الجمهورية الجزائرية الديموقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيات المتقدمة
Ecole Nationale des Technologies Avancées Alger

Département Seconde Cycle

Mémoire de fin d'étude en vue d'obtention du diplôme

Master 2

Filière : Génie des Procédés

Spécialité : Traitement des Eaux

Thème :

Utilisation des biomatériaux dans le traitement des eaux

Réalisé par **: BENHIZIA Slimane**

Les membres de Jury :

Dr. CHEIKH Assira	Président	MCB
Pr. ZEMMOURI Hassiba	Promoteur	Prof
Mme. SMAIL Fatima	Examinateur	MAA

Alger, le 26/06/2024

Année universitaire : 2023/2024

Dédicaces

Ce mémoire est dédié à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

À mes parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien sans faille, et leurs encouragements constants. Votre foi en moi m'a donné la force et la détermination nécessaires pour surmonter tous les obstacles et atteindre cet objectif. Vos sacrifices et votre dévouement sont les pierres angulaires de ma réussite.

À mes frères et sœurs, pour leur compréhension et leur patience tout au long de ces années d'études. Vos conseils avisés et votre présence réconfortante ont été des sources d'inspiration et de réconfort.

À mes amis, pour les moments de détente et de rire qui ont ponctué ces années d'études intenses. Votre camaraderie et votre soutien m'ont aidé à maintenir un équilibre entre le travail et la vie personnelle.

À mes professeurs et encadrants, Mme. Zemmouri, Mme. Chikh, pour leur savoir et leur expertise. Merci de m'avoir guidé et encadré avec patience et rigueur. Votre passion pour l'enseignement et votre engagement envers vos étudiants sont une source d'inspiration.

Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, je vous exprime ma plus profonde gratitude.

Remerciements

Ce mémoire est dédié à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Avant toute chose, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Allah, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, la patience et la détermination nécessaires pour mener à bien ce mémoire. C'est par Sa grâce que j'ai pu surmonter les défis et atteindre cet objectif.

Je voudrais ensuite adresser mes sincères remerciements à Pr. Zemmouri H, mon encadrante, pour son soutien indéfectible, ses conseils avisés et sa bienveillance tout au long de cette aventure académique. Son expertise et son dévouement ont été une source d'inspiration constante. Merci de m'avoir guidé avec tant de compétence et de générosité.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance aux membres du jury, Dr. Cheikh A et Mme. Smail F qui ont accepté d'examiner mon travail et de partager leurs précieuses observations et recommandations.

Je remercie Mme. Nadi Souad, ingénieur laboratoires de l'ENSTA, pour son appui et ses encouragements.

Enfin, à toutes les personnes qui ont, de près ou de loin, contribué à la réalisation de ce mémoire, je vous adresse mes plus sincères remerciements. Que Dieu vous bénisse tous pour votre générosité et votre soutien indéfectible.
Merci infiniment.

Résumé : L'utilisation des biomatériaux dans le traitement des eaux représente une avancée durable et prometteuse. Ces matériaux d'origine naturelle offrent une solution innovante pour purifier l'eau en éliminant efficacement divers polluants, tout en réduisant l'impact environnemental comparé aux méthodes traditionnelles. Malgré les défis techniques et réglementaires à surmonter, les biomatériaux peuvent jouer un rôle crucial dans la préservation et la gestion durable des ressources hydriques à l'échelle mondiale.
Mots clés : adsorption, amidon, charbon actif, colorants basiques.

Abstract : The use of biomaterials in water treatment represents a sustainable and promising advancement. These naturally derived materials offer an innovative solution for purifying water by effectively removing various pollutants, while reducing environmental impact compared to traditional methods. Despite the technical and regulatory challenges to overcome, biomaterials can play a crucial role in the preservation and sustainable management of water resources globally.
Key Word : adsorption, starch, activated, carbon, basic.

الملخص: استخدام المواد الحيوية في معالجة المياه يمثل تقدماً مستداماً وواعداً. توفر هذه المواد المستمدة من المصادر الطبيعية حلاً مبتكراً لتنقية المياه عن طريق إزالة الملوثات المختلفة بفعالية، مع تقليل التأثير البيئي بالمقارنة مع الطرق التقليدية. على الرغم من التحديات التقنية والتنظيمية التي يجب التغلب عليها، يمكن أن تلعب المواد الحيوية دوراً حاسماً في الحفاظ على الموارد المائية وإدارتها بشكل مستدام على مستوى عالمي.

الكلمات المفتاحية: الامتزاز، النشا، الكربون المنشط، الصباغ الساسة

Sommaire

Liste des figures _____ i
Liste des abréviations _____ ii

Introduction générale _____ ***2***

Chapitre I _____ *Erreur ! Signet non défini.*

I. La pollution de l'eau _____ ***4***

I.1 Types de pollution _____ **4**
I.1.1 Pollution minérale _____ 4
I.1.2 Pollution microbienne _____ 4
I.1.3 Pollution physique _____ 4
I.1.4 Pollution chimique _____ 4
- Pollution chimique biodégradable _____ 4
- Pollution chimique non biodégradable _____ 4

I.2 Pollution d'eau engendrée par les colorants _____ **5**
I.2.1 Les colorants _____ 5
II.1 Classification des colorants _____ 5
II.1.1 Classification chimique des colorants _____ 5
II.1.2 Classification tinctoriale des colorants _____ 5
- Colorants acides _____ 5
- Colorants directs _____ 5
- Colorants à mordants _____ 6
- Colorants de cuve _____ 6
- Colorants basiques ou cationiques _____ 6
- Colorants dispersés _____ 7

II.2 Colorants et l'environnement _____ 7
II.3 Application des colorants _____ 7
II.4 Procédés de traitement des colorants _____ 8
II.4.1 Physique _____ 8
II.4.2 Chimique _____ 8
II.4.3 Biologique _____ 8
III. Adsorption _____ 8
III.1 Types d'adsorption _____ 8
III.1.1 L'adsorption physique _____ 8
III.1.2 L'adsorption chimique _____ 9
III.2 Mécanisme d'adsorption _____ 9
III.3 Facteurs influençant l'adsorption _____ 10
III.3.1 Nature de l'adsorbant _____ 10
III.3.2 Nature de l'adsorbat _____ 10
III.3.3 Surface spécifique _____ 10
III.3.4 Température _____ 10
III.3.5 pH _____ 10
III.3.6 Vitesse d'adsorption _____ 11
III.3.7 Polarité _____ 11
III.3.8 Temps de contacte _____ 11
III.4 Cinétique d'adsorption _____ 11
III.4.2 Modèle cinétique de pseudo second ordre _____ 12
III.5 Modélisation des isothermes _____ 12
III.5.1 Modèle de Langmuir _____ 12
III.5.2 Modèle de Freundlich _____ 13

III.5.3 Modèle de Temkin 13
III.6 Adsorbants 14
III.6.2 Adsorbants minéraux : 14
 L'argile 14
 La zéolithe 14
 Gel de silice 15
III.6.3 Charbons actifs 15
 Structure interne du charbon actif 15
Préparation d'un charbon actif 16
 La carbonisation 16
 Activation 16
 Activation chimique 16
 Activation physique 17
Utilisation de charbon actif 17
 Purification des eaux 17
 Industrie pharmaceutique 17
 Agro-alimentaire 17
IV. Amidon 17
IV.1 Amidon natif 17
IV.2 Propriétés physiques 18
IV.3 Propriétés chimiques 18
VI.4 Structure chimique de l'amidon 19
 Amylose 19
 Amylopectine 20
IV.5 Traitement hydrothermique de l'amidon 20
 Gélatinisation 20
IV.6 Amidon modifié 21
IV.6.1 Action de la chaleur et traitement acide 21
IV.6.2 Traitement chimique 21
IV.7 Applications 22
***Conclusion générale* 25**
***Références Bibliographies* 26**

Liste des figures

Figure I.1 : colorant C.I acid red 27
Figure I.2: la curcumine
Figure I.3 : colorant C.I mordant bleue 9
Figure I.4 : colorant de cuve
Figure I.5 : colorant C.I
basic green 4 **Figure I.6** :
colorant C.I disperse yellow
1 **Figure I.7** : phénomène
d'adsorption
Figure I.8 : les étapes de transfert d'une molécule vers un adsorbant
Figure I.9: charbon actif
Figure I.10 : (a) : un feuillet de graphéne (b) : représentation schématique des microstructures du charbon actif
Figure I.11 : transformation hydrothermique de l'amidon
Figure I.12 : structure chimique d'amylose
Figure I.13 : structure chimique d'amylopectine
Figure I.14 : répartition des domaines d'utilisation d'amidon

Liste des abréviations

K	Constante de vitesse
q_e	Quantité adsorbé à l'équilibre
q_t	Quantité de soluté à l'instant t
C_e	Concentration à l'équilibre
Q_{max}	Capacité maximale d'adsorption
K_L	Constante de l'équilibre thermodynamique
K_F et n	Constantes de Freundlich
R_g	Constante des gaz parfaits
A	Absorbance
ε	Coefficient d'extinction
L	Longueur de cuve
C	Concentration de solution (mol/L)
Starch	Amidon
AM	Acrylamide
KI	Iodure de potassium
NH_4Cl	Chlorure d'ammonium
BM	Bleu de méthylène
CAA	Charbon actif à base d'amidon
R^2	Coefficient de corrélation
K_d	Constante de distribution
ΔS	Entropie d'adsorption
ΔH	Enthalpie d'adsorption
ΔG	Enthalpie libre d'adsorption
T	Température (K)
V	Volume (L)
M	Masse (g)
T	Temps (min)

Introduction générale

Introduction générale

L'eau est vitale pour la vie mais reste une ressource renouvelable continuellement menacée par divers types de pollution, notamment agricole, industrielle et automobile. Parmi les polluants les plus préoccupants, les colorants occupent une place significative. Utilisés principalement dans l'industrie textile pour teindre des objets et leur donner une couleur spécifique, ils sont responsables d'une pollution notable des eaux. C'est pourquoi de nombreuses études ont été menées pour développer des méthodes efficaces de traitement visant à réduire l'impact de ces substances sur l'environnement aquatique.

