Procédés de traitements des eaux contaminées par des polluants médicamenteux.....	6
I.4.4. Adsorption	
I.4.4.1. Généralités sur l'adsorption.....	8
I.4.4.2. Types d'adsorption.....	9
I.4.4.3. Mécanisme d'adsorption.....	11
I.4.4.4. Facteurs influençant l'adsorption.....	11
I.4.4.5. Isothermes d'adsorption .....	12
I.4.4.6. Modélisation des isothermes d'adsorption .....	13
a -Modèle de Langmuir .....	14
b-Modèle de Freundlich.....	15
c-Modèle de Temkin.....	16
I.4.4.7. Cinétique d'adsorption .....	17
a-Modèle cinétique du pseudo-premier ordre.....	17
b-Modèle cinétique du pseudo-second ordre .....	18

## CHAPITRE II : LES POLYMERES EN CYCLODEXTRINES

II.1.Historique des cyclodextrines .....	19
II.2.Structure des cyclodextrines .....	20
II.3. Les polymères en cyclodextrines .....	22
a-polyrotaxanes à base de cyclodextrine CD-PR.....	22
b-cyclodextrine greffée .....	23
c-des polymères de cyclodextrine réticulés.....	23
d-des polymères en étoile/multibras .....	24
II.4.Application des polymères de CD.....	25

### Références Bibliographiques

## CHAPITRE III :MATERIELS ET METHODES

III .1. Caractérisation du charbon actif en grains .....	31
III.1.1 Caractérisation texturale .....	31
III.1.1.1. Masse volumique apparente.....	31
III.1.1.2. Masse volumique réelle.....	31
III. 1.1.3 Volume poreux total du CA.....	32
III.1.1.4. Taux d'humidité.....	32
III.1.1.5. Taux de cendres .....	32
III.1.1.6. Indice d'iode.....	33
III.1.1.7 Indice de bleu de méthylène.....	33
III 1.2 Caractérisation physico-chimique.....	34
III.1.2.1 pH de contact .....	34
III.1.2.2 Méthode de dérivé de pH (pH au point de charge nulle ( $pH_{PZC}$ )).....	34
III.1.2.3 Détermination des fonctions de surface (méthode de Boehm).....	35
III.2. Caractérisation du polymère en cyclodextrines .....	36
III.2.1 Capacité de gonflement (CG) dans l'eau.....	36
III.2.2. Groupements acides totaux.....	37

III.3. La molécule d'ibuprofène.....	37
III.4 Dispositif expérimental et mode opératoire.....	38
<b>CHAPITRE IV :RÉSULTATS ET DISCUSSIONS</b>	
IV.1 Caractéristiques du charbon actif.....	42
IV.1.1 Caractérisation texturale .....	42
IV.1.1.1 Taux d'humidité .....	42
IV.1.1.2 Taux de cendre C% .....	42
IV.1.1.3 Volume poreux total et porosité .....	43
IV.1.1.4 Calcul de l'indice de bleu de méthylène et de l'indice d'iode.....	44
IV.1.2 Caractérisation physico-chimique .....	44
IV.1.2.1 Point de la charge nulle (pHpzc), pH de contact et méthode de Boehm .....	44
IV.2 Caractérisation du poly ( $\alpha,\beta,\gamma$ ) CDs.....	45
IV.3 Étude cinétique .....	46
IV.3.1 Détermination du temps d'équilibre d'adsorption et effet de la concentration initiale.....	46
IV.3.2 Modélisation des isothermes d'adsorption.....	48
IV.3.2.1 Modèle de Langmuir.....	49
IV.3.2.2 Modèle de Freundlich.....	50
IV.3.2.3 Modèle de Temkin.....	51
IV.4. Modélisation de la cinétique d'adsorption.....	52
IV.4.1 Cinétique du pseudo-premier ordre.....	52
IV.4.2 Cinétique de pseudo-second ordre.....	54
<b>Références Bibliographiques</b>	
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>60</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>62</b>