

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIC ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمّار ثليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOAT
كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
قسم علوم المادة
DEPARTEMENT Sciences de la Matière



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la Matière

Filière : Chimie

Option : Chimie Inorganique

Par :

Mme. CHATTA Meriem

Mlle. ELHOUITI Safia

THEME

**Effet de certains paramètres physico-chimiques sur
l'adsorption de bleu de méthylène sur une bentonite**

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Mr. TAOUTI Mohamed Benabdallah	MCA	Président
Mr. HAMDY Ahmed	MCA	Examinateur
Mr. KORIBA Bakhti	MAA	Examinateur
Mlle. BATANA Fatima Zohra	MAA	Promotrice

Année Universitaire 2018/2019

Dédicaces

A mes parents : CHATTA Abdelkader et TAKHI Messaouda

Je ne pourrais jamais exprimer le respect que j'ai pour vous. Vos prières, vos encouragements et votre soutien m'ont toujours été d'un grand secours.

Puisse Dieu, le tout puissant vous préserver du mal, vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.

A Mon Très Cher Petit Poussin HAMDY Mohamed Islam

C'est à toi mon adorable ange, ma joie, mon petit trésor que maman dédie ce travail pour te dire que tu resteras pour toujours le rayon du soleil qui égaye ma vie.

Je t'aime mon bébé et je te souhaite tout le bonheur du monde.

A Mon Mari HAMDY Atallah

Cher mari j'aimerais bien que tu trouves dans ce travail l'expression de mes sentiments de reconnaissance les plus sincères car grâce à ton aide et à ta patience avec moi que ce travail a pu voir le jour.

Que dieu le tout puissant nous accorde un avenir meilleur.

A ma chère sœur Fatima Zohra pour ses encouragements permanents, et son soutien moral.

A mes chers frères Mustapha, Hamza pour leur appui et leur encouragement.

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.
Merci d'être toujours là pour moi.

CHATTA Meriem

Dédicaces

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut.....
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la
reconnaissance....

Aussi, c'est tout simplement que....

Je dédie ce modeste travail à :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.

Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à mon frère et mes sœurs, ma nièce Hanine, et mes neveux ABDOU et Mammar.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis de travail (ATS), collègues d'étude et bien sûr à ma famille Elhouiti.

Elhouiti safia

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à notre promotrice Mlle : **BATANA FATIMA ZOHRA** qui a bien voulu encadrer et diriger ce travail. Nous la remercions encore vivement pour sa patience, sa disponibilité malgré ses nombreuses charges, pour ses précieuses orientations.

Nos vifs remerciements vont également aux membres de jury **Mr. TAOUTI Mohamed Benabdallah, Mr. HAMDI Ahmed** et **Mr. KORIBA Bakhti** pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous adressons également nos remerciements au chef du département de Sciences de la Matière **Mr HAMDI Ahmed** à l'Université Amar Telidji -Laghouat.

Nos remerciements à l'équipe de laboratoire pédagogique de SM pour leurs coopérations, sans oublier tous nos enseignants durant les années des études.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Liste des abréviations

A : Absorbance.

B : Bentonite.

B.B: Bentonite Brute.

B.C: Bentonite Chimique.

BM : Bleu de Méthylène.

B.S : Bentonite Sodée.

B.T: Bentonite Thermique.

B (T+C) : Bentonite Thermique + Chimique.

b: Constante de Langmuir.

C : Concentration de soluté.

C₀ : Concentration initiale de l'adsorbât (mg. L⁻¹),

C_e : Concentration de l'adsorbât dans la phase liquide à l'équilibre (mg. L⁻¹),

K_F : Constante de Freundlich

l : Epaisseur de la cellule optique,

m : Masse de l'adsorbant (g),

q_e : Quantité d'adsorbât à l'équilibre, par gramme d'adsorbant (mg. g⁻¹),

q_{e calc} : Capacité d'adsorption à l'équilibre calculée (mg. g⁻¹),

q_{e exp} : Capacité d'adsorption l'équilibre expérimentale (mg. g⁻¹),

q_m : Capacité maximale d'adsorption.

q_t : Quantité d'adsorbât à l'instant t, par gramme d'adsorbant (mg. g⁻¹),

R² : Coefficient de corrélation des régressions linéaires,

UV-visible : Ultra-violet,

V : Volume de la solution (L).

1/n : facteur d'hétérogénéité

ε : Coefficient d'extinction spécifique du soluté (chromophore),

Liste des figures

Figure I.1 : Composition des couches tétraédriques et octaédriques : a) Tétraèdre, b) couche tétraédrique, c) octaèdre, d) Couche octaédrique.....	3
Figure I.2 : Structure de la montmorillonite.....	4
Figure I.3 : Différents domaines d'utilisation des colorants.....	8
Figure I.4 : Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption.....	9
Figure I.5 : Schéma du mécanisme de transport d'un adsorbât au sein d'un grain.....	11
Figure II.1 : Différents traitements sur la Bentonite.....	15
Figure II.2 : Spectre UV relatif au pic du BM.....	17
Figure II.3 : Représentation graphique de la courbe d'étalonnage de BM ($\lambda=665$ nm)..	18
Figure II.4 : Schéma descriptif de l'adsorption en réacteur discontinu.....	19
Figure II.5 : Effet de pH de la solution sur l'adsorption du BM sur les bentonites ($C_0 = 10 \text{ mg. L}^{-1}$; $m = 0,015 \text{ g}$; $t = 30 \text{ min}$; $V = 100 \text{ mL}$ et $T = 22 \pm 2^\circ\text{C}$	21
Figure II.6 : Effet de la température de la solution sur l'adsorption du BM par les bentonites ($C_0 = 10 \text{ mg. L}^{-1}$; $m = 0,015 \text{ g}$; $t = 30 \text{ min}$; $V = 100 \text{ mL}$ et $\text{pH} = 6,2$)	23
Figure II.7 : Isothermes d'adsorption du BM par les bentonites ($m = 0,015 \text{ g}$; $t = 20 \text{ min}$; $V = 100 \text{ mL}$; $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $\text{pH} = 6 \pm 0,2$)	25
Figure II.8 : Ajustements linéaires des isothermes d'adsorption du BM sur les différentes bentonites par le modèle de Langmuir.....	27
Figure II.9 : Ajustements linéaires des isothermes d'adsorption du BM sur les différentes bentonites par le modèle de Freundlich.....	30

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principaux groupements chromophores et auxochromes.....	6
Tableau I.2 : Classifications chimique et tinctoriale des colorants.	6
Tableau I.3 : Propriétés physico-chimiques et structurales du BM.....	8
Tableau I.4 : Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.....	10
Tableau I.5 : Classification des isothermes d'adsorption.....	12
Tableau II.1 : Caractéristiques de la régression linéaire de BM.....	18
Tableau II.2 : Caractéristiques de la régression linéaire de BM selon le modèle de Langmuir.....	28
Tableau II.3 : Caractéristiques de la régression linéaire de BM selon de modèle de Freundlich.....	30

Sommaire

Introduction générale.....	1
I. Partie bibliographique	
I. Argiles.....	3
I.1. Généralités et définition.....	3
I.2. Structure et cristalochimie des argiles.....	3
I.3. Utilisation des argiles.....	4
I.4. Bentonites.....	4
I.4.1. Historique et définition.....	4
I.4.2. Origine de la bentonite.....	4
I.4.3. Structure de la bentonite.....	4
I.4.4. Domaines d'utilisation de la bentonite	5
I.5. Colorants.....	5
I.5.1. Historique.....	5
I.5.2. Définition.....	5
I.5.3. Types des colorants	5
I.5.4. Impacts environnementaux	7
I.5.5. Normes algériennes.....	7
I.5.6. Aspect toxicologique.....	7
I.5.7. Utilisations des colorants.....	7
I.6. Bleu de méthylène (BM).....	8
I.6.1. Utilisations.....	9
I.6.2. Toxicité.....	9
I.7. Adsorption.....	9
I.7.1. Définition.....	9
I.7.2. Types d'adsorption.....	10
I.7.3. Facteurs influençant l'adsorption.....	10
I.7.4. Mécanismes d'adsorption	10
I.7.5. Domaines d'application de l'adsorption	11
I.7.6. Isothermes d'adsorption	11
I.7.7. Modélisation des isothermes d'adsorption.....	13

II. Partie expérimentale

II.1. Produits.....	14
II.2. Matériels.....	14
II.3. Préparation des échantillons de bentonites.....	14
II.4. Processus d'adsorption.....	16
II.5. Analyse par Spectrophotométrie d'absorption UV-Visible.....	16
II.6. Etablissement de la courbe d'étalonnage	17
II.7. Protocoles expérimentaux.....	18
II.7.1 Effet de pH sur l'adsorption.....	19
II.7.2 Effet de la température sur l'adsorption.....	22
II.8. Isothermes d'adsorption	24
II.9. Modélisation des isothermes d'adsorption	26
II.9.1. Isotherme de Langmuir	26
II.9.2. Isotherme de Freundlich	29
Conclusion générale.....	32
Références bibliographiques.....	33

Introduction Générale

Les colorants sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels tels que les teintures du textile, du papier, du cuir et dans les industries alimentaires et cosmétiques. Les colorants ont la réputation d'être des substances toxiques et persistantes dans l'environnement ; ils nécessitent des techniques physico-chimiques pour les dégrader.

Le bleu de méthylène est le colorant le plus couramment utilisé dans la teinture du coton, du bois et de la soie. Il peut provoquer des brûlures oculaires responsables de blessures permanentes aux yeux de l'homme et des animaux. Son inhalation peut donner lieu à des difficultés respiratoires et son ingestion par la bouche produit une sensation de brûlure, provoque des nausées, des vomissements, transpiration et sueurs froides abondantes. Le traitement des rejets industriels contenant ce type de colorant s'avère d'un grand intérêt [1].

Parmi les procédés de traitement des rejets liquides, l'adsorption reste une technique relativement utilisée et facile à mettre en œuvre. Le bleu de méthylène est l'adsorbant le plus largement utilisé en raison de sa grande capacité d'adsorption des matériaux organiques.

Toutefois, cet adsorbant a un coût élevé et reste difficile à régénérer. La recherche d'un autre adsorbant efficace et moins coûteux s'avère donc intéressante. Dans cette optique, l'utilisation de l'argile en tant qu'adsorbant présente un grand intérêt en raison de son efficacité, son coût accessible et son abondance [2].

Notre objectif, est valorisé le BM par adsorption sur différents types de bentonites.

Dans ce travail, nous déterminons successivement l'étude spectrale du colorant étudié, Effets du pH, température d'adsorption du BM sur bentonites et l'isothermes d'adsorption et ces différents modèles.

Ce travail est présenté sous forme de deux grandes parties :

La première partie comporte :

- ❖ Une synthèse bibliographique qui englobe des généralités sur les argiles notamment la bentonite,

- ❖ Rappel sur les colorants et plus précisément le bleu de méthylène et ses caractéristiques,
- ❖ Rappels sur l'adsorption, les isothermes.

La deuxième partie comporte :

- ❖ L'exploitation des produits et matériels et du protocole expérimental,
- ❖ Les résultats expérimentaux et leurs discussions.

Les colorants sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels tels que les teintures du textile, du papier, du cuir et dans les industries alimentaires et cosmétiques. Les colorants ont la réputation d'être des substances toxiques et persistantes dans l'environnement ; ils nécessitent des techniques physico-chimiques pour les dégrader.

Le bleu de méthylène est le colorant le plus couramment utilisé dans la teinture du coton, du bois et de la soie. Il peut provoquer des brûlures oculaires responsables de blessures permanentes aux yeux de l'homme et des animaux. Son inhalation peut donner lieu à des difficultés respiratoires et son ingestion par la bouche produit une sensation de brûlure, provoque des nausées, des vomissements, transpiration et sueurs froides abondantes. Le traitement des rejets industriels contenant ce type de colorant s'avère d'un grand intérêt. [1]

Parmi les procédés de traitement des rejets liquides, l'adsorption reste une technique relativement utilisée et facile à mettre en œuvre. Le bleu de méthylène est l'adsorbant le plus largement utilisé en raison de sa grande capacité d'adsorption des matériaux organiques.

Toutefois, cet adsorbant a un coût élevé et reste difficile à régénérer. La recherche d'un autre adsorbant efficace et moins coûteux s'avère donc intéressante. Dans cette optique, l'utilisation de l'argile en tant qu'adsorbant présente un grand intérêt en raison de son efficacité, son coût accessible et son abondance. [2]

I. Argiles

I.1. Généralités et définition

Le mot argile vient du grec "argilos" qui veut dire blanc, ou du latin "argila" qui veut dire la couleur du matériau utilisé en céramique.

L'argile désigne un mélange de minéraux argileux associés au feldspath, quartz et à d'autres impuretés (oxyde de fer, titane etc.). Par ailleurs, ce mélange est caractérisé par une grande surface spécifique et des propriétés de gonflement [3].

I.2. Structure et cristalochimie

Les cristaux sont conçus à partir d'un empilement de feuillets élémentaires de façon ordonnée telle que :

- Les plans sont constitués d'atomes.
- Les couches tétraédriques et octaédriques sont constituées de combinaison de plans.
- Les feuillets tétraédriques et octaédriques sont constitués de combinaison des couches.
- Ainsi le cristal est le résultat de l'empilement de ces couches [4].

- **Couche tétraédrique**

Un tétraèdre est composé d'un atome de silicium (Si) entouré de quatre atomes d'oxygène (O) (Figure I.1-a). Ces tétraèdres s'agencent entre eux formant des mailles hexagonales en se partageant des oxygènes, ceci donne naissance à un empilement tétraédrique comme la montre (la figure I.1-b).

- **Couche octaédrique**

Selon (la figure I.1-c), un octaèdre est formé de cations métalliques tels que Al^{3+} ou Mg^{2+} entourés de six atomes d'oxygène. La couche octaédrique est constituée d'un enchainement d'octaèdres (Figure I.1-d).

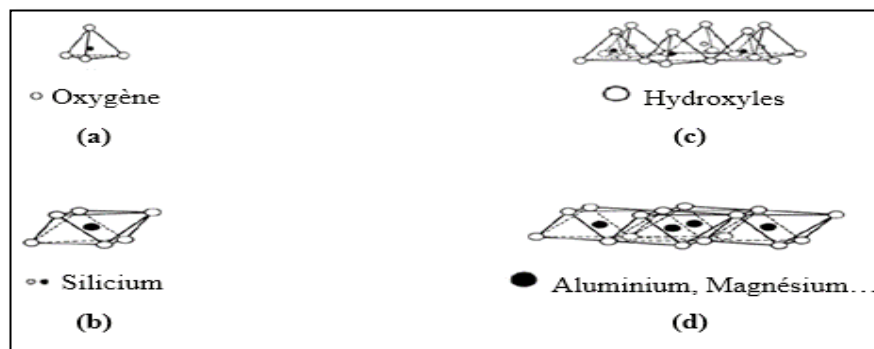


Figure I.1 : Composition des couches tétraédriques et octaédriques : a) Tétraèdre, b) couche tétraédrique, c) octaèdre, d) Couche octaédrique [5].