Au nombre des méthodes de traitement des colorants, l'adsorption est le processus le plus utilisé qui repose sur le principe de fixation des molécules d'un adsorbat sur la surface d'un adsorbant solide.

Les colorants tels que le bleu de méthylène sont très connus par leur grande stabilité, ainsi par leur toxicité et leur persistance dans l'environnement, c'est l'une des raisons pour laquelle les recherches scientifiques sont toujours en poursuite afin de découvrir des nouveaux matériaux plus puissants, moins couteux et toujours disponibles.

Les biomatériaux sont essentiellement très utilisés dans le domaine de la médecine et avec le développement de la science, ils sont devenus l'un des éléments les plus étudiés dans le domaine de la chimie surtout pour le traitement des eaux, ils sont divisés en deux grandes sections : biomatériaux d'origine non vivante (métaux, céramiques…) et biomatériaux d'origine biologique (animale ou végétale).

L'objectif de notre travail, est d'étudier la capacité d'adsorption de bleu de méthylène sur l'amidon natif, modifié et carbonisé.

Notre plan de travail est divisé en trois grands chapitres :

Chapitre I : consacré sur une recherche bibliographique sur la pollution de l'eau avec ces différents types, les colorants avec ses différentes catégories et leur impacte sur l'environnement, l'adsorption, ses différentes sortes, les facteurs influençant ce dernier processus ainsi que les modèles utilisés pour la décrire, et finalement, l'amidon, sa structure et ses propriétés physico-chimiques

Étude bibliographique

I. La pollution de l'eau

La pollution des eaux est caractérisée par toute altération physique ou chimique de leur qualité, ayant un impact négatif sur les organismes vivants ou rendant l'eau impropre à ses usages prévus. Ainsi, une eau est considérée comme polluée lorsque sa composition ou son état est altéré directement ou indirectement par l'activité humaine. **[1]**.

I.1 Types de pollution

I.1.1 Pollution minérale

La pollution minérale des eaux peut provoquer le dérèglement de la croissance végétale ou trouble physiologique chez les animaux. Les polluants minéraux sont principalement les métaux lourds et les éléments minéraux nutritifs **[2]**.

Ces substances suscitées peuvent :

- ✓ Causer des problèmes sur l'organisme de l'individu
- ✓ Perturber l'activité bactérienne en station d'épuration
- ✓ Affecter sérieusement les cultures **[3]**.

I.1.2 Pollution microbienne

Les eaux usées contiennent tous les micro-organismes excrétés avec les matières fécales, incluant la flore intestinale normale ainsi que des organismes pathogènes. Ces micro-organismes peuvent être regroupés en quatre catégories principales selon leur taille croissante : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. **[4]**.

I.1.3 Pollution physique

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes : mécanique, thermique et radioactive **[5]**.

I.1.4 Pollution chimique

Ce type de pollution est classé en deux catégories :

- ✓ **Pollution chimique biodégradable**

Les composés biodégradables se composent de substances organiques de composées azotées et phosphoriques.

- ✓ **Pollution chimique non biodégradable**

Parmi les polluants non biodégradables figurant les substances minérales et certains composés organiques tels que les composés aromatiques **[6]**.

I.2 Pollution d'eau engendrée par les colorants

L'intensification de la couleur rend l'eau inutilisable pour les usages domestiques et industriels, limite la croissance des plantes aquatiques, et perturbe l'auto-épuration naturelle, affectant ainsi négativement la pisciculture. Cependant, les teintes plus ou moins prononcées des eaux peuvent exagérer la perception de la pollution, la faisant paraître plus sévère qu'elle ne l'est réellement. **[7].**

I.2.1 Les colorants

II.1 Classification des colorants

Les colorants sont classifiés par rapport aux structures chimiques des colorants et des méthodes d'application aux différents substrats (textile, papier, cuir, matières plastiques) **[8].**

II.1.1 Classification chimique des colorants

Le classement des colorants selon leur structure chimique repose sur la nature du groupement chromophore **[9]**.

II.1.2 Classification tinctoriale des colorants

La classification tinctoriale intéresse le teinturier. Les éléments clés sont la solubilité du colorant dans le bain de teinture, son affinité pour les diverses fibres et sur la nature de la fixation. Celle-ci est de force variable selon que la liaison colorant - substrat est du type ionique, hydrogène, de Van der Waals ou covalente. On distingue différentes catégories tinctoriales définies cette fois par les auxochromes **[10]**.

✓ **Colorants acides**

Ils sont solubles dans l'eau grâce à leurs groupements sulfonâtes ou carboxylates, ils sont ainsi dénommés parce qu'ils permettent de teindre les fibres animales (laines et soie) et quelques fibres acryliques modifiés (nylon et polyamide) en bain légèrement acide. L'affinité colorant-fibre est le résultat de liaisons ioniques entre la partie acide sulfonique du colorant et les groupements amino des fibres textiles **[11]**.

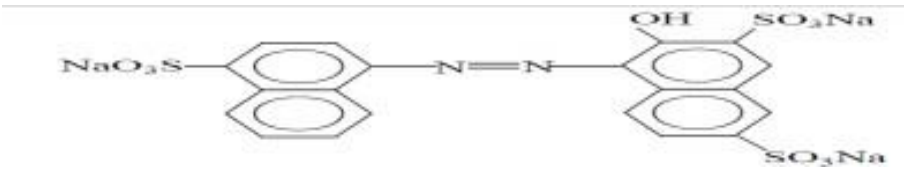


Figure I.1 : colorant C.I acide/red

✓ **Colorants directs**

Ce sont des colorants à caractères anioniques (R-SO_3Na). Ils sont solubles dans l'eau et

utilisés en solution aqueuse. La solubilité de ces colorants dans l'eau est réduite par l'addition des sels neutres de métaux alcalins (sulfate de sodium, chlorure de sodium…etc.). Ceux d'entre eux qui sont les moins stables à la lumière sont utilisés à la teinture des tissus de doublures des fils de laines, des tapis et pour beaucoup d'articles à bon marché **[12]**.

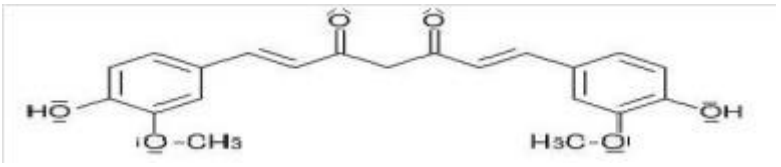


Figure I.2: la curcumine

✓ **Colorants à mordants**

Les colorants à mordants contiennent généralement un ligand fonctionnel capable de réagir fortement avec un sel d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer pour donner différents complexes colorés avec le textile **[13]**.

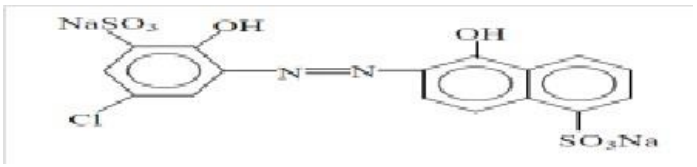


Figure I.3 : colorant C.I mordant bleue 9

✓ **Colorants de cuve**

Les colorants de cuve sont insolubles et doivent être transformés en leurs codérivés par réduction alcaline. La teinture se termine par la réoxydation in situ du colorant sous sa forme insoluble initiale. Réputés pour leur bonne résistance aux agents de dégradation, les colorants de cuve sont encore utilisés à l'image de l'indigo pour la teinture des articles jean ou denim **[14]**.

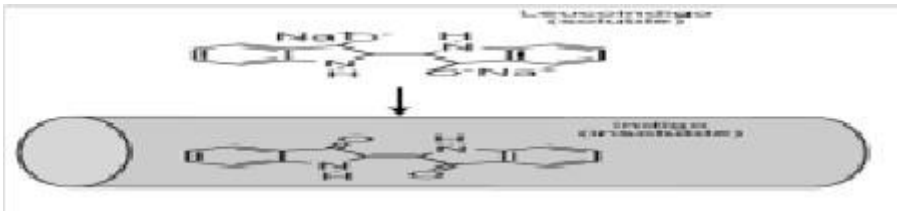


Figure I.4 : colorant de cuve

✓ **Colorants basiques ou cationiques**

Les colorants basiques ou cationiques sont des sels d'amines organiques, ce qui leur confère une bonne solubilité dans l'eau. Les liaisons se font entre les sites cationiques des colorants et les sites anioniques des fibres. En phase de disparaitre dans la teinture de la laine et de la soie,

ces colorants ont bénéficié d'un regain d'intérêt avec l'apparition des fibres acryliques, sur les quelles ils permettent des nuances très vives et résistantes **[11]**.

