

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعلّم والعلم والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté des science de la nature et de la vie Et science de la terre

Et de l'univers

Département d'Ecologie et Environnement



MEMOIRE

Fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master Professionnel en Science Ecologique

Spécialité : Toxicologie industrielle et environnementale

Par :

M^{elle} Chenika Riham

M^{elle} Chebieb Sanaa

Sur le thème

Réduction de la pollution environnementale due aux colorants textiles – une approche innovante d'extraction liquide-solide

Soutenu publiquement, le 11 juin 2024 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mme DIDI Amel	MCA	Université de Tlemcen	Présidente
Mme AMARA-REKKAB Afaf	MCA	ESSA-Tlemcen	Encadrante
Mme BENYAHIA Nacera	MCB	C.U.Maghnia	Examinatrice

Année Universitaire : 2023 ~ 2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Tout d'abord et avant de débiter cette présentation, nous remercions Dieu de nous avoir donné la santé, le courage, la force, la volonté et la patience afin de commencer et conclure ce mémoire et d'atteindre la fin de notre cursus universitaire.

En premier lieu, nous voudrions exprimer notre gratitude envers notre directrice de recherche, Mme. AMARA-REKKAB AFAF pour son aide, ses précieuses recommandations, ses orientations et ses efforts qu'elle nous a consentis ainsi que ses intérêts pour notre sujet de recherche. Sa patience, sa rigueur et sa disponibilité au cours de notre préparation de ce mémoire.

Nous souhaitons également remercier monsieur BELKHOUCHE Nasr-Eddine, directeur du laboratoire des technologies de séparation et de purification « LTSP » de l'université Abou-Bekr Belkaid – Tlemcen – de nous avoir accueillis au sein de son laboratoire et de nous avoir autorisé à réaliser ce travail.

Nous tenons surtout à remercier notre responsable de spécialité, Dr. HADDAM NAHIDA, pour tous ses efforts, sa gentillesse, et qui a été toujours à nos côtés.

Nos remerciements s'expriment également à Mme BENYAHIA Nacéra et à Mme DIDI Amel, maître de conférences A à l'université de Tlemcen, qui ont accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions finalement tous les enseignants et les enseignantes de notre parcours primaire, CEM, lycée et universitaire qui nous ont pris en charge à notre formation et qui nous ont encouragés à faire de notre mieux.



Dédicace

Je tiens à dédier ce travail à toutes les personnes qui me sont chères, avec tout mon cœur.

À l'attention de mes estimés parents

Aucune dédicace ne suffirait à exprimer pleinement mon respect, mon amour éternel et ma gratitude pour les sacrifices consentis en vue de mon éducation et de mon bien-être. Je vous suis reconnaissant pour tout le soutien et l'affection dont vous m'avez entouré depuis mon enfance, et je formule le vœu que votre bénédiction m'accompagne toujours. Puissent vos souhaits les plus chers se réaliser à travers ce modeste travail, fruit de vos innombrables sacrifices, et que Dieu, le Très-Haut, vous accorde santé, bonheur et longévité.

Mère, veuillez-vous reposer, votre rêve s'est réalisé, votre fille est enfin diplômée, tel que vous l'aviez tant imaginé et souhaité.

Je dédie ce travail à mes grands-mères, grands-pères et à l'ensemble de ma famille.

La bienveillance et les encouragements de mon frère, "Miloud", ont été pour moi un modèle de persévérance.

Je perçois en lui à la fois les conseils d'un frère et le soutien d'un ami.

À mes chères sœurs

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers « Bouchra », « Aya », « Sarah » et « RAWAN » pour leur présence continue, leur soutien indéfectible et leur affection fraternelle. Ils ont été mes confidentes tout au long de cette période. Leurs encouragements et leurs paroles reconfortantes ont joué un rôle essentiel dans la réussite de ce mémoire.

À mes amies Wassila, Chaïma, Djazia, Wahiba, Souzi, Marwa, et Mariem.

À l'attention de tous mes collègues

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude pour votre amitié précieuse, vos encouragements constants et votre soutien indéfectible. Vous m'avez accompagné en me prodiguant des paroles d'encouragement, en partageant des moments de joie et en me remontant le moral dans les périodes de doute.

Je tiens à exprimer ma gratitude sincère envers "Zin Abidin Tergou" pour son soutien constant et ses encouragements inébranlables. Grâce à lui, j'ai été motivé à donner le meilleur de moi-même et à poursuivre le rêve qui m'a longtemps animé.

*En fin de compte, mon partenaire **Riham** Pour son assistance, sa patience et sa compréhension tout au long de cette étude.*

CHEBIEB SANAA



Dédicace

Du fond de mon cœur, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes, je n'arriverais jamais à leur exprimer.

À l'être le plus cher de ma vie, ma mère.

Quoi que je fasse ou je dise, je ne saurais pas exprimer mon remerciement, mon amour éternel, votre soutien moral et tes conseils pendant toutes mes années d'études vers le trajet de la réussite, me disant toujours : « Quand tu veux, tu peux ». Puisse Dieu leur accorder santé, bonheur et longue vie.

À mon très cher père, pour ses sacrifices afin de me fournir tout ce dont j'ai besoin et qui n'a jamais cessé de faire des prières à mon égard, de me soutenir et de me toujours pousser et motiver tout au long de mon chemin éducatif, puisse ALLAH le garder jusqu'à longtemps que je vivrai et de m'écouter jusqu'au dernier souffle.

À mes grands-mères, ma tante Samia qui m'ont poussé vers le succès. Que Dieu leurs donne une longue et joyeuse vie.

À mes collègues, très particulièrement Nisrine et Ikram, pour leurs courage, leurs aides et supports dans les moments difficiles.

À mes chères copines Salima et Fatima, que j'ai partagées avec eux des magnifiques moments et des souvenirs inoubliables.

Sans oublier mon binôme « CHEBIEB SANAA » pour sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

CHENIKA RIHAM

Sommaire

Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des symboles et abréviations	
<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	1

Partie A : Partie théorique

Chapitre I : Étude bibliographique

I.1 Pollution des eaux.....	3
I.1.1 Généralités.....	3
I.1.2 Les eaux usées industrielles.....	3
I.2 Les colorants textiles.....	3
I.2.1 Généralités.....	3
I.2.2 Origine des colorants	3
I.2.3 Définition d'un colorant	4
I.2.4 Classification des colorants	4
I.2.4.1 Classification chimique.....	4
I.2.4.2 Classification tinctoriale.....	6
I.2.5 Utilisation des colorants.....	8
I.2.6 Caractéristiques de « Rouge et Bleu de bemacide »	8
I.2.7 Aspect toxicologique des colorants	10
I.2.8 Impact des colorants sur l'environnement	11
I.2.9 Procédés de traitement des effluents colorés.....	11
1.2.9.1 Traitement chimique.....	11
1.2.9.2 Traitement biologiques.....	11
1.2.9.3 Elimination par adsorption.....	12
I.3 Extraction liquide-solide.....	12
I.3.1 Définition.....	12
I.3.2 Principe	12
I.3.3 Mécanismes de l'extraction Liquide-Solide.....	12
I.3.4 Domaines d'application.....	12
I.4 L'adsorption.....	13
I.4.1 Généralités sur l'adsorption	13
I.4.2 Définition de l'adsorption.....	13
I.4.3 Types d'adsorption.....	14
I.4.3.1 Adsorption chimique (ou chimisorption).....	14
I.4.3.2 Adsorption physique (ou physisorption)	14
I.4.4 Facteurs influençant l'adsorption.....	15
I.4.4.1 Les caractéristiques de l'adsorbant.....	15
I.4.4.2 Les caractéristiques de l'adsorbat.....	15
I.4.4.3 Les conditions opératoires.....	15
I.5 Généralités sur les adsorbants.....	15
I.5.1 Définition et origines des biosorbants.....	15
I.5.2 Classification des biosorbants.....	16
I.6 Docking moléculaire.....	16

I.6.1 Introduction.....	16
I.6.2 Types d'interactions moléculaire Ligand-Protéine.....	17
I.6.3 Les adsorbants utilisés dans notre étude.....	18
I.6.3.1 La caséine.....	18
I.6.3.2 β -caséine.....	18
I.6.4 L'ail.....	19
I.6.4.1 Composition chimique de l'ail.....	19

Partie B : Partie expérimentale

Chapitre II : Matériels et Méthodes

II.1 Introduction.....	21
II.2 Appareils et verreries utilisés.....	21
II.3 Produits utilisés.....	21
II.4 Préparation des solutions.....	22
II.4.1 Préparation d'une solution de Rouge de Bemacide à 50 ppm.....	22
II.4.2 Préparation d'une solution de Bleu de Bemacide à 50 ppm.....	22
II.4.3 Préparation des solutions à différentes concentrations du colorant Rouge de bemacide et Bleu de bemacide.....	23
II.5 Préparation du biosorbant.....	24
II.6 Dosage des solutions par le spectrophotomètre UV-Visible.....	25
II.7 La détermination du pH de point de charge nulle (pH pzc : The pH of point zero charge)	26
II.8 Procédé d'extraction.....	26
II.9 Etude paramétrique d'extraction des colorants par la caséine et l'ail.....	27
II.9.1 Effet de temps d'agitation.....	28
II.9.2 Effet de concentration.....	29
II.9.3 Effet de pH.....	30
II.9.4 Effet de masse.....	31
II.9.5 Effet de vitesse d'agitation.....	31
II.10 conclusion.....	31

Chapitre III : Résultats et discussions

III.1 Introduction.....	32
III.2 Courbe d'étalonnage.....	32
III.3 Optimisation de l'extraction des colorants par la caséine	34
III.3.1 Effet de temps d'agitation.....	34
III.3.2 Effet de concentration.....	35
III.3.3 Effet de pH et détermination du point de charge nulle.....	37
III.3.4 Effet de masse.....	38
III.3.5 Effet de vitesse d'agitation.....	39
III.4 Optimisation de l'extraction des colorants par l'ail.....	40
III.4.1 Effet de temps d'agitation.....	40
III.4.2 Effet de concentration.....	41
III.4.3 Effet de pH et détermination du point de charge nulle.....	42
III.4.4 Effet de masse.....	44
III.4.5 Effet de vitesse d'agitation.....	45
III.5 Résultats du docking moléculaire.....	45
CONCLUSION GENERALE.....	49
Références bibliographiques.....	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Les principaux groupes chromophores et auxochromes	4
Tableau I.2 : Classification chimique des colorants.....	5
Tableau I.3 : Classification tinctoriale des colorants.....	6
Tableau I.4 : Caractéristiques physico-chimiques de Rouge et Bleu de bémacide.....	10
Tableau I.5 : Différences principales entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.....	14
Tableau I.6 : Moyenne de la concentration en caséines de différentes espèces de lait (mg/L).....	18
Tableau II.1 : Les principaux produits chimiques utilisés.....	22
Tableau II.2 : Les volumes à prélever pour préparer les solutions filles.....	23
Tableau III.1 : L'évolution de l'absorbance des solutions de rouge de bémacide en fonction de leurs concentrations.....	32
Tableau III.2 : L'évolution de l'absorbance des solutions de bleu de bémacide en fonction de leurs concentrations.....	32

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Molécule de Rouge debemacide.....	09
Figure I.2 : Molécule de Bleu de bemacide.....	09
Figure I.3 : Phénomène d'adsorption.....	13
Figure I.4 : Les deux types d'adsorption (physique et chimique).....	14
Figure I.5 : Illustration graphique du Docking moléculaire.....	17
Figure I.6 : Caséine commerciale (casein aus Rindermilch, Biochemika).....	19
Figure II.1 : Les colorants utilisés (a) bleu de bemacide, (b) rouge de bemacide.....	22
Figure II.2 : Les solutions filles à différentes concentrations du colorant rouge de Bemacide	24
Figure II.3 : Les solutions filles à différentes concentrations du colorant bleu de Bemacide	24
Figure II.4 : L'ail utilisé comme biosorbant (a) coupé et séché, (b) broyé et tamisé.....	25
Figure II.5 : Schéma explicatif de la procédure générale d'extraction du RB et BB par la caséine et l'ail	28
Figure II.6 : Effet de temps d'agitation sur l'extraction de bleu de bemacide + caséine.....	28
Figure II.7 : Effet de concentration sur l'extraction du bleu de bemacide + l'ail.....	29
Figure II.8 : Effet de concentration sur l'extraction de rouge de bemacide + caséine.....	29
Figure II.9 : Effet de pH sur l'extraction du rouge de bemacide + l'ail.....	30
Figure II.10 : Ajustement de pH du colorant bleu de bemacide.....	30
Figure II.11 : Effet de masse du rouge de bemacide + l'ail.....	31
Figure III.1 : Courbe d'étalonnage de colorant rouge de bemacide.....	33
Figure III.2 : Courbe d'étalonnage de colorant bleu de bemacide.....	33
Figure III.3 : Effet du temps d'agitation sur le rendement d'extraction de RB et BB par la caséine.....	35
Figure III.4 : Effet de la variation de concentration de RB et de BB sur le rendement d'extraction par la caséine.....	36
Figure III.5 : Influence du pH sur le rendement d'extraction de rouge et bleu de bemacide par la caséine	37
Figure III.6 : Détermination de point de charge zéro de caséine.....	38
Figure III.7 : Influence de la masse d'adsorbant sur l'élimination de rouge et bleu de bemacide.....	39

Figure III.8 : Effet de la vitesse d'agitation sur l'extraction de rouge et bleu de bémacide par la caséine.....	40
Figure III.9 : Effet du temps d'agitation sur le rendement d'extraction de RB et BB par l'ail.....	41
Figure III.10 : Effet de la variation de concentration de RB et de BB sur le rendement d'extraction par l'ail.....	42
Figure III.11 : Influence du pH sur le rendement d'extraction de rouge et bleu de bémacide par l'ail.....	43
Figure III.12 : Détermination de point de charge zéro d'ail.....	43
Figure III.13 : Influence de la masse d'adsorbant sur l'élimination de rouge et bleu de bémacide.....	44
Figure III.14 : Effet de la vitesse d'agitation sur l'extraction de rouge et bleu de bémacide par l'ail.....	46
Figure III.15 : Interactions entre le ligand de référence et le site actif de la protéine.....	46
Figure III.16 : Structure 3D Colorant-Proteine.....	47

LISTE DES SYMBOLES & DES ABREVIATIONS

(%) : Pourcentage ;

Abs : Absorbance ;

BB : Bleu de bémacide ;

C: Concentration (mg/L);

Da: Dalton

Eq: Equation;

GLY: Glycine;

HCl : Acide chlorhydrique ;

His : Histidine ;

l : Longueur du trajet optique ;

ILE : Isoleucine,

Leu : Leucine ;

M : La masse molaire (g/mol) ;

m : Masse de l'adsorbant (g) ;

NaOH : Hydroxyde de sodium ;

pH : Potentiel d'hydrogène ;

pH_{pzc}: Point of zero charge;

PI : Point isoélectrique ;

ppm : Partie par million ;

R : Rendement d'extraction ;

R² : Coefficients de corrélation ;

RB : Rouge de bémacide ;

rpm : Nombre de rotation par minute /nombre de tours par minute ;

SER : Sérine ;

t : Temps (min) ;

T : Température (°C) ;

TYR : Tyrosine ;

V : Volume de l'adsorbat (L) ;

VAL : Valine ;

ϵ : Coefficient d'extinction spécifique molaire de la substance absorbante (en L.mol⁻¹.cm⁻¹) ;

λ_{\max} : Longueur d'onde maximale.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

« Une goutte d'eau suffit pour créer un monde »

Gaston Bachelard

L'eau est une ressource naturelle essentielle à la vie. Cette ressource naturelle englobe les trois quarts de notre planète, avec seulement 0,014 % d'eau douce, lorsqu'il s'agit des eaux superficielles (rivières, lacs et étangs). Le secteur de l'eau reste marqué par la gravité de certains problèmes, tels que la détérioration qualitative et quantitative des ressources en eau, ainsi que par ceux liés aux conditions climatiques et à la prolifération des sources de pollution. La croissance démographique rapide de la planète et l'industrialisation accélérée ont engendré de nombreux problèmes environnementaux majeurs [1].

Au cours des dernières décennies, la pollution de l'environnement a suscité une grande inquiétude chez tous les pays du monde [1]. L'industrie textile est reconnue comme l'une des principales sources de pollution à l'échelle mondiale, avec des rejets qui dépassent les cent millions de mètres cubes par an. En réalité, cette méthode utilise des colorants pour colorer les fibres et nécessite une grande quantité d'eau et de produits chimiques utilisés dans le traitement du textile qui rejettent entre 17 % et 20 % de la quantité totale de colorants dans l'environnement lors du processus de teinture [2], ces eaux usées renferment une variété de polluants organiques et inorganiques, et leur déversement dans la nature est extrêmement nocif peuvent présenter des risques à la fois pour la santé et l'environnement, en raison de leurs effets toxiques cancérigènes et de leurs structures complexes qui leur donnent une durabilité et une biodégradabilité faible [1,2].

Cette situation préoccupante doit inciter les experts (chercheurs, ingénieurs, techniciens...), de près ou de loin, à chercher des solutions de dépollution ou à proposer des procédés industriels moins polluants pour préserver nos ressources en eau et garantir la survie de toutes les espèces présentes sur Terre, ainsi que la préservation de la faune et de la flore. Pour cela, différentes méthodes ont été mises au point pour traiter les eaux usées et éliminer la propagation de ces colorants, comme l'oxydation/ozonation, la coagulation/floculation, la séparation membranaire, la photodégradation et les processus biologiques. Cependant, la plupart de ces méthodes traditionnelles sont déjà insuffisantes et sont également très coûteuses [1].

La technique d'adsorption présente un potentiel plus économique pour éliminer les colorants et les métaux lourds, en raison de son efficacité, de sa faible consommation d'énergie et de sa facilité d'utilisation en utilisant des matériaux provenant de déchets naturels d'origine biologique souvent peu ou mal valorisés, et c'est dans ce contexte que cette étude s'inscrit [1,3].

Introduction générale

Ce travail actuel porte sur la description et l'analyse de l'efficacité adsorbante de caséine et de l'ail qui sont des matériaux naturels et peu coûteux dans l'élimination des colorants textiles anioniques « Rouge et Bleu de bémacide », en solution aqueuse [3,2].