I.3. Utilisation des argiles

Elles ont des applications très variées :

- Formation de brique, tuile, terre cuite, faïence, porcelaine.
- Agent de blanchiment du papier.
- Membrane pour des procédés de filtration dans l'industrie agro-alimentaire.
- Barrière naturelle de confinement pour le stockage des déchets radioactifs [3].

I.4. Bentonites

I.4.1. Historique et définition

La première exploitation de bentonite aurait été découverte en 1890 dans la région de Rock River (Wyoming, Etats Unies)

La bentonite est une roche argileuse, friable, tendre et onctueuse au toucher, sa teinte dépend des composés minéraux et impuretés qui lui sont étroitement associés. Elle est blanche, grise ou légèrement jaune [6].

I.4.2. Origine de la bentonite

La bentonite est une argile issue de l'altération et la transformation hydrothermale des tufs volcaniques, elle fait partie principalement du groupe des smectites. Elle contient plus de 75% de montmorillonite et une variété de minerais tels que le quartz, la calcite et le gypse [7].

I.4.3. Structure de bentonite

La montmorillonite est le constituant principal de la bentonite. C'est un phyllosilicate dans lequel la charge négative de la couche est électriquement équilibrée par une charge égale des cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ , NH_4^+ et Na^+) situés principalement entre ces couches silicates ; ces cations ne font pas partie de la structure et garde une certaine mobilité [6].

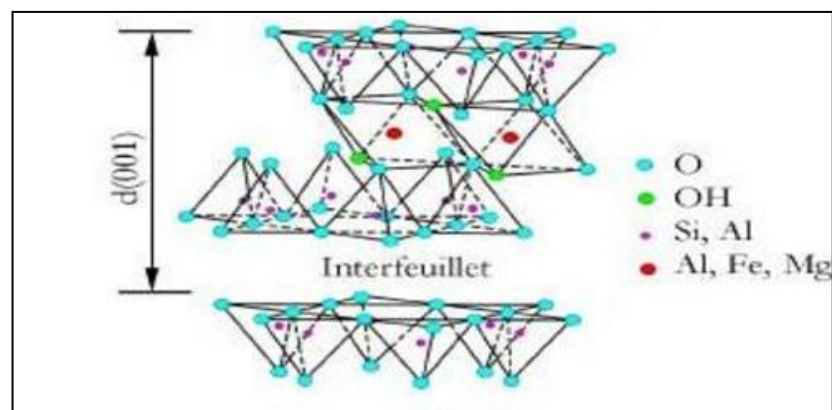


Figure I.2: Structure de la montmorillonite [6].

I.4.4. Domaines d'utilisation de la bentonite

Les propriétés spéciales de la bentonite (hydratation, gonflement, absorption d'eau et viscosité) font d'elle un matériau valable pour différentes utilisations et applications

- En génie civil : agent thixotropique, de soutien et de lubrifiant dans des murs.
- Traitement des eaux : purification d'eau usagée (adsorption/absorption)
- Une autre utilisation conventionnelle de bentonite, comme constituant de boue pour le forage de puits d'eau de pétrole.
- En médecine : antidote dans l'empoisonnement de métal lourd.
- Catalyseurs chimiques modifiés : utilisés dans les processus d'alkylation pour produire des additifs de carburant [7].

I. 5. Colorants

II.5.1. Historique

Depuis le début de l'humanité, les colorants ont été appliqués dans notre vie quotidienne pour la peinture et la teinture du papier, de la peau et des vêtements.

Jusqu'à la moitié du 19^{ème} siècle, les colorants appliqués surtout dans l'industrie textile étaient d'origine naturelle provenant essentiellement des plantes. L'industrie des colorants synthétiques est née en 1856, quand le chimiste anglais William Henry Perkin, a obtenu la première matière colorante synthétique qu'il appela « mauve » [8].

I.5.2. Définition

Un colorant est défini comme étant un produit capable de teindre une substance d'une manière durable. Ils se caractérisent par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (de 380 à 750 nm) [8].

I.5.3. Types des colorants

a. Colorants synthétiques

Un colorant proprement dit est une substance qui possède deux propriétés spécifiques, indépendantes l'une de l'autre, la couleur et l'aptitude à être fixée sur un support tel qu'un textile. Il possède des groupements qui lui confèrent la couleur : appelés chromophores et des groupements qui permettent sa fixation : auxochromes [9].

Tableau I.1: Principaux groupements chromophores et auxochromes [9].

Groupements chromophores	Groupements auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (-NO ou -N-OH)	Méthylamino (- NHCH ₃)
Carbonyl (=C=O)	Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂)
Vinylédène (-C=C-)	Hydroxyl (-OH)
Nitro (-NO ₂ ou =NO-OH)	Alkoxy (- (-OR)

b. Colorants naturels

Ils sont très répandus, surtout dans les plantes, les micro-organismes et le corps des animaux.

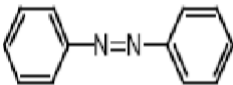
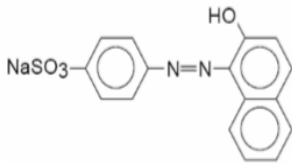
Aujourd'hui, les colorants naturels sont très utilisés dans les produits alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques soumis à des réglementaires plus strictes.

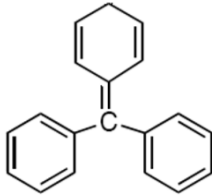
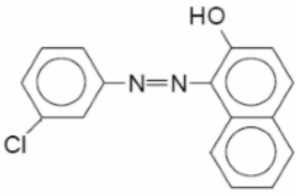
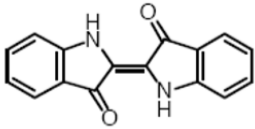
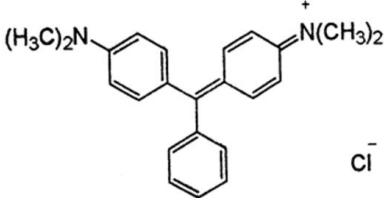
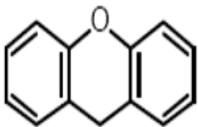
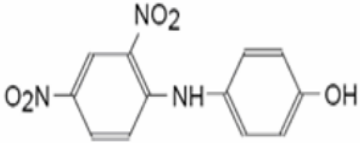
D'une manière générale, les principaux modes de classification des colorants reposent sur :

- La constitution chimique.
- Les méthodes d'application aux différents substrats (classification tinctoriale) [9].

Le tableau ci-dessous résume les deux classifications des colorants.

Tableau I.2: Classifications chimique et tinctoriale des colorants [10].

Classification chimique		Classification tinctoriale	
Colorants	Structure chimique	Colorants	Structure chimique
Azoïques		Acides ou anioniques	

Triphénylméthanés		Azoïques insolubles	
Indigoïdes		Basiques ou cationiques	
Xanthènes		Dispersés	

I.5.4. Impacts environnementaux

Plusieurs colorants sont visibles dans l'eau même à des très faibles concentrations ($< 1 \text{ mg. L}^{-1}$), ainsi, ils contribuent aux problèmes de pollution liés à la génération d'une quantité considérable des eaux usées contenant des colorants résiduels.

Ces rejets résiduels dans l'écosystème est une source de pollution, d'eutrophisation et de perturbation non esthétique dans la vie aquatique et par conséquent présente un danger potentiel de bioaccumulation qui peut affecter l'homme par transport à travers la chaîne alimentaire [11].

I.5.5. Normes algériennes

La législation sur les rejets des eaux résiduaires devient de plus en plus stricte. L'Algérie est dotée d'une réglementation **06-141** sur les rejets d'effluents textiles dans le milieu hydrique [11]. (Voir annexe 1)

I.5.6. Aspect toxicologique

Les colorants sont des composés difficilement biodégradables par les microorganismes, ils sont toxiques ou nocifs pour l'homme et les animaux.

La toxicité des colorants est due à la présence de groupements de cyanures, des sels de baryum et de plomb, dans leurs molécules [10].

I.5.7. Utilisations des colorants

Pour voir l'importance de matières colorantes, il suffit d'examiner l'ensemble des produits manufacturés dans les différents domaines d'application comme suit :

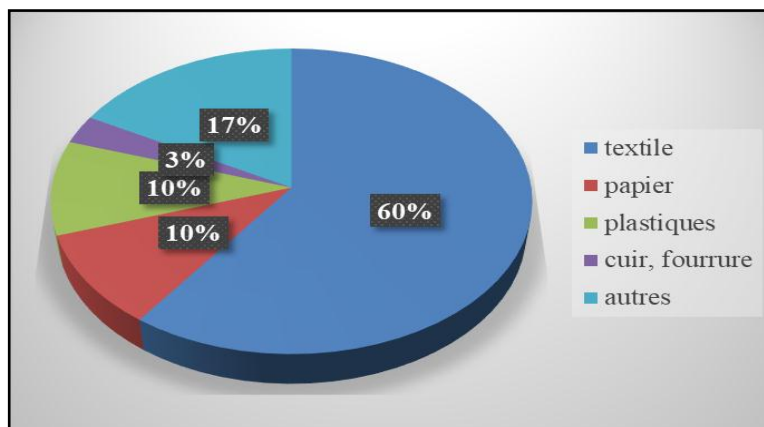


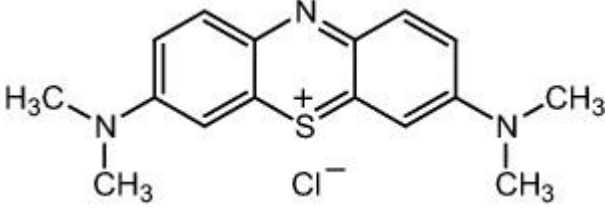
Figure I.3 : Différents domaines d'utilisation des colorants [10].

I.6. Bleu de méthylène

Le bleu de méthylène est un colorant cationique de formule brute $C_{16}H_{18}N_3SCl$ et sa masse molaire est de $319.85 \text{ g. mol}^{-1}$. C'est une molécule organique appartenant à la famille des xanthines. Ce colorant est choisi comme modèle représentatif des polluants organiques de taille moyenne.

Le tableau ci-dessous résume les différentes caractéristiques du Bleu de Méthylène [12]

Tableau I.3: Propriétés physico-chimiques et structurales du BM.

Nom chimique	
Chlorure de tetramethylthionine (Chlorure de 3,7-bis (diméthylamino) phenazathionium)	
Formule brute $C_{16}H_{18}N_3ClS$	Formule développée 
Masse molaire $319.85 \text{ mg. L}^{-1}$	Solubilité dans l'eau à 20°C 40 g. L^{-1}
Pureté (%) ≥ 85	pH 5.9

I.6.1. Utilisations

Le bleu de méthylène est utilisé intensivement dans différents domaines tel que : la chimie, la Médecine, l'art dentaire et l'industrie des colorants. Il est utilisé comme :

- Colorant vital, il colore certaines structures histologiques.
- Accélérateur de la réduction des méthémoglobines.
- Antiseptique et antirhumatismal.
- Limiteur optique combiné à un polymère, pour la protection des yeux contre les lasers intenses.

I.6.2. Toxicité

Le bleu de méthylène peut provoquer :

- Brulures oculaires responsables de blessures permanentes aux yeux de l'homme et des animaux,
- Difficultés respiratoires suite à son inhalation,
- Sensation de brulure provoquant des nausées, des vomissements, transpiration et sueurs froides abondantes suite à son ingestion par la bouche [12].

I.7. Adsorption

I.7.1. Définition

L'adsorption est un phénomène physico-chimique de surface se traduisant en particulier par une modification de concentration à l'interface de deux phases non miscibles et fixation de molécule à la surface du solide par des forces d'interaction faibles de type Van der waals.

On appelle « adsorbât » la molécule qui s'adsorbe à la surface et « adsorbant » le solide sur lequel s'adsorbe la molécule [13].

Le phénomène d'adsorption est donné par le schéma simplifié sur la figure ci-dessous :

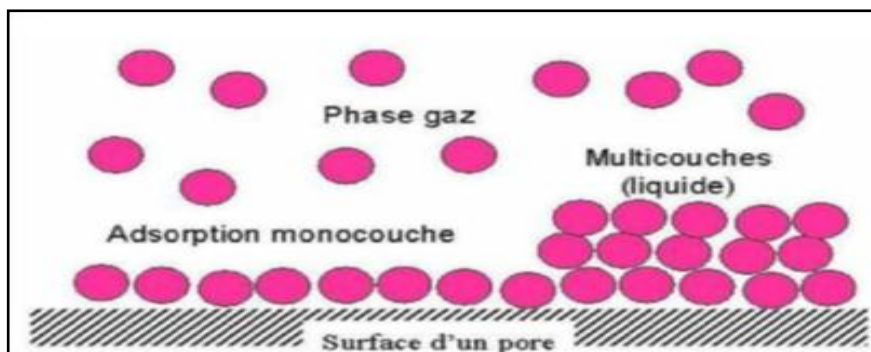


Figure I.4 : Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption [13].

I.7.2. Types d'adsorption

Selon le tableau ci-dessous, on distingue deux types d'adsorption :

Tableau I.4: Comparaison entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique [14].

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Types de liaison	Van Der Waals	Chimique
Désorption	Facile	Difficile
Chaleur d'adsorption	$< 10 \text{ kcal. mole}^{-1}$	$> 10 \text{ kcal. mole}^{-1}$
Type de formation	Multicouches et monocouche	Monocouche

I.7.3. Facteurs influençant l'adsorption

L'adsorption dépend de nombreux facteurs dont les principaux sont :

- **Caractéristiques de l'adsorbant** : polarité, volume poreux, surface spécifique et fonctions superficielles ;
- **Caractéristiques de l'adsorbat** : polarité, solubilité et poids moléculaire ;
- **Paramètres physico-chimiques du milieu** : Température et pH [14].

