

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE BELHADJ BOUCHAIB-AIN TEMOUCHENT



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département d'Hydraulique

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du Diplôme Master

Domaine : ST

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique urbaine

Thème

**ELEMINATION DU COLORANT LE BLEU DE METHYLENE PAR UN MATERIAU
PROVENANT DES DECHETS MARINS**

MCB. NEHARI Abd Rahman

Présidente du jury

MAA. BENAICHA Mohammed

Examineur

MCB. BENCHEKOR Hassiba :

Encadreur

Présenté par : M^{elle} CHERIF Fatima Zahra

REMERCIEMENTS

Je tien tout d'abord à remercier Dieu, le Tout-Puissant, de m'avoir donné la force, la patience et le courage pour mener à bien ce travail.

Ce travail a été réalisé au laboratoire d'Hydraulique à l'Université Belhadj Bouchaib d'Ain Témouchent.

Je tien à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant Mme BENCHEKOR Hassiba, pour son accompagnement, ses conseils avisés et son soutien constat tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en acceptant d'évaluer ce travail.

Je remercie chaleureusement tous mes enseignants pour la qualité de leur formation et leur dévouement.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude aux ingénieures du laboratoire d'Hydraulique, Mme LAHCEN Amina et Mme DERRAR Karima, pour leur soutien technique précieux, leurs conseils avisés ainsi que leur bienveillance constante durant la réalisation de ce travail.

Je tien aussi à remercier ma famille et mes proches pour leur soutien moral, leur patience et leur encouragements tout au long de mon parcours.

Enfin, je remercie toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce projet à mes chers parents, pour leur soutien indéfectible tout au long de ce parcours académique.

A mes amis, pour leur présence et leurs encouragements.

A mes professeurs, pour leur enseignement précieux et leurs conseils avisés.

Ce travail est le fruit de vos efforts combinés, et je vous en suis profondément reconnaissant.

Table des matières

Remerciements

Dédicaces

Liste des figures

Liste des tableaux

Symboles et abréviations

INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	1
CHAPITRE I : POLLUTION DES EAUX	2
I .1. INTRODUCTION	5
I .2. LES CAUSES DE LA POLLUTION DES EAUX	5
I .2.1.POLLUTION DOMISTIQUE.....	5
I .2.2.POLLUTION INDUSTRIEL	5
I .2.3.POLLUTION DE RUISSELEMENT	6
I .2.4.POLLUTION AGRICOL	6
I .3. LES TYPES DE LA POLLUTION DES EAUX	6
I .3.1.POLLUTION CHIMIQUE.....	6
I .3.2.POLLUTION MICROBIOLOGIQUE	7
I .3.3.POLLUTION MINIRALE	7
I .3.4.POLLUTION PHYSIQUE	7
Chapitre II : Différents procédés de l'épuration des eaux polluées.....	5
II .1. A CULTURE LIBRE.....	10
II .1.1. BOUE ACTIVEE	10
II .1.2.LE LAGUNAGE	11
II .2. A CULTURE FIXEE	12
II .2.1. LIT BACTERIEN.....	12
II .2.2. DISQUE BIOLOGIQUE.....	14
II . 3. ADSORPTION.....	14
PARTIE PRATIQUE	10
Chapitre III : MATIERE ET METHODE.....	11

III.1.DEFINITION DU MATERIAU :	18
III.2 PRÉPARATION DU MATÉRIAU :	18
III.2.1 ANALYSE INFRAROUGE Á TRANSFORMÉE DE FOURIER :	19
III.2.2 DETERMINATION DU pH_{pzc} :	19
III.3 : Adsorbat :	20
III.4. METHODE D'ANALYSE :	21
III.4.1. SPECTROPHOTOMETRIE UV-VISIBLE :	21
<i>CHAPITRE IV</i> : ELIMINATION DU COLORANT BLEU DE METHYLENE PAR LA CARAPPAGE DE LE CREVETTE BRUT	24
IV.1 INFLUENCE DU pH INITIAL SUR L'ÉLIMINATION DE BLEU DE METHYLENE :	25
IV.1.1 : Effet de pH :	25
IV.2 EFFET DE LA TEMPÉRATURE SUR L'ÉLIMINATION DU COLORANT BLEU DE METHYLENE :	26
IV.2.1 ETABLISSEMENT DES ISOTHERMES D'ADSORPTION :	26
IV.2.2 MODELISATION DES ISOTHERMES D'ADSORPTION:	28
IV.3 DISCUSSION :	30
CONCLUSION GENERALE	31
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	33

Liste des figures

FigureI. 1:Evacuation des eaux usées industrielles en environnement	6
FigureII. 1:Schéma de traitement des eaux usées par boues activées.	11
FigureII. 2:Schéma de traitement des eaux usées par lagunage (bassins à macrophytes).	12
FigureII. 3:Schéma de traitement des eaux usées par lagunage (bassins à macrophytes).	12
FigureII. 4:Schéma de traitement des eaux usées par lit bactérienne.	13
FigureII. 5:Schéma de traitement des eaux usées par le disque biologique.	14
FigureIII. 1:Photo de la carapace de la crevette.	18
FigureIII. 2:Spectre FTIR du matériau CRV.....	19
FigureIII. 3:Courbe de détermination du pH_{pzc} du matériau CRV.	20
FigureIII. 4:courbe d'étalonnage du colorant Bleu de Méthylène.....	23
FigureIV. 1:Influence du pH sur l'élimination du Bleu de méthylène par CRV.	25
FigureIV. 2:Isotherme de BM sur le matériau CRV à T 25°C.....	26
FigureIV. 3:Isotherme de BM sur le matériau CRV à T 35°C.....	27
FigureIV. 4:sotherme d'adsorption du BM sur le matériau CRV à 25°C par le modèle de Redlich Peterson.....	29
FigureIV. 5:Isotherme d'adsorption du BM sur le matériau CRV à 25°C par le modèle de Klotz.	29
FigureIV. 6:Isotherme d'adsorption du BM sur le matériau CRV à 35°C par le modèle de Redlich Peterson.....	30

Liste des tableaux

Tableau I.1 : les maladies hydriques et les bactéries qui en sont la cause [8] 7

Tableau III. 1 : caractéristiques physico-chimiques de Le Bleu de Méthylène 21

Abréviations et symboles

REUT : Réutilisation des Eaux Usées Traitées

MTH : Maladies à Transmission Hydrique

MES : Matière En Suspension

DBO₅ : Demande Biologique en Oxygène avec un temps d'incubation de 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

°C : degrés Celsius

CRV : Crevette

FTIR : spectroscopie Infrarouge à Transformé de Fourier

KBr : Bromure de Potassium

pHpzc : pH de point de charge nulle

pH : potentiel d'Hydrogène

NaCl : Chlorure de Sodium

HCl : Acide Chlorhydrique

NaOH : Hydroxyde de Sodium

BM : Bleu de Méthylène

nm : nanomètre

UV : Ultra Violet

C : Concentration

ABS : Absorbance

BET : Breauner Emmett Teller

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure dans tous les pays du monde. L'Algérie est l'un des pays de la méditerranée touchés par le stress hydrique. Elle est classée dans la catégorie des pays pauvres en eaux.

Partout sur le pourtour méditerranéen, les besoins en eau évoluent sous les effets du changement climatique : les baisses des précipitations et les hausses des températures imposent de repenser les modes de gestion de l'eau, tant en quantité qu'en qualité, pour l'ensemble des activités humaines (agriculture, eau potable, industrie) et non-humaines (débit et qualité des cours d'eau).

La mobilisation de ressources en eau « non conventionnelles » (eaux de ruissellement, eaux usées, eaux d'exhaure...) fait partie du panel de solutions à envisager pour faire face aux conséquences du changement climatique. Parmi celles-ci, la réutilisation des eaux usées traitées (REUT) en agriculture reste marginale.

Les eaux usées par les activités humaines sont aujourd'hui considérées comme des ressources souvent sous-exploitées ou mal-exploitées, que ce soit sous l'angle quantitatif (réutiliser mieux l'eau) aussi bien que qualitatif (réutiliser davantage les éléments fertilisants contenus dans celle-ci et limiter les rejets directs dans les milieux). Cependant, comme toute modification du cycle de l'eau, la mise en place de solutions favorisant les cycles courts, la réutilisation des eaux usées, et plus largement des eaux dites « non conventionnelles » impactent l'environnement à des degrés divers, et en particulier les milieux aquatiques ainsi que nos sociétés. Il convient donc de considérer les projets de REUT comme une composante parmi d'autre de la gestion intégrée des ressources en eau de manière concomitante avec des mesures visant à favoriser la sobriété.

En Algérie, malgré le potentiel important des eaux usées épurées pour la réutilisation en agriculture, leur utilisation reste encore limitée dans certains périmètres agricoles. Cette situation peut notamment être liée à la généralisation encore insuffisante des traitements tertiaires au niveau des stations d'épuration. En effet, les traitements primaire et secondaire permettent principalement de réduire la charge organique et les matières en suspension, mais ils peuvent ne pas être suffisants pour atteindre une qualité d'eau adaptée à certains usages agricoles. Le traitement tertiaire permet alors d'améliorer davantage la qualité de l'eau grâce à l'élimination des microorganismes pathogènes, des nutriments résiduels, de certains micropolluants et autres substances indésirables. Ainsi, le renforcement et la généralisation des traitements tertiaires constituent un enjeu important pour sécuriser la réutilisation des eaux usées épurées et favoriser leur valorisation dans le secteur agricole en Algérie.