Pour mieux aborder ce sujet, le travail a été réparti en trois chapitres :

- Le premier chapitre constitue une synthèse bibliographique donnant une vision globale sur la pollution des eaux, les colorants, le processus d'adsorption et les différents biosorbants.
- Le deuxième chapitre décrit l'ensemble des expériences réalisées ainsi que le matériel utilisé dans ce travail et la préparation des solutions.
- Le dernier chapitre rassemble l'ensemble des résultats avec leurs discussions.

Ce travail a été clôturé par une conclusion générale qui a mis en évidence les principaux résultats expérimentaux obtenus.

CHAPITRE I

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Pollution des eaux :**I.1.1 Généralités :**

La pollution accidentelle et/ou volontaire des eaux par certains produits chimiques d'origine industrielle (colorants, phénols, hydrocarbures...) ou agricole (pesticides, engrais,...) est une cause de détérioration de l'environnement et suscite actuellement un intérêt particulier à l'échelle internationale [1].

Cette pollution peut être expliquée convenablement à toute altération, dans un sens négatif, d'une ou plusieurs caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques de l'eau causée par le rejet de substances liquides, solides ou gazeuses [2] qui rend son utilisation risquée et (ou) perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut s'appliquer aux eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou aux eaux souterraines [3].

Selon les différentes substances polluantes présentes dans l'eau, on peut classer les eaux usées en trois catégories : domestiques, agricoles et industrielles.

I.1.2 Les eaux usées industrielles :

Les rejets des activités industrielles dans les milieux aquatiques soulèvent des inquiétudes environnementales et sanitaires, car ils ont la capacité de détériorer intensément et de manière durable la qualité de ces milieux, qui constituent des ressources essentielles [4].

Les eaux usées industrielles (EUI) contiennent des quantités importantes d'impuretés organiques, inorganiques et microbiennes. Ces eaux résiduaires contaminent principalement les eaux de surface et souterraines [5].

I.2 Les colorants textiles :**I.2.1 Généralités :**

L'industrie des colorants constitue actuellement un rôle primordial dans la chimie [6]. Il doit avoir, en plus de sa propre couleur, la capacité de teindre des fibres textiles, des papiers, des cuirs, des fourrures, des bois, des matériaux plastiques et des élastomères. Cette caractéristique issue d'une affinité spécifique entre le colorant et la fibre est responsable des principales difficultés auxquelles on fait face lors des traitements [6].

I.2.2 Origine des colorants :

À l'époque, les colorants utilisés provenaient de sources naturelles, qu'elles soient issues de plantes telles que l'indigo ou d'animaux tels que le carmin, qui est extrait de la cochenille. Ces colorants naturels ont été utilisés jusqu'à la première moitié du XIXe siècle. Au

début du XXe siècle, les colorants artificiels ont presque complètement remplacé les colorants naturels. En 1856, le chimiste anglais William Henry Perkin a découvert la première matière colorante synthétique connue sous le nom de « mauve » (aniline, colorant basique) [7].

I.2.3 Définition d'un colorant :

Un colorant est une substance qui se colore par elle-même et qui peut se fixer sur un support par adsorption ou par formation de liaisons chimiques [7]. En règle générale, les colorants se composent d'un mélange de groupes chromophores, d'auxochromes et de structures aromatiques combinées telles que des cycles benzéniques, des anthracènes, des pérylènes, etc. Ces groupes ont la capacité de transformer la lumière blanche dans la plage visible (de 380 à 750 nm) en lumière colorée [6].

Les principaux groupes chromophores et auxochromes sont classés par ordre croissant d'intensité dans le tableau suivant.

Tableau I.1 : Les principaux groupes chromophores et auxochromes [6].

Groupes chromophores	Groupe auxochromes Groupes donneurs d'électrons
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (-N=O)	Méthylamino (-NHCH ₃)
Carbonyle (>C=O)	Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂)
Vinyle (-C=CH ₂) ou méthine (>C=)	Hydroxyle (-OH)
Nitro (-NO ₂)	Alkoxy (-OR)
Thiocarbonyle (>C=S)	

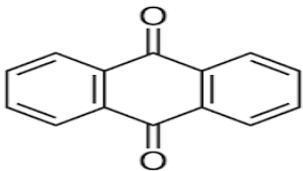
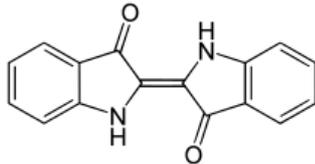
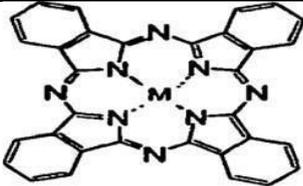
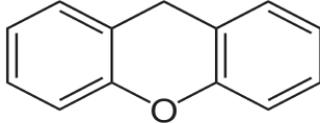
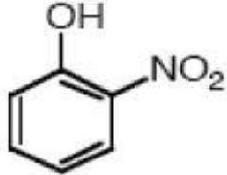
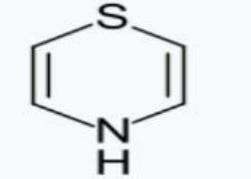
I.2.4 Classification des colorants :

Il existe deux catégories de classification des colorants : une classification chimique basée sur la composition chimique des colorants et une classification tinctoriale basée sur les méthodes d'application des colorants sur divers substrats tels que le textile, le papier ou le cuir [8].

I.2.4.1 Classification chimique :

Les colorants sont classés en fonction de leur structure chimique en fonction de la nature du groupe chromophore [9].

Tableau I.2 : Classification chimique des colorants [9].

Colorants	Caractéristiques et propriétés générales	Structures générales
Azoïques	<ul style="list-style-type: none"> - Le groupe fonctionnel azoïque ($-N=N-$) présent dans la molécule peut être répété à plusieurs reprises afin de créer des di, tri, voire poly- azoïques; - Toxiques, cancérogènes et résistants aux traitements biologiques représentent 50 % de la production mondiale de colorants. Ils se présentent sous diverses formes telles que les colorants acides, basiques, directs, réactifs solubles dans l'eau, dispersés, etc. 	
Anthraquinoniques	<ul style="list-style-type: none"> - Ces colorants sont les plus importants après les colorants azoïques; - Leur configuration globale provient de l'anthracène. - Leur chromophore est composé d'un noyau quinonique pouvant se lier à des groupes hydroxyles ou amines. - Ils englobent toutes les nuances de couleur jaune-orange-rouge. 	
Indigoïdes	<ul style="list-style-type: none"> - Ils sont nommés d'après l'Indigo dont ils dérivent; - Une résistance aux traitements de lavage est remarquable; - Une faible résistance à la lumière. 	
Phtalocyanines	<ul style="list-style-type: none"> - Fondée sur le noyau atomique du cuivre ; - Utilisés dans l'industrie des pigments pour la peinture et pour la teinture des fibres textiles. 	
Xanthènes	<ul style="list-style-type: none"> - Ces substances présentent une forte fluorescence; - Indicateurs d'accidents maritimes ou traceurs d'écoulement pour des cours d'eau souterraines. 	
Nitrés et Nitrosés	<ul style="list-style-type: none"> - On observe la présence d'un groupe nitro (NO_2) en position ortho par rapport à un groupement électrodonneur tel qu'un groupe hydroxyle ou des groupes aminés. - La structure est simple, avec un nombre restreint d'éléments et un coût relativement abordable. 	
Thiazine	<ul style="list-style-type: none"> - Existence d'un anneau composé de quatre carbones, un atome d'azote et un atome de soufre. 	

I.2.4.2 Classification tinctoriale :

Il s'agit d'une classification par domaine d'application. Différentes catégories tinctoriales peuvent être identifiées, cette fois-ci définies par les auxochromes (acide, basique, réactif, direct, mordant, dispersé, cuve, pigment, métalifer, colorants au soufre, etc.) [9].

Tableau I.3 : Classification tinctoriale des colorants [9].

Colorants		Caractéristiques et propriétés générales
Solubles dans l'eau	Basiques où Cationiques	<ul style="list-style-type: none"> - Les colorants cationiques sont des composés organiques de type sels d'ammonium quaternaire, ce qui favorise leur solubilité dans l'eau ; - Ils établissent des liaisons entre leurs groupements cationiques et les sites anioniques présents sur les fibres textiles ; - Leur résistance à la lumière est limitée.
	Acides où anioniques	<ul style="list-style-type: none"> - Leur dissociation dans l'eau est due à la présence de groupes sulfonates ou carboxylates ; - Ils présentent une forte affinité avec les fibres textiles ; - Ils sont utilisés pour teindre les fibres animales telles que la laine et la soie, ainsi que certaines fibres acryliques modifiées comme le nylon et le polyamide.
	Réactifs	<ul style="list-style-type: none"> - On observe la présence de groupes chromophores issus principalement des familles azoïques, anthraquinoniques et phtalocyanines ; - Une fonction chimique réactive de type triazinique ou vinylsulfone est présente, favorisant la formation d'une liaison covalente robuste avec les fibres ; - Il se dissout dans l'eau.

	Directs	Les colorants directs ont la capacité de générer des charges électriques positives ou négatives qui interagissent électrostatiquement avec les charges présentes dans les fibres. Ils se caractérisent par leur forte affinité pour les fibres cellulosiques, ce qui leur permet de teindre directement le coton sans nécessiter l'utilisation d'un mordant.
Insoluble dans l' eau	Colorants de cuve	- Ces colorants présentent une faible solubilité dans l'eau. - Ils sont employés lors de l'étape d'application de l'indigo, nécessitant ainsi la mise en place d'une cuve robuste et résistante aux agents de dégradation.
	Colorants à mordant	Ce type de colorants est habituellement composé d'un ligand fonctionnel capable de réagir de manière significative avec un sel
		d'aluminium, de chrome, de cobalt, de cuivre, de nickel ou de fer, afin de former une variété de complexes colorés avec le textile.
	Colorants développés ou azoïques	Il se forme dans la fibre grâce à une réaction de couplage entre une base diazotée et un agent de couplage. Ce colorant particulier est connu pour produire des teintures très résistantes sur les fibres cellulosiques.
Très peu solubles dans l'eau	Dispersés	- Leur faible solubilité dans l'eau les rend peu miscibles ; - Ils sont employés sous la forme de poudre fine dispersée dans le bain de teinture.

I.2.5 Utilisation des colorants :

L'utilisation d'une matière colorante nécessite de satisfaire à divers critères [10] :

- ✓ La résistance à l'usure ainsi que la stabilité photolytique des couleurs sont des caractéristiques essentielles à prendre en compte.
- ✓ L'adaptation à l'oxydation chimique et aux agressions microbiennes.

Les colorants trouvent leur utilisation principale dans les domaines suivants [10] :

- ✓ Dans le secteur de l'industrie textile, comprenant la fourrure et le cuir (textiles vestimentaires, textiles décoratifs, textiles de construction, textiles de transport, textiles médicaux) ;
- ✓ Dans le domaine de l'industrie des matières plastiques, notamment les pigments ;
- ✓ Dans le secteur de la construction, plus précisément dans la fabrication de peintures (pigments) ;
- ✓ Dans l'industrie pharmaceutique, utilisant des colorants ; Dans le secteur des produits cosmétiques ;
- ✓ Dans l'industrie agroalimentaire, notamment pour les colorants alimentaires ;
- ✓ Dans divers secteurs industriels tels que l'industrie de l'encre et du papier.

I.2.6 Caractéristiques de « Rouge et Bleu de bemacide » :

Le Rouge bemacide rouge et le Bleu bemacide sont des colorants industriels de synthèse utilisés pour teindre les textiles chimiques de type polyamide. Nous les avons reçus de la société de coloration des textiles, Soitex (Tlemcen) [11].

La structure chimique de RB et BB ainsi que les caractéristiques physico-chimiques sont illustrées respectivement sur les **figures I.1** et **I.2**, ainsi que sur le **tableau I.4**.

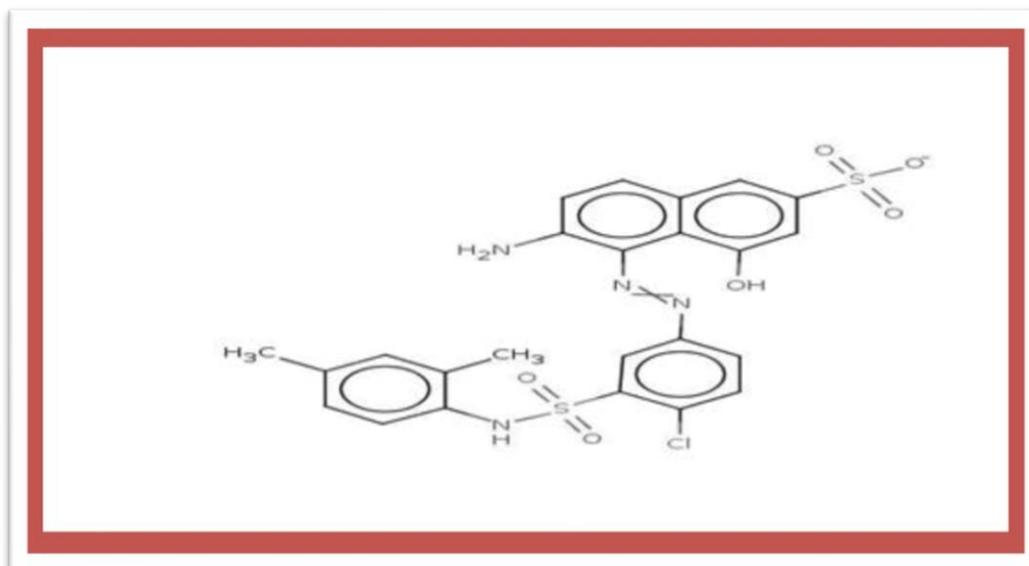


Figure I.1: Molécule de Rouge de bémacide [11].

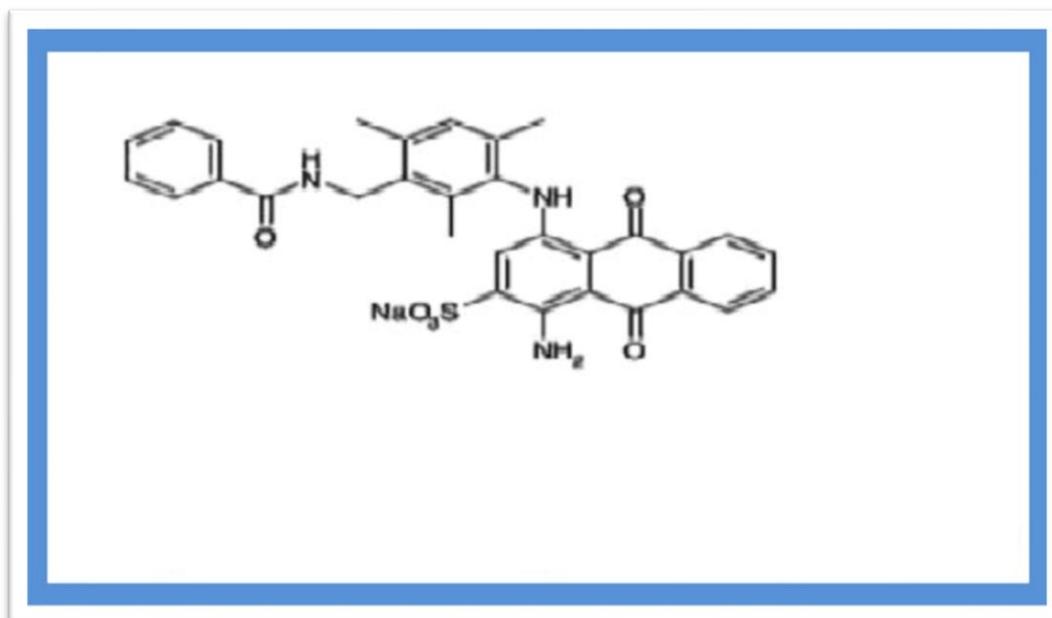


Figure I.2: Molécule de Bleu de bémacide [11].

Tableau I.4 : Caractéristiques physico-chimiques
du Rouge et du Bleu de bemacide [11].

<i>Caractéristiques Physico-chimiques</i>	<i>Rouge Bemacid</i>	<i>Bleu Bemacid</i>
Masse Molaire (g/mol)	583	693
Formule chimique	C ₂₄ H ₂₀ O ₆ N ₄ S ₂ NaCl	C ₃₁ H ₃₈ O ₆ N ₃ NaS
pH	6,60	6,26
Aspect	Poudre rouge	Poudre bleu
Solubilité dans l'eau	Elevée	Elevée
Nature	Anionique	Anionique

I.2.7 Aspect toxicologique des colorants :

La présence de colorants dans les rejets des industries textiles dans l'environnement récepteur peut entraîner des dommages significatifs pour la faune, la flore et la diversité microbienne de ces eaux.

Une étude portant sur la corrélation entre les valeurs de DL50 (indicateur de la toxicité d'une substance) et les classifications chimiques et tinctoriales des colorants démontre que les colorants synthétiques organiques les plus nocifs sont les colorants diazo et cationiques. La présence de groupes azo, caractérisée par des interactions électromagnétiques, engendre des déficiences électroniques, ce qui limite la capacité de métabolisation des substances azoïques dans des conditions environnementales aérobies. Dans de telles situations, la dose létale médiane (DL50) demeure le paramètre le plus approprié pour évaluer les effets toxiques de ces rejets [10].

Les références bibliographiques ont révélé que les colorants azoïques présentaient un risque cancérigène pour les êtres humains et les animaux. La fuchsine inhibe la croissance des algues et des petits crustacés à des concentrations minimales de 1 mg.L⁻¹ et 20 mg.L⁻¹, respectivement.

Les colorants indigoïdes ont la capacité de causer des irritations au niveau de la peau et des yeux, pouvant entraîner des lésions permanentes au niveau de la cornée et de sa conjonctive.

Les colorants tels que le bleu de victoria, le violet de méthyle, le noir anthracite BT et le vert diamant deviennent hautement toxiques pour les organismes aquatiques à des concentrations égales ou supérieures à 1 mg.L⁻¹.