I.7.4. Mécanismes d'adsorption

Au cours de l'adsorption d'une espèce sur un solide, le transfert de masse des molécules se fait en plusieurs étapes. (Figure I.5)

- 1- Transfert de masse externe (diffusion externe) qui correspond au transfert du soluté du sein de la solution à la surface externe des particules.
- 2- Transfert de masse interne dans les pores (diffusion interne) qui a lieu dans le fluide remplissant les pores.
- 3- Diffusion de surface : pour certains adsorbants, il peut exister également une contribution de la diffusion des molécules adsorbées le long des surfaces des pores à l'échelle d'un grain d'adsorbant.
- 4- Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile [14].

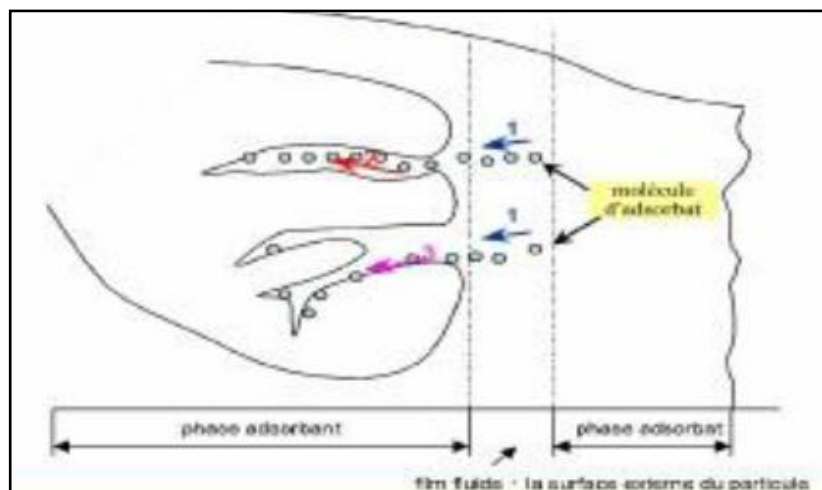


Figure I.5 : Schéma du mécanisme de transport d'un adsorbat au sein d'un grain [14].

I.7.5. Domaines d'application de l'adsorption

Elle est appliquée dans plusieurs domaines :

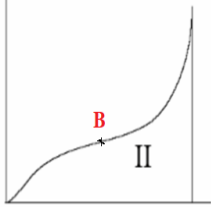
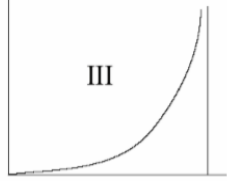
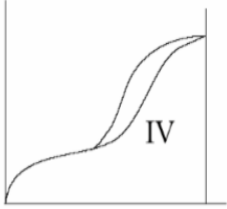
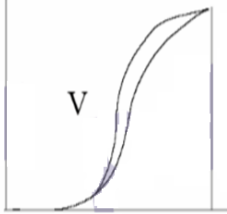
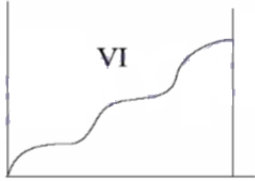
- Fractionnement des mélanges et raffinage des hydrocarbures,
- Elimination des odeurs ou d'impuretés sur des gaz,
- Déshumidification de l'air ou d'autre gaz,
- Traitement des eaux usées industrielles (textiles, agroalimentaires...),
- Décoloration des produits pétroliers et des solutions aqueuses de sucre [6].

I.7.6. Isothermes d'adsorption

L'allure de la courbe isotherme varie selon le couple adsorbat – adsorbant étudié. Les isothermes d'adsorption de solutés à solubilité limitée ont été classées par gilles et coll.

Tableau I.5: Classification des isothermes d'adsorption. [6]

Type d'isotherme	Interprétation
	<p>Formation d'une couche mono-moléculaire complète. Cette isotherme est relative à des solides microporeux de diamètre inférieur à 25 °A.</p>

	<p>L'adsorption se produit sur des poudres non poreuses ou ayant des macropores de diamètre supérieurs à 500 Å.</p>
	<p>Cette isotherme indique la formation de couches polymoléculaires, dès le début de l'adsorption, et avant que la surface n'ait été recouverte complètement d'une couche mono moléculaire.</p>
	<p>Cette isotherme se produit sur des solides ayant des diamètres de pores compris entre 15 Å et 1000 Å. La pente croit à des pressions relativement élevées, ce qui indique que les pores sont totalement remplis.</p>
	<p>Cette isotherme donne aussi lieu à une hystérésis, elle est similaire à l'isotherme du type III. Ce type d'isotherme présente à la fin, une pente différente attribuée, à la géométrie des pores</p>
	<p>Présente des marches caractéristiques d'une adsorption multicouche sur une surface non poreuse très homogène</p>

I.7.7. Modélisation des isothermes d'adsorption [15]

a. Modèle de Langmuir

Langmuir propose le modèle suivant :

$$q_e = q_m * \frac{bC}{(1+bC)} \quad (1)$$

La linéarisation de l'équation de Langmuir donne :

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m} C_e + \frac{1}{q_m b} \quad (2)$$

Où :

b: Constante de Langmuir.

q_m: Capacité maximale d'adsorption.

Si l'équation de Langmuir est vérifiée, en traçant **q_e** en fonction de **C_e**, une droite de pente **q_m** et d'ordonnée à l'origine $\frac{1}{q_m b}$

b. Modèle de Freundlich

C'est une équation empirique largement utilisée pour la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption. Toutefois, l'expérience montre qu'elle décrit bien les résultats d'adsorption des micropolluants par les solides tels que les charbons actifs, les sols et les argiles. Le modèle de Freundlich se présente sous la forme :

$$q_e = K C_e^{1/n} \quad (3)$$

Où :

q_e: Quantité adsorbée par gramme du solide (mg. g⁻¹).

C_e : Concentration de l'adsorbât à l'équilibre d'adsorption (mg. L⁻¹).

K_F et **1/n** : Constantes de Freundlich caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné vis à vis d'un soluté donné.

La transformée linéaire permettant de vérifier la validité de cette équation est obtenue par passage en échelle logarithmique :

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (4)$$

En traçant $\ln q_e$ en fonction de $\ln C_e$, on obtient une droite de pente $\frac{1}{n}$ et d'ordonnée à l'origine $\ln K_F$.

II. Partie expérimentale

L'objectif principal de notre travail est d'étudier l'effet de certains paramètres physico-chimique sur l'adsorption du bleu de méthylène sur différentes bentonites et d'effectuer des analyses par spectroscopie UV-visible.

Dans ce chapitre, nous avons décrit les produits et matériels utilisés ainsi que les méthodes suivies lors des procédés expérimentaux :

II.1. Produits

- Bleu de méthylène (DC Panreac)
- Acide chlorhydrique HCl (37.1%)
- Hydroxyde de sodium NaOH
- Chlorure de sodium NaCl (99,5%)
- Calcium Chloride di-hydraté $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (99,0%)
- Chlorure de Baryum BaCl_2 (99%),
- Nitrate d'Argent AgNO_3 (99,5%),
- Acide Sulfurique H_2SO_4 (99%),
- Bentonites (B. brute, B. chimique, B. thermique, B. chimique et thermique et B. Sodée).
- Eau distillée préparée au laboratoire.

II.2. Matériels

- Verrerie courante de laboratoire
- Etuve (Mettler),
- Agitateurs magnétiques (OVAN),
- Balance (OHAUS),
- pH mètre (HANNA instruments),
- Thermomètre électronique,
- UV-visible (SP-3000 nano OPTIMA),
- Four (Nabertherm).

II.3. Préparation des échantillons des bentonites

Les échantillons de bentonite brute ont subi différents traitements à savoir un traitement chimique, un traitement thermique, un traitement chimique et thermique et un autre traitement avec NaCl.

Le schéma ci-dessous récapitule les différentes opérations effectuées :

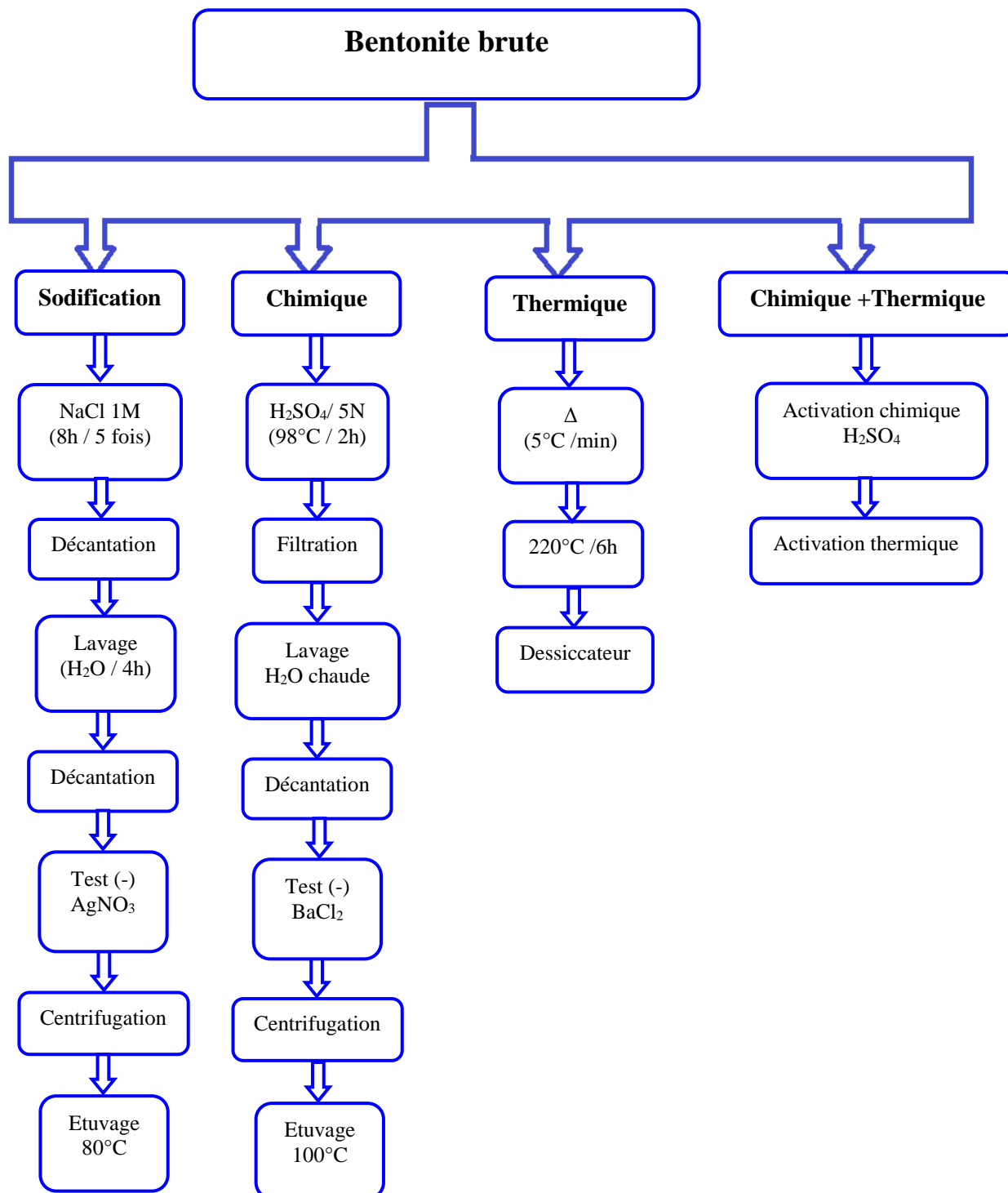


Figure II.1 : Différents traitements sur la bentonite.

II.4. Processus d'adsorption

L'étude de l'adsorption du bleu de méthylène sur les différentes bentonites a été réalisée en réacteur discontinu dans des flacons fermés avec du para film. Ces derniers contenant 0.015 g de bentonite et 100 mL d'une solution du colorant à une concentration de 10 mg. L⁻¹, sont placés sous agitation à 250 tours par minute.

II.5. Analyse par spectrophotométrie d'absorption UV-visible

La spectrophotométrie est une technique relativement récente, elle permet d'identifier une substance chimique et de déterminer la concentration d'un soluté dans une solution, par l'interaction des électrons des molécules du soluté (appelé chromophore) avec la lumière.

Lorsqu'un faisceau de lumière blanche d'intensité I_0 traverse une solution d'un chromophore, ce dernier absorbe plus que d'autres certaines longueurs d'onde (la solution apparaît colorée) et restitue une intensité I du faisceau initial.

La détermination de la concentration du colorant est effectuée par dosage spectrophotométrique dans le domaine du visible en utilisant la loi de Beer-Lambert :

$$A = \text{Log} \frac{I}{I_0} = \varepsilon \cdot l \cdot C \quad (5)$$

Avec :

A : Absorbance,

ε : Coefficient d'extinction spécifique du soluté (chromophore),

l : Epaisseur de la cellule optique,

C : Concentration de soluté.

Le spectrophotomètre UV/visible utilisé est un appareil (SP-3000 nano OPTIMA), possédant une gamme spectrale de 190 nm à 900 nm. Une cellule en QUARTZ de 10 mm a été employée.

La détection s'opère dans le domaine de l'UV, la quantification et la qualification de la molécule ont été réalisées à la longueur d'onde correspondante au maximum d'absorption dans ce domaine à 665 nm.

Le spectre UV relatif à la molécule du bleu de méthylène est représenté sur la figure suivante :

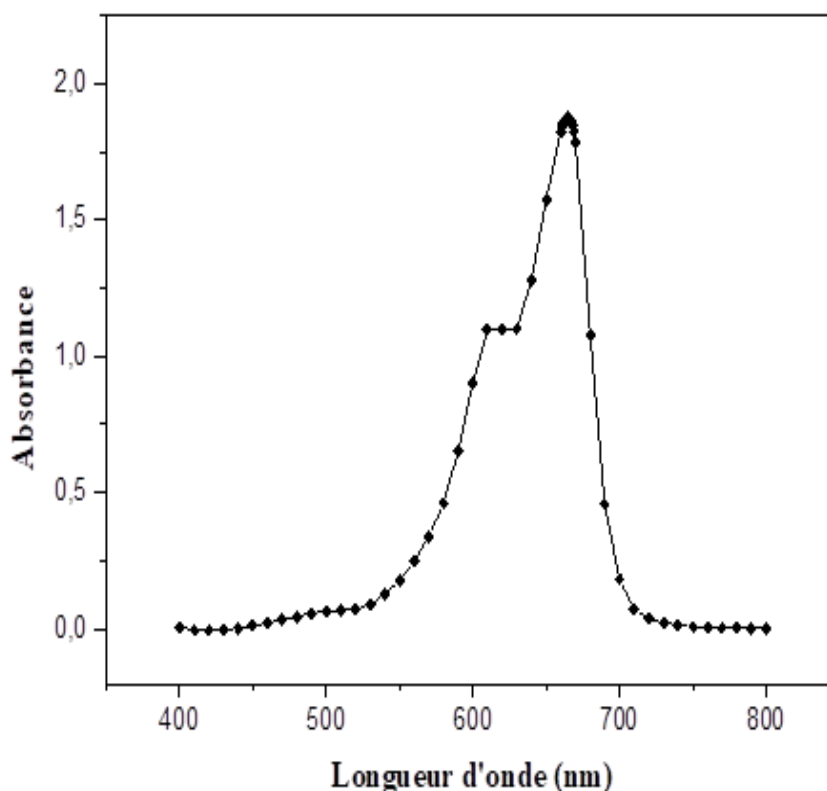


Figure II.2 : Spectre UV relatif au pic du BM

II.6. Etablissement de la courbe d'étalonnage

Dans le but de déterminer le domaine de linéarité et tracer la courbe d'étalonnage qui obéit à la loi de Beer-Lambert, nous avons préparé une solution mère de concentration égale à 1 g. L^{-1} de colorant (BM) obtenue par dilution directe d'une masse de 100 mg du colorant dans 100 mL d'eau distillée ; à partir de cette solution mère, nous avons préparé, par dilutions successives, une série des solutions étalons de concentrations différentes allant de $0,5 \text{ mg. L}^{-1}$ jusqu'à 5 mg. L^{-1} . La méthode d'analyse utilisée est la Spectroscopie UV- visible.