L'adsorption demeure la technique conventionnelle la plus sollicitée en raison de sa simplicité, de son efficacité, de sa facilité de mise en œuvre et de son coût abordable. Bien que le charbon actif soit l'adsorbant le plus couramment utilisé, son coût élevé et la nécessité de sa régénération limitent son emploi. C'est pourquoi les recherches se sont orientées vers le développement d'adsorbants alternatifs, écologiques, localement disponibles et à faible coût.

Dans ce contexte, notre travail s'intéresse à la valorisation d'un matériau biologique riche en chitine, issue du traitement des exosquelettes (carapaces de crevettes). L'objectif principal de cette étude est d'évaluer le potentiel de la chitine extraite dans la dépollution des eaux, en

Introduction générale

étudiant son efficacité d'adsorption vis-à-vis d'un colorant synthétique en solution aqueuse : le bleu de méthylène (poudre).

Afin de situer ce travail dans son cadre théorique, une synthèse bibliographique aborde d'abord la problématique de la pollution des eaux, les causes de la pollution et les types de la pollution des eaux ainsi que les différents procédés de traitement des eaux usées. La partie expérimentale est ensuite consacrée à la préparation et à la caractérisation de la chitine, puis à son application pratique pour l'élimination du bleu de méthylène par adsorption.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : POLLUTION DES EAUX

Chapitre I : pollution des eaux

I.1. INTRODUCTION

L'eau est une ressource essentielle pour l'écosystème et la vie humaine ; elle est également considérée comme un excellent solvant, capable de dissoudre de nombreuses substances ioniques et moléculaires, ce qui la rend vulnérable à la pollution. Sa pollution représente un enjeu environnemental majeur, touchant la santé publique et les activités économiques. Le traitement des eaux usées est indispensable pour limiter les impacts environnementaux négatifs et assurer leur réutilisation. [1]

L'élimination des polluants organiques et inorganiques est un défi majeur dans la gestion de l'eau. Ce chapitre présente une synthèse bibliographique, les causes de la pollution des eaux ainsi les différents types de pollution. [1]

I.2. LES CAUSES DE LA POLLUTION DES EAUX

La pollution d'une eau superficielle est la dégradation de sa qualité en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Les effets indésirables de ce phénomène sur les organismes vivants ont fait l'objet de nombreux travaux. [2]

Cette pollution provient de plusieurs sources d'origine anthropique, les principales sont : [2]

- Urbaines (activités domestiques, eaux d'égout, eaux de cuisine...)
- Agricoles (engrais, pesticides)
- Industrielles (agroalimentaire, chimie-pharmacie, pétrochimie, hydrocarbures...)

I.2.1.POLLUTION DOMESTIQUE

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont constituées essentiellement d'excréments humains, des eaux ménagères de vaisselle chargées de détergents, de graisses appelées eaux grises et de toilette chargées de matières organiques azotées, phosphatées et de germes fécaux appelées eaux noires. [3]

I.2.2.POLLUTION INDUSTRIEL

Les rejets industriels désignent les déversements d'eaux usées provenant des installations industrielles. Ces eaux peuvent contenir divers polluants tels que des métaux lourds, des produits chimiques toxiques, des huiles et des substances organiques. Les rejets industriels nécessitent un traitement spécialisé pour éliminer les contaminants avant de pouvoir être rejetés dans l'environnement ou dirigés vers les systèmes d'assainissement (figure I.1). Le contrôle rigoureux de ces rejets est essentiel pour prévenir la contamination de l'eau et protéger la santé humaine et environnementale. [1]

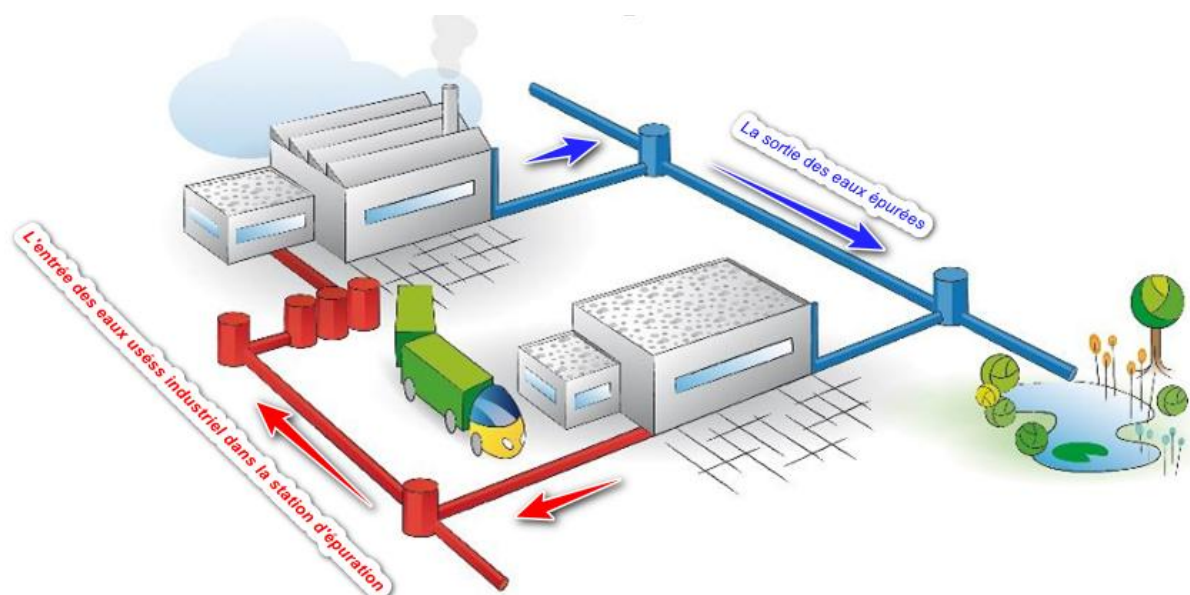


Figure I.1: Evacuation des eaux usées industrielles en environnement

I.2.3.POLLUTION DE RUISSELEMENT

Les eaux de ruissellement font référence aux précipitations, telles que la pluie ou la fusion de la neige, qui s'écoulent sur les surfaces imperméables, comme les routes et les toits. Lorsqu'elles traversent ces surfaces, les eaux pluviales peuvent ramasser des contaminants tels que les huiles, les métaux et d'autres polluants. La gérance adéquate des eaux de ruissellement vise à éviter la pollution des cours d'eau en utilisant des systèmes de drainage appropriés, des bassins de rétention et d'autres techniques pour dépolluer les eaux avant leur rejet dans l'environnement [1]

I.2.4.POLLUTION AGRICOL

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrates et phosphatés, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues [3].

I.3. LES TYPES DE LA POLLUTION DES EAUX

I.3.1.POLLUTION CHIMIQUE

Pollution chimique, ce type de pollution des eaux de surface résulte le plus souvent de l'introduction dans le milieu de substances à effet toxique, de critères multiples et d'origines diverses (pesticides, détergents, métaux lourds). [4]

La pollution chimique des eaux peut être chronique, accidentelle ou diffuse. Elle peut être due à l'insuffisance de certaines stations d'épuration, l'absence de réseaux d'assainissement dans certaines zones, le lessivage des sols, mais aussi des chaussées et des toits par les pluies et par le rejet d'effluents par les industries. Cette

Chapitre I : pollution des eaux

forme de pollution issue de substances chimiques telles que les insecticides ou les herbicides provoque la destruction de la qualité des eaux de surface (cours d'eau, lacs) et celle des eaux souterraines. [4]

I.3.2.POLLUTION MICROBIOLOGIQUE

La contamination microbiologique des milieux aquatiques, issue principalement des effluents urbains, hospitaliers et des activités d'élevage, se caractérise par la prolifération de micro-organismes pathogènes (bactéries fécales, virus et parasites) qui dégradent la qualité sanitaire des eaux, compromettant ainsi la sécurité des zones de baignade, de pêche et d'aquaculture tout en menaçant la santé humaine. [1,2]

- **DEFINITION D'UNE MALADIE A TRANSMISSION HYDRIQUE**

Les maladies hydriques sont n'importe quelles maladies causées par la consommation d'eau contaminée par des fèces animales ou humaines, qui contiennent des micro-organismes pathogènes. L'ampleur et la persistance de ces maladies sont directement liées aux conditions d'hygiène du milieu général. Actuellement, on remarque que les maladies liées à l'eau sont de plus en plus répandues et qu'elles présentent des variations considérables sur le plan de leur nature et de leur mode de transmission. Le mot MTH recouvre un large spectre de pathologie d'origine bactérienne parasitaire ou virale dont l'élément commun est le mode de contamination : l'eau. [7]

Et parmi ces maladies on peut citer :

Tableau I.1.1: les maladies hydriques et les bactéries qui en sont la cause [8]

La maladie	La bactérie
Le choléra	Vibrio cholerae
La fièvre typhoïde	Salmonella typhi
Le botulisme	Clostridium botulinum
La cryptosporidiose	Le parasite protozoaire Cryptosporidium

I.3.3.POLLUTION MINÉRALE

La présence de minéraux dans les eaux peut provoquer des troubles dans la progression des plantes ou des problèmes physiologiques chez les êtres animaux. Les principaux polluants minéraux sont les métaux lourds et les substances nutritives. La contamination minérale, c'est-à-dire l'accumulation excessive d'ions minéraux dans l'eau, peuvent aussi avoir des répercussions sur les organismes vivants. [1]