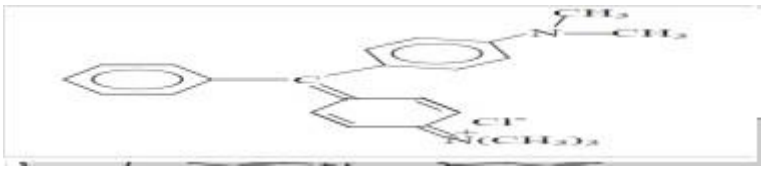


Figure I.5 : colorant C.I basic green 4

✓ **Colorants dispersés**

Les colorants dispersés sont très peut solubles dans l'eau et sont appliqués sous forme d'une fine dispersé dans le bain de teinture. Ils sont en mesure, lors d'une teinture à haute température, de diffuser dans les fibres synthétiques puis de s'y fixer **[11]**.

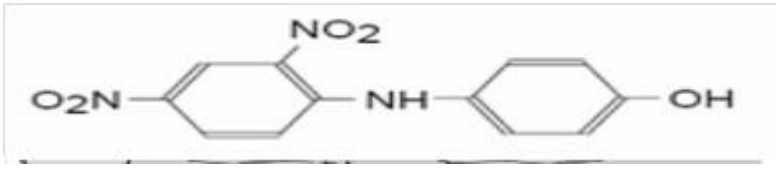


Figure I.6 : colorant C.I disperse yellow 1

II.2 Colorants et l'environnement

Beaucoup de colorants sont visibles dans l'eau même à de très faibles concentrations (< 1 mg L-1). Ainsi, ils contribuent aux problèmes de pollution liés à la génération d'une quantité considérable d'eau usée contenant des colorants résiduels **[15].**

II.3 Application des colorants

Les colorants présentent de nombreuses applications dans différents domaines, dont voici quelques-unes essentielles :

- ✓ Teinture et impression sur fibre et tissus de tous genres.
- ✓ Teinture du bain de filage des fibres chimiques.
- ✓ Teinture du cuir et des fourrures.
- ✓ Teinture du papier et du parchemin.
- ✓ Teinture des caoutchoucs, des feuilles et des matières plastiques.
- ✓ Colorants pour toutes les techniques de la peinture.
- ✓ Préparation des couleurs à la chaux pour les pré-colorations et enduits sur bâtiments.
- ✓ Colorants pour l'impression des papiers peints.
- ✓ Préparation des encres.
- ✓ Colorations des denrées alimentaires.

- ✓ Colorants pour les emplois médicinaux et cosmétiques **[16]**.

II.4 Procédés de traitement des colorants

Les méthodes principales utilisées comme procédés d'élimination des colorants se devisent en trois grandes catégories : physique, chimique et biologique.

II.4.1 Physique

- ✓ Méthode de précipitation (coagulation, floculation, sédimentation).
- ✓ Adsorption (sur charbon actif).
- ✓ Osmose inverse, filtration.
- ✓ Incinération.

II.4.2 Chimique

- ✓ Oxydation (oxygène, ozone, oxydants tel que NaOCl, H_2O_2).
- ✓ Réduction ($Na_2S_2O_4$).
- ✓ Méthode complexométrique.
- ✓ Résine échangeuse d'ions.

II.4.3 Biologique

- ✓ Traitement aérobie.
- ✓ Traitement anaérobie **[17]**.

III. Adsorption

L'adsorption est le processus au cours duquel des molécules contenues dans un fluide (gaz ou liquide) est appelées adsorbat, se fixent à la surface d'un solide appelé adsorbant. Les sites où se fixent les molécules d'adsorbats sont appelés sites actifs **[18]**.

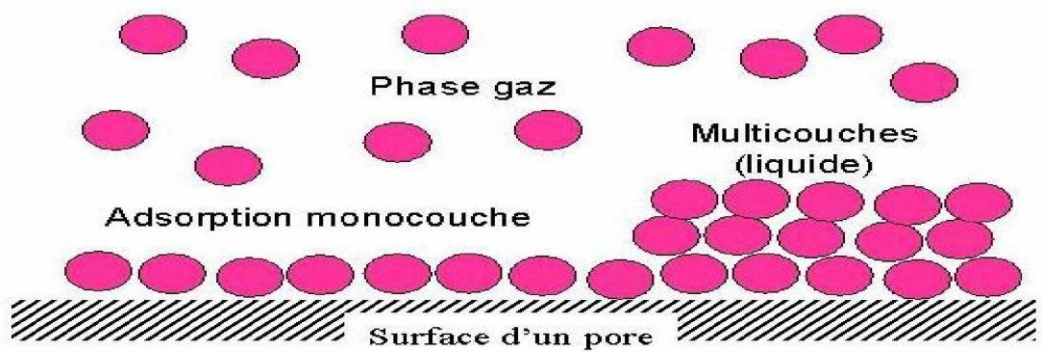


Figure I.7 : phénomène d'adsorption

III.1 Types d'adsorption

Suivant la nature des liaisons entre le substrat et les particules adsorbées, on distingue deux types d'adsorption : physisorption et chimisorption.

III.1.1 L'adsorption physique

L'adsorption est dite adsorption physique lorsqu'elle est due à des forces d'interaction

physiques entre les atomes, ou groupements d'atomes du solide et les molécules de fluide.

Ces interactions sont aussi appelées forces de Van Der Waals. Elles sont dues au mouvement des électrons à l'intérieur des molécules qui peuvent engendrer de petits moments dipolaires instantanés. Des interactions électrostatiques peuvent aussi se combiner aux forces de Van Der Waal **[19]**.

III.1.2 L'adsorption chimique

Dans ce cas, l'adsorption est due à la formation d'une liaison chimique, covalente plus permanente, entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant. Par rapport au premier, l'adsorption chimique se distingue par des énergies d'adsorption plus élevées (2 à 100 Kcal mol^{-1} contre quelques Kcal mol^{-1}) et par une fixation irréversible de l'adsorbat sur des sites d'adsorption très spécifiques. Elle est aussi favorisée à température élevée **[20]**.

III.2 Mécanisme d'adsorption

L'adsorption est l'un des processus les plus largement utilisés pour l'élimination des colorants et l'épuration des eaux résiduaires.

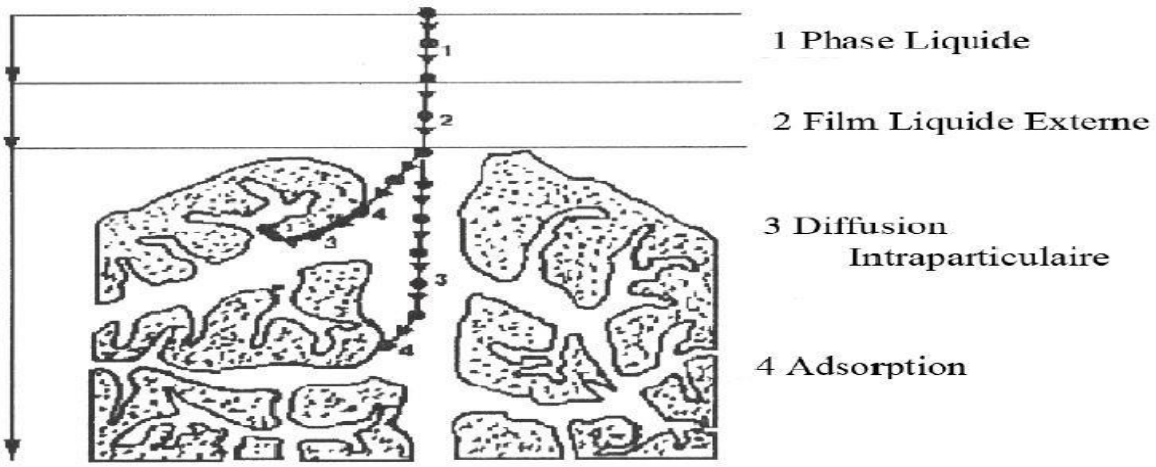


Figure I.8 : les étapes de transfert d'une molécule vers un adsorbant

L'adsorption se produit principalement dans quatre étapes. La figure .représente un matériau avec les différents domaines dans lesquels peuvent se trouver les molécules organiques ou inorganiques qui sont susceptible de rentrer en interaction avec le solide **[21]**.

Avant adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes **[14]** :

- ✓ Diffusion de l'adsorbat de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
- ✓ Diffusion extragranulaire de la matière (transfert de soluté à travers le film liquide vers la surface de grains).
- ✓ Transfert intragranulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse

de la surface extérieure des graines vers les sites actifs).

✓ Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile.