I.2.8 Impacts des colorants sur l'environnement :

De nombreux colorants peuvent être visibles dans l'eau, même à des concentrations très faibles ($<1 \text{ mg.L}^{-1}$). La pollution, l'eutrophisation et les perturbations de la vie sont causées par le rejet des eaux résiduaires dans l'écosystème aquatique. Ainsi, il y a un risque potentiel de bioaccumulation qui peut affecter l'homme à travers la chaîne alimentaire [10].

- **Les dangers évidents :**

- La couleur, l'odeur et la turbidité causées par l'accumulation des colorants dans l'eau, étant donné que la coloration pourrait être perçue par l'œil humain à partir de $5 \cdot 10^{-6} \text{ g/L}$.

- Eutrophisation et inhibition de la photosynthèse.

- Le manque d'oxygène et altération des processus naturels [12].

- **Les dangers à long terme :**

- La persistance et la bioaccumulation sont causées par leur poids moléculaire élevé et leurs structures complexes.

- La formation des sous-produits de chloration qui contribuent à la croissance du cancer du foie, des poumons, des reins et de la peau [12].

I.2.9 Procédés de traitement des effluents colorés :

Dans les pays développés, les eaux provenant des usines de colorants et de textiles sont soumises à diverses méthodes d'élimination avant d'être évacuées de l'usine. On peut mentionner quelques méthodes parmi ces techniques [13] :

- **Traitement chimique :**

En général, le traitement chimique de l'effluent avec un agent de floculation est considéré comme la méthode la plus efficace et la plus puissante pour éliminer la couleur. Le procédé consiste à ajouter un agent de floculation, comme les ions ferrique (Fe^{3+}) ou d'aluminium (Al^{3+}), à l'effluent. L'oxydation chimique est une approche plus récente pour traiter les effluents, en particulier les effluents chimiques. Cette méthode utilise des oxydes forts comme l'ozone, le peroxyde d'hydrogène, le chlore ou le permanganate de potassium.

- **Traitement biologique :**

La méthode la plus couramment employée pour traiter les effluents colorés a été employée pendant plus de 150 ans. Deux types de traitement biologique existent, l'aérobie nécessite l'air (l'oxygène) pour que les bactéries dégradent la boue activée, tandis que les bactéries anaérobiques fonctionnent sans l'air.

- **Élimination par adsorption :**

La technique de séparation par adsorption repose sur l'adsorption sélective (thermodynamique ou cinétique) des divers composants gazeux ou liquides par des adsorbants, grâce à des interactions particulières entre les surfaces des adsorbants et les molécules adsorbées.

I.3 Extraction liquide-solide :

I.3.1 Définition :

L'extraction liquide-solide, communément appelée extraction en phase solide (ELS), implique le transfert de diverses substances de la phase liquide (souvent aqueuse) vers la phase solide, en utilisant un support solide non polluant et facilement régénérable en remplacement du solvant organique. Cette méthode occupe actuellement une place significative à l'échelle du laboratoire et de l'industrie pour la séparation et la purification des composés [20].

I.3.2 Principe :

Le principe de l'extraction liquide-solide est similaire à celui de l'extraction liquide-liquide. La différence réside dans le transfert de substances lors du processus d'extraction liquide-solide.

Les métaux sont fabriqués à partir d'une phase liquide (qui contient du métal) vers la phase solide (adsorbant, échangeur d'ions et/ou agent chélatant). Retenir des molécules de soluté greffées ou adsorbées sur une phase solide organique (résine) ou minérale (zéolites) [20].

I.3.3 Mécanismes de l'extraction Liquide-Solide :

Dans une extraction liquide-solide, il est possible de retenir des ions métalliques en utilisant un ou plusieurs mécanismes suivants [20] :

- Adsorption ;
- Partage ;
- Echange d'ion ;
- Complexation ;
- Chélation.

I.3.4 Domaines d'application :

Dans de nombreux domaines, l'extraction est utilisée, tels que :

- **En biologie :** il est possible de séparer les protéines en utilisant des silices greffées.
- **Dans le domaine pharmaceutique :** on peut extraire des principes actifs à partir de plantes médicinales et purifier les composés médicamenteux.

- **Dans la gestion** : des effluents très acides et l'extraction de composés toxiques, il est essentiel de respecter l'environnement [21].

I.4 L'adsorption

I.4.1 Généralités sur l'adsorption :

La séparation par adsorption est l'une des technologies la plus importante. Largement utilisé dans la séparation et la purification des gaz et liquides dans divers domaines, dont l'industrie pétrolière, les applications pétrochimiques et chimiques, environnementales et pharmaceutiques [14].

I.4.2 Définition de l'adsorption :

L'adsorption est un procédé de traitement pour éliminer de nombreux composés toxiques de l'environnement. Principalement utilisé pour le traitement de l'eau et de l'air (gaz) [15]. L'adsorption C'est un processus physico-chimique qui consiste à transférer la matière d'un fluide vers la surface d'un solide alors que le terme de « Biosorption » a été employé pour décrire la capacité des matériaux naturels, qu'ils soient morts ou vivants, à capter des ions métalliques lourds et des éléments radioactifs [16].

On désigne la substance qui se fixe sous le nom « **d'adsorbat** » ou « **soluté** ». Tandis que le solide qui est le lieu de l'adsorption est désigné comme « **adsorbant** ». Ce processus spontané est causé par l'existence de forces non compensées à la surface de l'adsorbant. Il se manifeste principalement par une variation de la concentration à l'interface de deux phases (gaz/solide ou liquide/solide) [17].

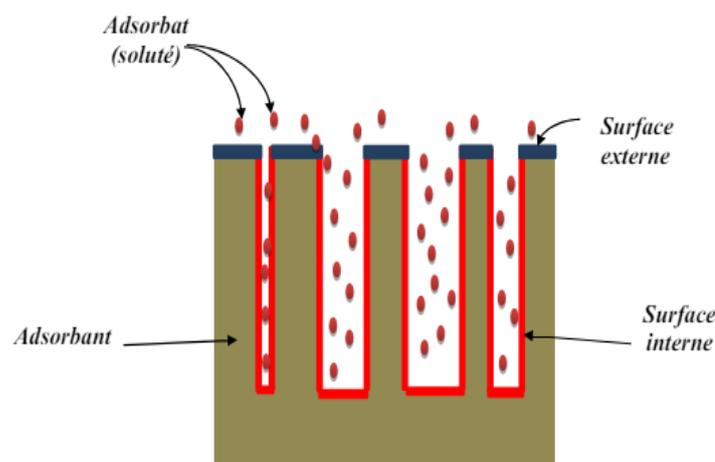


Figure I.3 : Phénomène d'adsorption.

I.4.3 Types d'adsorption :

On peut distinguer deux types d'interaction entre l'adsorbat et l'adsorbant :

I.4.3.1 Adsorption chimique (ou chimisorption) :

La chimisorption implique la formation d'une ou plusieurs liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre l'adsorbat et l'adsorbant. Contrairement à la physisorption, la chimisorption est généralement irréversible, entraînant ainsi une modification des molécules adsorbées. De plus, il est à noter qu'il est impossible d'accumuler ces molécules au-delà d'une seule couche, et seules les molécules directement liées au solide sont impactées par ce processus d'adsorption [17].

I.4.3.2 Adsorption physique (ou physisorption) :

En cas d'adsorption physique, les molécules se fixent sur plusieurs couches. Les interactions entre les molécules de soluté (adsorbat) et la surface d'un solide (adsorbant) sont principalement dues à des forces électrostatiques, des interactions hydrogènes ou des forces de van der Waals. Ce processus d'adsorption est caractérisé par sa rapidité et sa réversibilité, sans entraîner de modification des molécules adsorbées [17].

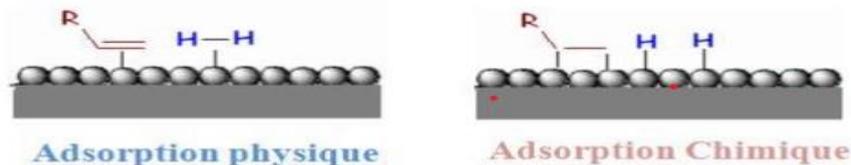


Figure I.4 : Les deux types d'adsorption (physique et chimique) [17].

Tableau I.5 : Différences principales entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique [18].

Paramètres	Chimique (ou chimisorption)	Physique (ou physisorption)
Type de liaison Adsorbant-adsorbat	Covalente ou ionique	Van Der Waals
Nombre de couche Adsorbées	Souvent une monocouche	Une ou plusieurs couches superposées
empérature	Plus élevée	Relativement faible
Cinétique d'adsorption	Très lente	Rapide

I.4.4 Facteurs influençant l'adsorption :

Le processus d'adsorption est influencé par divers éléments qui peuvent avoir un impact sur la capacité et la vitesse de rétention d'un soluté sur un adsorbant [19] :

I.4.4.1 Les caractéristiques de l'adsorbant :

- La densité et la nature des structures fonctionnelles présentes à sa surface ;
- La Surface spécifique ;
- La distribution de la taille des pores.

I.4.4.2 Les caractéristiques de l'adsorbat :

- La masse molaire ;
- La polarité ;
- La solubilité ;
- La dimension des molécules varie ;
- Les groupements fonctionnels peuvent être acides, neutres ou basiques.

I.4.4.3 Les conditions opératoires :

- Le temps de contact entre l'adsorbant et l'adsorbat ;
- La concentration en adsorbant et en adsorbat ;
- Le pH du milieu ;
- La vitesse d'agitation ;
- La masse d'agitation ;

I.5 Généralités sur les adsorbants**I.5.1 Définition et origines des biosorbants :**

Les biosorbants sont des structures organiques constituées principalement de polysaccharides, parmi lesquels la cellulose, l'hémicellulose, la lignine, la pectine, etc [22].

En général, on trouve des bioadsorbants sur les exploitations agricoles, telles que les produits alimentaires, les arbres [22]. L'utilisation de sous-produits industriels et de déchets agricoles comme matériaux vise à valoriser ces ressources tout en évitant les effets néfastes sur l'environnement et la santé. Les matériaux les plus efficaces pour la biosorption des métaux et des colorants sont ceux riches en tanin et en lignine, tels que l'écorce et la sciure de bois. De nombreuses études ont confirmé l'efficacité de ces matériaux, y compris les coquilles de noix

de coco, les écorces de pin, les feuilles de chêne et d'autres, montrant des performances similaires à celles des charbons actifs commerciaux [22].

I.5.2 Classification des biosorbants :

Les biosorbants peuvent être classés en deux catégories distinctes :

- Les biosorbants d'origine aquatique se composent de biomasse comprenant à la fois des espèces animales et végétales.
- Les biosorbants d'origine agro-industrielle incluent des matériaux végétaux provenant de l'agriculture ou de l'industrie [23].

I.6 Docking moléculaire

I.6.1 Introduction :

La méthode *in silico* du Docking moléculaire repose sur la structure 3D d'une cible d'intérêt en se basant sur la complémentarité structurelle et électronique des ligands. Le but est d'anticiper les interactions entre les molécules et leurs cibles moléculaires (plus l'énergie est négative, meilleur est la liaison du ligand).

Le processus d'amarrage se déroule en deux étapes complémentaires. Tout d'abord, on étudie l'orientation du ligand lors de son adhésion au récepteur en utilisant des algorithmes de recherche. Ces conformations sont ensuite évaluées en calculant l'énergie libre d'association, ou leur affinité pour leurs récepteurs, à l'aide d'une fonction mathématique connue sous le nom de fonction de score [24].

Trois catégories de Docking existent : rigide (la cible et le ligand sont considérés comme des objets rigides), semi-flexible (une seule molécule est considérée comme flexible), et flexible (les deux molécules sont considérées comme flexibles) [25].

En biologie, pharmacie et médecine, les logiciels de Docking sont des outils extrêmement bénéfiques, car la majorité des composés actifs sont de petites molécules (ligands) qui interagissent avec une cible biologique d'intérêt thérapeutique (protéine) ou environnementale [26].

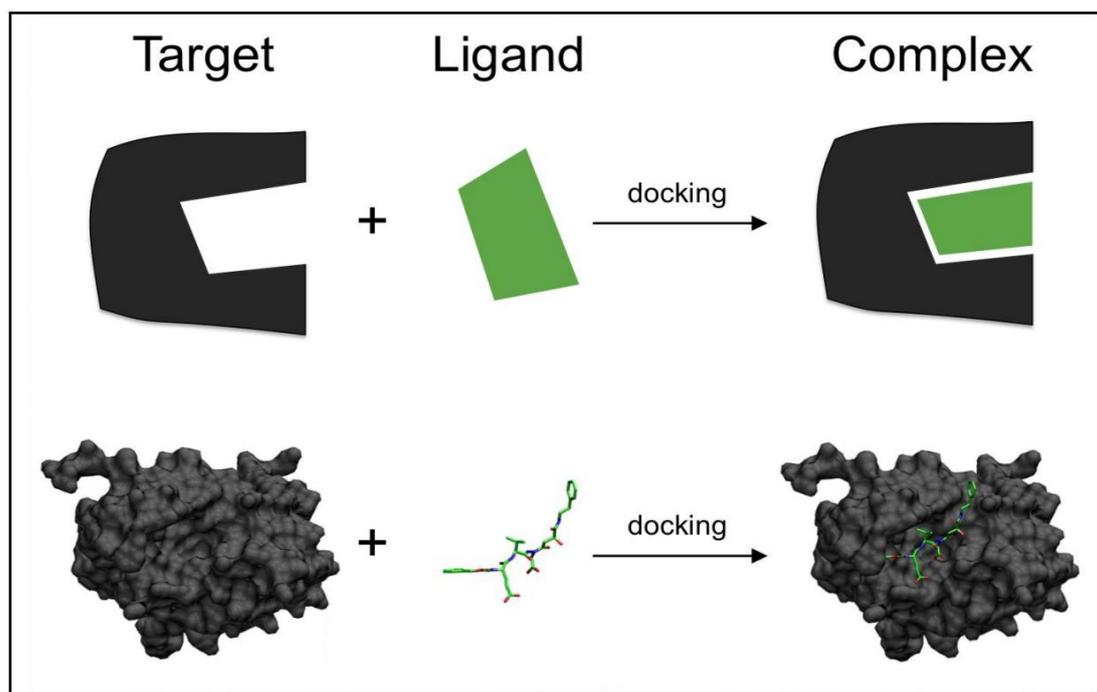


Figure I.5 : Illustration graphique du Docking moléculaire [27].

I.6.2 Types d'interactions moléculaires Ligand-Protéine :

Différentes interactions moléculaires peuvent s'établir entre le ligand et les sites actifs de la protéine. Nous citons :

- **Les interactions de Van Der Waals :**

Les interactions de Van Der Waals sont des dipôles temporaires avec un rayon d'action restreint. Il y en a de nombreuses et elles jouent un rôle essentiel dans l'étude de la concordance stérique entre le ligand et la réceptrice.

- **Les interactions hydrogènes :**

La liaison hydrogène est une interaction entre un atome d'hydrogène et un atome électro-négatif (O, N, F) qui agit à une distance très courte (0,8 à 2,8 Å) dans les systèmes biologiques.

- **Les interactions électrostatiques :**

Les échanges électrostatiques se produisent à une distance plus élevée entre les dipôles chargés. Une liaison saline, par exemple, a une distance de 3,7 à 4,5 Å et une force d'environ 8 Kcal/mol. Ces interactions sont favorisées en présence de solvant en raison de la polarité et de la petite taille de la molécule d'eau

- **Les interactions hydrophobes :**

Les substances hydrophobes sont des molécules qui ne possèdent pas de groupes chargés ou d'atomes capables de former des liaisons hydrogène, ce qui les empêche de s'hydrater. La tendance de ces groupes à se rassembler par coalescence est appelée l'effet hydrophobe.

I.6.3 Les adsorbants utilisés dans notre étude

I.6.3.1 La caséine :

La caséine est une protéine qui se déverse à une température de 20°C et un pH de 4,6 pour les bovins, 4,2 pour les équins et 4,3 pour les camels. Ils représentent 80 % des protéines totales du bovin et 40 % de celles des femmes. Le camelin contient la plus grande quantité de caséines, dont la composition en acides aminés est semblable à celle de leurs homologues bovins [28].

Les caséines sont des suspensions colloïdales produites par l'épithélium mammifère sur la base d'un signal peptide. Les particules sphériques ou micelles ne sont pas des entités moléculaires autonomes, mais sont liées à un complexe de phosphate de calcium variable, très hydraté et minéralisé [28].

Les principales caséines du lait de différentes espèces sont présentées dans le **tableau I.6** [28].

Tableau I.6 : Moyenne de la concentration en caséines de différentes espèces de lait (mg/L) [19].

Protéine	Chamelle	Vache	Femme	Fonction principale
α 1-Casein	5000	1200	Trace	Nutritive (acides aminés, Ca, P)
α 2-Casein	2200	3000	Trace	Nutritive (acides aminés, Ca, P)
β -Casein	15000	10000	4670	Nutritive (acides aminés, Ca, P)
κ -Casein	800	3500	Trace	Coagulation de la micelle de caséines

I.6.3.2 β –caséine :

La β -caséine, qui représente 37-42 % des caséines du lait, est constituée de 209 résidus d'acides aminés, 5 résidus de sérine phosphorylés et d'un poids moléculaire de 23 998 Da. Cette caséine ne contient aucune cystéine. Les caséines β présentent des zones hydrophiles et

hydrophobes, avec cinq résidus de sérine phosphorylés et 33 résidus de proline répartis de manière homogène.

La caséine β peut être sous-adhérente à des protéases telles que la plasmine, ce qui entraîne la production de la caséine γ , qui constitue entre 3 et 5 % des caséines du lait. Dans le lait de Camelin, la caséine β contient 217 acides aminés et 24,651 Da. Elle a un PI de 4,76 et possède quatre sites de phosphorylations au niveau des résidus de sérine 15, 17, 18 et 19 [28].

On retrouve fréquemment cette protéine dans différents produits alimentaires, tels que les suppléments protéinés, les produits laitiers enrichis en protéines, les aliments pour bébés et certains produits de boulangerie. Outre son usage alimentaire, la caséine commerciale est employée dans d'autres secteurs, tels que la dépollution [29]. Dans notre travail, nous avons utilisé la caséine commerciale de laboratoire comme un adsorbant.