I.3.4.POLLUTION PHYSIQUE

- **POLLUTION THERMIQUE**

Chapitre I : pollution des eaux

La pollution thermique est la dégradation de la qualité de l'eau par tout processus qui modifie la température ambiante de l'eau. La cause de la pollution thermique est l'utilisation de l'eau comme liquide de refroidissement par les centrales électriques et les fabricants industriels. Lorsque l'eau est utilisée comme liquide de refroidissement est renvoyée dans l'environnement naturel à une température plus élevée, le changement de température diminue l'apport d'oxygène et affecte la composition de l'écosystème. [5]

- **POLLUTION RADIOACTIVE**

Il s'agit de la radioactivité artificielle des rejets qui peut être causée par l'utilisation de l'énergie nucléaire de nombreux modèles (installations et centrales nucléaires, l'industrie des mines d'uranium, élimination des résidus d'origine radioactive) ou par une contamination liée à des retombées atmosphériques (explosion nucléaire). [1]

- **MATIERE EN SISPENSION (MES)**

Les Matières en suspension (MES) désignent l'ensemble des particules non dissoutes présentes dans l'eau. Elles peuvent être minérales (sables fins, oxydes, particules issues de procédés) ou organiques (flocs biologiques, fibres, résidus de production, boues). Soit d'origine naturelle, en liaison avec les précipitations. Contrairement à la matière dissoute, ces particules restent en suspension et peuvent être séparées par filtration. [6]

Chapitre II: Différents procédés de l'épuration des eaux polluées

Chapitre II : différents procédés de l'épuration des eaux polluées

Le traitement secondaire constitue une étape essentielle de l'épuration des eaux usées. Il intervient généralement après le prétraitement et le traitement primaire et vise principalement à réduire la pollution organique biodégradable ainsi qu'une partie des matières en suspension présente dans les eaux usées. Il repose essentiellement sur des procédés biologiques faisant intervenir des microorganismes capables de dégrader la matière organique dissoute et colloïdaux. Selon le mode de développement de la biomasse, les procédés biologiques du traitement secondaire peuvent être classés en deux grandes catégories : les procédés à cultures libres, et les procédés à cultures fixées

II.1. A CULTURE LIBRE

Il existe deux procédés à cultures libres : l'épuration par boues activées et le lagunage. Dans les procédés à culture libres, les bactéries se développent sous forme de floes dispersés au sein du liquide à épurer. [9]

II.1.1. BOUE ACTIVEE

Le terme « cultures libres » agglomère les procédés dans lesquels est induit le développement d'une agriculture bactérienne diffusée sous forme de floes au sein de la liqueur à traiter. Le procédé par « boues activées » est le plus commun des procédés par « cultures libres ». Dans ce récipient, le brassage a pour objectif d'éviter les accumulations des sédiments et de servir d'homogénéiser le mélange des flocons bactériens et de l'eau usée (liqueur mixte). La Pulvérisation de l'air peut se faire à partir de l'oxygène de l'eau, du gaz enrichi en oxygène (par le brassage et l'injection d'air) et a pour but de dissoudre ce gaz dans la liqueur mixte, pour répondre aux besoins des bactéries épuratrices aérobies. Après un temps de contact suffisant, les bactéries épuratrices disposent d'un temps d'action suffisant appelé "temps de contact", ensuite, la liqueur mixte est envoyée dans un clarificateur appelé parfois « décanteur secondaire », pour séparer l'eau épurée des boues. Une partie de ces dernières est recyclée dans le bassin d'aération pour y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices. L'excédent (boues en excès) est extrait du système et évacué vers la filière de traitement des boues. [10]

Chapitre II : différents procédés de l'épuration des eaux polluées



Figure II.1:Schéma de traitement des eaux usées par boues activées.

II.1.2.LE LAGUNAGE

Un traitement par lagunage comprend en général trois types de bassins : un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation. Le bassin anaérobie permet de diminuer la charge en matière organique. L'anaérobiose est obtenue en apportant un effluent très chargé en matière organique. Dans ces lagunes, une profondeur importante est en principe un élément favorable au processus (5 à 6 m, par exemple). Ce bassin n'est applicable que sur des effluents à forte concentration et, le plus souvent, à titre de prétraitement avant un deuxième stade d'épuration de type aérobie surtout dans les pays à climat chaud où le terrain est disponible à coût raisonnable. Le lagunage utilise des mécanismes naturels pour traiter les eaux usées. Il est fort développé dans les petites communes rurales, en raison de sa rusticité et de sa performance d'épuration honorable. Par contre, ces procédés conviennent moins bien aux communes plus grandes, vu les grandes surfaces de bassins nécessaires. [11]

Le bassin facultatif permet le développement d'algues photosynthétiques qui vont produire de l'oxygène nécessaire au développement des bactéries aérobies. Cet apport peut être complété exceptionnellement par des aérateurs pour stimuler l'activité biologique et diminuer les surfaces. Il existe deux types de bassins facultatifs, selon les végétaux qu'ils comprennent :[11]



Figure II.2:Schéma de traitement des eaux usées par lagunage (bassins à microphytes).

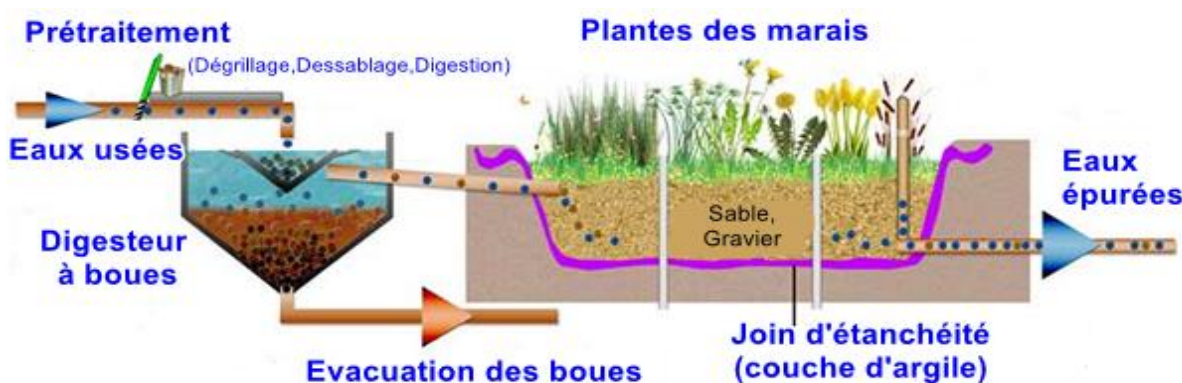


Figure II.3:Schéma de traitement des eaux usées par lagunage (bassins à macrophytes).

II.2. A CULTURE FIXEE

On utilise dans ces procédés la capacité qu'ont la plupart des microorganismes à produire des exopolymères et permettant leur fixation sur des différents supports pour former un biofilm. [9]

II.2.1. LIT BACTERIEN

Le procédé lit bactérien ou filtre percolateur est un procédé d'épuration des eaux usées à lit fixe, dans lequel la biomasse n'est pas maintenue en suspension dans l'eau, mais forme un biofilm sur des surfaces de croissance. Ce biofilm transforme les composants organiques des eaux usées en milieu aérobie. [12]

Les matériaux de remplissage sont soit pierreux, soit en plastique et leur superficie varie par m^3 . Dans le cas de volumes d'eaux usées importants, les surfaces de croissance en plastique sont à préférer, étant donné leur plus grande porosité, ce qui permet aux lits bactériens d'être plus petits. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et

Chapitre II : différents procédés de l'épuration des eaux polluées

le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux. [12]

Les boues restantes dans l'effluent seront ensuite séparées de l'eau traitée dans un clarificateur. Une recirculation d'une partie de cette eau vers le décanteur digesteur est nécessaire pour maintenir des conditions d'auto-curage et de dilution des effluents bruts. On réalise également une recirculation des boues (boues secondaires) vers le digesteur, où, après décantation, elles seront extraites pour subir un traitement approprié. [12]

La pollution éliminée dépend de la nature de l'eau à traiter, de la nature du matériau de remplissage, de la charge hydraulique et de la température. [12]

Selon les caractéristiques du procédé et celles de l'effluent d'entrée, le rendement varie de 30 à 70% de DBO₅. [12]

Les boues sédimentées sont à prélever régulièrement et le massif filtrant doit être lavé par jet d'eau. [12]

Ce système peut être perturbé par des variations de débit et de charge polluante concernant les effluents à traiter. [12]

Le grand avantage que représente le procédé des lits bactériens par rapport à l'aération prolongée tient surtout à la faible consommation d'énergie, celle-ci n'étant nécessaire que pour le fonctionnement des pompes pour le remplissage des lits bactériens. Le fait d'opter pour un traitement à lits bactériens entraîne donc une consommation d'énergie relativement faible. [12]