III.3 Facteurs influençant l'adsorption

III.3.1 Nature de l'adsorbant

L'adsorption en phase liquide a lieu le plus souvent par le mélange, l'adsorbant étant introduit dans la solution à l'état pulvérulent. Il est ensuite séparé par filtration. Les adsorbants travaillant en milieu liquide agissent tout d'abord par leurs surfaces externes. Certains adsorbants ont une action spécifique caractérisée suivant la polarité de la surface externe. Car cette dernière a une affinité avec l'eau ou l'alcool. Les adsorbants polaires sont hydrophiles, d'autre part les adsorbants non polaires sont en général dit hydrophobes. Les adsorbants polymériques, et les adsorbants carbonés sont des exemples d'adsorbants non polaires qui ont moins d'affinité pour l'eau **[22]**.

III.3.2 Nature de l'adsorbat

D'après la règle de Lund-Luis : « moins une substance est soluble dans le solvant, mieux elle est adsorbée » **[23]**.

III.3.3 Surface spécifique

La surface spécifique d'un adsorbant dépend de la taille, la forme, l'état de surface et la porosité des particules d'adsorbant. La porosité ou la distribution poreuse reflète la structure interne et la répartition des pores dans l'adsorbant. La surface spécifique augmente avec la diminution de la taille des particules d'adsorbant, l'augmentation de la rugosité de la surface externe et l'augmentation de la porosité interne des particules d'adsorbants. Les particules d'adsorbant ayant la forme la plus proche des feuillets ont une surface spécifique importante **[24]**.

III.3.4 Température

Le processus de l'adsorption qui ne se complique pas par des réactions chimiques s'accompagnent toujours de dégagement de chaleur (exothermique), de sorte qu'une augmentation de la température, le phénomène de désorption devient dominant.

Par contre pour une adsorption activée (chimique), l'équilibre d'adsorption n'est pas atteint rapidement, et l'augmentation de la température favorise l'adsorption **[25]**.

III.3.5 pH

Le pH a parfois un effet non négligeable sur les caractéristiques de l'adsorption. Dans la plupart des cas, les meilleurs résultats sont acquis aux pH les plus faibles. Cette propriété s'applique

particulièrement à l'adsorption de substances acides **[26]**.

III.3.6 Vitesse d'adsorption

Alors que l'adsorption physique des gaz ou des vapeurs sur des adsorbants solides est extrêmement rapide, l'adsorption en phase liquide est beaucoup plus lente. La viscosité de la solution semble influencer la vitesse d'adsorption, et il est probable qu'en réduisant la viscosité par chauffage, on accélère ce processus. C'est l'une des raisons pour lesquelles la décoloration des solutions par des adsorbants solides est souvent réalisée à haute température. **[27]**.

III.3.7 Polarité

Un soluté polaire aura plus d'affinité pour l'objet le plus polaire parmi le solvant et l'adsorbant. L'alumine est un adsorbant polaire, et le graphite un non polaire **[28].**

III.3.8 Temps de contacte

L'adsorption est rapide pendant les premières minutes de la réaction, ceci peut être interprété par le fait qu'en début d'adsorption, le nombre des sites actifs disponibles à la surface de l'adsorbant, sont beaucoup plus importants que celui des sites restent après un certain temps **[29]**. Pour les temps élevés la molécule est besoin de temps pour diffuser à l'intérieur de pore de l'adsorbant **[30]**.

III.4 Cinétique d'adsorption

III.4.1 Modèle cinétique du pseudo premier ordre (modèle de lagergren)

Le modèle de pseudo premier ordre, établi par lagergren, est la première équation de vitesse décrivant la cinétique d'adsorption d'un couple adsorbat-adsorbant. Elle est basée sur la quantité adsorbée. La vitesse d'adsorption à un instant t est proportionnelle à l'écart entre la quantité adsorbée à l'équilibre q_e et celle adsorbée à l'instant t.

L'équation de pseudo premier ordre est décrite selon l'équation :

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - q_t) \qquad \text{I. 1}$$

Avec :

q_e: Quantité de soluté adsorbé à l'équilibre (mg/g)

q_t : Quantité de soluté à l'instant t (mg/g)

k_1 : Constante de vitesse du pseudo premier ordre (l/min)

L'intégration de l'équation pour les conditions initiales $q_t = 0$ à t=0 donne l'équation :

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - k_1 t \qquad \text{I. 2}$$

La quantité de soluté adsorbé à l'équilibre q_e et la constante de vitesse du pseudo premier ordre k_1 sont déterminer à partir de la représentation graphique de $\log(q_e - q_t)$ en fonction du temps t. **[31]**.

Dans le cas d'une cinétique apparente du premier ordre, le tracé de lng (qe - qt) en fonction du temps *t* donne une droite de pente égale à *k* et une ordonnée à l'origine égale à log q_e **[32]**.

III.4.2 Modèle cinétique de pseudo second ordre

Le modèle cinétique du pseudo second ordre de HO et MC est le suivant :

$$\frac{dq}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$$

L'intégration de cette équation suivie de sa linéarisation nous donne :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

Avec :

k_2 : Constante de vitesse apparente de pseudo second ordre

q_e : Capacité d'adsorption du matériau à la saturation (mg/g)

q_t : Quantité de colorant adsorbée (mg/g) par le matériau à l'instant t

h: qui correspond à $k_2 q^2$ est la vitesse initiale d'adsorption (mg/g h)

k_2 et q_e^2 sont déduits de la droite $f(t)$ **[33]**.

III.5 Modélisation des isothermes

III.5.1 Modèle de Langmuir

C'est un modèle simple et largement utilisé. Il est basé sur les hypothèses suivantes :

- ✓ L'espèce adsorbée est située sur un site bien définie de l'adsorbant (adsorption localisé).
- ✓ Chaque site n'est susceptible de fixer qu'une seule espèce adsorber **[34]**.
- ✓ L'énergie d'adsorption de tous les sites est identique et indépendante de la présence des espèces adsorbées sur les sites voisins (surface homogène et pas d'interactions entre espèce adsorbées).

Il est décrit par l'équation suivante :

$$q_e = \frac{q_{max} K_L C_e}{1 + K_L . C_e} \qquad \text{I. 5}$$

Où :

C_e : Concentration à l'équilibre (mg/l)

q_e : Quantité du produit adsorbé par unité de masse d'adsorbant (mg/g)

q_{max} : Capacité maximale d'adsorption théorique (mg/g).

K_L : Constante de l'équilibre thermodynamique d'adsorption (l/mg). La linéarisation d'équation donne

$$\mathbf{q_e = \frac{1}{q_{max}} C_e + \frac{1}{q_{max} K_L}}$$

On obtient l'équation d'une droite de pente $^1/_{q_{max}}$ et d'ordonnée à l'origine $^1/_{q_{max}}KL$.

III.5.2 Modèle de Freundlich

Dans ce modèle, l'interaction entre les molécules adsorbées est possible. Ce dernier considère que le nombre de sites susceptibles d'adsorber le soluté est illimité.

Les hypothèses sur lesquelles est fondé ce modèle sont les suivantes :

- ✓ la surface de l'adsorbant est hétérogène.
- ✓ possibilité d'interactions entre les molécules adsorbées.
- ✓ les molécules adsorbées forment une multicouche.

L'équation de ce modèle se présente sous la forme :

$$q_e = K_F . C_e^n \qquad \text{I. 7}$$

Avec

q_e: Quantité adsorbée par gramme de solide

Ce: concentration du soluté à l'équilibre

K_F et n : des constantes de Freundlich

L'équation est linéarisable sous forme :

$$\ln q_e = \ln K_F . \; n \ln C_e \qquad \text{I. 8}$$

En portant $\ln q_e$ en fonction de ln Ce, on obtient une droite de pente n et d'ordonnée à l'origine $\ln K_F$ **[35].**

III.5.3 Modèle de Temkin

Temkin et pyzhev **[36]** considèrent l'effet des interactions entre adsorbat/adsorbat sur l'isotherme d'adsorption, et suggèrent que, à cause de ces interactions, la chaleur d'adsorption décroit linéairement avec la croissance du taux de recouvrement de la surface de l'adsorbant selon cette formule :

$$q_e = B \ln a.C_e \qquad \text{I.9}$$

La linéarisation sous la forme :

$$q_e = \frac{R_g.T}{b_t} \ln a_t + \frac{R_g.T}{b_t} \ln C_e$$

Où :

b_t: constante de Temkin liée à la chaleur de sorption (J/mol)

a_t: constante de l'isotherme de Temkin (L/mg)

R_g : constante des gaz parfaits (8.314 J/mol K)

T : température (K)

C_e: concentration à l'équilibre (mg/L)

III.6 Adsorbants

III.6.1 Adsorbants à base de polymère

Ce sont principalement des produits en développement qui ont actuellement des applications spécifiques et limitées. Le plus courant est un copolymère de styrène et de divinylbenzène, où le polystyrène forme des chaînes interconnectées par des ponts de divinylbenzène, créant ainsi une structure avec une porosité entre les chaînes. Une caractéristique clé de ces adsorbants est leur forte hydrophobie. Ces produits peuvent être utilisés tels quels ou être soumis à une carbonisation, produisant ainsi des matériaux similaires aux charbons actifs. Si le polymère initial est fabriqué sous forme de fibres, il peut être tissé pour créer des textiles de charbon actif. Le diamètre de fibre étant de l'ordre de 10 microns, le temps de transfert est beaucoup plus rapide que pour tous les autres adsorbants. Sa surface spécifique peut atteindre pour les tissus de charbon actif 2000 m^2 /g **[37]**.