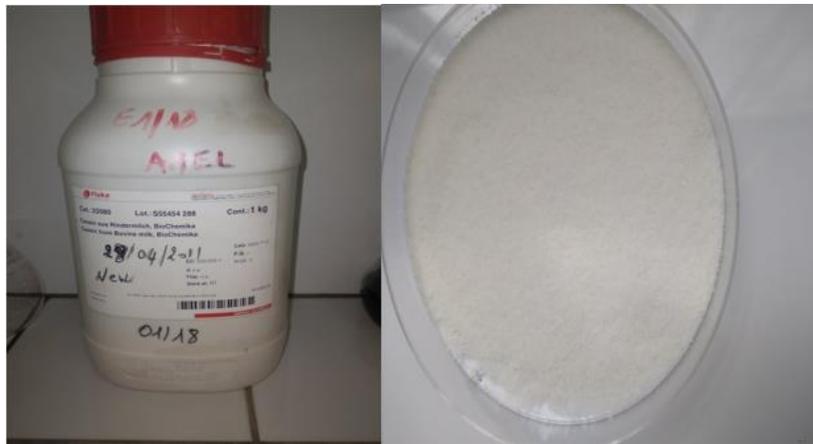


Figure I.6 : Caséine commerciale (casein aus Rindermilch, Biochemika).

I.6.4 L'ail :

L'ail est une plante aromatique connue depuis l'Antiquité. Alors qu'aujourd'hui elle est principalement employée pour ses qualités culinaires, en apportant sa saveur piquante à différents plats, elle a été utilisée à différentes fins au fil du temps. Beaucoup de caractéristiques pharmacologiques et thérapeutiques lui sont toujours attribuées à ce jour. Il est captivant de revenir sur son histoire afin de saisir l'origine de ces croyances, tout en observant ce que la science a pu mettre en lumière. Il est riche en composés sulfurés et il est lié à différents avantages pour la santé, tels que la prévention des maladies cardiovasculaires [25].

I.6.4.1 Composition chimique de l'ail :

L'ail est une plante riche en eau, polysaccharides, protéines (Lectines), lipides, glucides, fibres, acides aminés, composés organo-soufrés et vitamines (A, B1, B2, C), ainsi

qu'en acide phytique, pistostérol et sélénium, contribuant à son profil nutritionnel varié et bénéfique pour la santé [31].

- **Les lectines :**

Les lectines sont des protéines qui détectent particulièrement certains mono- ou oligosaccharides. Il ne s'agit ni d'enzymes ni d'anticorps, car les lectines n'ont pas d'activité catalytique et ne participent pas à la réponse immunitaire normale (non immunitaire). En général, les lectines ont plusieurs sites de liaison qui se lient aux glucides et qui reconnaissent spécifiquement différentes structures de sucre. Ce qui permet de réguler divers processus biologiques, On les désigne également sous le nom d'agglutinines, car elles ont la capacité d'agglutiner les cellules (telles que les globules rouges) et les composés glycoconjugués.

Les lectines se trouvent dans tous les êtres vivants (généralement dans diverses espèces végétales et principalement extraites des graines). Elles participent à la communication entre les cellules, dans l'interaction de certaines molécules avec la surface cellulaire [32].

Les végétaux offrent une abondance de lectines et représentent la principale source. Les lectines végétales sont également extraites de presque tous les tissus végétatifs, tels que les écorces, les feuilles, les tiges, les fruits et les racines. Au sein d'une même famille et d'un même tissu, ils sont structurellement semblables, mais peuvent présenter des particularités distinctes [32].

Les recherches menées dans ce mémoire ont pour objectif de mettre en lumière l'élimination des colorants textiles par des molécules protéiques. Les protéines choisies (Béta-caséine et les lectines) ont été sélectionnées car aucune étude n'a été consacrée à l'extraction des colorants à partir de ces dernières.

CHAPITRE II

MATÉRIELS ET MÉTHODES

II.1 Introduction :

Ce chapitre comprend les diverses méthodes de manipulation et les expériences réalisées afin de mener cette étude. Notre travail est basé sur l'extraction liquide-solide des colorants industriels, le rouge et le bleu de bémacide par la caséine et par le biosorbant naturel « l'ail » utilisant un spectrophotomètre UV-Visible pour la mesure des concentrations avant et après extraction.

Lors de cette expérience, différents paramètres ont été mis en évidence afin de déterminer leur impact sur l'extraction, tels que :

- Effet de temps d'agitation.
- Effet de concentration.
- Effet de pH.
- Effet de masse.
- Effet de vitesse d'agitation.

II.2 Appareils et verreries utilisés :

- Balance analytique électronique (précision 0,0001g) de marque (Pioneer™ -Ohaus).
- Agitateur magnétique multiposte (FALC) et agitateur de type (VELP).
- pH mètre de marque (APERA).
- Micropipettes de volumes variables 100 et 1000 µL (DLAB).
- Spectrophotomètre UV-visible à double faisceau (SPECOMAM).
- Une étuve de marque (POL-EKO).
- Centrifugeuse de la marque (SIGMA).
- Tamis de la marque (ORTO ALRESA).
- Mortier et papier filtre.
- Verrerie de laboratoire : fioles jugées de différents volumes ; pissette ; béchers ; entonnoirs ; pipettes graduées ; flacons en polypropylène ; barreau magnétique ; tube à essais en verre ; verre de montre ; spatule.

II.3 Produits utilisés :

Les produits chimiques qui ont été utilisés pendant notre étude expérimentale sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.1 : Les principaux produits chimiques utilisés.

Produit chimique	Formule chimique	Masse molaire
Rouge de bemacide	$C_{24}H_{20}O_6N_4S_2NaCl$	583 g/mol
Bleu de bemacide	$C_{31}H_{38}O_6N_3NaS$	693 g/mol
L'acide chlorhydrique	HCl	36,458 g/mol
L'hydroxyde de sodium	NaOH	39,997 g/mol

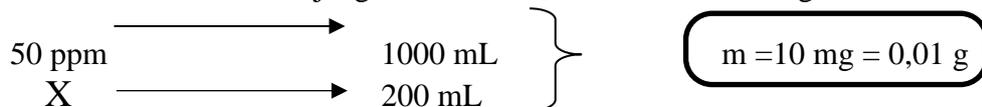


Figure II.1 : Les colorants utilisés (a) bleu de bemacide, (b) rouge de bemacide.

II.4 Préparation des solutions :

II.4.1 Préparation d'une solution de Rouge de bemacide à 50 ppm :

Dans une fiole jaugée de 200 mL, on a introduit 0,01 g du colorant rouge de bemacide.



On a ajouté une petite quantité d'eau distillée en agitant en même temps pour dissoudre toute la quantité, puis on a complété avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

II.4.2 Préparation d'une solution de Bleu de bemacide à 50 ppm :

Dans une fiole jaugée de 200 mL, on a introduit 0,1 g du colorant bleu de bemacide. On a ajouté une petite quantité d'eau distillée en agitant en même temps pour dissoudre toute la quantité, puis on a complété avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

II.4.3 Préparation des solutions à différentes concentrations du colorant Rouge de Bemacide et Bleu de Bemacide :

D'après la loi de dilution ($C_1V_1=C_2V_2$) et à partir de la solution mère, on a préparé des solutions à différentes concentrations (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 mg/L) par une simple dilution dans des fioles de 50 mL.

Les volumes à prélever de la solution mère pour préparer les solutions filles sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : Les volumes à prélever pour préparer les solutions filles.

Concentration (mol/L)	10	20	30	40
Volume à prélever (mL)	25	33,33	37,5	40

Dans une fiole de 250 mL, on a introduit une masse de 0,0175 g pour préparer une concentration de 70 ppm et on a complété avec l'eau distillée jusqu'au trait de jauge puis on a prélevé un volume de 42,85 mL pour une concentration de 60 ppm.

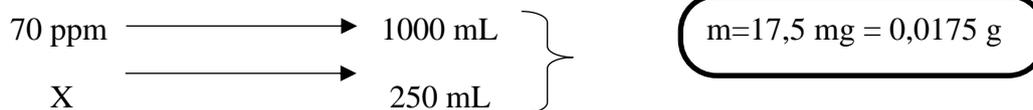




Figure II.2 : Les solutions filles à différentes concentrations du colorant rouge de Bemacide.



Figure II.3 : Les solutions filles à différentes concentrations du colorant bleu de Bemacide.

II.5 Préparation du biosorbant :

Dans notre étude, puisque la caséine utilisée est commerciale, le biosorbant préparé est l'ail suivant quelques étapes. Nous l'avons obtenue sous forme de poudre préparée au laboratoire de recherche selon le mode opératoire suivant :

- a- Coupage** en petits morceaux et **séchage** dans l'étuve pendant 48 heures à 49 °C.
- b- Broyage** par le mortier.
- c- Tamisage** avec un tamis de 0,25 mm de diamètre.

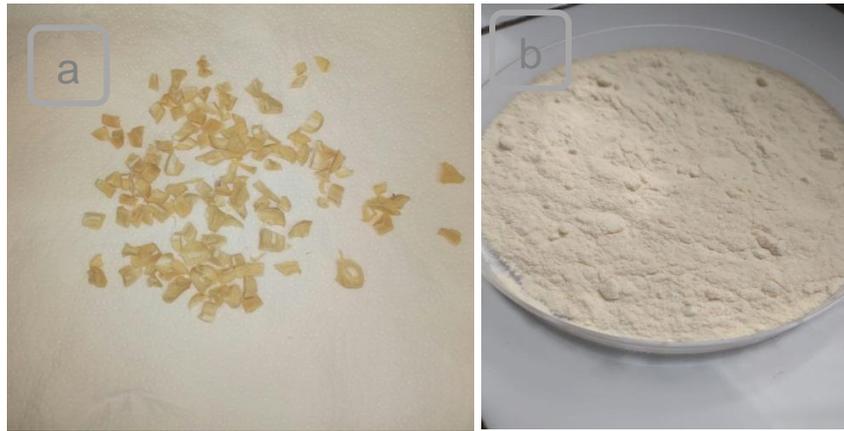


Figure II.4 : L'ail utilisé comme biosorbant (a) coupé et séché, (b) broyé et tamisé.

II.6 Dosage des solutions par le spectrophotomètre UV-Visible :

La détermination de l'absorbance des colorants avant et après extraction à des longueurs d'onde de 610 nm et 504 nm respectivement pour le Bleu et le Rouge de bémacide est effectuée par dosage spectrophotométrique UV-Visible dans le domaine du visible, en utilisant la loi de Beer-Lambert :

$$A = \epsilon.l.C$$

Avec :

A : l'absorbance de la solution (sans unité)

ϵ : Coefficient d'extinction spécifique molaire de la substance absorbante (en $L.mol^{-1}.cm^{-1}$).

l : la longueur du trajet optique (généralement 1 cm).

C : concentration de la solution à analyser (en mol/L).

Pour l'analyse :

On a utilisé une cuve en polypropylène.

Blanc : 2 mL d'eau distillée.

Pour les échantillons : 2 mL de solution (Rouge ou Bleu de bémacide).

L'absorbance maximale correspond à la longueur d'onde maximale.

II.7 La détermination du pH de point de charge nulle (pH pzc : The pH of point zero charge) :

Le pH du point de charge zéro ou nul correspond à la valeur de pH pour laquelle, la charge nette de la surface des adsorbants est nulle. Ce paramètre est très important dans les phénomènes d'adsorption. Il permet de déterminer si un adsorbant est acide ou basique et de déterminer en fonction du pH de la solution la charge de surface nette de l'adsorbant.

Si le $\text{pH} < \text{pH}_{\text{pzc}}$ alors la charge nette est positive et si le $\text{pH} > \text{pH}_{\text{pzc}}$, la charge nette est négative.

Par une façon simple et rapide, on a déterminé le pH_{pzc} , dans une série de flacons en polypropylène. Nous avons ajouté 10 mL d'eau distillée et ajusté le pH de chacun (valeurs comprises entre 2 et 8) par addition de solution de NaOH ou HCl (0,1 M). Ensuite, 0,1 g d'adsorbant ont été ajoutés à chaque flacon. Les suspensions ont été maintenues sous agitation, à température ambiante, pendant 24 heures afin de déterminer le pH final.

Le point d'intersection de la courbe $\text{pH}_i\text{-pH}_f$ en fonction de pH_i , correspond au pH_{pzc} .

II.8 Procédé d'extraction :

Sous des conditions opératoires fixées, du temps d'agitation, de la concentration, du pH, de la masse et de la vitesse d'agitation, le procédé est présenté ci-dessous :

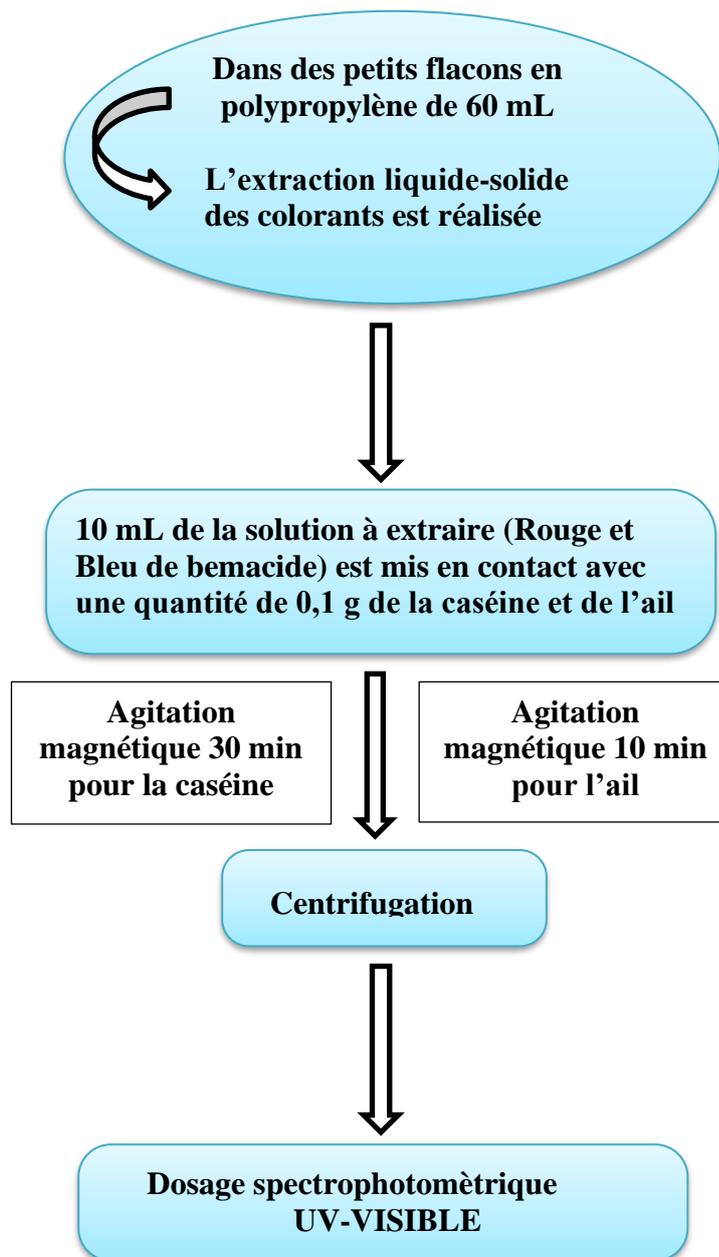


Figure II.5 : Schéma explicatif de la procédure générale d'extraction du RB et BB par la caséine et l'ail.

II.9 Étude paramétrique d'extraction des colorants par la caséine et l'ail :

Afin de distinguer l'influence des différents paramètres sur l'extraction des deux colorants rouge et bleu de bemacide par les biosorbants « caséine et l'ail », les expériences suivantes ont été menées

II.9.1 Effet de temps d'agitation :

Une étude cinétique est mise en jeu pour déterminer le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre (le maximum d'extraction), ce temps est appelé « le temps d'équilibre ». Pour cela, dans 08 flacons, 10 mL de la solution colorante est mis en contact avec 0,1 g de caséine et de l'ail à une température ambiante et sous une agitation magnétique de 200 rpm, pendant une durée de temps différente (5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 min) à une concentration de 50 ppm. À la fin de l'agitation, on a séparé les deux phases par une centrifugation de 4000 rpm durant 04 minutes et on a analysé la phase liquide par UV-visible.

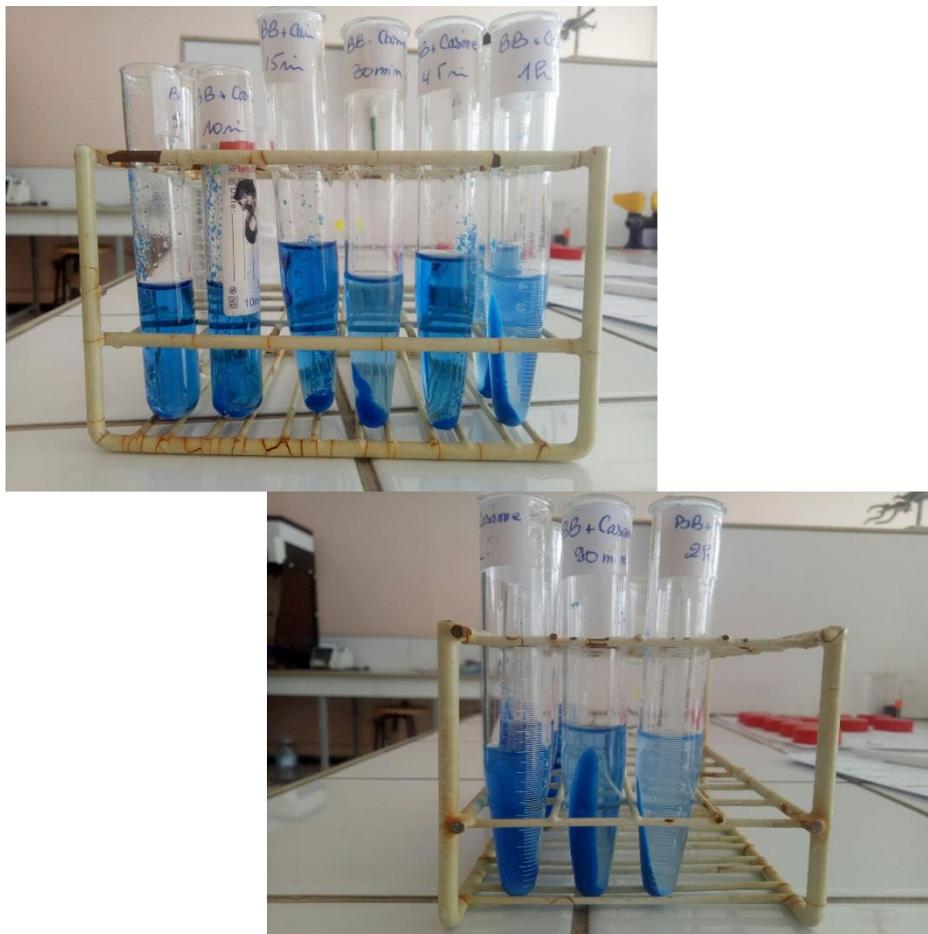


Figure II.6 : Effet de temps d'agitation sur l'extraction de bleu de bémacide + caséine.