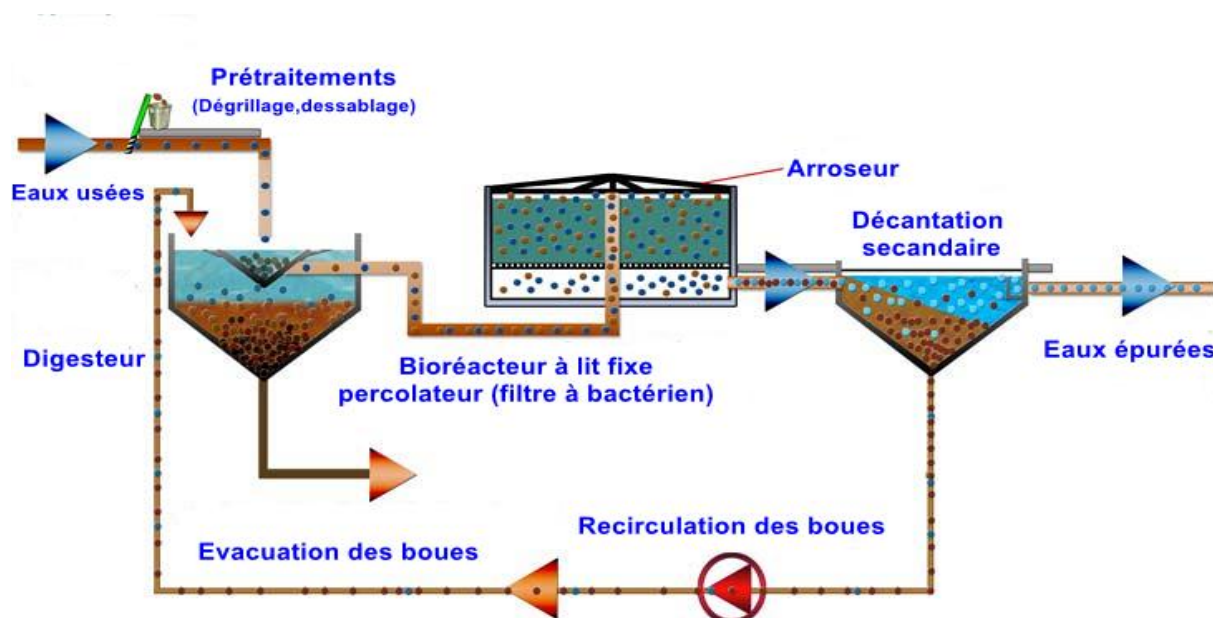


Figure II.4:Schéma de traitement des eaux usées par lit bactérienne.

Chapitre II : différents procédés de l'épuration des eaux polluées

II.2.2. DISQUE BIOLOGIQUE

Une autre technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par des disques parallèles, régulièrement espacés sur un axe horizontal tournant à faible vitesse. Les microorganismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi immergés, Leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée. Ce procédé est mieux adapté à un système séparatif que unitaire, il s'adapte bien aux fortes charges des effluents. Il élimine la DBO₅, la DCO et l'ammoniac de façon satisfaisante. Mis à part la conception, le principe de traitement est alors le même que celui des lits bactériens. [9]

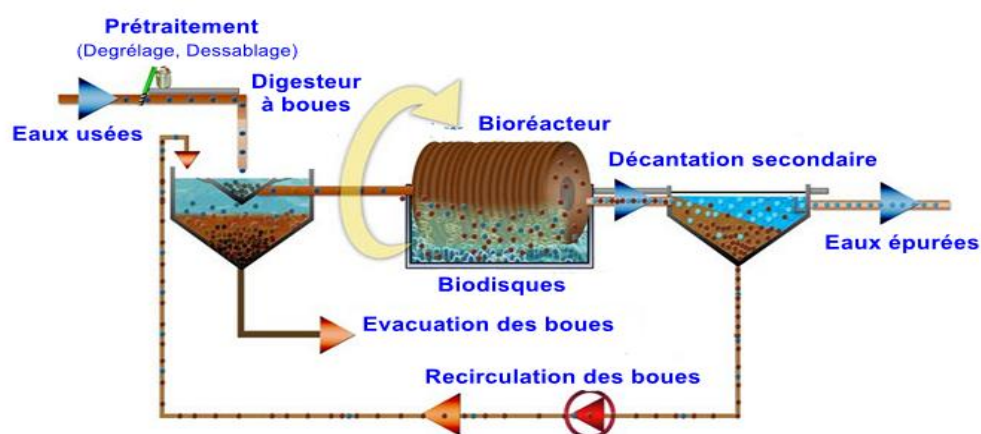


Figure II.5:Schéma de traitement des eaux usées par le disque biologique.

II. 3. ADSORPTION

Le processus d'adsorption repose sur un phénomène de surface au cours duquel les molécules d'un fluide (gaz ou liquide) se fixent à la surface d'un solide adsorbant via des interactions plus ou moins fortes. L'adsorbat se fixe sur les sites dits "actifs" de l'adsorbant.

L'origine du phénomène réside dans l'existence d'une différence de potentiel entre une molécule située à la surface d'un solide et une molécule située à "l'intérieur" de l'adsorbant. Ces forces dissymétriques se traduisent par un champ de force attractif de type tension superficielle. Ce champ a une portée limitée à des distances de l'ordre de l'atome (quelques Å) mais est cependant suffisant pour attirer les molécules en phase gaz ou liquide au voisinage immédiat de l'interface : c'est le phénomène d'adsorption.

L'adsorption est un processus exothermique. En effet, la spontanéité du phénomène résulte en une diminution de l'énergie libre et la perte de mobilité du gaz (ou du liquide) en un accroissement de l'ordre. Globalement, la variation d'enthalpie est négative ce qui se traduit par un dégagement de chaleur.

Il existe deux types d'adsorption mettant en jeu des forces attractives de nature différente :

Chapitre II : différents procédés de l'épuration des eaux polluées

- **L'adsorption physique ou physisorption** : la fixation des molécules sur l'adsorbant se fait par des interactions électrostatiques pour les adsorbants ayant une structure ionique. Ce type d'adsorption est parfaitement réversible. En théorie, on peut donc récupérer la molécule adsorbée et le support sans dégradation et réaliser des cycles infinis d'adsorption/désorption.
- **l'adsorption chimique ou chimisorption** : les liaisons mises en jeu sont similaires à celles se produisant lors d'une réaction chimique. L'énergie de liaison est beaucoup plus importante que dans le cas de la physisorption ce qui rend le processus moins réversible voire même irréversible.

En traitement d'eaux résiduaires industrielles, l'adsorption est mise en œuvre lorsque l'effluent n'est pas biodégradable ou lorsqu'il contient des éléments susceptibles de perturber l'épuration biologique. L'adsorption peut également être utilisée comme traitement tertiaire afin de fixer les composés organiques dissous, réfractaires au traitement biologique situé en amont. [13]

PARTIE PRATIQUE

Chapitre III: MATIERE ET METHODE

Chapitre III : matière et méthode

Dans ce chapitre, nous décrirons le matériau utilisé dans notre étude pour l'élimination d'un colorant. Un bref aperçu sur la caractérisation du matériau et les protocoles exploités dans l'adsorption du polluant en mode batch sont présentés. [14]

III.1.DEFINITION DU MATERIAU :

Le matériau utilisé dans cette étude est la carapace d'un crustacé riche en chitine. Il s'agit des exosquelettes de la crevette (*Aristeusanenutus*).



Figure III.1:Photo de la carapace de la crevette.

Ce choix repose sur le fort pouvoir adsorbant de la chitine, qui lui permet d'éliminer des effluents industriels, les métaux lourds, les molécules aromatiques et phénoliques ainsi que les colorants. La chitine, qui existe dans les carapaces des crustacés, est présente sous forme de muco-polysaccharides intimement associés au calcaire de la coquille (30 à 50 % de carbonate de calcium) ; liés par des liaisons covalentes aux protéines (20 à 40 %) et aux pigments tels que caroténoïdes et astaxantine et aux lipides. Le pourcentage de la chitine dans la carapace de la crevette est à 22%. [14]

III.2 PRÉPARATION DU MATÉRIAU :

a) Collecte : Les carapaces de la crevette utilisées dans cette étude ont été collectées à partir des déchets de cuisines.

b) Lavage : Le matériau a été lavé avec de l'eau du robinet à plusieurs reprises afin d'éliminer la chair, le gras et les salissures.

c) Séchage : En premier, le matériau a été séché à l'air libre, puis il a été mis dans l'étuve à une température de 40°C pendant deux jours.

d) Broyage et tamisage : Afin d'avoir un matériau homogène avec une granulométrie de 500 μm .

Chapitre III : matière et méthode

Le produit obtenu a été conditionné dans un flacon étanche jusqu'à utilisation. Et a été nommé :

- Carapace brute de la crevette : CRV.

III.2.1 ANALYSE INFRAROUGE À TRANSFORMÉE DE FOURIER :

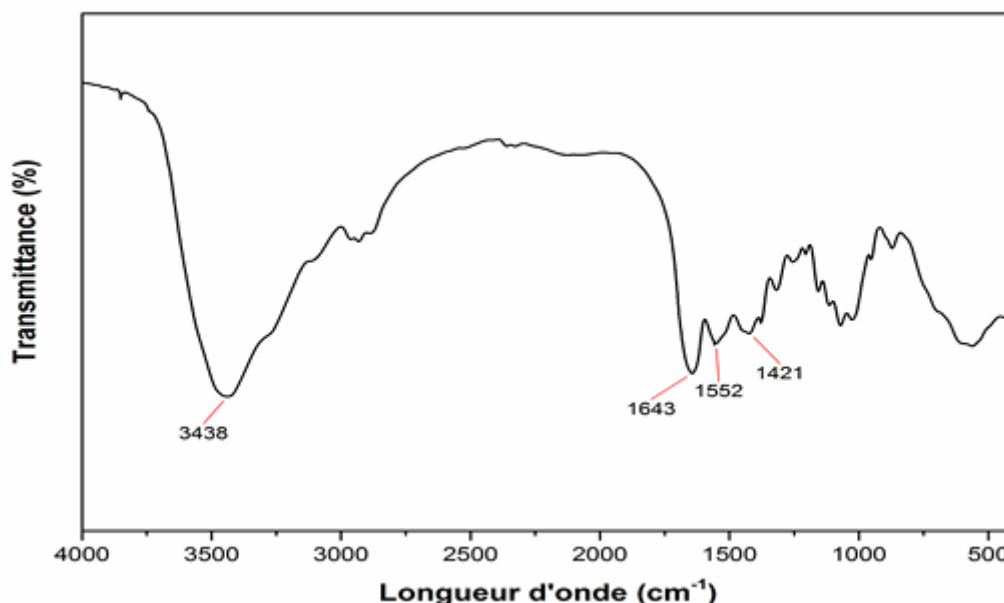


Figure III.2: Spectre FTIR du matériau CRV.