Nous établissons ainsi une courbe d'étalonnage représentant la surface du pic, en fonction de la concentration initiale en Bleu de Méthylène, $\text{ABS} = f(C_0)$, les résultats obtenus sont représentés sur la figure suivante :

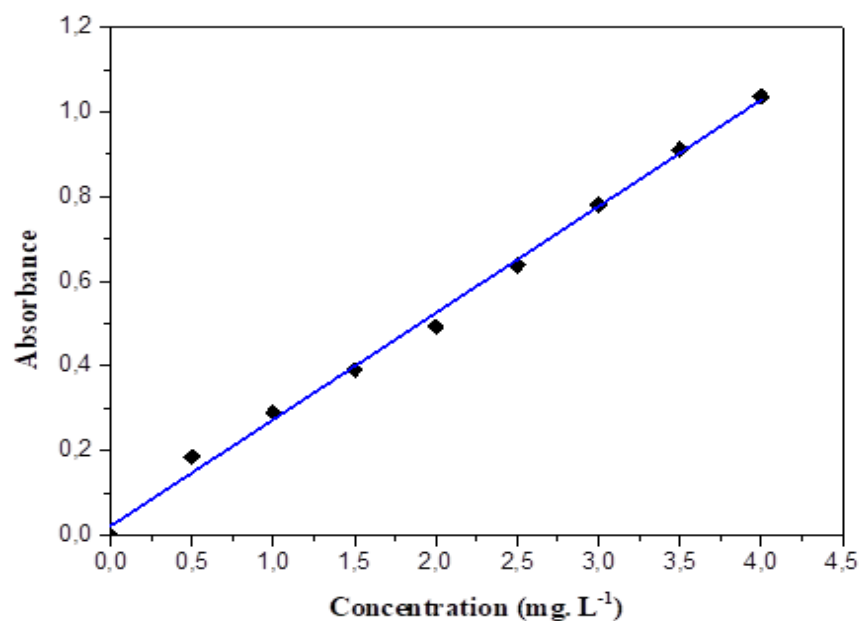


Figure II.3 : Représentation graphique de la courbe d'étalonnage de BM ($\lambda=665$ nm).

D'après la figure II.3, la courbe d'étalonnage de cette molécule présente une bonne corrélation à la longueur d'onde caractéristique avec un coefficient de corrélation égale à $R^2 = 0,9949$; donc on peut conclure que le domaine de travail choisi satisfait les limites relatives à la loi de Beer-Lambert.

Tableau II.1 : Caractéristiques de la régression linéaire de BM.

Composé	Equation	Coefficient de corrélation R^2
Bleu de méthylène	$Y = 0,2595x + 0,0028$	0,9949

II.7. Protocoles expérimentaux

Pour déterminer la quantité maximale adsorbée, des solutions filles de concentration initiales égale à 10 mg. L^{-1} ont été préparées à partir de la solution mère. Les solutions préparées ont été transvasées dans des flacons fermés avec du para film et contenant $0,015 \text{ g}$ de bentonite. Ces derniers sont soumis à une agitation continue assurée par un agitateur magnétique à une vitesse constante de 250 tr. min^{-1} .

Après 30 min d'agitation correspondant au temps d'équilibre, les solutions sont filtrées à l'aide du papier filtre, les filtrats sont récupérés et analysés par UV-visible.

La figure ci-dessous représente un schéma récapitulatif des différentes étapes de la cinétique d'adsorption du BM sur la bentonite :

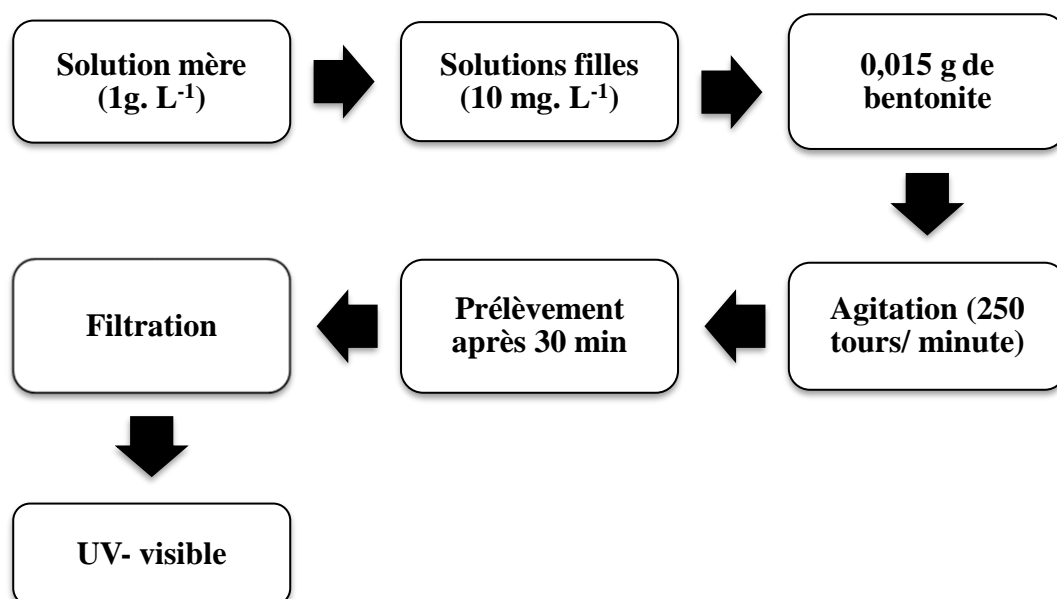


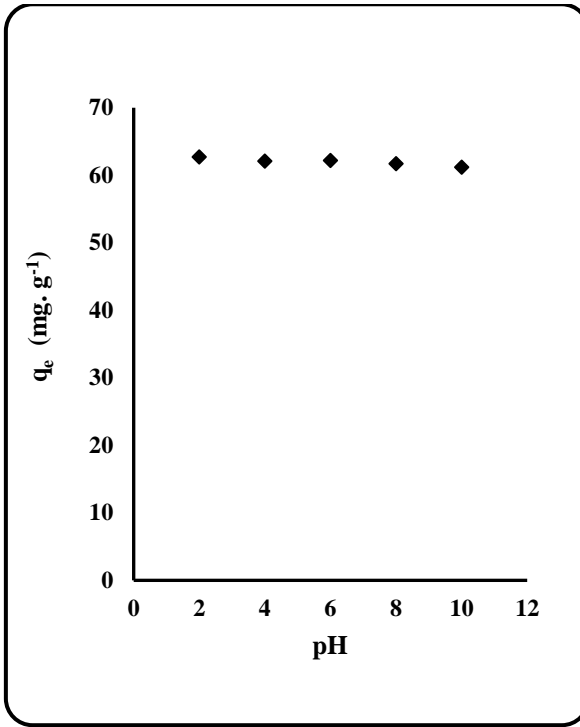
Figure II.4 : Schéma descriptif de l'adsorption de BM en réacteur discontinu.

II.7.1 Effet de pH sur l'adsorption

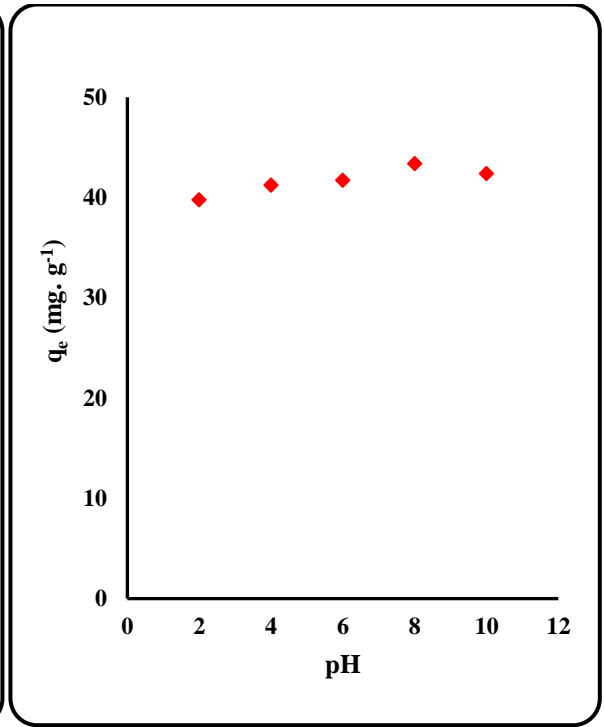
Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption, il peut conditionner à la fois la charge superficielle de l'adsorbant ainsi que la structure de l'adsorbât.

Afin d'évaluer l'influence du pH sur l'adsorption du BM sur les différents types de bentonites, nous avons menés une série d'échantillons du Bleu de Méthylène (10 mg. L⁻¹) à différents pH compris entre 2 et 10 sous agitation constante pendant 30 minutes pour les cinq bentonites.

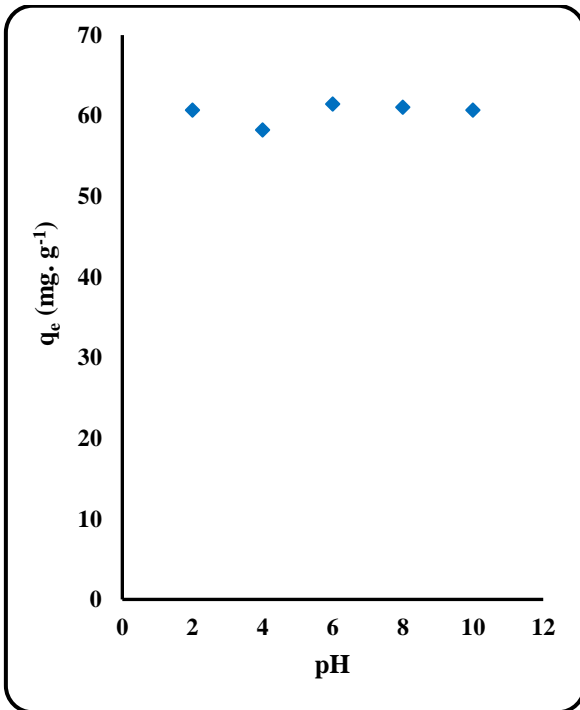
L'acidification du milieu a été réalisée en y additionnant quelques gouttes d'acide chlorhydrique ; et la soude a été utilisée pour avoir un pH basique. Les résultats obtenus sont présentés sur la Figure II.5.



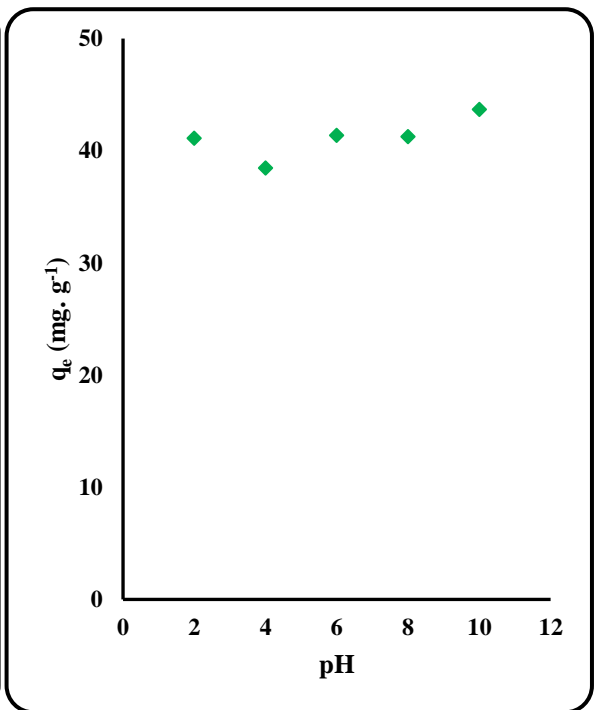
(a) : B. Brute



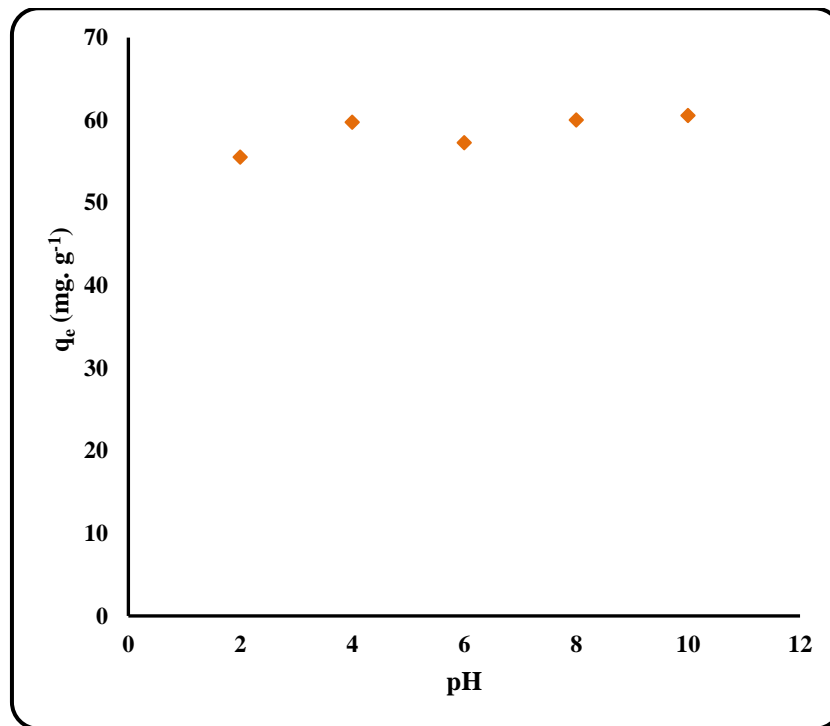
(b) : B. Chimique



(c) : B. Thermique



(d) : B. Chimique + Thermique



(e) : B. Sodée

Figure II.5 : Effet de pH de la solution sur l'adsorption du BM par les bentonites ($C_0 = 10 \text{ mg. L}^{-1}$; $m = 0,015 \text{ g}$; $t = 30 \text{ min}$; $V = 100 \text{ mL}$ et $T = 22 \pm 2^\circ\text{C}$).