II.9.2 Effet de concentration :

Dans le but d'étudier l'effet de la concentration des colorants, nous avons considéré les valeurs suivantes : 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 ppm. Pour cela, des masses des biosorbants 0,1 g ont été introduites dans des flacons auxquelles on a ajouté des volumes égaux (10 mL) de solutions de rouge et bleu de bémacide à différentes concentrations et placé sous agitation magnétique pour un temps d'équilibre déterminé dans l'étude cinétique de 30 minutes pour la caséine et 10 minutes pour l'ail. Puis, on a séparé les deux phases par centrifugation. Des prélèvements de la phase liquide sont effectués pour l'analyse par UV-Visible.



Figure II.7 : Effet de concentration sur l'extraction du bleu de bémacide + l'ail.



Figure II.8 : Effet de concentration sur l'extraction de rouge de bémacide + caséine.

II.9.3 Effet de pH :

Afin d'évaluer l'influence du pH du milieu réactionnel sur l'adsorption des colorants par les adsorbants, une série d'expériences a été menée en faisant varier le pH à 1, 2, 3, 7, 8 et 9 par l'ajout de HCl (0,1 M) et de NaOH (0,1 M). Dans des flacons, on a ajouté 10 mL de solution de colorant de 50 ppm avec 0,1 g des biosorbants pendant un temps de contact de 30 min pour la caséine et 10 minutes pour l'ail sous agitation magnétique. Les solutions ont été séparées avec la centrifugeuse et les diverses solutions de pH avant et après extraction ont été analysées avec UV-Visible.



Figure II.9 : Effet de pH sur l'extraction du rouge de bemacide + l'ail.



Figure II.10 : Ajustement de pH du colorant bleu de bemacide.

II.9.4 Effet de masse :

Pour pouvoir étudier ce paramètre, dans des flacons, des différentes quantités de caséine et d'ail (0,025 g, 0,05 g, 0,75 g, 1,25 g, 1,5 g) sont mises en contact avec un volume de 10 mL de colorant de concentration 50 ppm sous une agitation magnétique de 200 rpm pendant 30 minutes pour la caséine et 10 minutes pour l'ail. Les surnageants obtenus ont été analysés par UV-Visible pour déterminer le taux d'élimination du colorant en fonction de la masse de l'adsorbant ajouté.



Figure II.11 : Effet de masse du rouge de bemacide + l'ail.

II.9.5 Effet de vitesse d'agitation :

Cette étude est réalisée en fixant tous les paramètres et faire varier que la vitesse d'agitation (100, 150, 200, 250, 300 rpm), on a procédé de même manière que précédemment, on a mélangé 10 mL du colorant de 50 ppm avec 0,1 g des biosorbants jusqu'à atteindre l'équilibre. Ensuite, on a séparé les deux phases avec centrifugation, on a prélevé la phase liquide et on a dosé avec l'UV-Visible.

II.10 Conclusion :

Ce chapitre a servi à la description de la méthodologie expérimentale suivie pour améliorer l'extraction liquide-solide des colorants industriels (rouge et bleu de bemacide), et traite la préparation de biosorbant et des différentes solutions à partir de la solution mère et l'influence d'un ensemble des effets (pH, masse, ...).

CHAPITRE III

RÉSULTATS & DISCUSSIONS

III.1 Introduction :

Ce chapitre est destiné aux résultats d'adsorption des colorants industriels (rouge et bleu de bémacide) qui porte sur l'étude de l'effet des majeurs paramètres qui influent sur l'efficacité d'extraction par les biosorbants (caséine et l'ail) pour un meilleur rendement de purification des solutions en utilisant un spectrophotomètre UV-Visible pour l'analyse. Les principaux résultats de cette étude sont présentés puis discutés.

III.2 Courbe d'étalonnage :

Pour établir la courbe d'étalonnage ($A=f(C)$), on a réalisé un dosage des solutions diluées en colorants par le spectrophotomètre UV-VISIBLE à des longueurs d'onde spécifique pour des concentrations comprises entre 10 et 70 ppm.

Les résultats de la variation de l'absorbance des solutions (RB et BB) en fonction de leurs concentrations sont présentés dans les **tableaux III.1** et **III.2**.

Tableau III.1 : L'évolution de l'absorbance des solutions de rouge de bémacide en fonction de leurs concentrations.

Concentration (ppm)	10	20	30	40	50	60	70
L'Absorbance à 504 nm	0,656	0,856	0,957	0,987	1,588	1,047	1,24

Tableau III.2 : L'évolution de l'absorbance des solutions de bleu de bémacide en fonction de leurs concentrations.

Concentration (ppm)	10	20	30	40	50	60	70
L'Absorbance à 610 nm	0,405	0,516	0,608	0,637	0,826	0,880	1,068

Les deux courbes d'étalonnage du RB et BB sont données dans les **figures III.1** et **III.2**.

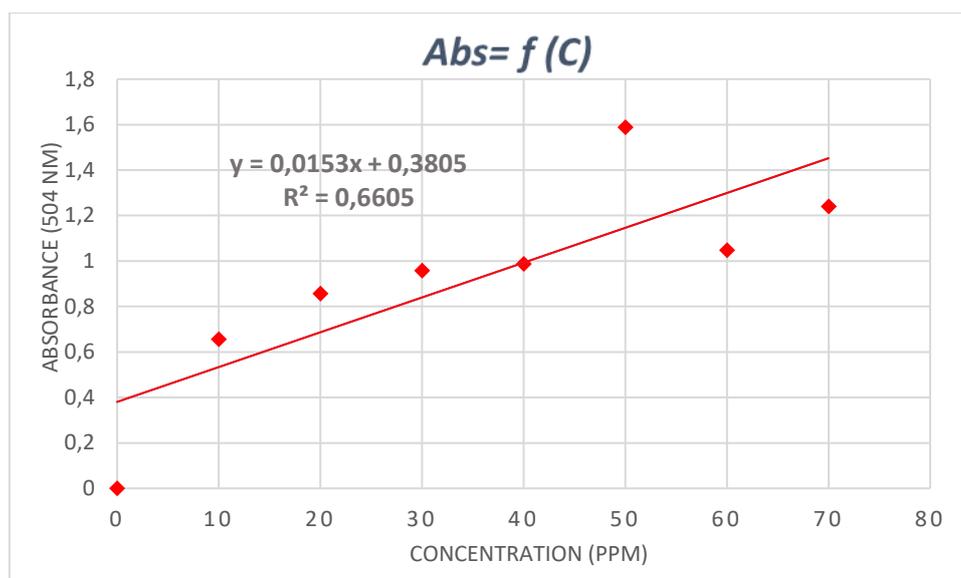


Figure III.1 : Courbe d'étalonnage du colorant rouge de bemacide.

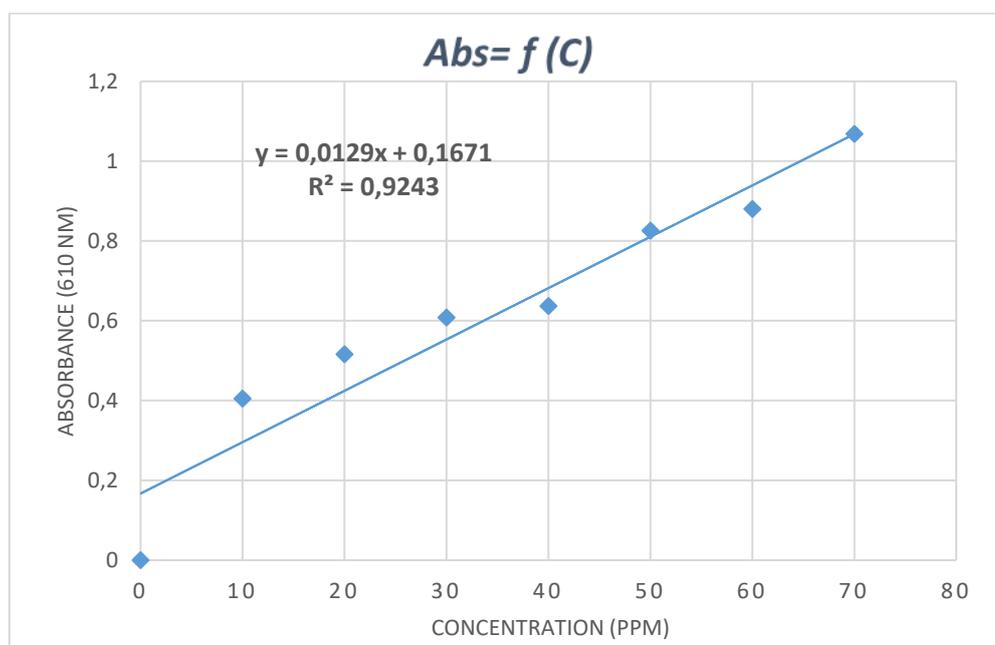


Figure III.2 : Courbe d'étalonnage du colorant bleu de bemacide.

Les deux courbes montrent la relation proportionnelle existante de l'absorbance avec la concentration de notre polluant « RB et BB », selon la relation de Beer-Lambert. Dans l'intervalle de concentration choisi, La courbe de la figure (III.1) est linéaire de l'équation suivante :

$$\text{Absorbance} = 0,0153 [\text{RB}] + 0,3805 \quad (\text{Eq III.1})$$

Avec un coefficient de corrélation : $R^2 = 0,6605$.

De l'équation (III.1) on peut tirer la relation qui permet de calculer les concentrations de RB situées dans l'intervalle [10 - 70 ppm] pour n'importe quelle absorbance.

$$[\mathbf{RB}] = \frac{\text{Absorbance} - 0,3805}{0,0153} \text{ ppm} \quad (\text{Eq III.2})$$

Dans l'intervalle de concentration choisi, La courbe de la figure (III.2) est linéaire de l'équation suivante :

$$\mathbf{Absorbance} = 0,0129 [\mathbf{BB}] + 0,1671 \quad (\text{Eq III.3})$$

Avec un coefficient de corrélation : $\mathbf{R^2 = 0,9243}$.

De l'équation (III.3) on peut tirer la relation qui permet de calculer les concentrations de BB situées dans l'intervalle [10 - 70 ppm] pour n'importe quelle absorbance.

$$[\mathbf{BB}] = \frac{\text{Absorbance} - 0,1671}{0,0129} \text{ ppm} \quad (\text{Eq III.4})$$

III.3 Optimisation de l'extraction des colorants par la caséine :

Dans le but d'optimiser le fonctionnement du procédé d'extraction et l'efficacité du biosorbant et afin de déterminer les meilleures conditions d'extraction de nos colorants, notre étude a porté sur la variation d'un ensemble de paramètres, tels que le temps d'agitation, la concentration, le pH, la masse et la vitesse d'agitation.

III.3.1 Effet de temps d'agitation :

Afin de déterminer le temps d'agitation nécessaire pour l'extraction des colorants par la caséine, nous avons suivi la variation du pourcentage d'élimination d'adsorbat pendant des durées variables allant de 5 à 120 min depuis sa mise en contact jusqu'à l'équilibre. Ce dernier est calculé à partir de l'équation suivante :

$$\text{Rendement d'extraction (\%)} = \frac{\text{Abs}_i - \text{Abs}_f}{\text{Abs}_i} * 100 \quad (\text{Eq III.5})$$

Les résultats trouvés sont mentionnés dans la figure suivante :

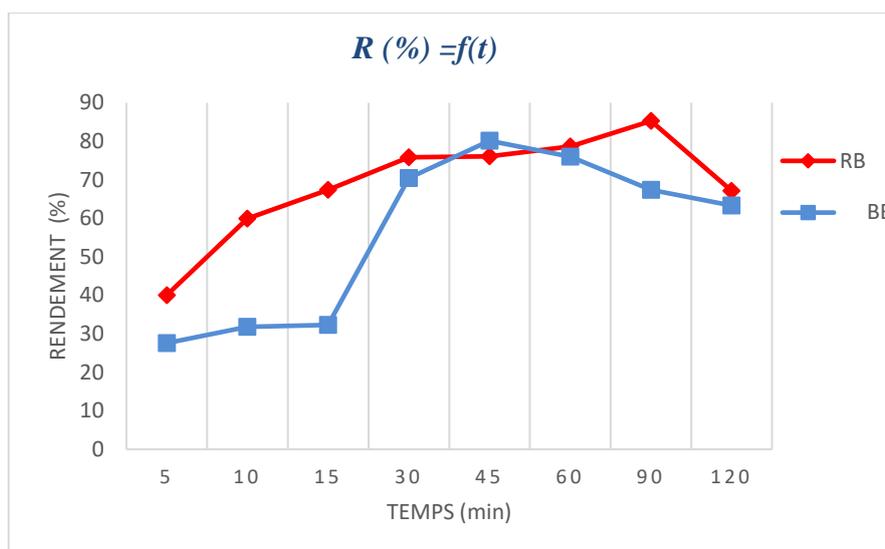


Figure III.3 : Effet du temps d'agitation sur le rendement d'extraction de RB et BB par la caséine

pH (RB) = 6,60 ; pH (BB) = 6,26 ; [RB] = [BB] = 50 ppm ; masse de biosorbant = 0,1 g ;
 $V_{\text{solution}} = 10 \text{ mL}$; $T^{\circ} = \text{Température ambiante}$; vitesse d'agitation = 200 rpm

D'après les résultats présentés précédemment, on remarque que l'équilibre est atteint pratiquement au bout de 90 et 45 minutes pour le RB et le BB respectivement. Pour la suite des expérimentations, on a opté pour un temps de contact de 30 minutes, avec un rendement de 75,81% pour le RB et 70,41% pour le BB, afin de mieux observer l'impact des autres paramètres sur le rendement d'extraction.

Au début de la réaction, l'adsorption de RB est rapide dont le rendement passe de 40,05% à 67,38% ce qui s'explique par la disponibilité d'un grand nombre de sites actifs sur la surface de caséine alors que le taux d'élimination de BB est faible, car la diffusion est insuffisante. Pour les temps de contact élevé, on remarque une augmentation d'extraction des deux colorants est dû à la diffusion à l'intérieur des pores de l'adsorbant, la quantité non adsorbée restante est représentée par la rétention d'extraction dès 90 min et interprétée par la saturation de la surface de l'adsorbant.

III.3.2 Effet de concentration :

Pour ce paramètre, les expériences ont été réalisées en variant la concentration des colorants dans l'intervalle de 10 à 70 ppm pour le suivi du changement de pourcentage d'élimination de RB et BB et en fixant tous les autres paramètres.

Les résultats issus sont rassemblés et présentés dans la figure ci-dessous :

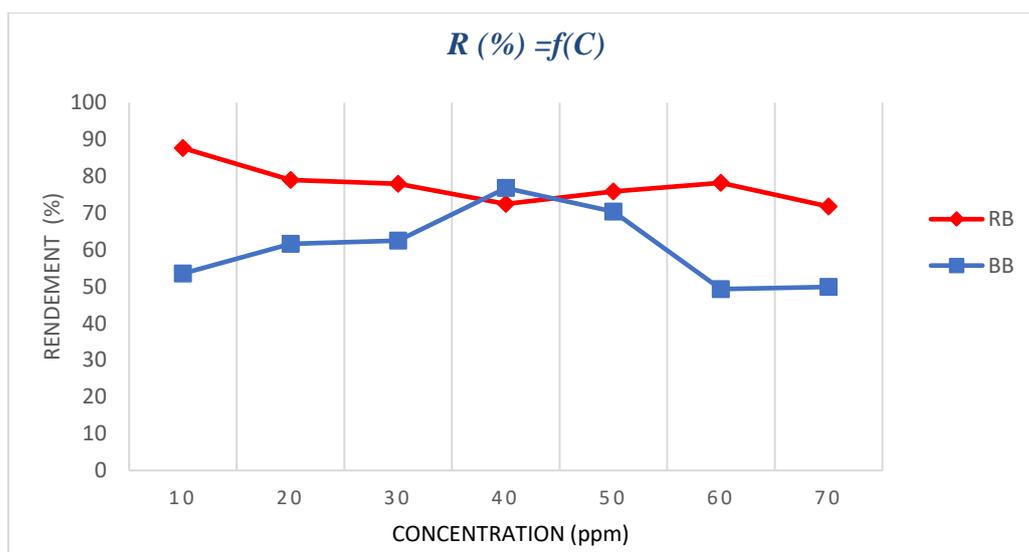


Figure III.4 : Effet de la variation de concentration de RB et de BB sur le rendement d'extraction par la caséine

pH (RB) = 6,60 ; pH (BB) = 6,26 ; masse de biosorbant = 0,1 g ; $V_{\text{solution}} = 10 \text{ mL}$; T° = Température ambiante ; vitesse d'agitation = 200 rpm ; temps de contact = 30 min.

La concentration de l'extractant joue un rôle essentiel dans le comportement global d'extraction par la caséine. Nous pouvons voir nettement sur la figure que la variation de la concentration est défavorisée pour l'extraction de RB dont le rendement diminue à des concentrations élevées, dont il a passé de 87,65 % à 72,44 % à 40 ppm. En effet, plus la concentration résiduelle du colorant RB est élevée, plus le taux d'élimination baisse pour atteindre un rendement de 71,77 à 70 ppm, et ceci est probablement dû à la saturation des sites actifs de la caséine.