Le spectre FTIR a été obtenu à l'aide d'un spectromètre Nicolet 360 dans la gamme 500 à 4000 cm^{-1} . L'échantillon a été préparé sous forme de pastille d'une dispersion de matériau dans KBr. [14]

Le spectre obtenu est caractérisé par trois importantes bandes d'amide.

La bande à 1643 cm^{-1} correspond au groupe amide I qui est assigné aux vibrations d'élongation des groupes C=O, sachant que les groupes C=O correspondent aux carbonates de calcium. La bande à 1552 cm^{-1} correspond au groupe amide II qui est assignée aux vibrations de l'élongation des groupes N-H, et la bande à 1309 cm^{-1} correspond au groupe amide III qui est assignée aux vibrations de l'élongation des groupes C-H. [14]

Le spectre montre une large et intense bande à 3438 et 3446 cm^{-1} , ces deux bandes sont assignées aux groupes amino et aux groupes hydroxyles. [14]

III.2.2 DETERMINATION DU pH_{pzc} :

a) Définition :

Le pH_{pzc} est le paramètre du point de charge nulle de la surface du matériau. Il correspond à la valeur du pH à laquelle la somme des charges positives du solide équilibre la somme des charges négatives de la surface du solide. En outre, la surface est chargée positivement quand les valeurs du pH sont inférieures à la

Chapitre III : matière et méthode

valeur du pH_{pzc} et elle est chargée négativement quand les valeurs du pH sont supérieures au pH_{pzc}. [14]

b) Protocole de la détermination du pH_{pzc} :

Nous avons utilisé la méthode décrite par Ouazani et al pour déterminer expérimentalement le pH_{pzc} du matériau étudié. Des suspensions ont été préparé de (50 ml de NaCl plus 10 mg de matériau) à différentes valeurs de pH, allant de 1 jusqu'à 10. Pour ajuster le pH de la solution ; on ajoute soit du HCl de 0,1 mole ou soit de NaOH de 0,1 mole. Les suspensions sont agitées pendant 24h à température ambiante. Chaque solution est ensuite filtrée à l'aide d'un papier filtre et une nouvelle mesure du pH est effectuée. On trace la courbe représentant $\text{pH}_{\text{final}} - \text{pH}_{\text{initial}} = f(\text{pH}_{\text{initial}})$. Le pH_{pzc} correspond au point d'intersection de la courbe. [14]

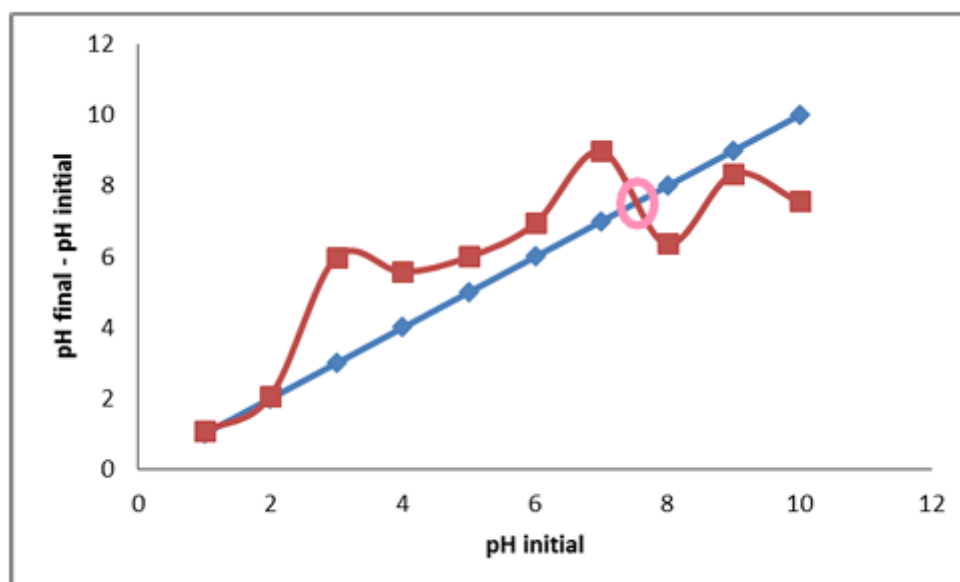


Figure III.3: Courbe de détermination du pH_{pzc} du matériau CRV.

D'après le graphe, nous constatons que le pH_{pzc} du matériau CRV est à proximité de 7.33.

III.3 : Adsorbat :

Le polluant utilisé comme adsorbat dans notre étude est Le Bleu de Méthylène. [15]

Dans ce travail, nous sommes intéressés à l'étude du colorant bleu de méthylène (BM). C'est un dérivé de phénothiazine, et est un colorant cationique, il existe comme une poudre vert foncé, il existe sous plusieurs formes hydratés : monohydraté, dihydraté, trihydraté et pentahydraté, le plus courant c'est le trihydraté. Il est couramment utilisé comme modèle de contaminant organique en raison de sa structure moléculaire stable. [16]

Chapitre III : matière et méthode

Le Bleu de Méthylène (colorant cationique), pris comme polluant model est utilisé sans aucune purification préalable. Les solutions sont préparées en dissolvant les quantités du colorant dans de l'eau distillé. [15]

Le BM est utilisé intensivement dans différents domaines tel que : la chimie, la médecine, l'art dentaire et l'industrie des colorants. Citant quelques usages de ce composé : [16]

- un colorant vital, il colore certaines structures histologiques.
- il accélère la réduction des méthémoglobines.
- un antiseptique, un antirhumatismal.
- coloration du coton, bois, soie et papier.
- un limiteur optique combiné à un polymère, pour la protection des yeux contre les lasers intenses.
- un photosensibilisateur actif pour le traitement des tumeurs malignes.
- traitement spécifique d'une méthémoglobinémie toxique.

Tableau III.1:caractéristiques physico-chimiques de Le Bleu de Méthylène

Colorant	Bleu de méthylène ou chlorure de Tétraméthylthionine.
Formule moléculaire brute	$C_{16}H_{18}N_3ClS$
Nomenclature (UICPA)	Chlorure de 3,7- bis (diméthylamino) Phénazathionium
Apparence	poudre vert foncé
Etat physique	Solide
Solubilité dans l'eau (g/l)	40 à 20°C
λ_{max} (nm)	665 ou 662
Odeur	Inodore
Masse molaire (g/mol)	319,85
pH	5,9
Densité volumique (Kg/m ³)	400-600

III.4. METHODE D'ANALYSE :

Du fait de sa couleur apparente, le colorant bleu de méthylène présente la propriété d'absorber sélectivement certaines radiations du spectre de la lumière blanche. Cette propriété est utilisée pour mesurer la concentration en colorant dans l'eau. Cette méthode qui est la spectrophotométrie est rapide et reproductible permet une analyse immédiate et fiable.

III.4.1. SPECTROPHOTOMETRIE UV-VISIBLE :

❖ Définition :

La spectroscopie ultraviolet-visible ou spectrométrie ultraviolet-visible est une technique de spectroscopie mettant en jeu les photons dont les longueurs d'onde sont dans le domaine de l'ultraviolet (200 nm – 400 nm), du visible (400 nm – 750

Chapitre III : matière et méthode

nm) ou du proche infrarouge (750 nm -1 400 nm). Soumis à un rayonnement dans cette gamme de longueurs d'onde, les molécules, les ions ou les complexes sont susceptibles de subir une ou plusieurs transitions électroniques. Les substrats analysés sont le plus souvent en solution, mais peuvent également être en phase gazeuse et plus rarement à l'état solide. Le spectre électronique est la fonction qui relie l'intensité lumineuse absorbée par l'échantillon analysé en fonction de la longueur d'onde.[17]

Le spectre est le plus souvent présenté comme une fonction de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde. Il peut aussi être présenté comme le coefficient d'extinction molaire en fonction de la longueur d'onde, le spectre est alors indépendant de la longueur concentration du soluté qui absorbe. Cette technique est complémentaire de la spectroscopie de fluorescence qui mesure l'intensité lumineuse émise par un échantillon quand il est éclairé à une longueur d'onde où il absorbe. La fluorescence met en jeu des transitions depuis l'état excité jusqu'à l'état fondamental alors que la spectroscopie d'absorption traite des transitions entre état fondamental et état excité. [17]

❖ Principe :

Le spectrophotomètre que nous avons utilisé est le UV-Visible type HACH DR4000. Est un appareil qui permet de mesurer directement les densités optiques. Les analyses sont effectuées sur un spectrophotomètre par un ordinateur piloté d'un logiciel. Les longueurs d'ondes maximales sont obtenues directement par balayage automatique entre 200 et 800 nm. Des cuves en quartz de 1 cm de trajet optique sont utilisées. Des échantillons témoins sans adsorbants sont préparés afin de vérifier qu'il n'y aucune interférence au cours du temps.