Les résultats obtenus montrent que la variation des quantités du Bleu de méthylène adsorbées à l'équilibre est relativement faible. La décoloration est donc peu influencée par la variation du pH.

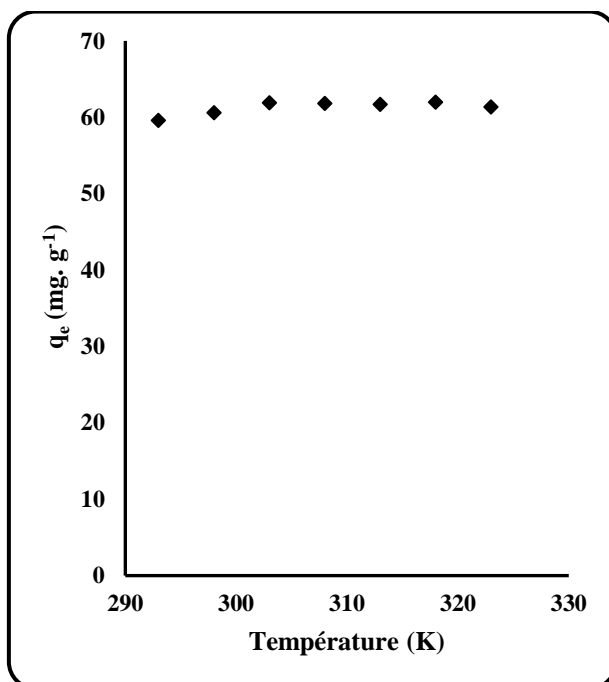
A la lumière de ces résultats, tous les essais de décoloration sur les différentes bentonites ont été effectués à pH naturel de la solution colorée (entre 6 et 7) pour le colorant étudié.

La figure II.5 montre que la quantité adsorbée de BM est de 58 mg. g^{-1} à 62 mg. g^{-1} et ceci pour les bentonites (Brute, thermique et sodée). Pour les bentonites chimiques et chimique + thermique, on remarque une diminution de la quantité adsorbée pour atteindre environ 40 mg. g^{-1} à 42 mg. g^{-1} respectivement. Cela peut être expliqué par le fait que les surfaces des B.C et B. C+T sont entourées par les ions H^+ ce qui diminue l'interaction des ions du BM (polluant cationique) avec les sites et empêche la formation de liaisons entre le BM et le site actif en raison de la répulsion électrostatique. Par contre, les surfaces des B. B, B. T et B. S sont basiques, ce qui engendre une bonne interaction entre les ions du colorant et les sites de la surface [16].

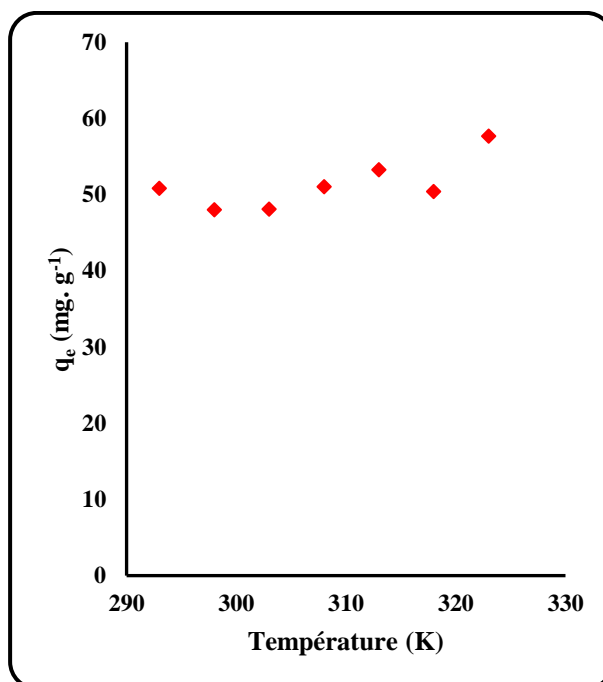
II.7.2 Effet de la température sur l'adsorption

La température a un effet majeur sur le processus d'adsorption, son augmentation favorise la diffusion des molécules à travers la couche limite externe et les pores internes des particules de l'adsorbant, cette augmentation aurait aussi un effet sur la capacité d'adsorption.

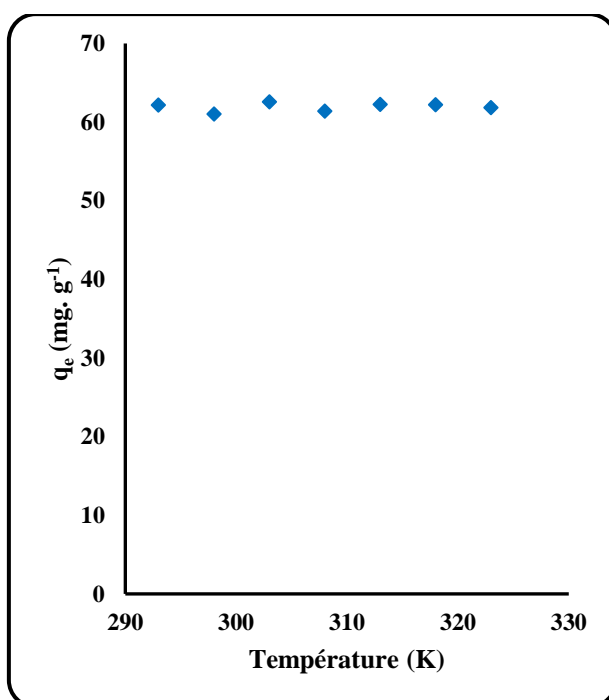
L'effet de la température de la solution sur l'adsorption du Bleu de Méthylène sur les cinq bentonites a été étudié pour une gamme de température entre 20°C et 50°C.



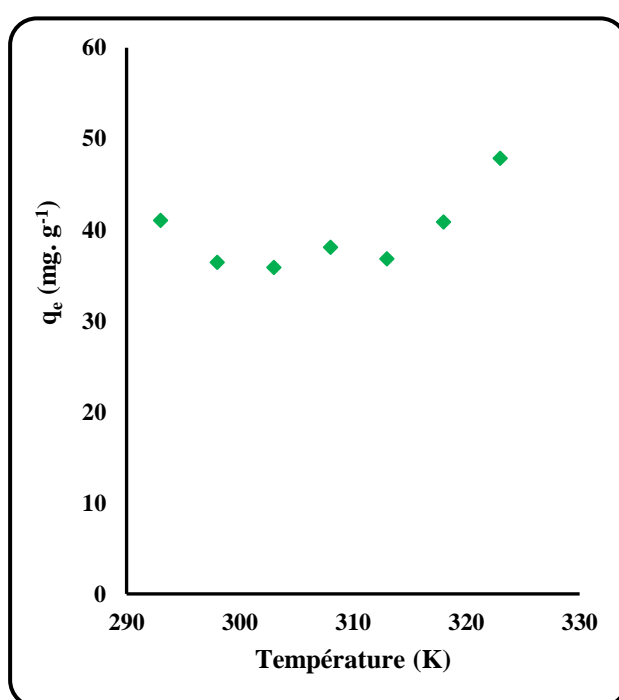
(a) : B. Brute



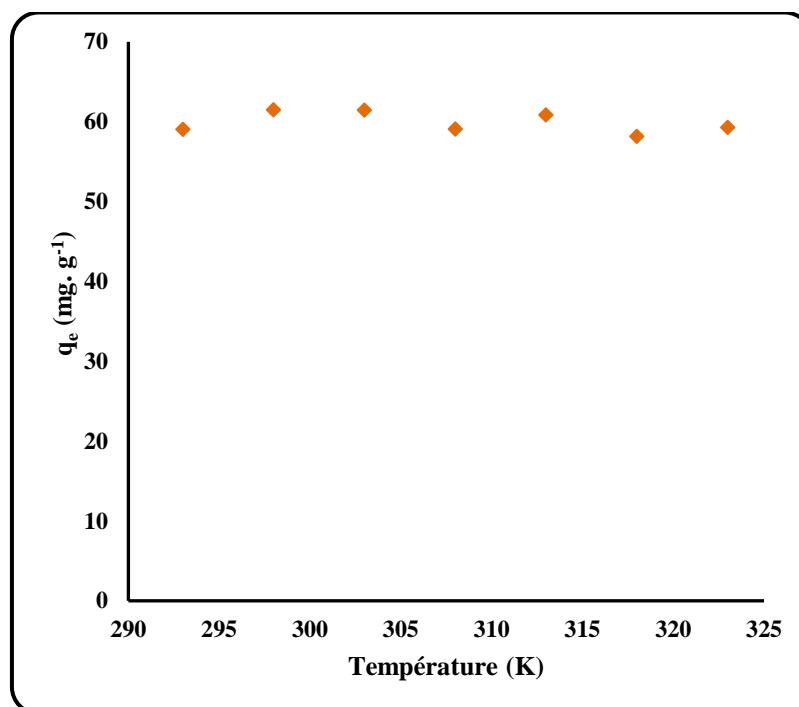
(b) : B. Chimique



(c) : B. Thermique



(d) : B. Chimique + Thermique



(e) : B. Sodée

Figure II. 6 : Effet de la température de la solution sur l'adsorption du BM par les bentonites ($C_0 = 10 \text{ mg. L}^{-1}$; $m = 0,015 \text{ g}$; $t = 30 \text{ min}$; $V = 100 \text{ mL}$ et $\text{pH} = 6,2$).

Il est important d'étudier l'effet de la température sur l'adsorption, pour cela, on l'a étudié en effectuant une série d'expériences entre 293 K et 323 K pour les cinq systèmes (Figure II.6).

Cette dernière montre la relation entre la température et la capacité d'adsorption de BM sur les bentonites.

La capacité d'adsorption des bentonites chimique et chimique + thermique augmentait avec l'augmentation de la température de 30°C à 50 °C ainsi, la capacité d'adsorption de BM par la bentonite chimique était augmentée de 48 mg. g⁻¹ à 57,68 mg. g⁻¹ alors que, la capacité d'adsorption de BM par la bentonite chimique et thermique est passée de 35,85 mg. g⁻¹ à 47,87 mg. g⁻¹.

D'une part, la mobilité des gros ions de colorant augmente avec l'augmentation de la température, ce qui entraîne une augmentation de la capacité d'adsorption des deux bentonites avec une augmentation supplémentaire de la température. D'autre part, on constate que l'adsorption est une réaction endothermique et que l'augmentation de la température peut

produire un effet de gonflement au sein de la structure interne de l'absorbant, en pénétrant plus avant dans la grande molécule de colorant [17].

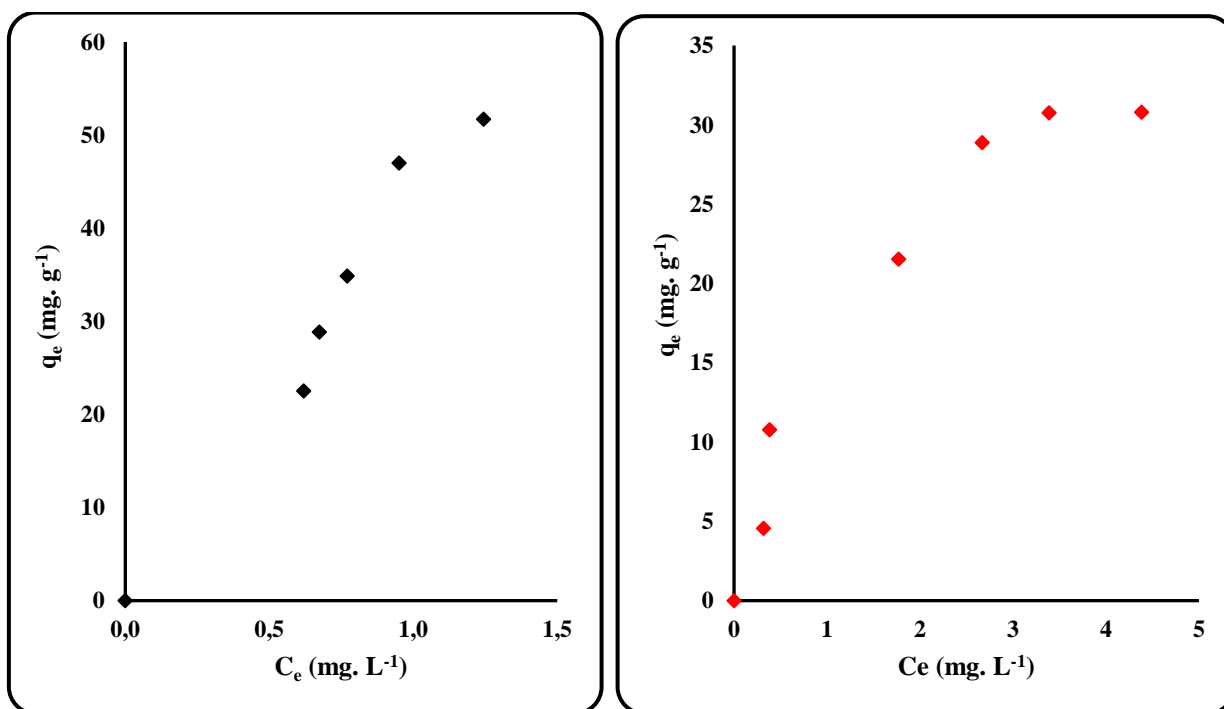
L'adsorption a légèrement diminué de $61,45 \text{ mg. g}^{-1}$ à $59,27 \text{ mg. g}^{-1}$ dans le cas de la bentonite sodée lorsque la température augmente de 30°C à 50°C , indiquant que le processus d'adsorption est de nature exothermique. La diminution de l'adsorption à l'équilibre du BM avec l'augmentation de la température a indiqué que l'adsorption du colorant sur le BS était favorable à basse température. Cela peut être dû à la tendance des molécules de colorant à s'échapper de la phase solide vers la phase globale avec une augmentation de la température de la solution [18].