La figure montre aussi qu'aux concentrations faibles, les rendements d'adsorption de BB augmentent et atteignent un pourcentage maximal de 76,76% qui revient à une concentration 40 ppm. Puis ces derniers diminuent rapidement lorsque la concentration augmente, suivie d'une stabilité qui a été constaté à 60 ppm, ce qui est dû à la saturation des sites actifs de matériau en présence d'une teneur élevée en colorant [29]. D'après ces résultats, on peut dire que l'adsorption de colorant bleu de bemacide dépend fortement aux concentrations de la solution.

III.3.3 Effet de pH Détermination du pH de point de charge nulle :

Le pH est un facteur très important, leur variation influe sur l'extraction de nos solutions colorées. Afin d'évaluer l'effet du pH sur l'adsorption des colorants étudiés, nous avons choisi une concentration de 50 ppm et des valeurs de pH allant de 1 à 9. L'acidité ou la basicité agisse considérablement sur l'élimination des deux colorants comme il est montré sur la figure suivante :

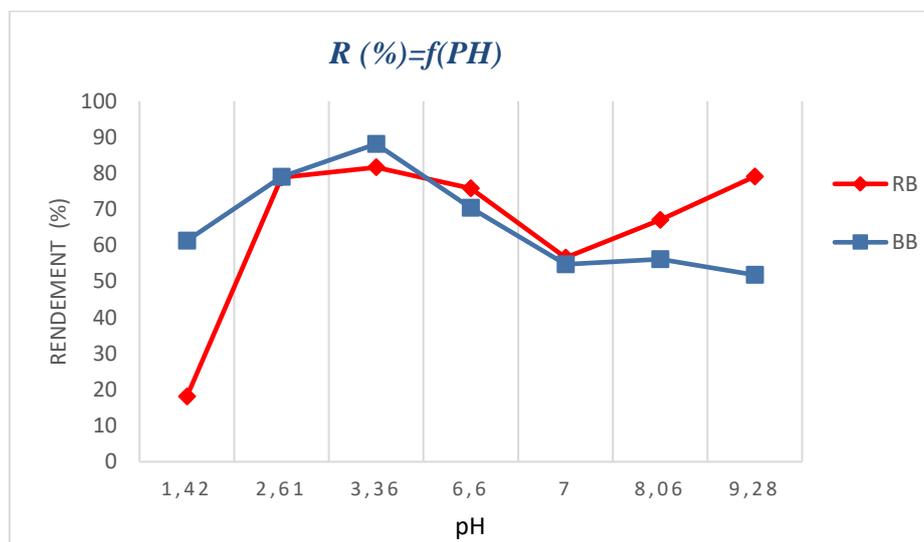


Figure III.5 : Influence du pH sur le rendement d'extraction de rouge et bleu de bemacide par la caséine

pH_i (RB) = 6,60 ; pH_i (BB) = 6,26 ; [RB] = [BB] = 50 ppm ; masse de biosorbant = 0,1g ; $V_{\text{solution}} = 10$ mL ; $T^\circ =$ Température ambiante ; vitesse d'agitation = 200 rpm ; Temps de contact=30 min

D'après les résultats obtenus lors de cette expérience, on remarque qu'en milieu fortement acide, on observe une évolution du rendement d'extraction des deux colorants de 18,08 % à 81,64 % pour le RB et de 61,3 % à 88,12 % pour le BB lorsque le pH augmente en parallèle de 1 à 3. Plus le milieu est acide, plus le rendement augmente dû aux forces d'attraction entre les colorants et la caséine.

Les meilleurs rendements d'adsorption du RB et BB sont observés pour un pH égal à 3 dont sa valeur atteint 81,64 % et 88,12 % respectivement, c'est-à-dire une bonne élimination en milieu acide.

Puis, on remarque dans la figure une forte diminution de rendement de BB lorsque le pH est fortement basique jusqu'à 51,81 % à pH = 9,33. Cependant, lorsque le pH de la solution de RB passe de 7 à 9,28, on note une augmentation de taux d'adsorption, la sorption est défavorisée due à la protonation des sites actifs de la caséine.

Dans cette expérience, l'influence du pH sur le rendement d'extraction des colorants par la caséine a été étudiée entre les valeurs 2,49 et 8,48. Les résultats de ce paramètre sont résumés dans la figure suivante :

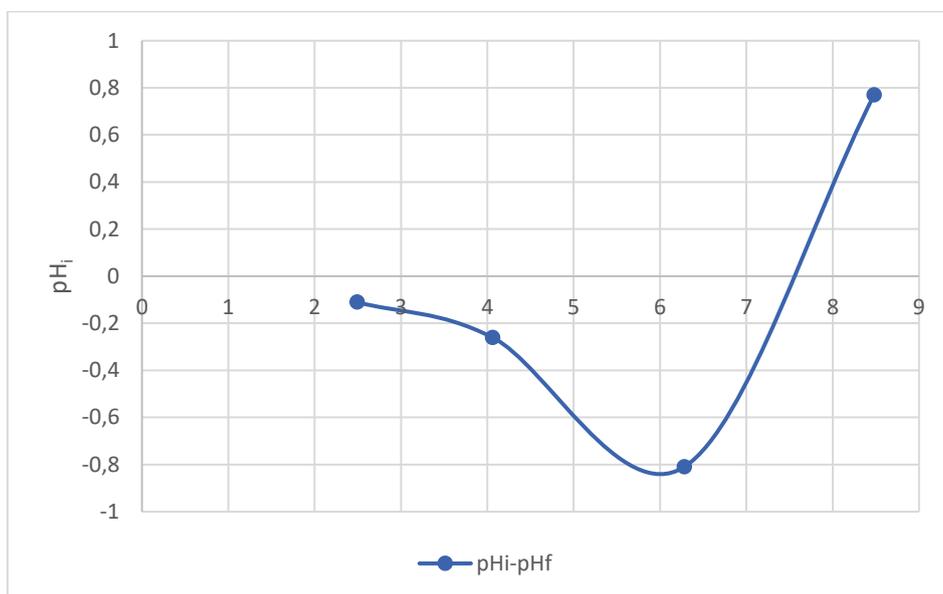


Figure III.6 : Détermination de point de charge zéro de caséine

À partir de la figure, on observe que le pH_{pzc} de caséine est égal à 7,7 cela signifie que pour des valeurs de $\text{pH} > 7,7$ la surface de l'adsorbant est chargée négativement et pour des valeurs de $\text{pH} < 7,7$ la surface est chargée positivement.

Donc aux $\text{pH} < \text{pH}_{\text{pzc}}$, la surface de caséine est chargée positivement et aux $\text{pH} > \text{pH}_{\text{pzc}}$ surface est chargée négativement. Aux $\text{pH} < 7,7$ la surface est chargée positivement, ce qui devrait favoriser le taux d'adsorption puisque les deux colorants utilisés sont anioniques. Donc nous pouvons prédire que l'adsorption des deux colorants par la caséine sera favorable aux pH très acide et inférieur à 7,7.

III.3.4 Effet de masse :

Pour déterminer la quantité de caséine nécessaire pour éliminer le maximum de colorant. On a utilisé des masses variables allant de 0,025 à 1,5 g avec une concentration de 50 ppm pour confirmer leur effet sur le phénomène d'adsorption.

Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure suivante :

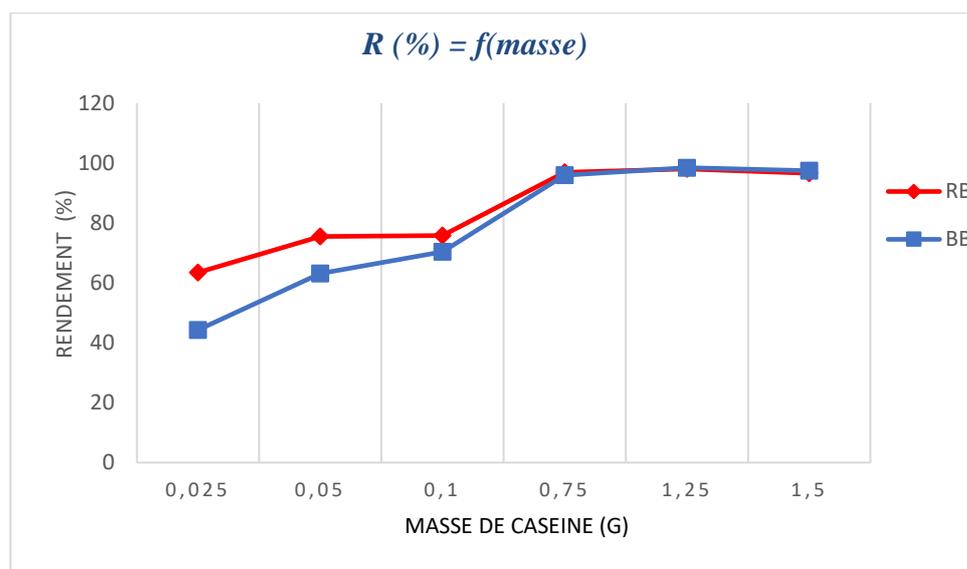


Figure III.7 : Influence de la masse d'adsorbant sur l'élimination de rouge et bleu de bémicide

pH (RB) = 6,60 ; pH (BB) = 6,26 ; [RB] = [BB] = 50 ppm ; $V_{\text{solution}} = 10 \text{ mL}$; $T^\circ =$ Température ambiante ; vitesse d'agitation = 200 rpm ; Temps de contact=30 min.

La figure montre parfaitement l'importance de l'ajout de caséine, dont on peut conclure que 1,25 g peut éliminer jusqu'à 98 % de RB et BB. En effet, le taux de rétention des colorants évolue de 63,47 % à 96,91 % pour le RB et de 44,29 % à 95,91 % pour le BB respectivement pour des masses de 0,025 g à 0,75 g puis se stabilise.

Plus la masse de biosorbant est importante, plus la cinétique d'extraction est rapide, ce qui est dû essentiellement à la surface spécifique et donc au nombre des sites d'adsorption disponibles. En effet, l'augmentation de la dose d'adsorbant fait croître le nombre des sites disponibles pour la fixation des colorants, ce qui favorise par conséquent le phénomène de décoloration.

III.3.5 Effet de vitesse d'agitation :

Dans le cas d'extraction liquide-solide, l'agitation a pour rôle d'homogénéiser et d'assurer une bonne répartition des particules en suspension dans la phase liquide. Pour vérifier l'effet de vitesse d'agitation sur le rendement d'extraction du RB et BB nous avons testé différentes vitesses : 100, 150, 200, 250, 300 rpm.

Les résultats obtenus sont présentés et exploités sous forme de figure :

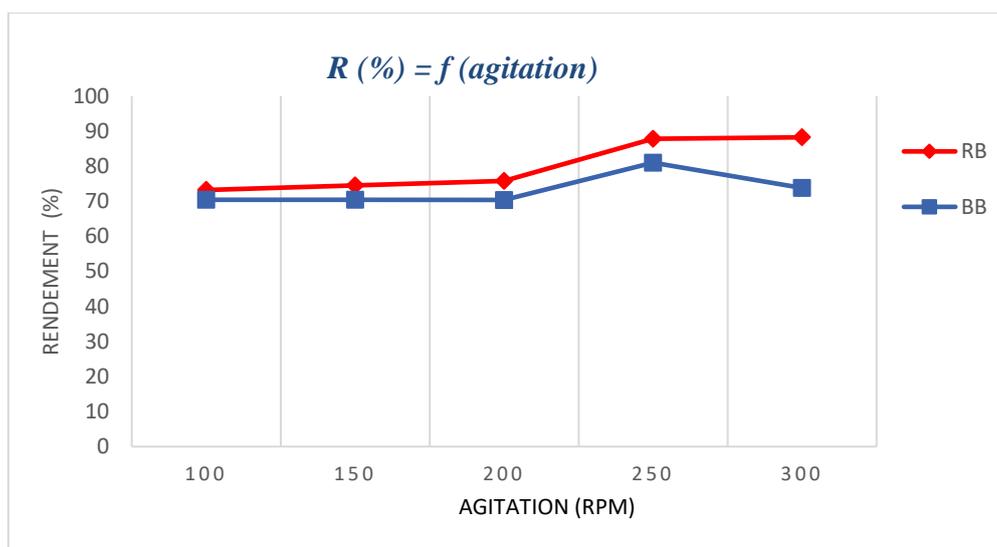


Figure III.8 : Effet de la vitesse d'agitation sur l'extraction de rouge et bleu de bémacide par la caséine

pH (RB) = 6,60 ; pH (BB) = 6,26 ; [RB] = [BB] = 50 ppm ; masse de biosorbant = 0,1g ;
 $V_{\text{solution}} = 10 \text{ mL}$; $T^\circ = \text{Température ambiante}$; Temps de contact=30 min.

Les résultats obtenus sur l'ensemble de tableau et figure montrent que le taux d'adsorption des colorants s'améliore dans les premières vitesses d'agitation dont la surface de transfert devient importante. À une vitesse d'agitation très élevée de 250 rpm le contact entre le colorant et l'adsorbant augmente jusqu'à un taux maximal de rétention de 87,84 % et 81,04 % respectivement pour le RB et BB ce qui indique une bonne diffusion et fixation des colorants vers le biosorbant utilisé.

III.4 Optimisation de l'extraction des colorants par l'ail :

Afin d'optimiser le fonctionnement d'extraction des deux colorants par l'ail, il est primordial de prendre en considération le changement des paramètres suivants : le temps d'agitation, la concentration, le pH, la masse et la vitesse d'agitation.

III.4.1 Effet de temps d'agitation :

Dans cette étape, on a remplacé seulement la caséine par l'ail en gardant les autres paramètres constants, puis on a suivi la variation de temps d'agitation sur le rendement d'extraction des colorants.

Les résultats de ce paramètre sont représentés dans la figure suivante :

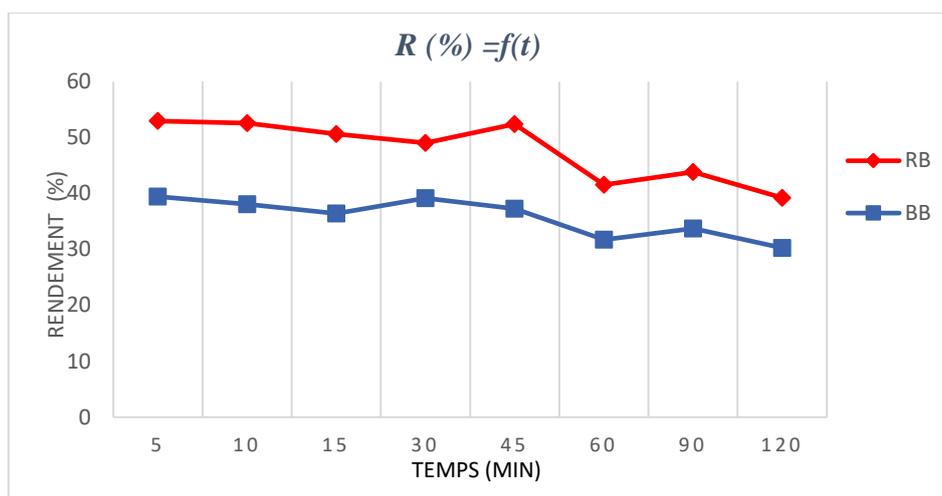


Figure III.9 : Effet du temps d'agitation sur le rendement d'extraction de RB et BB par l'ail

pH (RB) = 6,60 ; pH (BB) = 6,26 ; [RB] = [BB] = 50 ppm ; masse de biosorbant = 0,1g ;
 $V_{\text{solution}} = 10 \text{ mL}$; $T^{\circ} = \text{Température ambiante}$; vitesse d'agitation = 200 rpm.

Au vu les résultats trouvés, on constate que 10 min est la durée nécessaire pour atteindre l'équilibre avec un taux d'élimination de 52,58 % et 38,05 % respectivement pour le RB et BB.

Dès le début de l'expérience jusqu'à 45 min, une augmentation de rendement d'extraction de RB et BB a été observée qui s'explique par l'adsorption des colorants, le nombre de sites actifs disponibles sur la surface de l'ail sont beaucoup plus importants que les sites restant après une heure ce qui est représenté par une rétention de taux d'adsorption.

III.4.2 Effet de concentration :

L'étude de cet effet consiste à faire varier seulement la concentration des colorants afin de déterminer l'intervalle d'extraction optimal.

Le tracé graphique donne le pourcentage d'adsorption en fonction de la concentration de la solution est le suivant :

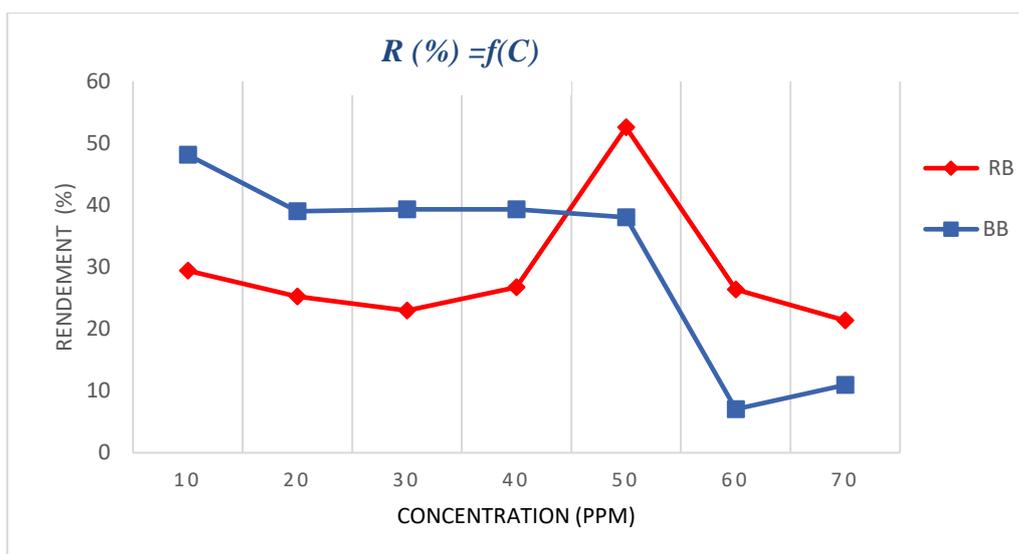


Figure III.10 : Effet de la variation de concentration de RB et de BB sur le rendement d'extraction par l'ail

pH (RB) = 6,60 ; pH (BB) = 6,26 ; masse de biosorbant = 0,1g ; $V_{\text{solution}} = 10 \text{ mL}$; $T^{\circ} =$ Température ambiante ; vitesse d'agitation = 200 rpm ; Temps de contact=10 min.