Les mesures des concentrations résiduelles ont été obtenues par interpolation à l'aide de la courbe d'étalonnage. Le spectre d'absorption de la molécule du colorant bleu de méthylène présente un maximum d'absorption à $\lambda = 519$ nm. Sur la base de ce résultat on établit la courbe d'étalonnage.

❖ Loi de BEER LAMBERT :

Lorsque la cuve contenant la solution est placée dans le spectrophotomètre, elle reçoit un rayonnement d'intensité I_0 . Une partie de cette lumière incidente notée I_0 est absorbée par le milieu, tandis que la partie restante notée I est transmise. L'intensité I du rayonnement issu de la cuve est donc inférieure à l'intensité du rayonnement initial I_0 .

La fraction de la lumière incidente est absorbée par une substance de concentration C contenue dans une cuve de longueur L , on obtient alors la relation de BEER LAMBERT :

$$\text{Abs} = \log (I_0/I) = \epsilon \cdot L \cdot C$$

Chapitre III : matière et méthode

Avec :

Abs : absorbance (densité optique) (-) ;

ϵ : coefficient d'extinction molaire (coefficient d'absorption molaire) ($\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) ;

L : largeur (épaisseur) de cuve (cm) ;

C : concentration de la solution ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$).

❖ **Préparation de la solution mère :**

Notre solution mère de bleu de méthylène utilisée durant toutes les expériences et dont la concentration est de 1 g/l (1000 mg/l) a été préparé à partir de bleu de méthylène poudre.

- On doit peser une masse de 1 g de bleu de méthylène poudre
- Cette masse de 1 g est versée dans une fiole jaugée de 1000 ml
- On remplit la fiole avec de l'eau distillé jusqu'au trait de jauge et on agite bien jusqu'à la dissolution complète de notre solution.

❖ **Courbe d'étalonnage :** La courbe d'étalonnage a été obtenue en mesurant par spectrophotométrie UV-visible les densités optiques en fonction des concentrations des solutions filles. $\text{Abs} = f(C)$.

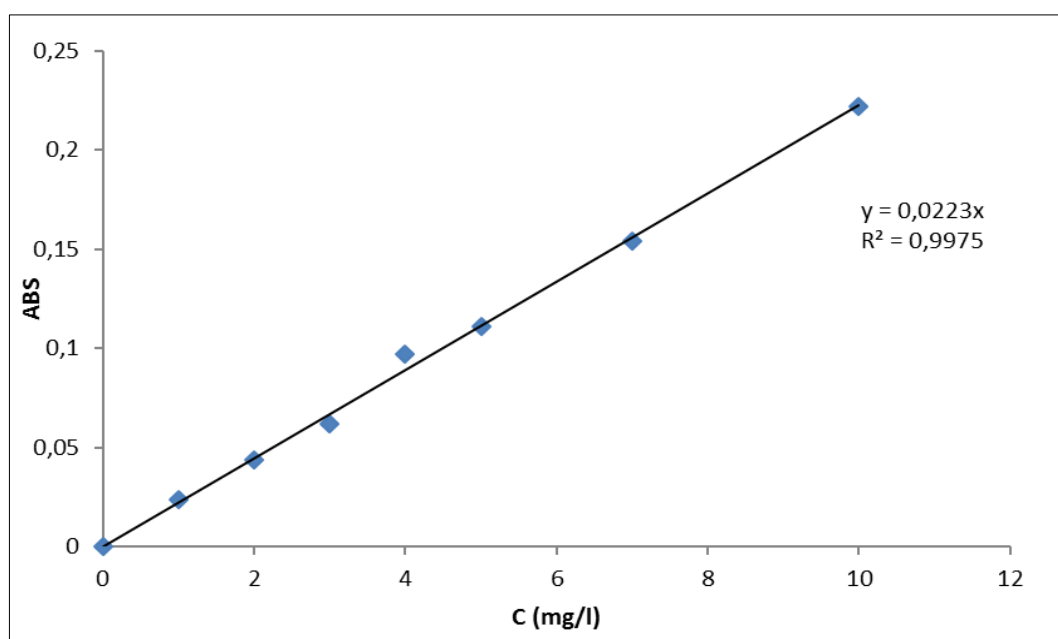


Figure III.4: courbe d'étalonnage du colorant Bleu de Méthylène

La courbe obtenue est une droite qui passe par l'origine avec un coefficient de corrélation de 0,99.

***CHAPITRE IV : ELIMINATION DU
COLORANT BLEU DE METHYLENE
PAR LA CARAPACE DE LA CREVETTE
BRUT***

Chapitre IV : élimination du colorant bleu de méthylène par la carapace de la crevette brut

ELIMINATION DU COLORANT BLEU DE METHYLENE PAR LA CARAPACE DE LA CREVETTE :

Notre étude s'est focalisée sur la rétention du colorant bleu de méthylène sur la carapace de la crevette qui s'est orientée essentiellement sur l'étude de l'effet de température.

IV.1 INFLUENCE DU pH INITIAL SUR L'ÉLIMINATION DE BLEU DE METHYLENE :

Des suspensions de 25 mg de carapace de crevette CRV dans 50 ml de solutions de bleu de méthylène à une concentration de 50mg/l sont mises sous agitation magnétique pendant 90 min. les pH des solutions ont été ajustés allant de 1 jusqu'à 10.

La température de l'expérience est la température ambiante. Les suspensions sont alors filtrées puis les surnageants sont soumis à la procédure d'analyse par spectrophotométrie UV-visible.

IV.1.1 : Effet de pH :

Des suspensions de 25 mg de carapace de crevette CRV dans 50 ml de solutions du bleu de méthylène à une concentration de 50mg/l sont mises sous agitation magnétique pendant 90 min. les pH des solutions ont été ajustés allant de 1 jusqu'à 10. La température de l'expérience est la température ambiante. Les suspensions sont alors filtrées puis les surnageants sont soumis à la procédure d'analyse par spectrophotométrie UV-visible.

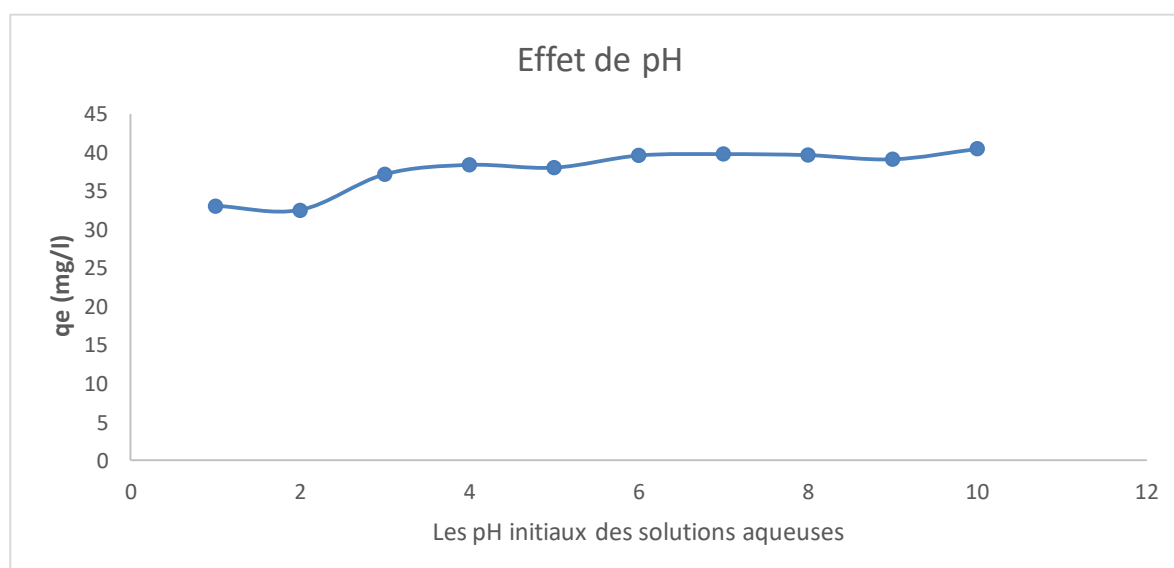


Figure IV.1:Influence du pH sur l'élimination du Bleu de méthylène par CRV.

Chapitre IV : élimination du colorant bleu de méthylène par la carapace de la crevette brut

La figure IV.1 présente l'influence du pH sur la fixation du BM sur le matériau CRV. D'après le graphe, Nous constatons que la variation des quantités du bleu de méthylène adsorbé n'est pas importante. En effet, les quantités du colorants adsorbées BM varient entre environ 33 et 41 mg/g, ce qui indique que le pH des solutions n'a pas d'effet significatif sur l'adsorption du colorant BM par le matériau CRV. Par conséquent, nous avons choisi de poursuivre notre étude sans ajuster le pH des solutions.

IV.2 EFFET DE LA TEMPÉRATURE SUR L'ÉLIMINATION DU COLORANT BLEU DE METHYLENE :

IV.2.1 ETABLISSEMENT DES ISOTHERMES D'ADSORPTION :

Les isothermes d'adsorption du bleu de méthylène BM sur la carapace de la crevette à l'état brut CRV sont déterminées pour deux températures : 25 et 35°C. Elles sont exploitées afin de calculer les paramètres thermodynamiques et ainsi mettre en évidence la nature endothermique ou exothermique de la fixation.