Par contre, dans le cas des bentonites brute et thermique, on remarque qu'il n'y a presque aucune influence de la température sur l'adsorption de BM

II.8. Isothermes d'adsorption

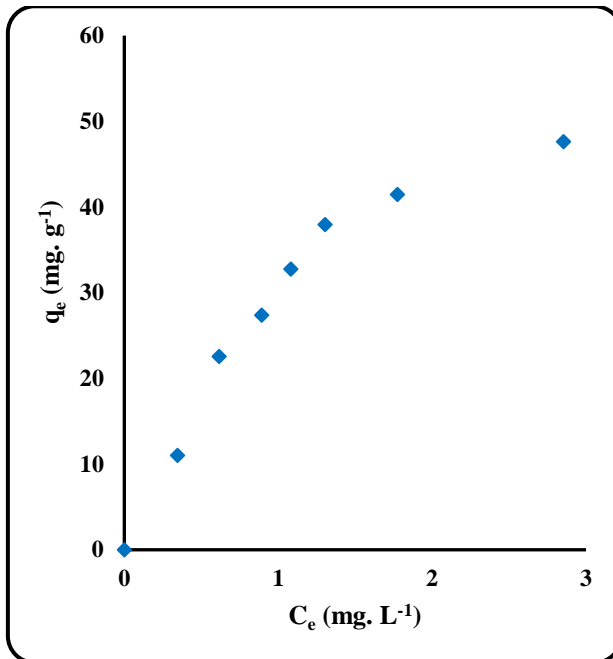
L'étude des isothermes d'adsorption permet de déterminer la capacité d'adsorption de l'adsorbat (BM) sur les différentes bentonites et le type de mécanisme d'adsorption. Pour cela notre étude est réalisée avec différents concentrations initiales pour un rapport du support de $0,15 \text{ g. L}^{-1}$ pendant 20 minutes d'agitation à $\text{pH} = 6 \pm 0,2$ et à température ambiante.

La figure illustre la variation de la quantité adsorbée à l'équilibre en fonction de la concentration d'équilibre $q_e = f(C_e)$.

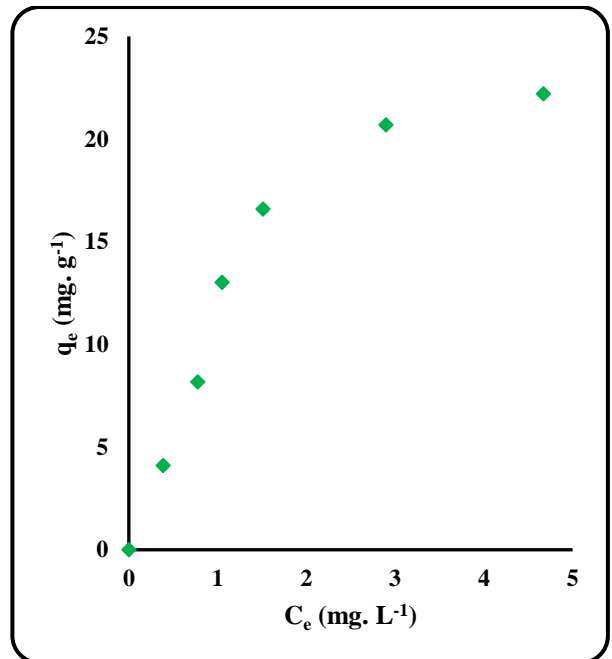


(a) : B. Brute

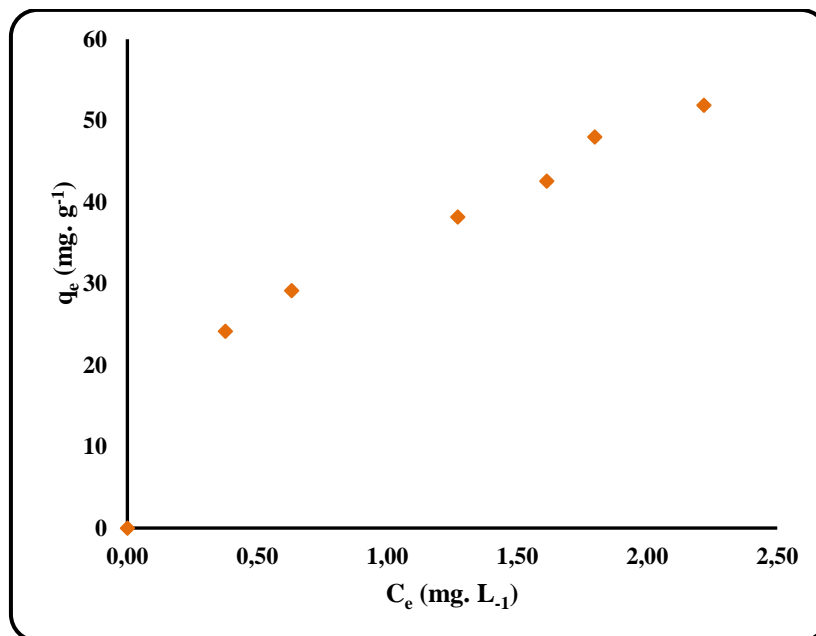
(b) : B. Chimique



(c) : B. Thermique



(d) : B. Chimique + Thermique



(e) : B. Sodée

Figure II.7 : Isothermes d'adsorption du BM par les bentonites
($m = 0,015$ g ; $t = 20$ min ; $V = 100$ mL ; $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $\text{pH} = 6 \pm 0,2$).

L'allure des courbes représentées par les figures montre que les isothermes d'adsorption de BM sur les différentes bentonites correspondraient à des isothermes du type L (dite de Langmuir) suggérant que l'adsorption se produit sur des sites spécifiques formant une monocouche, ce type d'isotherme indique une augmentation continue de la quantité adsorbée

avec la concentration de l'adsorbât ce qui peut être expliqué par la grande affinité du colorant pour les différents adsorbants.

La forme L des isothermes de sorption signifie qu'il n'y a pas une forte compétition entre le solvant et l'adsorbât pour occuper les sites de sorption. Ceci indique que le processus d'adsorption de ce colorant pourrait se produire en monocouche et que les capacités maximales d'adsorption se révélaient être de 30,80 mg. g⁻¹ ; 47,64 mg. g⁻¹ ; 22,21 mg. g⁻¹ et 51,87 mg. g⁻¹ pour B.C, B.T, B.CT et BS respectivement [19].

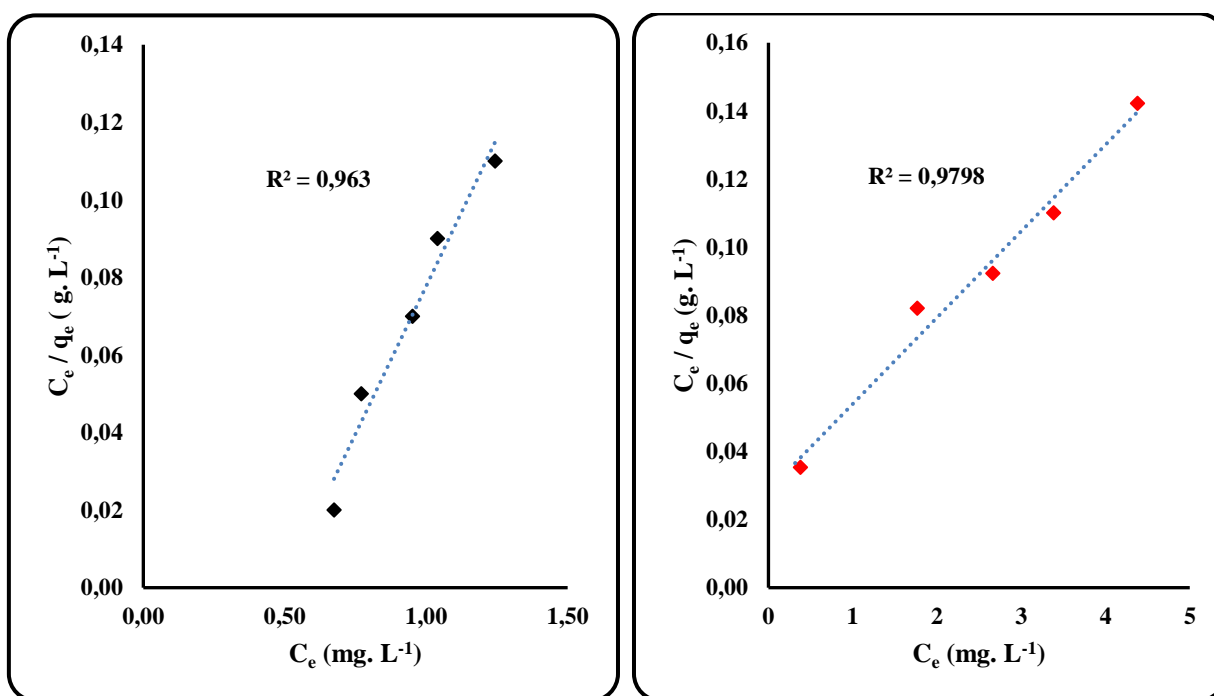
II.9. Modélisation des isothermes d'adsorption

Cette étape de l'étude des isothermes consiste à modéliser la courbe, ou plus précisément, à rendre compte par une équation mathématique de l'ensemble de la courbe. Les modèles classiques de Langmuir et de Freundlich caractérisant la formation d'une monocouche seront utilisés pour leurs simplicités de mise en œuvre.

La modélisation des isothermes d'adsorption du BM sur les différentes bentonites par les modèles de Langmuir et Freundlich, ont été réalisées avec les formes linéaires.

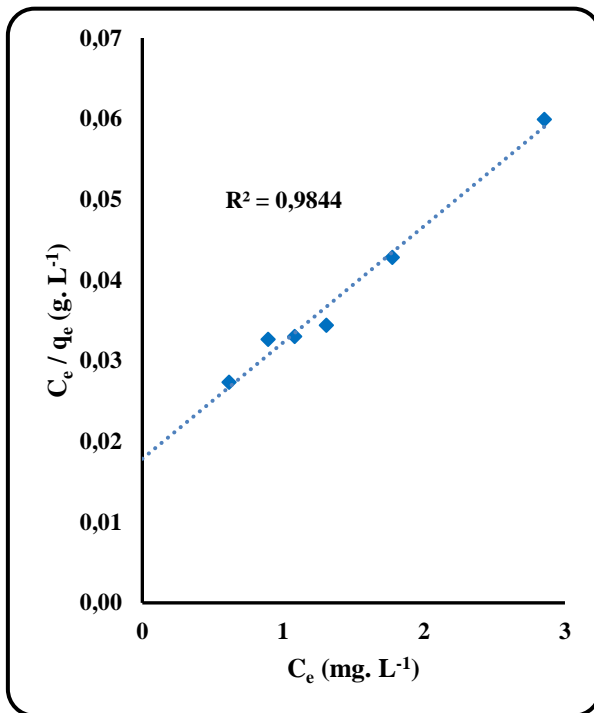
II.9.1. Isotherme de Langmuir

Les courbes de C_e / q_e en fonction de C_e représentent les isothermes de Langmuir sont tracés sur les figures ci-dessous :

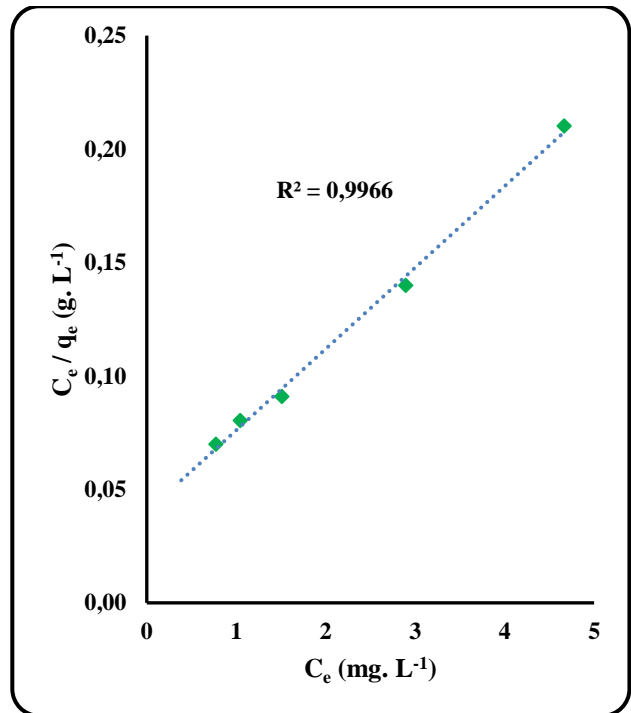


a) : B. Brute

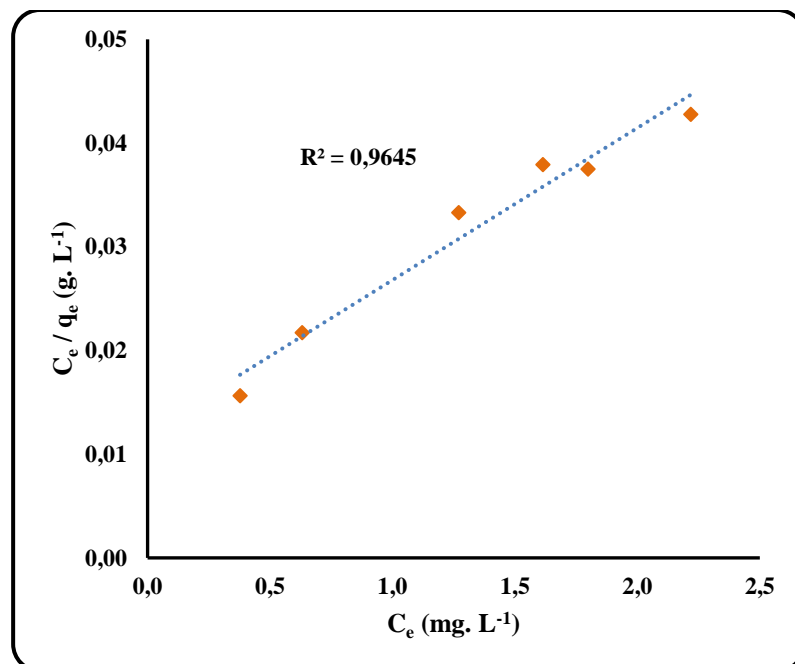
(b) : B. Chimique



(c) : B. Thermique



(d) : B. Chimique + Thermique



(e) : B. Sodée

Figure II.8 : Ajustements linéaires des isothermes d'adsorption du BM sur les différentes bentonites par le modèle de Langmuir

A partir des résultats obtenus, nous avons calculé les différents paramètres de modèle de Langmuir. Ces derniers sont présentés dans le tableau II.2.