À partir des résultats, on remarque que le rendement d'extraction de BB est de 48,14% pour 10 ppm. Une augmentation de concentration au-delà 10 ppm a un effet léger sur l'évolution de rendement. Alors plus la concentration est faible, plus la cinétique est rapide. Une légère perturbation sur le rendement d'extraction de RB est remarquée pour des concentrations allant de 10 à 40 ppm, elle est due à la dispersion des particules d'adsorbant, une concentration de 50 ppm est suffisante pour avoir un rendement optimal égale à 52,58%. Cependant, lorsque la concentration passe de 50 à 60 ppm, on note une forte rétention de taux d'adsorption ceci est dû à la saturation des sites actifs de l'ail.

III.4.3 Effet de pH et détermination du point de charge nulle :

L'étude d'effet du pH sur l'extraction de RB et BB par l'ail a été réalisée en variant le pH de 1,58 à 9,06 et de 1,38 à 9,17 respectivement pour le rouge et le bleu de bémacide. Les résultats trouvés sont regroupés dans la figure suivante :

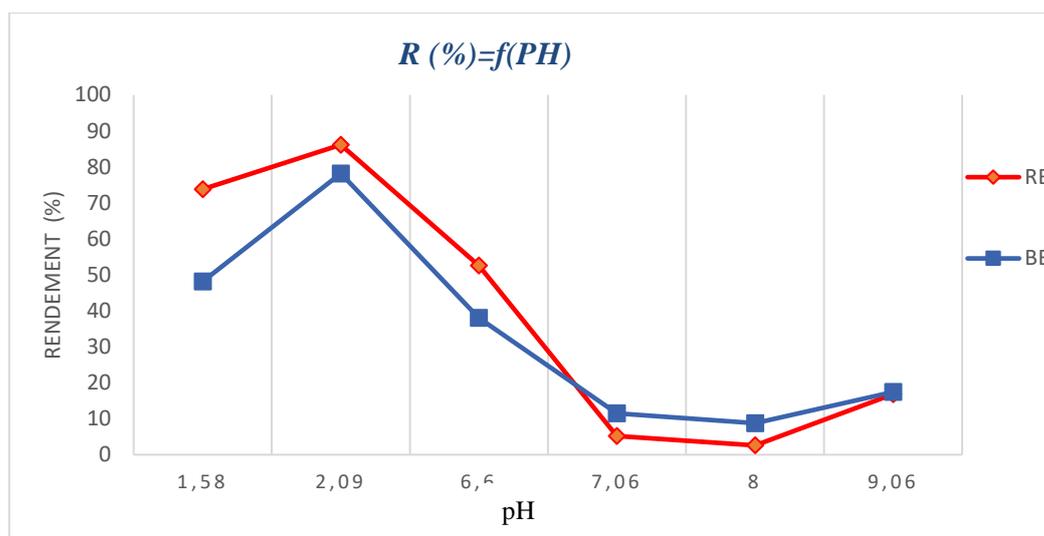


Figure III.11 : Influence du pH sur le rendement d'extraction de rouge et bleu de bémacide par l'ail

pH_i (RB) = 6,60 ; pH_i (BB) = 6,26 ; [RB] = [BB] = 50 ppm ; masse de biosorbant = 0,1g ; $V_{\text{solution}} = 10 \text{ mL}$; $T^\circ = \text{Température ambiante}$; vitesse d'agitation = 200rpm ; Temps de contact=10 min.

L'influence du pH sur le rendement d'extraction des colorants par l'ail a été étudiée entre les valeurs 2,49 et 8,48. Les résultats de ce paramètre sont résumés dans la figure suivante :

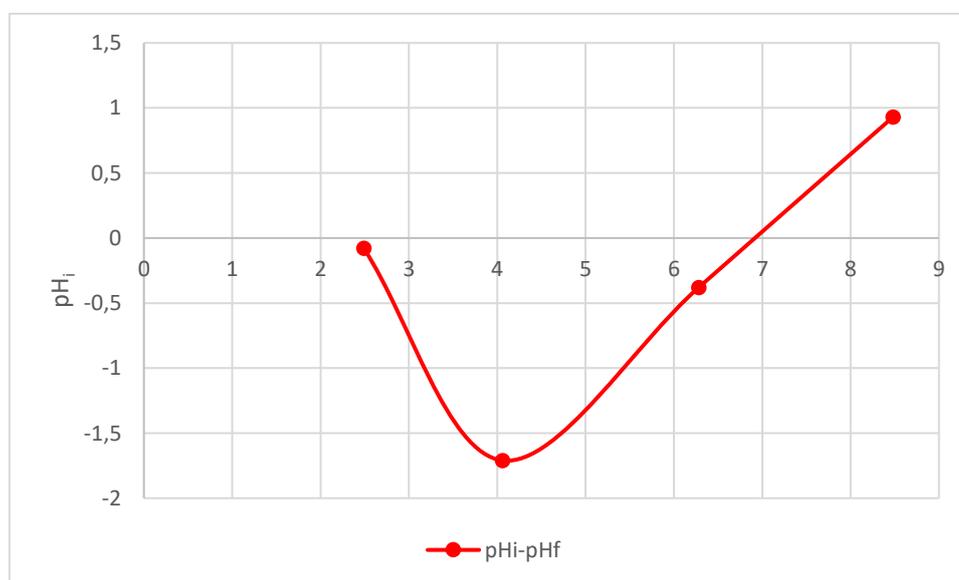


Figure III.12 : Détermination de point de charge zéro d'ail.

À partir de la figure, on observe que le pH_{pzc} de l'ail est égal à 6,9 cela signifie que pour des valeurs de $\text{pH} > 6,9$ la surface de l'adsorbant est chargée négativement et pour des valeurs de $\text{pH} < 6,9$ la surface est chargée positivement [3].

Aux $\text{pH} < 6,9$ la surface est chargée positivement, ce qui devrait favoriser le taux d'adsorption puisque les deux colorants utilisés sont anioniques. Donc, nous pouvons dire que l'adsorption des deux colorants par l'ail sera favorable aux pH très acide et inférieur à 6,9. D'après les figures III.11 et III.12, les meilleurs rendements d'extraction sont obtenus à $\text{pH} = 2,33$ et 2,09 pour le rouge et le bleu de bémacide respectivement.

III.4.4 Effet de masse :

Les résultats indiquent l'utilité de l'ajout de différentes quantités de l'ail dans les solutions colorées sont transférés sur la figure suivante :

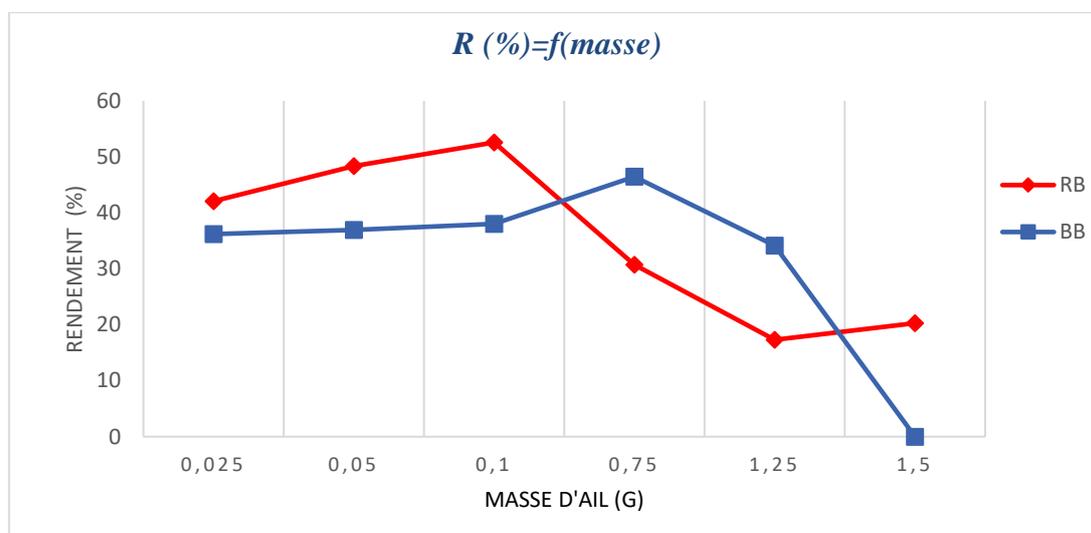


Figure III.13 : Influence de la masse d'adsorbant sur l'élimination de rouge et bleu de bémacide

$\text{pH} (\text{RB}) = 6,60$; $\text{pH} (\text{BB}) = 6,26$; $[\text{RB}] = [\text{BB}] = 50 \text{ ppm}$; $V_{\text{solution}} = 10 \text{ mL}$; $T^\circ =$ Température ambiante ; vitesse d'agitation = 200 rpm ; Temps de contact = 10 min.

D'après l'analyse des résultats, une amélioration de taux d'extraction des deux colorants a été observée jusqu'à une valeur optimale qui est de 52,58 % à 0,1 g et 46,45 % à 0,75 g respectivement pour le rouge et bleu de bémacide. À partir de ces deux masses, on remarque une variation de taux de rétention exprimé par une diminution d'adsorption à des valeurs variantes entre 0,1 et 1,5 g. Le rendement diminue à mesure que la quantité administrée augmente et saturation de notre biosorbant.

III.4.5 Effet de vitesse d'agitation :

On a étudié cet effet en modifiant que la vitesse de 100 à 300 rpm et en gardant tous les autres paramètres. Les résultats de l'influence de ce paramètre sont résumés dans la figure ci-dessous :

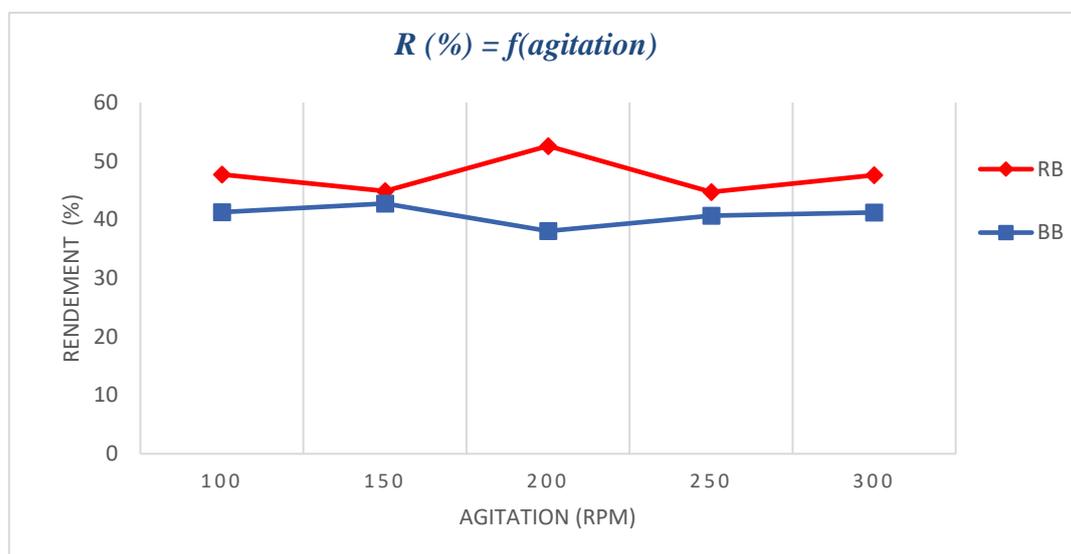


Figure III.14 : Effet de la vitesse d'agitation sur l'extraction de rouge et bleu de bemacide par la caséine

pH (RB) = 6,60 ; pH (BB) = 6,26 ; [RB] = [BB] = 50 ppm ; masse de biosorbant = 0,1g ;
 $V_{\text{solution}} = 10 \text{ mL}$; $T^{\circ} = \text{Température ambiante}$; Temps de contact=10 min

À partir de ces résultats, on constate que la variation de vitesse d'agitation influe sur l'extraction des colorants, dont le rendement de BB augmente de 41,29 % à 42,75 % avec l'augmentation de la vitesse de 100 à 150 rpm compensé par une diminution de rétention de RB de 47,73 % à 44,89 %. À 200 rpm, une diminution rapide de BB a été observé dont le rendement arrive à 38,05 %. Aux cas des fortes vitesses, une légère évolution a été remarqué à la différence du RB dont l'extraction augmente jusqu'à une valeur optimale de 52,58 % puis devient de plus en plus lente au cours du temps d'agitation.

III.5 Résultats du docking moléculaire :

Le programme AUTODOCK 4.2 a été utilisé pour mener des études de docking. Les protéines ont été obtenues à partir de la Banque des données des protéines (Lectine : 4H3O et Béta-Caséine : 7trr). Le format PDB des structures 3D du Bleu et du Rouge de Bemacide ont été créés en utilisant la base de données ChemDraw et les outils AutoDock, qui ont été intégrés.

Les atomes d'hydrogène polaire s'infiltrèrent dans les résidus d'acides aminés et éliminent les molécules d'eau. Ensuite, l'outil AUTOGRID a été utilisé avec la protéine au format PDBQT comme entrée. Blind docking (docking aveugle) était utilisé pour réaliser le docking rigide des ligands. Le visualiseur de Discovery Studio a été utilisé pour présenter les résultats (Figure III.16) [26].

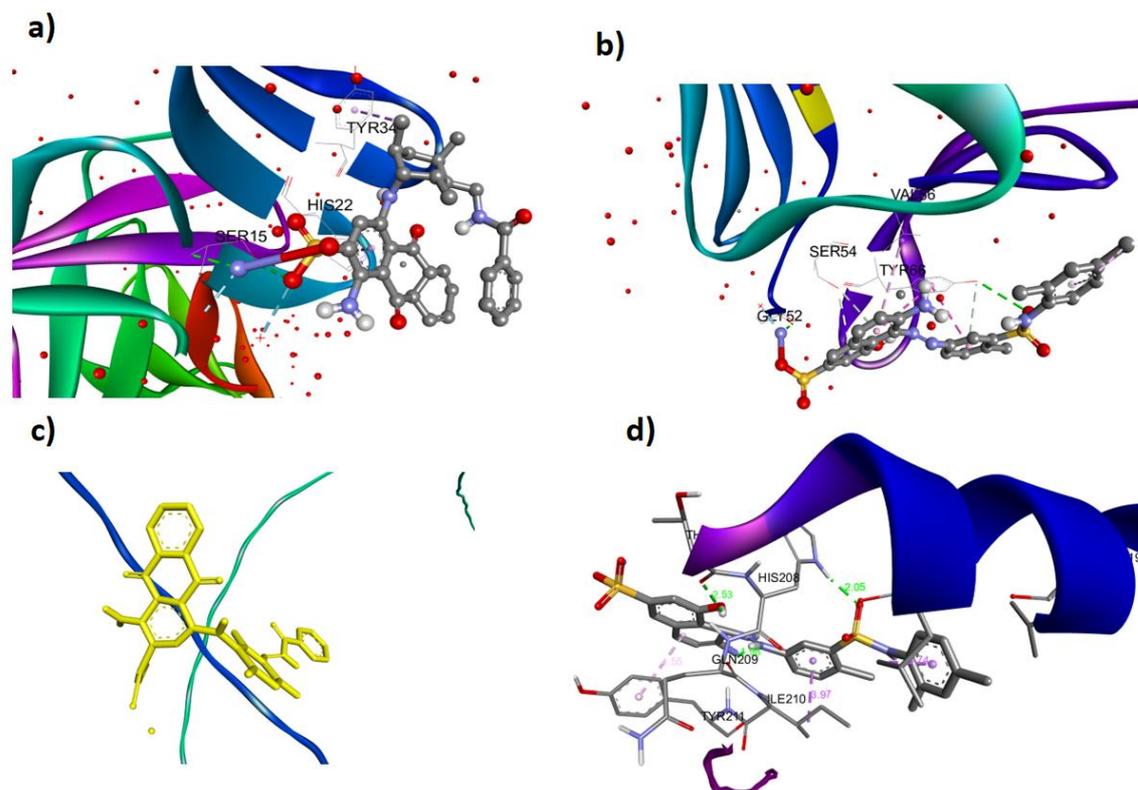


Figure III.15 : Interactions entre le ligand de référence et le site actif de la protéine.

a) BB+Lectine ; b) RB+Lectine ; c) BB+Beta-Caseine ; d) RB+Beta-Caseine

D'après l'analyse visuelle des interactions montrée dans la figure III.17, nous remarquons que Nos complexes sont stabilisé par nombreuses liaisons :

➤ **Bleu de bémacide-Lectine :**

✓ Une liaison de type Conventional Hydrogen Bond formé entre l'oxygène de l'acide aminé HIS 208 et l'hydrogène (H) de notre colorant avec une distance de 2,04709 Å.

✓ Trois liaisons hydrophobiques de type Pi-Alkyl par les acides aminés LEU 202, TYR 211 et ILE 210 avec 3,74409 Å, 4,54814 et 3,97416 Å de distance respectivement.

✓ Deux liaisons de type Conventional Hydrogen Bond formé entre l'acide aminé: SER 15, et l'hydrogène (H) du bleu de bemacide avec une distance de 2,60709 Å et 3,22096 Å respectivement.

✓ Deux liaisons hydrophobiques de type pi-sigma et pi-pi avec TYR 34 et HIS 22 d'une distance de 3,82594 Å et 4,45655 Å respectivement.

✓ Les résultats nous ont permis de calculer l'énergie de liaison entre le bleu de bémacide et la lectine qui est estimée à -7,1 Kcal / mol.

➤ **Rouge de bémacide -Lectine :**

✓ Deux interactions de type Conventional Hydrogen Bond, faisant intervenir les acides aminés suivants : TYR 66 (3,31943 Å) et GLY 52 (2,33964 Å).