Des suspensions de 25mg de matériau CRV dans 25 ml de solution de BM à différentes concentrations allant de 5 à 400 mg/l sont placées sous agitation pendant une heure et demie. Les suspensions sont thermo statées aux températures choisies. Le pH choisi est le pH de la solution. L'analyse est effectuée après filtration par spectrophotométrie UV- visible.

Nous représentons sur des figures séparées les différentes isothermes pour bien visualiser l'évolution de l'adsorption pour chaque température.

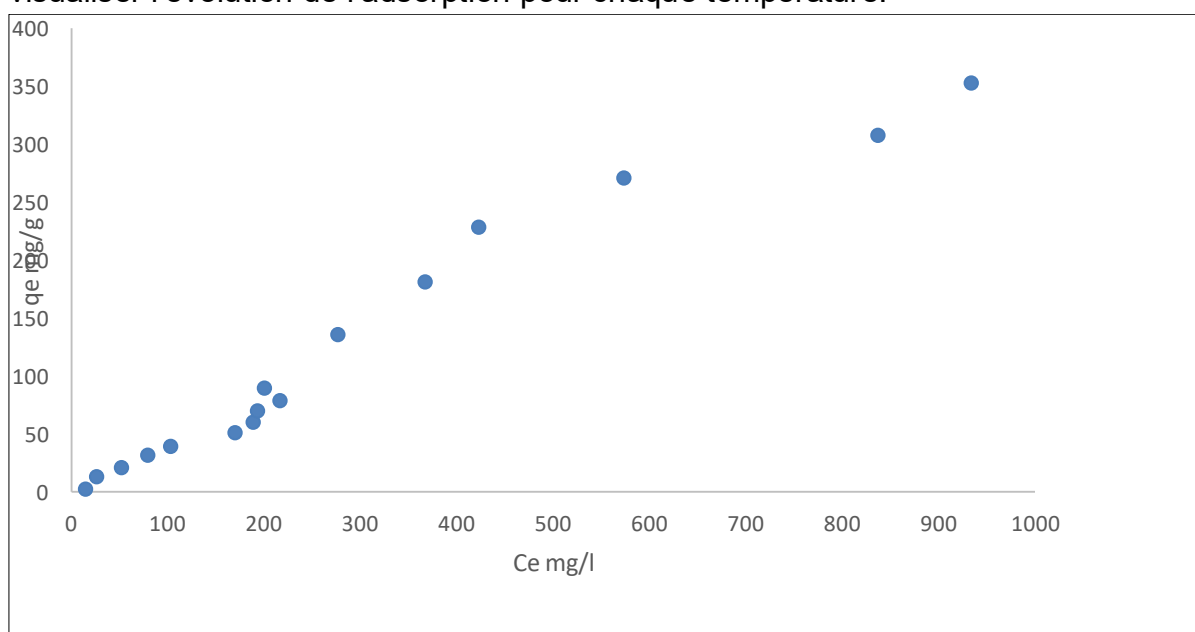


Figure IV.2: Isotherme de BM sur le matériau CRV à T 25°C.

Chapitre IV : élimination du colorant bleu de méthylène par la carapace de la crevette brut

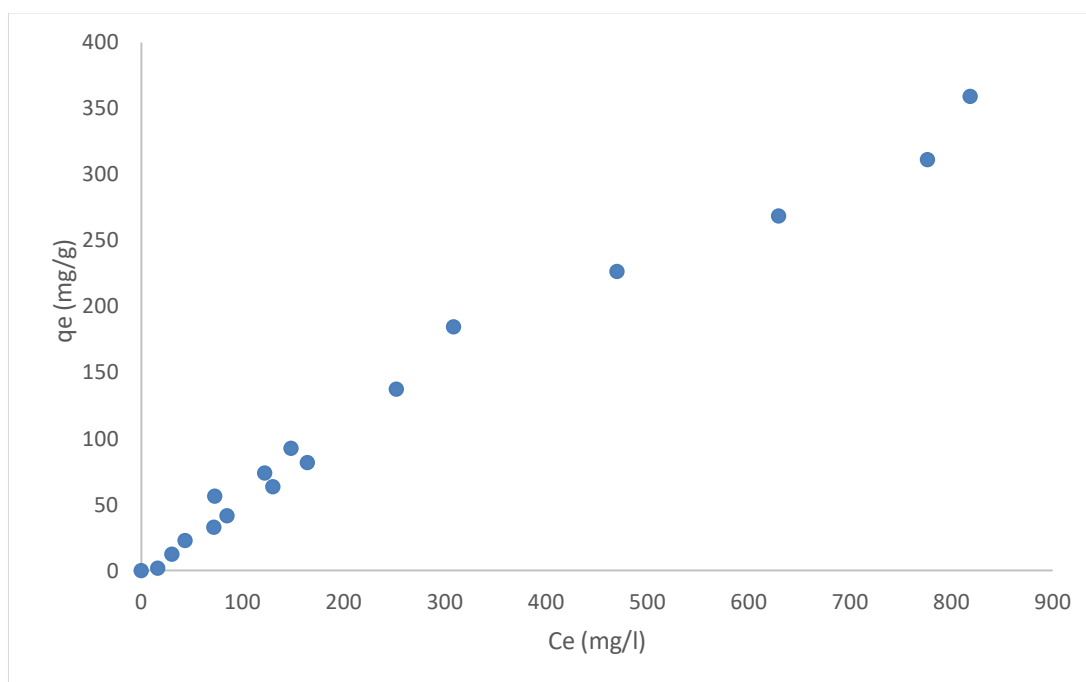


Figure IV.3: Isotherme de BM sur le matériau CRV à T 35°C.

D'après les résultats expérimentaux présentés dans la figure IV.2, l'isotherme d'adsorption du colorant BM sur le matériau CRV (carapace de crevette) à 25 °C présente une forme sigmoïdale de type L3, selon la classification de Giles [18]. Cette forme d'isotherme peut être associée à une adsorption progressive conduisant à la formation d'une monocouche puis, éventuellement, à une adsorption en multicouches. Elle peut également être liée à une modification du mode d'organisation des molécules de colorant adsorbées à la surface du matériau. Ainsi, les molécules peuvent adopter différentes configurations d'orientation à la surface, notamment une orientation parallèle ou perpendiculaire à celle-ci, selon les interactions mises en jeu.

Les résultats expérimentaux obtenus lors de l'étude de l'isotherme d'adsorption du BM sur le matériau CRV à 35 °C montrent une isotherme de type S3, selon la classification de Giles [18]. Comme le montre la figure IV.3, la partie initiale de la courbe présente une allure concave, ce qui indique que l'adsorption devient plus favorable lorsque la concentration du soluté augmente.

Autrement dit, plus la quantité de soluté déjà adsorbée augmente, plus l'adsorption de molécules supplémentaires est facilitée. Ce comportement peut être attribué à des interactions relativement faibles entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant aux

Chapitre IV : élimination du colorant bleu de méthylène par la carapace de la crevette brut

faibles concentrations. Par conséquent, l'adsorption est limitée dans cette région initiale Giles et al.

Cependant, lorsque certaines molécules de colorant sont déjà adsorbées à la surface, les interactions entre les molécules de colorant adsorbées peuvent favoriser l'adsorption de molécules supplémentaires par un mécanisme coopératif. L'augmentation de ces interactions adsorbat- adsorbat entraîne alors une augmentation plus importante de la quantité adsorbée lorsque la concentration du colorant augmente, L'isotherme devient convexe au niveau des fortes concentrations. Giles et al

IV.2.2 MODELISATION DES ISOTHERMES D'ADSORPTION:

Les isothermes d'adsorption obtenues de type L3 et de type S3, ont été représentées par les deux modèles Redlich Peterson et Klotz.

$$\text{Le modèle de Klotz : } Q = \frac{q_{\max} * C * K * C_e [1 - (1+m) * q^m + m * q^{m+1}]}{(1-q) * [1 + (C-1) * q - C * q^{m+1}]}$$

Avec :

Q_{max} : quantité maximale adsorbée

K : constante de formation des agregats

m : taille maximale des agrégats

C : paramètre lié à la première étape d'adsorption

$$\text{Le modèle de Redlich Peterson : } Q = \frac{K * C_e}{1 + a * C_e^B}$$

Avec :

K : constante de Redlich Peterson

a : constante associé au modèle

B : exposant du modèle

Chapitre IV : élimination du colorant bleu de méthylène par la carapace de la crevette brut

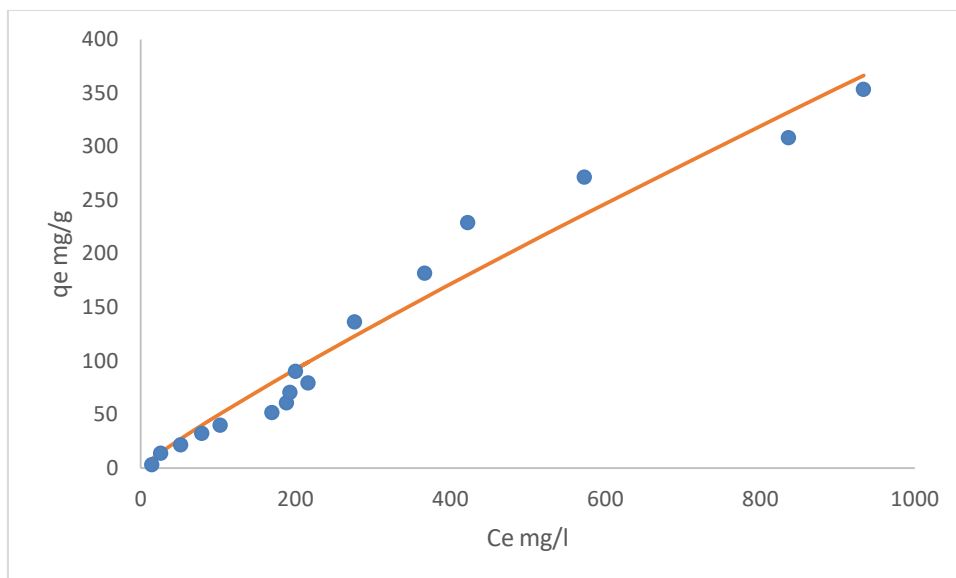


Figure IV.4:Isotherme d'adsorption du BM sur le matériau CRV à 25°C par le modèle de Redlich Peterson.