III.6.2 Adsorbants minéraux :

Les adsorbants minéraux peuvent exister à l'état naturel ou synthétisès.

✓ **L'argile**

Les argiles sont des aluminosilicates. Ce sont des produits naturels, qui sont activées pour avoir de meilleures propriétés adsorbantes.

✓ **La zéolithe**

Les zéolithes sont des adsorbants de squelette cristallin aluminosilicate tridimensionnel constitué de tétraèdres SiO_4 et AlO_4, de formule globale (AlO_2M, $nSiO_2$) où M représente le plus souvent un métal alcalin ou alcalino-terreux. Il existe plus de 100 espèces de zéolithes, différant par la valeur de n et la structure cristallographique. Ils ont une structure microporeuse faite de cavités et de canaux qui leur confère des propriétés adsorbantes. Ils sont sous forme de

poudre, granulés ou extrudés. La surface spécifique ne dépasse pas 900 m^2 /g mais, ils présentent une bonne sélectivité **[38]**

✓ **Gel de silice**

Le gel de silice se présente sous la forme de grains durs et poreux avec une surface spécifique de 600 à 800 m^2, dont la taille des pores varie de 20 à 50 Å .Il s'obtient par action de l'acide chlorhydrique sur une solution de silicate de sodium. Le gel de silice est employé essentiellement à la déshydratation des gaz et liquides et également au fractionnement des hydrocarbures **[39]**.

III.6.3 Charbons actifs

Le charbon actif est utilisé pour le traitement des eaux usées en raison de sa grande capacité à adsorber différents types de polluants tels que les phénols**[40],** colorants et pesticides**,** détergents et bien d'autres produits chimiques et organismes. La capacité d'adsorption élevée des charbons actifs est principalement due à leur très haut degré de porosité associée à une grande surface développée (500-2000 $m^2.g^{-1}$), et leur nature chimique qui peut être facilement modifiée par un traitement chimique afin d'augmenter leurs propriétés.



Figure I.9: charbon actif

✓ **Structure interne du charbon actif**

La structure des charbons actifs est constituée d'une association aléatoire de plans d'atomes de carbone. Ces atomes sont organisés sous forme de cycles aromatiques qui forment des feuillets de carbone appelés graphènes. Le graphène a une structure bidimensionnelle d'atomes de carbone rappelant celle d'un nid d'abeille.

L'arrangement des plans de cycles aromatiques se fait d'une manière irrégulière créant entre

les feuilles des interstices nommés pores, qui sont à l'origine de la grande surface spécifique des charbons actifs **[41]**.

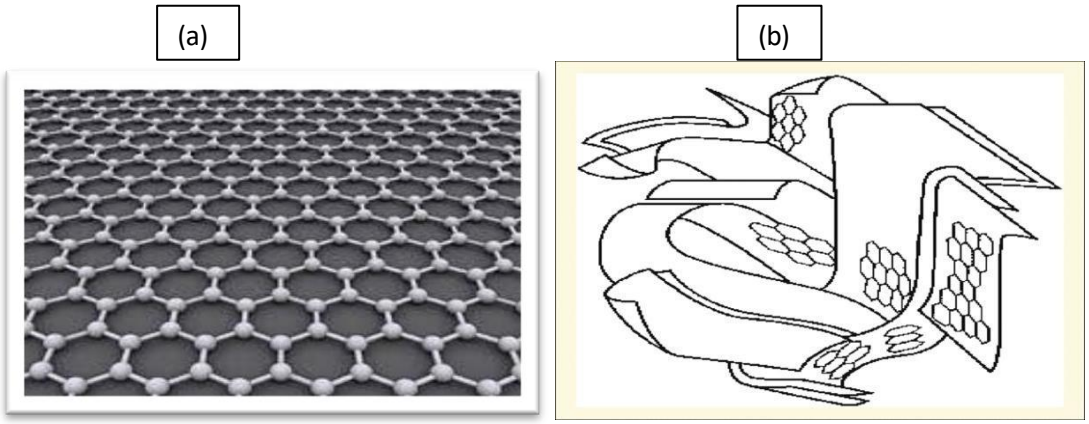


Figure I.10 : (a) : un feuillet de graphéne (b) : représentation schématique des microstructures du charbon actif

Préparation d'un charbon actif

✓ **La carbonisation**

La pyrolyse est un processus de décomposition thermique d'un matériau organique réalisé sous vide ou en atmosphère inerte, à des températures variantes généralement entre 400 et 600°C. Cette étape permet de libérer certains éléments hétérogènes tels que l'oxygène, l'hydrogène et l'azote sous forme de gaz, tout en initiant la formation d'une structure poreuse préliminaire avec une surface spécifique d'environ 10 mètres carrés par gramme. Cette structure poreuse est ensuite développée davantage au cours du processus d'activation. **[42]**.

✓ **Activation**

L'activation est un processus où les particules carbonisées sont traitées à haute température avec un agent activateur. Ce processus permet d'augmenter le volume des particules et, dans une certaine mesure, d'élargir les pores formés lors de la carbonisation (pyrolyse). La nature du matériau initial et les conditions spécifiques de la pyrolyse déterminent la structure et la taille des pores résultants. **[43]**.

✓ **Activation chimique**

Elle consiste à imprégner le matériau de départ avec une solution concentré d'agent très oxydant et/ou déshydratant (acide phosphorique, chlorure de zinc, hydroxyde de sodium…). Le matériau subit ensuite une pyrolyse entre 400°C et 800°C à l'abri de l'air, puis lavé et séché. Le charbon actif est ainsi obtenu en une seule étape. C'est le degré d'imprégnation du matériau en matière

oxydante qui définit la structure poreuse finale. Suite à l'activation, le charbon actif acquiert une structure poreuse poly disperse : les pores ont différentes formes et dimensions. La répartition poreuse dépend de la nature de la matière première, mais aussi les conditions de l'activation **[44]**.

✓ **Activation physique**

L'activation physique implique l'oxydation du charbon à très haute température (entre 800 et 1000°C) en utilisant un agent légèrement oxydant pendant 24 à 72 heures. Les réactifs gazeux principalement utilisés sont l'air, la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone, utilisés seuls ou en combinaison. Il est crucial de contrôler la température car une réaction au-dessus de 1000°C peut dégrader le matériau, tandis qu'en dessous de 800°C, la réaction est trop lente ou incomplète pour être économiquement viable. Les charbons actifs produits par cette méthode ont généralement une structure fine avec des pores étroits. **[45]**.

Utilisation de charbon actif

✓ **Purification des eaux**

L'eau est débarrassée des matières indésirables, c'est le cas des eaux résiduaires (effluents industriels), avant rejet dans l'environnement, mais aussi le cas des eaux potables

✓ **Industrie pharmaceutique**

Les charbons actifs donnent d'excellents résultats dans la purification et l'extraction des antibiotiques, des vitamines, des antalgiques, etc...

✓ **Agro-alimentaire**

Les charbons actifs ayant de bonnes capacités désodorisantes, décolorantes et épurantes, leur emploi est très indiqué dans le traitement des sirops de sucre (de betterave ou de canne), de glucose, dans le traitement des huiles de tables et des graisses, des jus de fruits, etc… **[46]**.

IV. Amidon

IV.1 Amidon natif

L'amidon natif correspond au produit brut, extrait sans modification de la molécule. Il a des propriétés alimentaires et technologiques. L'amidon est toujours d'origine végétale. On le trouve dans les graines (céréale et légumineuses) ainsi que dans les tubercules, les racines, les bulbes et les fruits **[47]**.

L'amidon est constitué majoritairement d'une fraction glucidique (98 à 99%) et d'une fraction non glucidique mineure (1 à 2%).cette dernière malgré sa présence en faible quantité, ne doit pas être négligée, car elle modifie les propriétés fonctionnelles, en particulier la présence de

lipides **[48]**.

L'amidon est constitué de chaines polymérisées de glucoses : les unités D-glucopyranose sont reliées principalement par des liaisons α (1-4) selon des chaines linéaires. De plus, il existe environ 5% de ramification en α (1-6) **[49]**. Dont les chaines liées en α (1-4) représentent l'amylose : molécule linéaire et les chaines liées en α(1-6) représentent l'amylopectine : molécule ramifié .

IV.2 Propriétés physiques

L'amidon a comme tout produit, des propriétés physiques qui lui sont propres :

✓ Influence de la température : l'amidon est insoluble dans l'eau froide .il forme, en revanche à chaud (70°C) une solution colloïdale qui épaissit en donnant un gel communément appelé empois.

✓ Température de gélification : la gélification commence graduellement à partir de 50°C mais est effective ensuite à température dépendante de l'agitation moléculaire, de la grosseur des grains, de la nature de l'amidon, de l'eau employée et de la concentration en amidon.

✓ Effet stabilisant : l'épaississement ayant lieu à une température inférieure à celle de la coagulation du jaune d'œufs, les crèmes aux œufs contenant de l'amidon peuvent être portées à ébullition **[47]**.