✓ Deux interactions de type pi-donor H Bond, faisant intervenir l'acide aminé suivants SER 54 (3,60784 et 3,87445 Å).

✓ Trois interactions hydrophobiques :

- Deux interactions de type pi-alkyl faisant intervenir les acides aminés : CD 203 et VAL 56 avec les distances de 4,05193 Å et 5,33043 Å.
- Une interaction de type Alkyl par le résidu CD 203 (4,0009 Å).

✓ Les interactions entre les sites de protéine et le rouge de bémacide sont calculées lors du docking moléculaire qui est de -6,2 Kcal / mol.

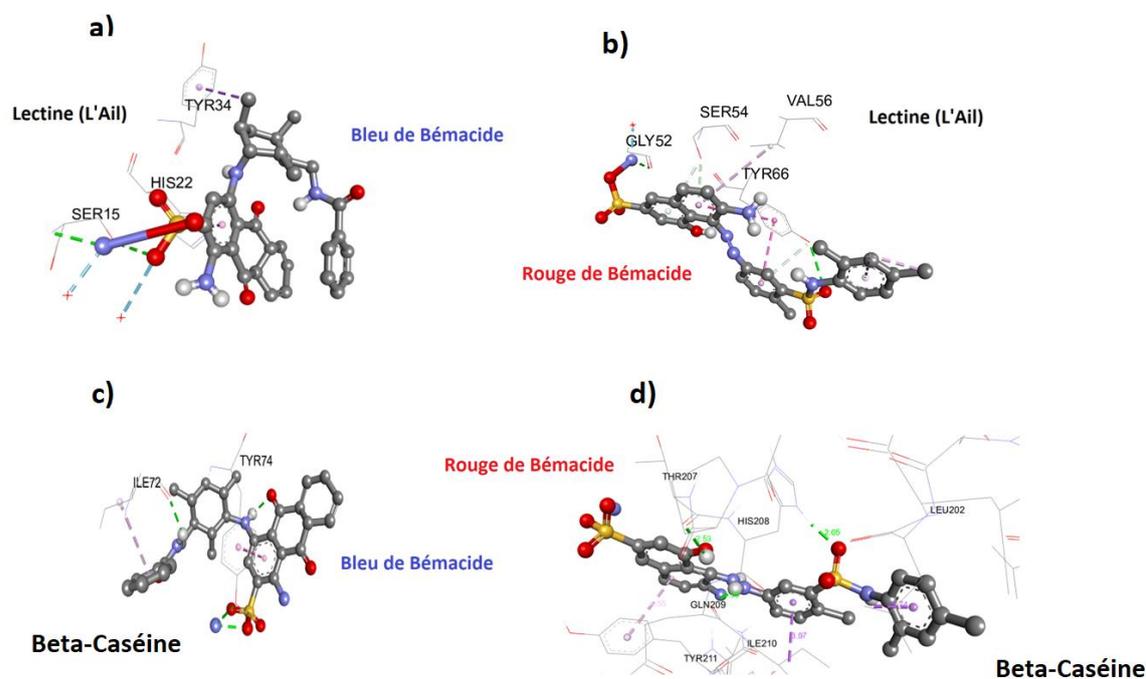


Figure III.16 : Structure 3D Colorant-Proteine.

➤ **Bleu de bémacide- Béta-Caséine :**

✓ Deux liaisons de type Conventional Hydrogen Bond formé entre les acides aminés : ILE 72, TYR 74 et l'hydrogène (H) du bleu de bémacide avec une distance de 2,43658 Å et 2,39357 Å respectivement. Les acides aminés précédents, ont établi également deux liaisons hydrophobiques de type pi-alkyl et pi-pi avec 4,14802 Å et 3,664 Å de distance respectivement et d'une énergie de liaison de -7,0 Kcal / mol.

➤ **Rouge de bémacide-Béta-Caséine :**

✓ Une liaison de type Conventional Hydrogen Bond formé entre l'oxygène de l'acide aminé HIS 208 et l'hydrogène (H) de notre colorant avec une distance de 2,04709 Å.

✓ Trois liaisons hydrophobiques de type Pi-Alkyl par les acides aminés LEU 202, TYR 211 et ILE 210 avec 3,74409 Å, 4,54814 et 3,97416 Å de distance respectivement et d'une énergie de liaison de -7,3 Kcal / mol.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion

D'après l'étude bibliographique, les colorants sont extrêmement toxiques et peuvent polluer les eaux destinées à la consommation humaine. Cependant, l'utilisation d'un des adsorbants solides (caséine et ail) par le biais d'un système d'extraction liquide-solide et par le phénomène d'adsorption peut générer des résultats satisfaisants pour éliminer ces polluants.

L'objectif de ce travail est de montrer l'intérêt du procédé d'adsorption pour l'élimination des colorants. Il concerne l'adsorption du rouge et bleu de bémacide par biosorbants à base d'une optimisation de la capacité d'adsorption par la planification des expériences en utilisant les analyses spectrophotométriques à UV-Visible, il est possible de conclure que la caséine et la poudre d'ail préparée en laboratoire peuvent être utilisées pour éliminer les deux colorants anioniques en milieux aqueux.

C'est grâce aux expériences effectuées qui ont permis, de déterminer l'influence des différents paramètres comme (l'effet de temps d'agitation, du pH, de la concentration initiale de différentes concentrations, et l'effet de masse et de vitesse d'agitation) sur le rendement d'extraction qui nous ont permis de retenir les résultats suivants :

La cinétique montre une bonne élimination du polluant rouge et bleu de bémacide rapidement pendant les premières minutes de contact jusqu'au temps d'équilibre qui est de 30 minutes pour la caséine, avec un rendement de 75,81 % pour le RB et 70,41 % pour le BB et 10 minutes en utilisant l'ail pour atteindre l'équilibre avec un taux d'élimination de 52,58 % et 38,05 % pour le RB et le BB respectivement.

L'étude de l'effet du pH a montré que l'efficacité de fixation du colorant atteint son maximum à un pH égal à 3 dans les deux colorants par la caséine et pH égal à 2 pour l'ail.

La quantité d'adsorbant ajoutée augmente l'accumulation de rouge et de bleu de bémacide. Cela est dû à l'augmentation de la surface de contact fournie par l'adsorbant. Autrement dit, plus la masse est grande, plus la quantité d'absorption est grande.

L'adsorption reste l'une des techniques les plus couramment employées et les plus simples à mettre en place dans le domaine de la dépollution et du traitement des eaux.

Des études d'amarrage moléculaire utilisant le programme AUTODOCK 4.2 ont mené des interactions significatives entre les colorants bleus de bémacide et rouge de bémacide avec les lectines et la bêta-caséine. Les résultats ont montré que le complexe formé était stable grâce à diverses liaisons hydrogène et hydrophobes et avait une énergie de liaison négative, indiquant une forte affinité entre le ligand et le récepteur.

Pour le bleu de bémacide, les énergies de liaison aux lectines et à la bêta-caséine sont respectivement de -7,1 Kcal/mol et -7,0 Kcal/mol. Pour le rouge de bémacide, ses valeurs sont

Conclusion

de -6,2 Kcal/mol pour la lectine et de -7,3 Kcal/mol pour la β -caséine. Ces résultats suggèrent que ces deux colorants pourraient interagir efficacement avec les cibles biologiques étudiées.

Dernièrement, et suite à nos résultats, nous pouvons conclure que la caséine a donné le meilleur rendement et est très efficace par rapport à l'ail.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Mimanne G, Benhabib K, Benghalem A, Taleb S, Etude de l'adsorption des métaux lourds (pb et cd) en solution aqueuse sur charbon actif et montmorillonite sodée de l'ouest Algérien, *Journal of Materials and Environmental Science*, 5 (4), 2014, 1298-1307.
- [2] Chartier M (1974). Les types de pollutions de l'eau. *Norois* 82:183–193.
- [3] Arris S, Etude expérimentale de l'élimination des polluants organiques et inorganiques par adsorption sur des sous-produits de céréales, 2008, Thèse de doctorat, Université Frères Mentouri-Constantine 1.
- [4] Morin-Crini, Nadia, et Grégorio Crini, (2017). *Eaux industrielles contaminées*. Presses universitaires de Franche-Comté.
- [5] Seyhi B, Droguil P, Buelna G, et al (2011). État actuel des connaissances des procédés de bioréacteur à membrane pour le traitement et la réutilisation des eaux usées industrielles et urbaines. *RSE* 24:283–310.
- [6] Mansour HB, Boughzala O, Dridi D, et al (2011). Les colorants textiles sources de contamination de l'eau : Criblage de la toxicité et des méthodes de traitement. *RSE* 24:209–238.
- [7] Lacene Necer I, Oukebdane K, Extraction à base de particules magnétiques de polluants organiques et inorganiques, 2023, Thèse de doctorat, Université Abou-Bekr Belkaid–Tlemcen.
- [8] Berkane N, Développement et caractérisation de nouveaux adsorbants pour l'élimination des polluants organiques en solution aqueuse, 2019, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.
- [9] Haou S, Etude et modélisation de la sorption des colorants contenu dans les effluents industriels, 2023, Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba.
- [10] Djafer A, Traitement biologiques des eaux usées. étude statique et dynamique, 2014, Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem.
- [11] Boudia R, Etude comparative de l'élimination de colorants textiles par deux adsorbants : naturel et active, 2020, Thèse de doctorat, Université Djillali Liabes-Sidi Bel Abbas.
- [12] Lansari.I, Elimination des colorants textiles par des sorbants naturels, 2021, Thèse de doctorat, Université Abou-Bekr Belkaid– Tlemcen.
- [13] Addou L, Benhammar A, Synthèse bibliographique sur l'utilisation des argiles modifiées dans l'élimination des colorants, 2019, Mémoire de master, Université Djilali Bounaâma-Khemis Miliana.

- [14] Ikhlass Marzouk Trifi. Étude de l'élimination du chrome (VI) par adsorption sur l'alumine activée par dialyse ionique croisée. Université Paris-Est, 2012. Français. ffnNT : 2012PEST1149ff. Fftel-00807936f.
- [15] Hamzaoui S, effet des paramètres réactionnels sur l'élimination de la tyrosine et de l'histidine en présence des substances humique par adsorption sur le charbon actif, 2017, Thèse de doctorat, université Mohamed khidar-bisakra.
- [16] Debbi Asma, Lendj Zahia, Préparation et Caractérisation d'un Support Poreux a Base de Graine de figes de Barbarie, 2020, Mémoire de master, Université Abdelhamide Ibn Badis – Mostaganem.
- [17] Irinislmane H, Extraction et caractérisation de biopolymère amidon en vue de son utilisation comme matériau adsorbant, 2019, Thèse de doctorat, Ecole nationale polytechniques.
- [18] Boudia R, Etude comparative de l'élimination de colorants textiles par deux adsorbants : naturel et active, 2020, Thèse de doctorat, Université Djillali Liabes-Sidi Bel Abbas.
- [19] A. Talidi, Etude de l'élimination du Chrome et du bleu de méthylène en milieux aqueux par adsorption sur la pyrophyllite traitée, Thèse de doctorat, Université Mohammed V-Agdal Rabat (2006).
- [20] Mouedden Kh (2014), Extraction liquide-solide de l'ion cadmium par la résine Lewatit TP 208, mémoire de Magister, Université Abou-Bekr Belkaid– Tlemcen.
- [21] Kebbab K, kasdi Z, Extraction liquide-solide du plomb par le charbon actif et le Charbon actif magnétique. Etude comparative, 2018, Mémoire de master, Université Mouloud Mammeri-Tizi-Ouzou.
- [22] Benosman A, Contribution à l'étude de la rétention des polluants par des réseaux de polymères, 2019, Thèse de doctorant, Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen.
- [23] Meziane S, Possibilité de valorisation des déchets agroalimentaires comme adsorbants naturels. Cas de biosorption des colorants, 2019, Mémoire de master, Université M'Hamed Bougara.
- [24] Azouz M, Badaoui N, Recherche in silico, d'inhibiteurs de tyrosine kinase comme cible thérapeutique dans hémopathie malignes), 2021, Mémoire de master, Université Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen.
- [25] Lakehali I,ould ali F, Etude in silico des propriétés biologiques de quatre stérols identifiés dans la plante Anabasis articulata, 2022, Mémoire de master, Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen.

- [26] Afaf Amara-Rekkab, Molecular Docking of Lectins as a Biosorbent for Removal of Textile Dyes from Wastewater Media, *International Journal of Health Sciences*, 7 (3), 2023, 165-175.
- [27] DJEFFAL S, Effet de la delta-tocophérol sur la topoisomérase II lors du cancer : Simulation par docking moléculaire, 2022, Mémoire de Master, Abou-Bekr Belkaid-Tlemcen.
- [28] Christelle Cebo, Bisma Saadaoui. Analyse des protéines du lait des Camélidés par approches protéomique et moléculaire. *Sciences du Vivant [q-bio]*. Université de Tunis, 2015. Français.
- [29] Delacroix Nathalie et Jean-Marie, *Le lait ami ou ennemi*, Paris, Editions Médicis, Octobre 2008.
- [30] A. Suleria, Hafiz Ansar Rasul Suleria, Muhammad Sajid Arshad, Asif Ahmad, Basharat Yar, Muhammad Nadeem, Maria Suleria, and Md. Khalid (2015) "Traditional and Modern Uses of Natural Honey in Human Diseases: A Review & Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2015: 1-20.
- [31] Bacar E, Meskine H, Contribution à l'étude de l'activité antibactérienne de l'ail, 2014, Mémoire de master, Université 8 MAI 1945-Guelma.
- [32] Lenka Šnajdrová, Modélisation moléculaire des protéines et des glycosyltransferases, 2006, Thèse de doctorat, Université Grenoble I– Joseph Fourier, Ecole doctorale de chimie.

Résumé : La présence des colorants dans les effluents de l'industrie textile présente des risques pour l'environnement, en raison de leur non-biodégradabilité et de leur toxicité. La purification de ces eaux est donc indispensable, avant même leur sortie d'usine, en utilisant des méthodes efficaces afin d'éliminer ces polluants. La technique d'adsorption est à la fois économique et simple à appliquer. Elle est couramment employée dans le traitement des eaux usées industrielles.

Notre travail porte sur l'étude de l'extraction liquide-solide des polluants organiques tels que le rouge de bemacide et le bleu de bemacide en utilisant la poudre d'ail préparée et la caséine.

Dans cette étude, nous avons démontré l'efficacité et la rapidité du processus d'adsorption en faisant varier certains facteurs expérimentaux (l'effet du temps, la concentration de pH, l'effet de masse et de vitesse d'agitation) sur l'extraction des colorants. Puis, dans la partie résultats et discussions, on a exploité tous les résultats obtenus de ces effets sur le rendement d'extraction sous forme de graphes avec leurs interprétations, dont nous avons constaté que la cinétique d'adsorption des colorants sur la caséine est plus efficace, dont elle peut excéder les 90 % par rapport à l'ail.

Enfin, ce travail a été clôturé par un docking moléculaire qui montre la structure des biosorbants et les interactions entre le complexe ligand et le site actif de la protéine qui se stabilise par certaines liaisons telles que des liaisons hydrogène, des liaisons hydrophobes....

Mots clés : rouge de bemacide, bleu de bemacide, extraction liquide-solide, adsorption.

Abstract: The presence of dyes in textile industry effluents poses risks to the environment due to their non-biodegradability and toxicity. Therefore, it is essential to purify these waters even before they leave the factory, using effective methods to eliminate these pollutants. The adsorption technique is both economical and simple to apply. Industrial wastewater treatment widely uses it.

Our work focuses on the study of liquid-solid extraction of organic pollutants such as bemacid red and bemacid blue using prepared garlic powder and casein used in the laboratory.

In this study, we demonstrated the efficiency and speed of the adsorption process by varying some experimental factors (time, concentration, pH, mass effect, and speed of agitation) on dye extraction. Then, in the results and discussions section, we analyzed all the results obtained on these effects on the extraction yield, presenting them as graphs with their respective interpretations. We discovered that the adsorption kinetics of dyes on casein are more effective than those on garlic, with a potential increase of up to 90%.

Molecular docking was the last step in this project. It shows the structure of the biosorbants and how the ligand complex interacts with the active site of the protein. These interactions are held together by bonds like hydrogen bonds, hydrophobic bonds, and others.

Keywords: red bemacid, blue bemacid, liquid-solid extraction, adsorption.

ملخص: يشكل وجود الأصباغ في النفايات السائلة في صناعة النسيج مخاطر على البيئة، بسبب عدم قابليتها للتحلل البيولوجي وسميتها. لذلك فإن تنقية هذه المياه ضرورية، حتى قبل أن تغادر المصنع باستخدام طرق فعالة للقضاء على هذه الملوثات. تقنية الامتزاز اقتصادية وسهلة التطبيق. يستخدم على نطاق واسع في معالجة مياه الصرف الصحي الصناعية.

يركز عملنا على دراسة الاستخراج الصلب السائل للملوثات العضوية مثل الأحمر البيماسيد والأزرق البيماسيد باستخدام مسحوق الثوم الجاهز والكازين المستخدم في المختبر.

في هذه الدراسة، أظهرنا كفاءة وسرعة عملية الامتزاز بتغيير بعض العوامل التجريبية (تأثير الوقت والتركيز ودرجة الحموضة وتأثير الكتلة وسرعة التحريك) على استخراج الصبغة. ثم، في قسم النتائج والمناقشات، استغلنا جميع النتائج التي تم الحصول عليها من هذه العوامل على عائد الاستخراج في شكل رسوم بيانية بتفسيراتها التي وجدنا أن حركية امتزاز الأصباغ على الكازين أكثر فعالية ويمكن أن تتجاوز 90% منها مقارنة بالثوم.

أخيراً، تم إغلاق هذا العمل عن طريق الالتحام الجزيئي الذي يوضح بنية المواد الحيوية والتفاعلات بين مركب الرباط والموقع النشط للبروتين الذي يستقر بواسطة روابط معينة مثل الروابط الهيدروجينية والروابط الكارهة للماء وما إلى ذلك...

الكلمات الرئيسية: أحمر بماسيد، أزرق بميماسيد، استخراج سائل صلب، امتزاز.