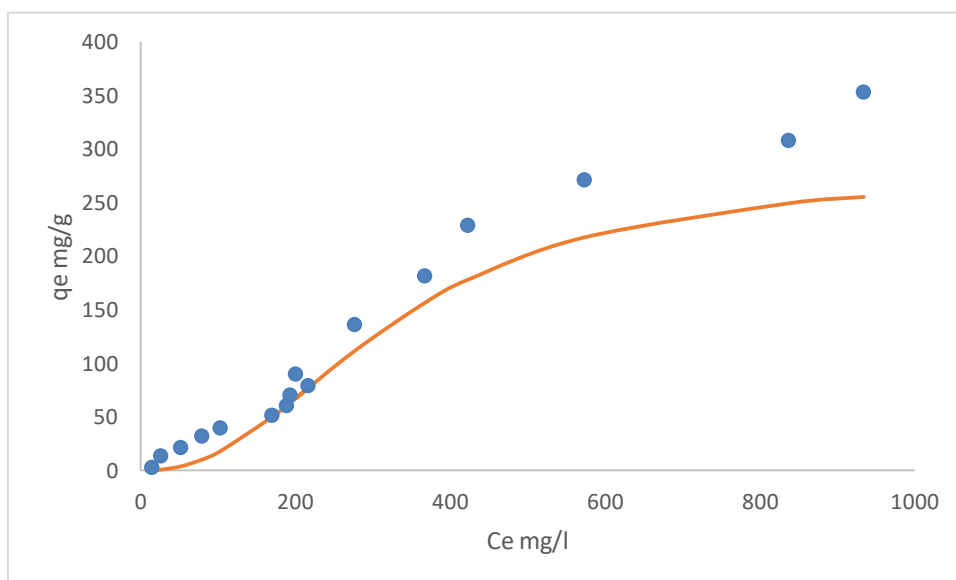


Figure IV.5:Isotherme d'adsorption du BM sur le matériau CRV à 25°C par le modèle de Klotz.

Chapitre IV : élimination du colorant bleu de méthylène par la carapace de la crevette brut

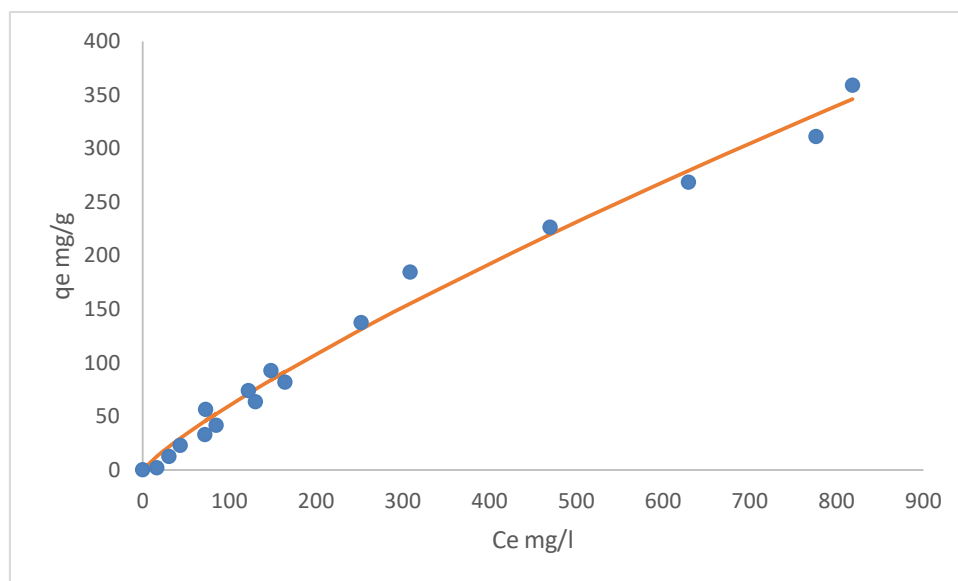


Figure IV.6: Isotherme d'adsorption du BM sur le matériau CRV à 35°C par le modèle de Redlich Peterson.

IV.3 DISCUSSION :

D'après les figures IV.4 et IV.5, nous constatons que le modèle de Redlich–Peterson ne reproduit pas correctement les résultats expérimentaux obtenus à 25 °C, malgré un coefficient de corrélation supérieur à 98 %. En revanche, le modèle de Klotz décrit plus favorablement les résultats expérimentaux, avec un coefficient de corrélation supérieur à 99 %. Cette meilleure concordance est particulièrement observée dans la région des faibles concentrations.

D'après la figure IV.6, nous constatons que le modèle de Redlich–Peterson reproduit favorablement les résultats expérimentaux obtenus à 35 °C, avec une bonne concordance entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Notre étude s'est focalisée sur la rétention du bleu de méthylène (BM) par la carapace de crevette (CRV) en solution aqueuse, à différentes températures. L'une des principales difficultés de ce travail réside dans la représentation mathématique des résultats expérimentaux par des modèles d'adsorption appropriés. Dans le cadre de cette étude, deux modèles ont été appliqués le modèle de Klotz et le modèle de Redlich–Peterson.

Le modèle de Klotz reproduit favorablement les résultats expérimentaux de l'isotherme d'adsorption obtenue à 25 °C, avec une bonne concordance entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées.

En revanche, à 35 °C, l'isotherme d'adsorption présente une forme sigmoïdale de type S3 selon la classification de Giles. D'après la littérature, ce type d'isotherme traduit un processus d'adsorption dont la progression devient plus favorable lorsque la concentration du soluté augmente. Cette évolution peut être associée à des interactions entre les molécules de soluté déjà adsorbées et celles présentes en solution, conduisant à un comportement coopératif.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1] HAMIDOUD, S. (2025). Optimisation multi-objectifs du traitement des eaux usées par électrocoagulation [Thèse de doctorat, Université 8 Mai 1945 Guelma].
- [2] BENKADDOUR, B. (2018). Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie) [Thèse de doctorat, Université de Perpignan Via Domitia et Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem].
- [3] METAHRI, M. S. (2012). Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou [Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].
- [4] SELLAL, A. (2018). Etude de la pollution de Oued K'sob (région de Bordj Bou Arreridj) et de l'effet phyto-accumulateur de *Phragmites australis* (roseau) [Thèse de doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif1].
- [5] <https://french.longdom.org/scholarly/thermal-pollution-journals-articles-ppts-list-2718.html>
- [6] <https://www.aqualabo.fr/matieres-en-suspension-mes>
- [7] KHELFAOUI, E. (2019). La résurgence des maladies à transmission hydrique en Algérie : la collaboration intersectorielle cas de la Wilaya Tizi-Ouzou [Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou].
- [8] <https://www.yashodahospitals.com/fr/blog/the-most-common-waterborne-diseaseS>
- [9] HAMIDI, A. (2023). Utilisation des matériaux locaux en épuration des eaux usées [Thèse de doctorat, Université Aboubakr Belkaïd de Tlemcen].
- [10] REKRAK, A. Z. (2020). Performances Epuratoires D'un Échantillon De Stations De Traitement Des Eaux Usées Situées En Oranie [Thèse de doctorat, Université Aboubakr Belkaïd de Tlemcen].
- [11] BEKKARI, N. (2020). Etude et suivi de procédé d'épuration des eaux usées sous climat aride (simulation par l'application des méthodes d'intelligence artificielle) cas de la station d'épuration de Touggourt [Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla].
- [12] EL HALATE, H. (2010). Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation [Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne].
- [13] BOURNEUF, S. (2015). Développement d'un procédé de lissage de charge par adsorption/désorption en amont d'une épuration biologique pour le

Références bibliographiques

traitement d'eaux résiduelles industrielles [Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse].

[14] MADAOUI, R. R, & GHENEM, O. Z. (2023). Elimination d'un colorant par un biomatériau [Mémoire de Master, Université Belhadj Bouchaib d'Ain Témouchent].

[15] SAKR, F. SENNAOUI, A. ELOUARDI, M. TAMIMI, M. ASSABBANE, A.(2015). Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus. Journal of Materials and Environmental Science, Vol. 6, N°2, pp. 397–406.

[16] LADJAL, O. (2018). Elimination de bleu de méthylène par un matériau MICROPOREUX(MAGADIITE). [Mémoire de Master, Université de Ghardaïa].

[17]HAMRI, S. (2013). Etude thermophysique de la diffusion de molécules de bas poids moléculaire dans des réseaux de polymères acryliques. [Thèse de doctorat, Université Aboubakr Belkaïd de Tlemcen].

[18] C. H. Giles., T. H. MacEwan., N. Nakhwa., D. Smith. Studies in adsorption. Part XI. A system of classification of solution adsorption isotherms, and its use in diagnosis Of adsorption mechanisms and in measurement of specific surface areas of solids. (1960).