Tableau II.2 : Caractéristiques de la régression linéaire de BM selon le module de Langmuir.

Adsorbants	Langmuir			
	R ²	q _m (mg. g ⁻¹)	b (L. mg ⁻¹)	K _d (mg. L ⁻¹)
B. B	0.963	6.55	2.04	0.49
B. CT	0.996	27.93	0.89	1.12
B. C	0.979	39.77	0.89	1.12
B. T	0.984	69.44	0.80	1.25
B. S	0.964	68.02	1.22	0.82

Les valeurs des coefficients de régression linéaire R², indiquent que le processus d'adsorption, du colorant Bleu de méthylène par les cinq supports cités précédemment, est décrit d'une façon favorable par l'isotherme de Langmuir, avec d'excellents coefficients de régression linéaire qui sont très proches de l'unité [20].

Les valeurs des capacités maximales d'adsorption (q_m), montrent que les BT et BS présentent de bonnes capacités d'adsorption vis à vis BM de l'ordre de 69.44 mg. g⁻¹ et 68.02 mg. g⁻¹ respectivement ; cette capacité diminue pour les deux bentonites C et CT pour atteindre les valeurs de 39.77 mg. g⁻¹ et 27.93 mg. g⁻¹.

Ces valeurs montrent que BT et BS présentent une meilleure capacité d'adsorption du fait qu'elle renferme un pourcentage de fraction argileuse plus important.

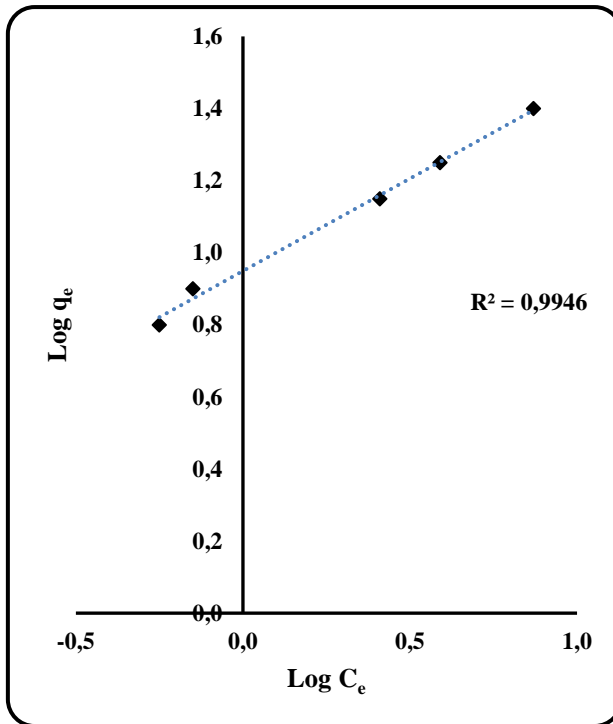
Les facteurs b déterminés sont tous inférieurs à l'unité mettant en évidence la bonne affinité des bentonites pour le colorant étudié sauf dans le cas de BS où il atteint une valeur de 1.25.

Ce facteur est lié à la constante de dissociation de l'adsorbât ou constante de Langmuir K_d (1/b) qui diminue pour le BM sur la BS et augmente pour le même colorant sur les autres bentonites. [21, 22].

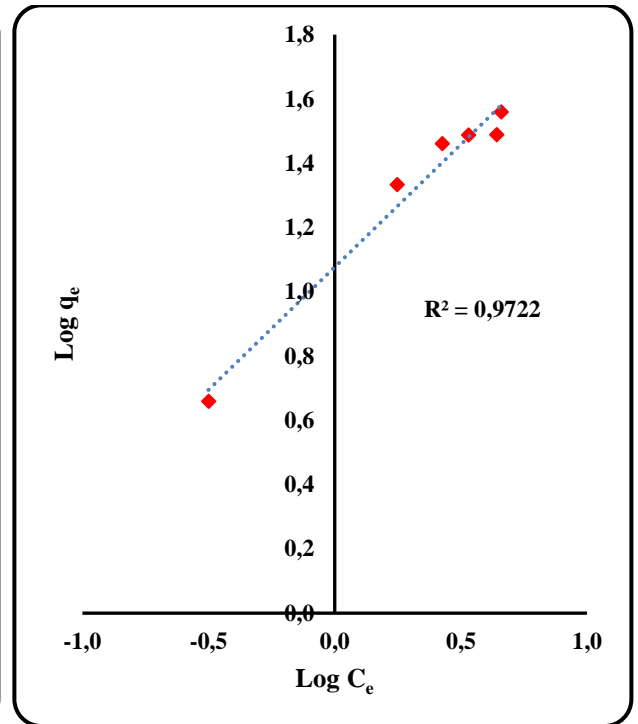
II.9.2. Isotherme de Freundlich

Le modèle d'isotherme d'adsorption de Freundlich est le plus important pour une adsorption sur des surfaces hétérogènes. Il est caractérisé par le facteur d'hétérogénéité ($1/n$).

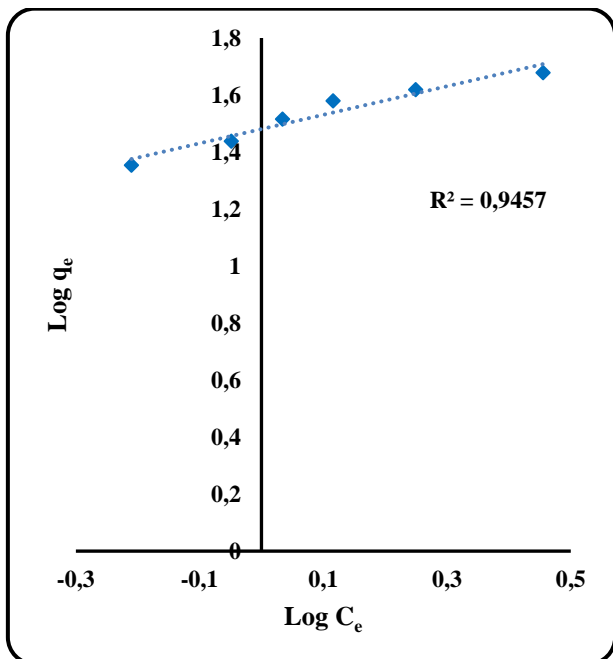
Les courbes $\log q_e$ en fonction de $\log C_e$ représentant les isothermes de Freundlich sont tracés sur les figures ci-dessous :



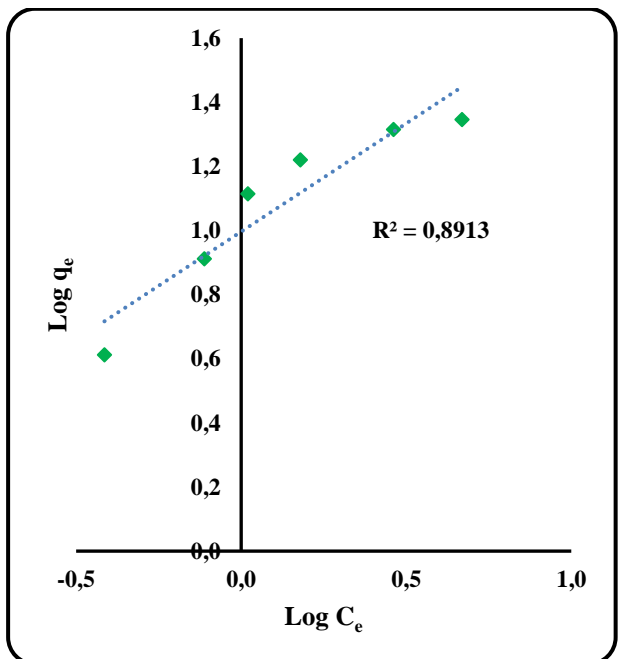
a) : B. Brute



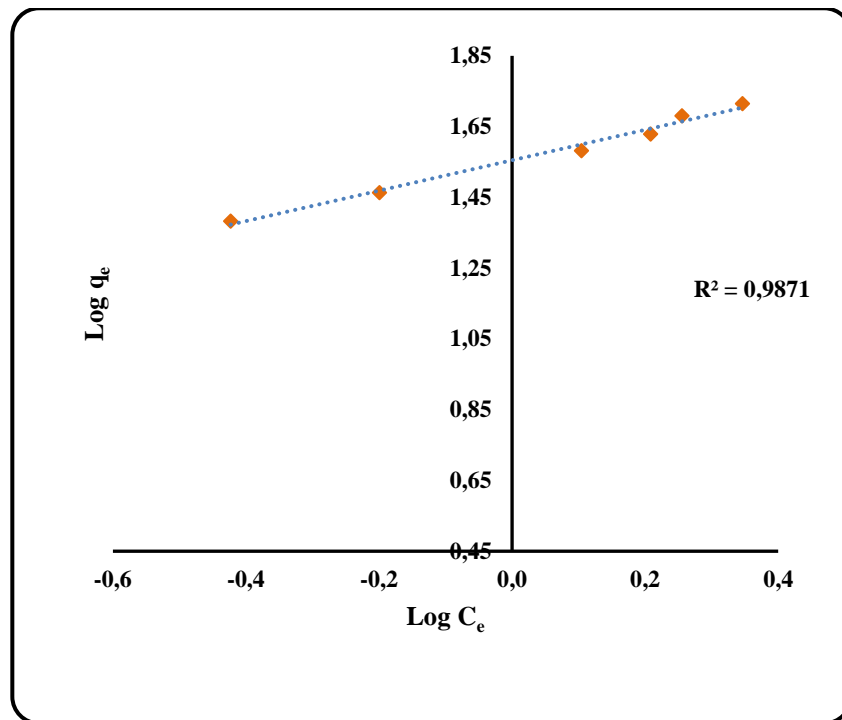
(b) : B. Chimique



(c) : B. Thermique



(d) : B. Chimique + Thermique



(e) : B. Sodée

Figure II.9 : Ajustements linéaires des isothermes d'adsorption du BM sur les différentes bentonites par le modèle de Freundlich

A partir des résultats obtenus, nous avons calculé les constantes d'isothermes d'adsorption K_F qui caractérisent le pouvoir adsorbant du support et $1/n$ l'affinité du soluté pour l'adsorbant sont présents dans le tableau II.3.

Tableau II.3 : Caractéristiques de la régression linéaire de BM selon de module de Freundlich.

Adsorbants	Freundlich		
	R ²	1/n	K _F
B. B	0.9946	0.513	2.584
B. C	0.9722	0.763	2.935
B. CT	0.8913	0.675	2.708
B. T	0.9457	0.501	4.395
B. S	0.9871	0.429	4.735

D'après le tableau II.3, le coefficient de corrélation R^2 est légèrement inférieur à celui du modèle de Langmuir, ceci indique que l'adsorption du colorant BM sur les bentonites suit bien le modèle de Langmuir que celui de Freundlich.

Lorsque $1/n = 0$, l'adsorption est linéaire, c'est-à-dire les sites sont homogènes et qu'il n'y a pas d'interaction entre les espèces adsorbées. Lorsque $1/n > 1$, l'adsorption n'est pas favorable, les liaisons d'adsorption deviennent faibles et la capacité d'adsorption diminue.

Lorsque $1/n < 1$, l'adsorption est favorable, la capacité d'adsorption augmente et de nouveaux sites d'adsorption apparaissent, ce qui reflète les résultats obtenus dans le cas de BM les différentes bentonites [23].

Pour le modèle de Freundlich, la pente $1/n$ est un indice de l'intensité de l'adsorption ou de l'hétérogénéité de la surface. Une situation telle que $1/n < 1$ est la plus commune et correspond à une isotherme de Langmuir normale de type L où l'adsorption s'avère favorable pour les différentes bentonites étudiées, ce qui représente une bonne adsorption du BM sur ces supports, ceci peut être expliqué signifie que la capacité d'adsorption augmente et de nouveaux sites d'adsorption apparaissent et qu'un tel processus n'implique pas de forte interaction entre les molécules adsorbées [21, 24].

Nous constatons que les deux bentonites thermique et sodée ont des valeurs de K_F plus élevés que les deux bentonites chimique et chimique + thermique, ce qui indique que BT et BS ont une plus grande capacité d'adsorption que les deux autres.

La valeur de K_F indique cependant un plus grand pouvoir adsorbant ($K_F = 4.395, 4.735$ pour BT et BS respectivement ; 2.935 et 2.708 pour BC et BCT respectivement) [25].

Conclusion générale

Ce travail avait pour objectif, l'étude de l'adsorption d'un colorant cationique (bleu de méthylène) sur une bentonite brute et d'autres traitées sous l'effet de pH et de température.

Ainsi, nous avons réalisé les isothermes et leurs modèles (Langmuir et Freundlich) et les résultats obtenus montrent que :

- La variation des quantités du Bleu de méthylène adsorbées à l'équilibre est relativement faible et donc peu influencée par la variation du pH et tous les essais de décoloration ont été effectués à pH naturel de la solution colorée (entre 6 et 7).
- La capacité d'adsorption des bentonites BC et BC+T augmentait avec l'augmentation supplémentaire de la température et donc l'adsorption est une réaction endothermique ; par contre, elle a légèrement diminué dans le cas de la BS indiquant que le processus d'adsorption est de nature exothermique, alors qu'il y a aucune influence de la température sur l'adsorption de BM dans le cas des BB et BT.
- Les isothermes d'adsorption de BM sur les différentes bentonites correspondraient à des isothermes du type L.
- L'adsorption du colorant BM sur les bentonites suit bien le modèle de Langmuir que celui de Freundlich d'après les coefficients de corrélation R^2 .

En perspective et pour finaliser l'étude de l'adsorption, il faut :

- Caractériser les bentonites par les différentes techniques de caractérisation notamment leurs surfaces spécifiques,
- Utiliser d'autres adsorbats (colorants, métaux lourds ou composés organiques),
- Etudier l'influence des autres paramètres, tels que la force ionique...etc.