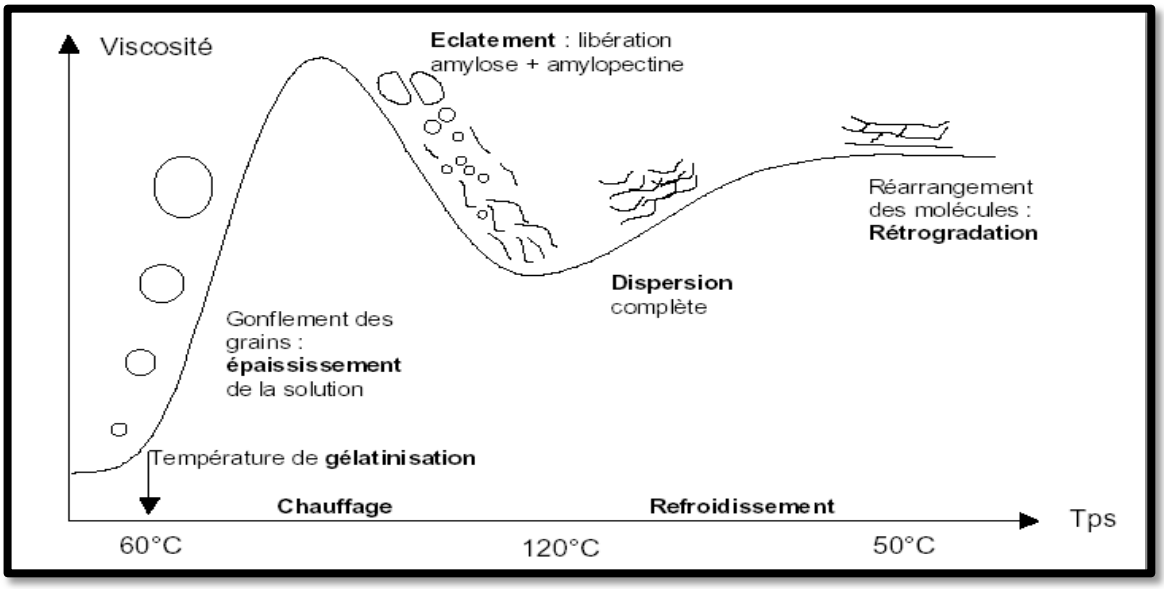


Figure I.11 : transformation hydrothermique de l'amidon

IV.3 Propriétés chimiques

Les amidons sont influencés par trois types d'action : thermique, chimique, enzymatique.

✓ Action thermique : elle change la couleur et le gout par dextrinisation.

✓ Action chimique et enzymatique : les acides entrainent une hydrolyse partielle de

l'amidon qui conduit à la formation de dextrines. Le gel formé est moins épais. Cette hydrolyse est accélérée par une augmentation de température.

✓ L'amidon peut subir aussi l'action d'enzymes comme des enzymes végétales, animales ou microbiennes.

On constate que les amidons ont déjà beaucoup d'influence sur la texture cependant leur fragilité face à certains paramètres comme la température ont conduit à l'utilisation d'amidons modifiés.

Les traitements précédemment d'écrits mènent à la formation de corps plus simples comme des dextrines et des maltoses. Les traitements Des ces corps simples par ces mêmes traitements peuvent conduire à la formation d'amidons modifiés.

Il existe différentes technologies qui permettent d'obtenir des amidons modifiés en changeant la structure de base d'une molécule **[47]**.

VI.4 Structure chimique de l'amidon

L'amidon consiste en deux glucanes structurellement différents : l'amylose, polymère linéaire et l'amylopectine : polymère fortement branché **[50]**.

L'amidon est composé à 98-99% de deux homopolymères de glucose : l'amylose et l'amylopectine. Les amidons dits cireux sont principalement constitués d'amylopectine et de seulement 0-8% d'amylose, les amidons standards contiennent environ 75% d'amylopectine et 25% d'amylose et les amidons dits riches en amylose contiennent de 40 à 70%. Un troisième homopolymère de glucose est parfois observé et des constituants mineurs, tel que des lipides, protéines ou minéraux peuvent être présents dans l'amidon purifié **[51]**.

✓ **Amylose**

L'amylose est caractérisée par une macromolécule de structure linéaire constituée d'unités α-D-glucose, liées par des liaisons de type α (1-4). L'amylose se compose de plusieurs chaines présentant des degrés de polymérisation variables, fonction de l'origine botanique, entre 500 et 6000 unités glucose **[52]**.

En raison du faible degré de ramification, l'amylose a tendance à former des agrégats semi cristallins insolubles, qui dépendent de l'emplacement des branches dans la structure **[53]**. Elle est susceptible de complexer les molécules hydrophobes : iode, acides gras, chaines hydrocarbonées) **[54]**.

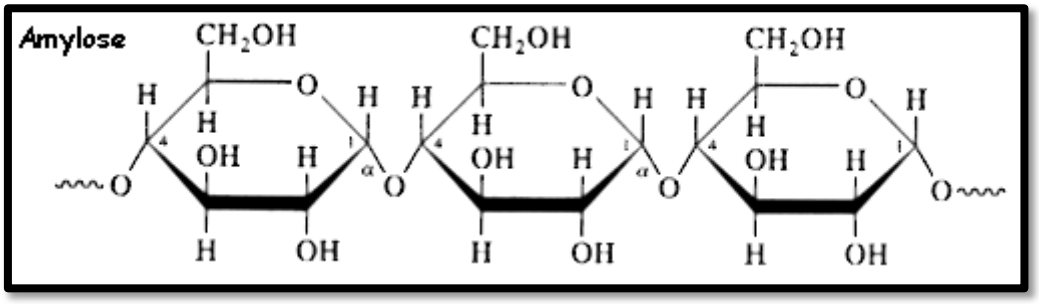


Figure I.12 : structure chimique d'amylose

✓ **Amylopectine**

L'amylopectine est le principal constituant glucidique de l'amidon 70 à 80 %. Il s'agit d'une molécule ramifiée où les unités de D-glucose sont principalement liées par des liaisons de type α (1-4) et quelques liaisons de type α (1-6). L'amylopectine est caractérisée par des masses moléculaires très élevés (107 à 108 daltons qui dépendent de l'origine botanique, du cultivar et des conditions physiologiques lors de synthèse **[55]**.

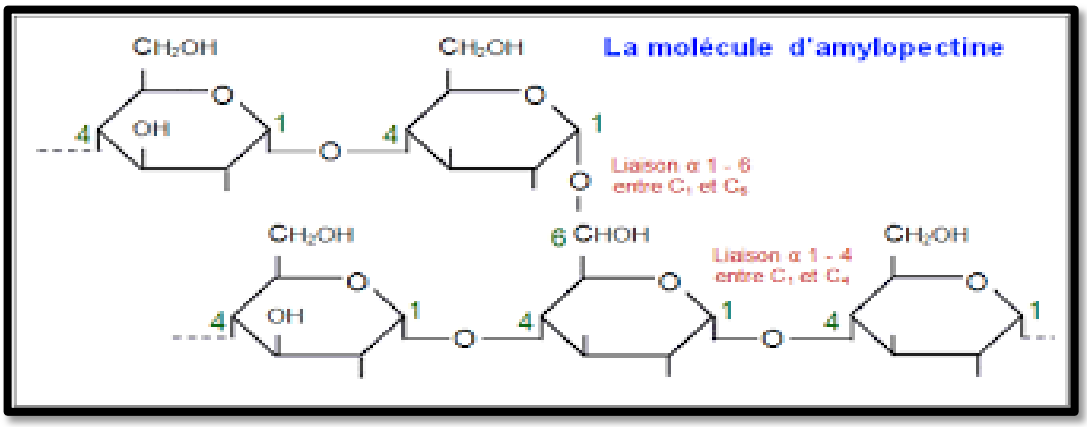


Figure I.13 **: structure chimique d'amylopectine**

IV.5 Traitement hydrothermique de l'amidon

L'amidon natif ne trouverait que très peu d'application dans l'industrie si on n'utilisant pas des traitements hydrothermiques ou thermomécaniques permettant de détruire sa structure granulaire **[56]**.

En générale, à température ambiante et mis en suspension dans l'eau, l'amidon natif, insolubles, peut fixer 10% de son poids eau **[57]**. Par contre, l'amidon chauffé en présence d'excès d'eau, subit une phase de transition d'ordre-désordre appelée gélatinisation sur une plage de température caractéristique de l'origine de l'amidon **[58]**.

✓ **Gélatinisation**

A température ambiante, l'eau pénètre plus facilement dans les régions amorphes des grains et interagit avec les molécules d'amidon par l'intermédiaire de liaisons hydrogènes, ce qui conduit à un léger gonflement des granules, qui est toutefois réversible**.** A des températures supérieures à 60°C et en présence d'un excès d'eau (> 60%), les grains d'amidons subissent un processus complexe : gonflement irréversible des grains dû à la rupture des liaisons hydrogènes **[59]**, solubilisation du contenu granulaire et perte de la structure semi cristalline du grain d'amidon. Au cours du refroidissement, l'amidon gélatinisé forme un gel **[60]**.

IV.6 Amidon modifié

L'amidon modifié est un amidon dont une ou plusieurs propriétés physiques ou chimiques sont modifiés **[54],** afin d'améliorer leurs propriétés, de limiter les problèmes occasionnés au cours de procédés industriels, ou d'ajouter de nouvelles caractéristiques **[61]**. Le but est d'améliorer la fonctionnalité et la valeur ajoutée de l'amidon. Les amidons modifiés, au contraire des amidons natifs **[62]**, présentent des propriétés fonctionnelles permettant de répondre à des besoins technologiques et nutritionnels spécifiques **[63]**.

L'amidon fait partie des épaississants. Il existe actuellement 11 différents amidons modifiés qui peuvent provenir entre autres de mais, du blé, du riz et de la pomme de terre.

IV.6.1 Action de la chaleur et traitement acide

Lorsque l'acidité et des températures élevées (>100°C) agissent ensemble, elles provoquent une hydrolyse efficace de l'amidon. Les liaisons dans les chaînes d'amidon sont rompues de manière aléatoire, ce qui liquéfie l'amidon et entraîne une diminution rapide de sa viscosité. Ces deux techniques permettent à l'amidon de se dissoudre dans l'eau froide et de produire des préparations avec une consistance modérément épaissie. **[64]**.

IV.6.2 Traitement chimique

Les amidons naturels sont sensibles aux températures élevées, aux cuissons prolongées et à la stérilisation. Dans un environnement légèrement acide sur le long terme, ils peuvent perdre leur capacité à se lier efficacement. De plus, le phénomène de rétrogradation, où une molécule d'eau est expulsée, se produit plus rapidement à des températures basses, ce qui rend ces amidons moins adaptés à la fabrication de produits surgelés. **[64].**

Afin de palier à ces inconvénients, on utilise les « amidons modifiés » qui peuvent se présenter **[65]** :

✓ Sous la forme réticulée, par des ponts créés entre les molécules afin de renforcer les ponts hydrogènes déjà présents.

Ils sont très adaptés :

- Aux aliments qui subissent des cuissons à température élevée car les liaisons chimiques sont plus stables que les liaisons hydrogènes.
- Aux aliments qui subissent des forces de cisaillement car la réticulation diminue leur fragilité.
- Et aux aliments acides dans lesquels les amidons natifs ont une forte tendance à s'hydrolyser.

✓ Sous la forme réticulée, par des ponts créés entre les molécules afin de renforcer les ponts.

✓ Sous la forme stabilisée, par réaction des groupes hydroxyles de l'amidon avec des agents mono fonctionnels pour introduire des groupes de substitution.

- Le but de ce traitement est de stabiliser l'amylose contre la rétrogradation et d'éviter l'association intermoléculaire des fractions d'amylopectine.
- Il s'agit d'amidons tels que l'acétate d'amidon, les mono phosphates, les éthers d'hydroxypropyle.
- Ils se trouvent dans les aliments subissant un long stockage à basse température car le greffage d'hydroxyle augmente les phénomènes de répulsion entre les chaînes et minimise le phénomène de rétrogradation décrit précédemment.

✓ Sous la forme oxydée, comme les amidons blanchis. Ils sont traités avec de faible quantité d'agent oxydant. Ce traitement est directement dirigé vers le blanchiment des impuretés colorées associées à l'amidon. Il consiste en l'ajout d'hypochlorite de Sodium. Ces amidons offrent une large variété de fluidité : plus le taux d'hypochlorite augmente, plus la fluidité augmente.

✓ Sous la forme spécifique, portant des charges ou non. Ces amidons sont fabriqués pour des usages bien précis, les plus importants sont : les amidons anioniques, cationiques, bipolaires et fluidifiés.

✓ Les deux premiers concernent le secteur de la papeterie ; en revanche, les deux derniers interviennent dans l'industrie agroalimentaire.

IV.7 Applications

Les applications des amidons sont définies à partir des propriétés recherchées de l'amidon :

✓ Propriétés générales : épaississant ou gélifiant.

✓ Propriétés particulières de poudre, comme émulsifiant, comme liant et adhésifs.

L'amidon et utilisé industriellement dans plusieurs applications et sous plusieurs formes. Il peut être utilisé à l'état naturel, sous forme de poudre, en film, cuit en milieu aqueux et

chimiquement modifié ou non.

Les débouchés industriels de l'amidon sont essentiellement :

✓ L'agroalimentaire à travers l'industrie des boissons, confiseries et boulangeries.

✓ L'industrie chimique qui l'utilise dans les procédés de fermentation pour la production de bioéthanol, les traitements de surface, la formulation de colles, l'encapsulation de produits pharmaceutiques, les cosmétiques, la papeterie et les matières plastiques biodégradables **[66]**.

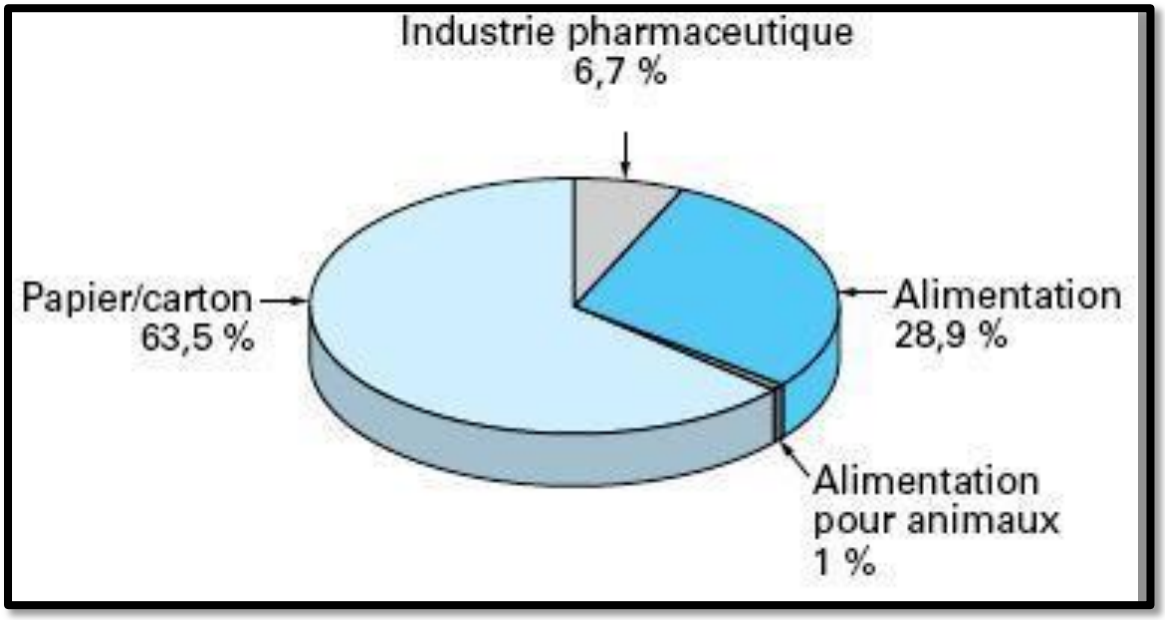


Figure I.14 : répartition des domaines d'utilisation d'amidon

Conclusion générale

Conclusion générale

L'utilisation des biomatériaux dans le traitement des eaux offre une solution innovante et durable pour la gestion des ressources hydriques. Ces matériaux, dérivés de sources naturelles et souvent biodégradables, permettent d'éliminer efficacement divers polluants tout en minimisant l'impact environnemental. Leur capacité à adsorber et dégrader les contaminants rend les biomatériaux particulièrement utiles dans la purification de l'eau, offrant une alternative écologique aux méthodes traditionnelles. Cependant, pour maximiser leur potentiel, il est crucial de surmonter certains défis, tels que l'optimisation de leurs propriétés, l'évaluation de leur performance à grande échelle, et l'acceptation par les régulateurs et les utilisateurs. En investissant dans la recherche et le développement, et en favorisant la collaboration intersectorielle, les biomatériaux peuvent devenir un pilier essentiel pour un avenir où la gestion des ressources en eau est à la fois efficace et respectueuse de l'environnement.

Références Bibliographies

[1] Ezziane S. (2007). traitement des eaux de rejets, le Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de Magister, Université HASSIBA BEN BOUALI de CHLEF, 186 p.
[2] MAYET J. (1994). La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, 2ème Edition, Paris, pp 382.
[3] Bechac J et **Boutin P**. (1984). Traitements des eaux usées, Ed EYROLLES Bd St Germain, 121p.
[4] BAUMONT S, **CAMARD J P**, **LEFRANC A**, **FRANCONI A**. (2004). Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, pp 220.
[5] MEKHALIF F. (2009) Réutilisation Des Eaux Résiduaires Industrielles Épurées Comme Eau D'appoint Dans Un Circuit De Refroidissement ; Mémoire de Magister en Chimie Option : Pollution Chimique et Environnement ; Université du 20 Août 1955. SKIKDA Faculté des Sciences Département des Sciences Fondamentales ;
[6] BOURAS H, l'impact des rejets des eaux usées urbaines industrielles sur l'irrigation cas de la région de FISDIS –BATNA.
[7] MAES M. (1999).Les résidus industriels. Edition EMETED, Paris.
[8] Breuer H. (2000). « atlas de la chimie », Librairie Générale Française
[9] INRS. (2004). Dermatoses professionnelles aux colorants, document pour le médecin de travail N°100, France, 4éme trimestre.
[10] (UMLV) Université de Marne-la-Vallée, Zawlotzki Guivarch, Elodie – 2004 Origine : **http://pelleas.univ-mlv.fr - URL : http://pelleas.univ-mlv.fr/document/UMLV-2004-000269-PDF.**
[11] Tragneg U.K, **Suiclan M.T**, Water Res. 23, 267-273 (1989).
[12] Stolte M, Vieth M. (2001).ActaEndosc. 31 (2), 125–130.
[13] ERRAIS E. (2011). Réactivité de surface d'argiles naturelles étude de l'adsorption de colorants anioniques. Thèse Université de Strasbourg, France, p75-86.
[14] BARKA N. (2008). L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO2 supporté. Thèse Université Ibn zohr Agadir, N°65, p40-65.
[15] ZOLLINGER H, (1991).Color Chemistry. Synthesis, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments 2.
[16] BENAISSA A, (2012). Étude de la faisabilité d'élimination de certains colorants textiles par certains matériaux déchets d'origine naturelle. Thèse Université Abou Bakr Balkaid, Tlemcen ,Algérie, p 15-36.
[17] Zair R. (2016). Mémoire master chimie, Modification du poly(acrylamide)par le pphénylenediamine-application à la rétention des colorants, chimie macromoléculaire, université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.
[18] Reungoat J. (2007). Etude d'un procédé hybride couplant adsorption sur zéolithes et oxydation par l'ozone: Application au traitement d'effluents aqueux industriels. thèse de doctorat. Institut national des sciences appliquées de toulouse, Université de toulouse.
[19] Suzuki M. (1990).Adsorption engineering. Elsevier.
[20] Rachidi M. H. (1994).Etude de l'adsorption de l'Octaéthylporphyrine de Nickel sur les apatites phosphocalciques. Mémoire de CEA.
[21] OUBAGHA N. (2012). Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique. Thèse de Doctorat, université mouloud mammeri,tizi ouzou, p22-23.
[22] Slejko F.L. (1985). Adsorption Technology, Marcel Dekker, New York
[23] Salam I, Bandor T.J, Roll of surface chemistry in adsorption of phenol on activated

[24] Messaoud L.A. (2011). « Contribution à la valorisation de boues de station d'épuration par l'appréciation d'une nouvelle méthodologie de l'essai au bleu méthylène ».Mémoire de maitrise. Algérie, Faculté d'architecture et de génie civile.
[25] ABID A, GUIRIDA B. (2011). Etude de l'efficacité d'un charbon actif à base de noix de dattes sur l'adsorption des métaux (calcium), Mémoire Master, Université de Ouargla, P 7- 9.
[26] MASSCHELEN W.J . (1996). processus unitaires du traitement de l'eau potable. Ed. CEBEDOC. Sprl, Liége.
[27] SREELATHA G., AGEETHA V., PARMAR J., PADMAJA P. (2011). Equilibrium and kinetic studies on reactive dye adsorption using palm shell powder and chitosan, J. Chem. Eng, Vol 56, p35-42.
[28] Edeline, F. (1992). L'épuration physico-chimique des eaux Editions CEBEDOC spril.
[29] Dincer A.R, **Guner Y**, **Karakaya N**. (2006). Coal-based botton ash (CBBA) waste material as adsorbent for removal of textile dyestuffs from aqueous solution, Colloid and interface science 293, 303-311.
[30] Sahnoun S. (2011).Synthèses, caractérisation et application des argiles organophiles, Thèse de Magister, Université du Sétif.
[31] Chouchane T.S. Chouchane A. Boukari, A. Balaska et Samar M.H. (2011).« Élimintaion du plomb en solution par la sciure de bois ». Revue des Énergies Renouvlables, vol. 14, no 4, p. 613-626.
[32] Barrett P.E.P, Joyer L.G, Halenda P.P. (1998). J.Am. Chem. Soc.73 (1951) 373-380
[33] Y.S.HO, G. Mc Kay, Chem. Eng.J.70 115-124.
[34] Lata H, Garg V.K, Gupta R.K. (2008).Adsorptive removal of basic dye by chemically activated Parthenium biomass: equilibrium and kinetic modelling. Desalination, 219, 250– 261.
[35] Edeline, Francis. (1985). L'épuration physico-chimique des eaux - Théorie et technologie, 1re éd. Liège: CEBEDOC, 282 p.
[36] Temkin M.J, Pyzhev V. (1940). Recent modifications to Langmuir Isotherms, Acta Physiochim. USSR 12, 217–222.
[37] Robert L, **Dardel F.** (2008). Adsorption J 2730 Traité Génie des procédés.
[38] BOULKRAH H. (1955). Etude comparative de d'adsorption des ions plomb sur différents adsorbants, Thèse de Magister, l'université du 20 août1955 SKIKDA, p 35, 43, 44,45.
[39] Aizawa Hu.J, Ookubo T, Morita Y, and Magara T. (1998). Conventional and nonconventional adsorbents for removal - NOPR ; Water Res., 32.
[40] Al-Degs Y, Khraisheh M.A.M, Allen S.J, and Ahmad M.N.A. (2001). sorption behavior of cationic and anionic dyes from aqueous solution on different types of activated carbons; Sep. Sci. Technol;36.
[41] Bansal R.C, Donnet J.B, Stoeckli F. (1988). Active Carbon, New York.
[42] Wigmans T. (1989). Carbon, 27, 13.
[43] Strelko V. (1999). Selective Removal of Heavy Metals Using Novel Active Carbons, Ph.D.Thesis, Department of Chemical Engineering, Loughborough University
[44] MOUMENINE S. (2011). Elimination de polluants des eaux d'usines par adsorption sur charbon de chêne en combinaison avec un désinfectant. Thèse ingénieur d'état, université Abou Bekr Belkaid –Tlemcen p 2, 3, 5, 6.
[45] Ahmadpour A. (1996). D.D. Do, Carbon, 34, 471
[46] DEVALANCE J.P. (1995) Charbons actifs ; BULLETIN DE L'UNION DES PHYSICIENS, Vol. 89 - Avril.

[47] DUPIN H, **CUP Jean-Louis**, **MALEWIAK Marie-Irène et al**. (1992). Amidon. Alimentation et nutrition humaine. PARIS : ESF éditeur, p.127-135.
[48] Eliasson A. C. (1983). Differential scanning calorimetry studies on wheat starch-gluten mixtures. II. Effect of gluten and sodium stearoyl lactylate on starch crystallization during ageing of wheat starch gels. J. Cereal Sci. 1, 207–213.
[49] Godon B. (1991). Biotransformations des produits céréaliers. I^es constituants des céréales : nature, propriétés et teneurs, Paris.
[50] MONNET D. (2008). Etude de l'évolution des propriétés mécaniques de matériaux amylacés par sélection et/ou modifications structurales dirigées, Université de Reims Champagne-Ardenne.
[51] GUILBOT A, MERCIER C. (1985). "Starch", in The polysaccharides, Volume 3, Edited by Gerald O. Aspinal, New York, Academic Press.
[52] Buléon A, Colonna P, Planchot V, Ball S. (1998). Mini review. Starch granules:structure and biosynthesis International Journal of Biological Macromolecules, **23**, 85-112.
[53] Copeland I, **Blazek Salman** H, **Tang M.C.** (2009). Form and functionality of starch.Food Hydrocolloids, 23 pp. 1527-1534.
[54] Tara A. (2005). Thèse de doctorat, Modification chimique de l'amidon par extrusion réactive, Génie des procédés, ESIEC, Reims.
[55] BANKS W, GREENWOOD C.T. (1975). Starch and its components. Ed. W. Banks et C.T. Greenwood, Edinburgh University Press.
[56] SCHWACH E. Etude de systèmes mutiphases biodégradables à base d'amidon de blé plastifié Relations structure – propriétés Approche de la compatibilisation,
[57] Oggier R. (2007). Mémoire d'Orientation technologique alimentaire, Etude de conception d'une unité d'extraction d'amidon d'igname, Gembloux.
[58] Hoover R. (2001). Composition, molecular structure, and physicochemical proprieties of tuber and root starches. Carbohydrate polymers, 45, pp. 253-267.
[59] Nayouf M, Loisel C, Doublier J.L. (2003). Effect of thermomechanical treatment on the rheological properties of crosslinked waxy maize starch. J. Food Eng. 59, 209–219.
[60] Zobel H. F, Young S. N, Rocca L. A. (1988). Starch gelatinization: an X-ray diffraction study. Cereal Chem. 65, 443–446.
[61] Bemiller J. N. (1997). Starch modification: challenges and prospects. Starch - Stärke, 49(4), 127–131. doi:10.1002/star.19970490402,
[62] Jobling S. A. (2004). Improving starch for food and industrial applications. Current Opinion in Plant Biology, 7(2), 210–218. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2003.12.001
[63] BeMiller J. N, Whistler R. (2009)**.** Starch: chemistry and technology. (J. BeMiller & R. Whistler, Eds.) (Third Edit., p. 894). San Diego: Academic Press.
[64] Leveqae E.U, Haye B, Belarbi. (2000). L'amidon et ses dérives, Applications industriels, pp 1-14.
[65] http://membres.lycos.fr/tomouche/fichiers/amidonnerie.htm286-287.
[66]http://fr.wikipedia.org/wiki/Amidon.