Références bibliographiques

- [1] Ghosh, D., Bhattacharyya, K. (2002). **Adsorption of methylene blue on kaolinite.** *Applied clay science*, 20 (6), 295-300.
- [2] Roulia, M., Vassiliadis, A. (2005). **Interactions between CI Basic Blue 41 and aluminosilicate sorbents.** *Journal of colloid and interface science*, 291 (1), 37-44.
- [3] Djebbar, M. (2014). **Argile de Maghnia : purification et adsorption de polluants.** *Thèse de doctorat*, Université d'Oran.
- [4] Caillère, S., Hénin, S., Rautureau, M. (1982). **Minéralogie des argiles : Classification et nomenclature.** *Masson tome 2*, 184-189.
- [5] Rouached, D. (2016). **Traitement et caractérisation de l'argile et adsorption des produits polluants pharmaceutiques.** *Mémoire de master*, Université de Mascara.
- [6] Lakhache, S. (2017). **Adsorption de Bleu de Méthylène sur des argiles brute et sodée.** *Mémoire de master*, Université de Saida.
- [7] Katti, R., Shanmugasundaram, V. (2001). **Influence of swelling on the microstructure of expansive clays.** *Canadian Geotechnical Journal*, 38 (1), 175-182.
- [8] Ai, L., Zhou, Y. (2011). **Removal of methylene blue from aqueous solution by montmorillonite/CoFe₂O₄ composite with magnetic separation performance.** *Desalination*, 266 (1-3), 72-77.
- [9] Ozudogru, Y., Merdivan, M. **Biosorption of methylene blue from an aqueous solution by iron oxide-coated cystoseira barbata.** *Journal of the Turkish Chemical Society*, 3(3), 551-564.

[10] Hammami, S. (2008). **Étude de dégradation des colorants de textile par les procédés d'oxydation avancée. Application à la dépollution des rejets industriels.** *Thèse de doctorat*, Université de Paris Est et Tunis El Manar.

[11] JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE NA 26 Décret exécutif n 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.

[12] Madani, M. (2014), **Adsorption d'un colorant basique (Bleu de méthylène) sur différents adsorbants (charbon actif en poudre, charbon en grain et la bentonite).** *Mémoire de Master*, Université de Biskra.

[13] Chikhi, K. (2013), **Adsorption du zinc sur la bentonite de Maghnia.** *Master Académique*, Université de Ouargla.

[14] Cherraye, R. (2012), **Préparation par voie chimique d'un charbon actif à partir des déchets de café (Effet de taux d'adjuvant).** *Mémoire Master Académique*, Université de Ouargla.

[15] Chitour, C. (2013), **Physico-chimie des surfaces- adsorption gaz-solide et liquide-solide** Tome 2, office des publications Universitaires, Edition n°4556.

[16] Sakr, F., et al. (2015). **Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de Cactus.** *Journal of materials and Environmental Science*, 6(2), 397-406.

[17] Bao, Y., Zhang, G. (2012). **Study of adsorption characteristics of methylene blue onto activated carbon made by Salix psammophila.** *Energy Procedia*, 16, 1141-1146.

[18] Kushwaha, A. K., Gupta, N., Chattopadhyaya, M. (2014). **Removal of cationic methylene blue and malachite green dyes from aqueous solution by waste materials of Daucus carota.** *Journal of Saudi Chemical Society*, 18(3), 200-207.

[19] Low, W., Teng, T., Morad, N., Azahari, B. (2012). **Studies on the adsorption of methylene blue dye from aqueous solution onto low-cost tartaric acid treated bagasse.** *APCBEE Procedia*, 1, 103-109.

[20] Aarfane, A., et al. (2014). **Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants Red195 et Bleu de méthylène en milieu aqueux sur les cendres volantes et les mâchefers.** *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(6), 1927-1939.

[21] Sadki, H., Ziat, K., Saidi, M. (2014). **Adsorption d'un colorant cationique d'un milieu aqueux sur une argile locale activée.** *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(1),2060-2065

[22] Mellah, A., Harik, D., & Haouchine, O. (2014). **Etude de l'effet de la concentration sur l'adsorption de deux produits pharmaceutiques (le phenobarbital et l'ibuprofene) sur le charbon actif en poudre le F400.** *Journal of Materials and Environmental Science*, 5(2), 2413-2417.

[23] Ghorbel-Abid, I., Trabelsi-Ayadi, M. (2015). **Competitive adsorption of heavy metals on local landfill clay.** *Arabian Journal of Chemistry*, 8(1), 25-31.

[24] Shirvani, et al. (2006). **Sorption of cadmium on palygorskite, sepiolite and calcite : equilibria and organic ligand affected kinetics.** *Colloids and Surfaces A. Physicochemical and Engineering Aspects*, 287(1-3), 182-190.

[25] Laabd, M., et al. (2015). **Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants monoazoïques sur la polyaniline.** *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(4), 1049-1059.

ملخص:

من أجل دراسة امتزاز أزرق الميثيلين على مختلف البنتونيت، تم إجراء اختبارات امتزاز العينات. تم تحليل أزرق الميثيلين المدمص بواسطة الأشعة فوق البنفسجية. أجريت التجارب بتركيز أولي قدره 10 ملغ. ل⁻¹. ركز الجزء الأول من هذه الدراسة على تأثير درجة الحموضة ودرجة حرارة على الامتزاز. وقد أظهرت أن تأثير هذه صغیر نسبياً. الجزء الثاني مكرس للأيزوثرم ونماذجهم (لانقمير وفراندليتس). تتوافق ايزوتيرمات ادمصاص أزرق الميثيلين على البنتونيتات المختلفة مع ايزوتيرم من النوع L، تشير النتائج الإجمالية إلى أن امتزاز صبغة أزرق الميثيلين على البنتونيت يتبع نموذج لانقمير احسن من نموذج فراندليتس.

الكلمات المفتاحية: أزرق الميثيلين، البنتونيت، الامتزاز، ايزوتيرم، درجة الحرارة.

Résumé

Dans le but d'étudier l'adsorption de BM sur les différentes bentonites, des essais d'adsorption en batch ont été réalisés. L'analyse de BM adsorbé a été faite par UV-visible. Les expérimentations ont été effectuées avec une concentration initiale égale à 10 mg. L⁻¹. La première partie de cette étude, a porté sur l'effet de pH et de température d'adsorption. Elle a montré que l'effet de ces derniers est relativement faible. La seconde partie est consacrée aux isothermes d'adsorption et leurs modèles (Langmuir et Freundlich). Les isothermes d'adsorption de BM sur les différentes bentonites correspondraient à des isothermes du type L, l'ensemble des résultats indique que l'adsorption du colorant BM sur les bentonites suit bien le modèle de Langmuir que celui de Freundlich.

Mots clés : Bleu de méthylène, Bentonite, adsorption, isotherme, température.

Abstract

In order to study the adsorption of MB on the various bentonites, batch adsorption tests were carried out. The adsorbed MB analysis was done by UV-visible. The experiments were carried out with an initial concentration of 10 mg. L⁻¹. The first part of this study focused on the effect of pH and adsorption temperature. It has shown that the effect of these is relatively small. The second part is devoted to adsorption isotherms and their models (Langmuir and Freundlich). The adsorption isotherms of MB on the different bentonites correspond to L-type isotherms, the overall results indicate that the adsorption of the MB dye on the bentonites follows the Langmuir model well as that of Freundlich.

Keywords: Methylene blue, bentonite, adsorption, kinetics, kinetic models.

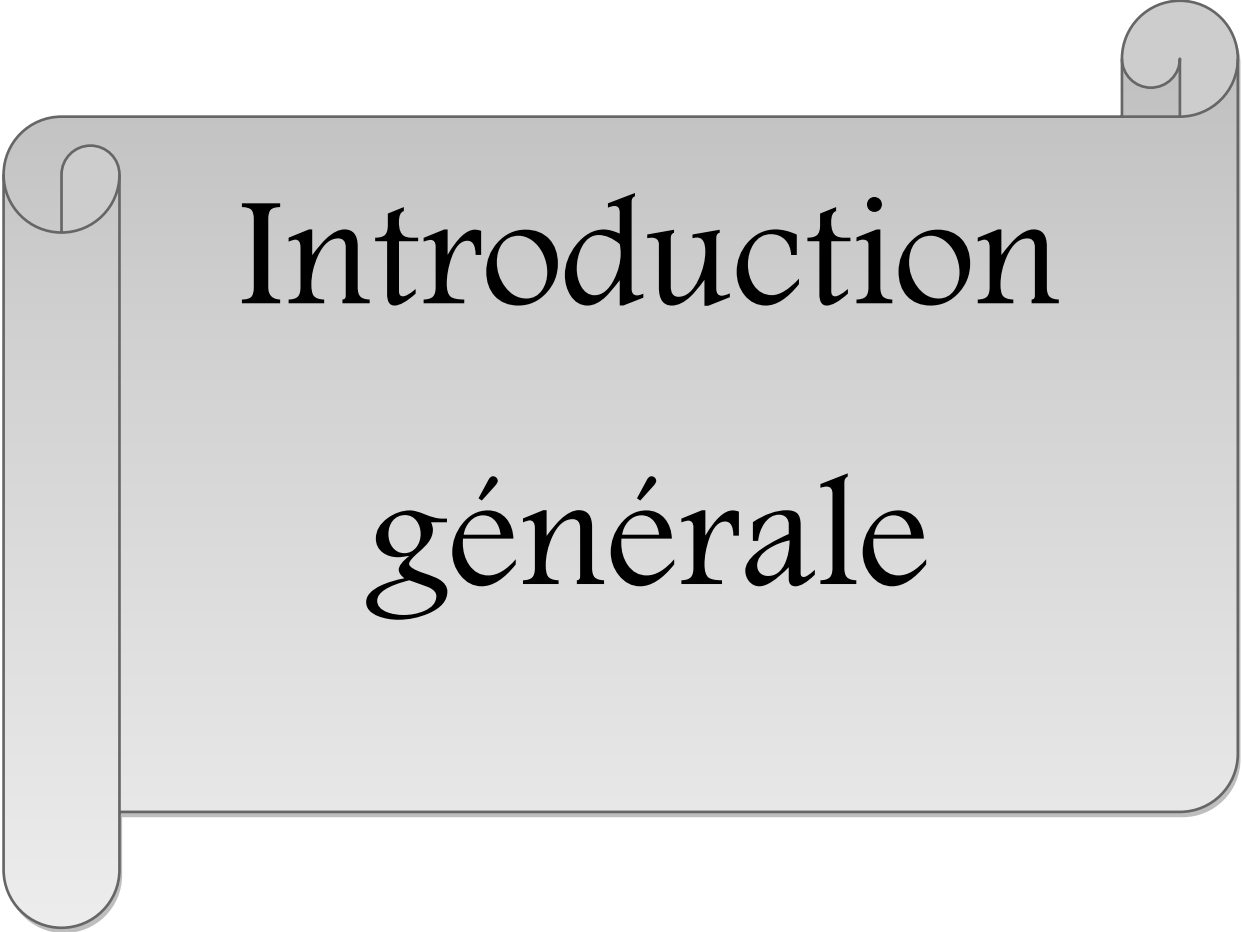


Partie
expérimentale

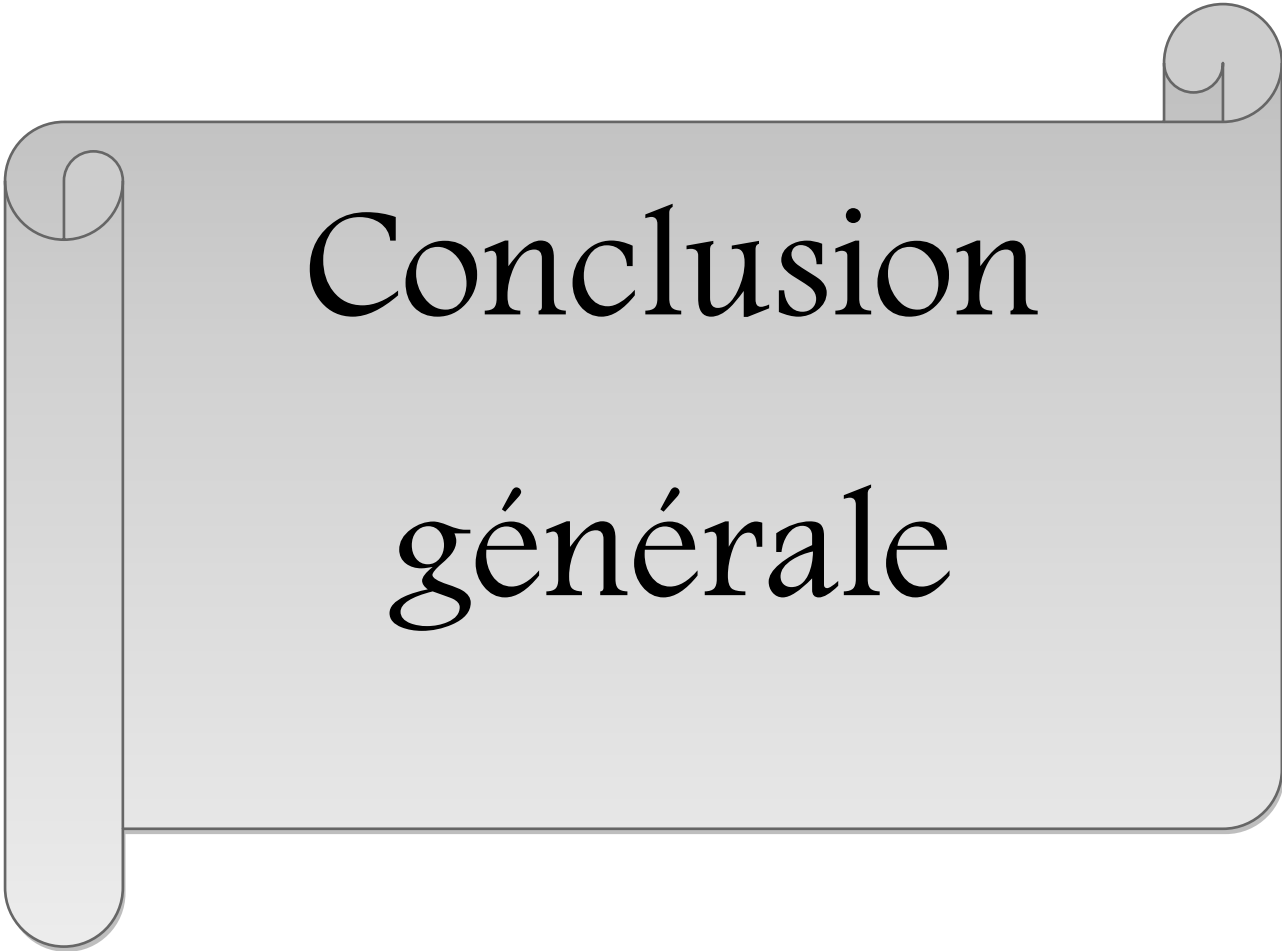


Partie

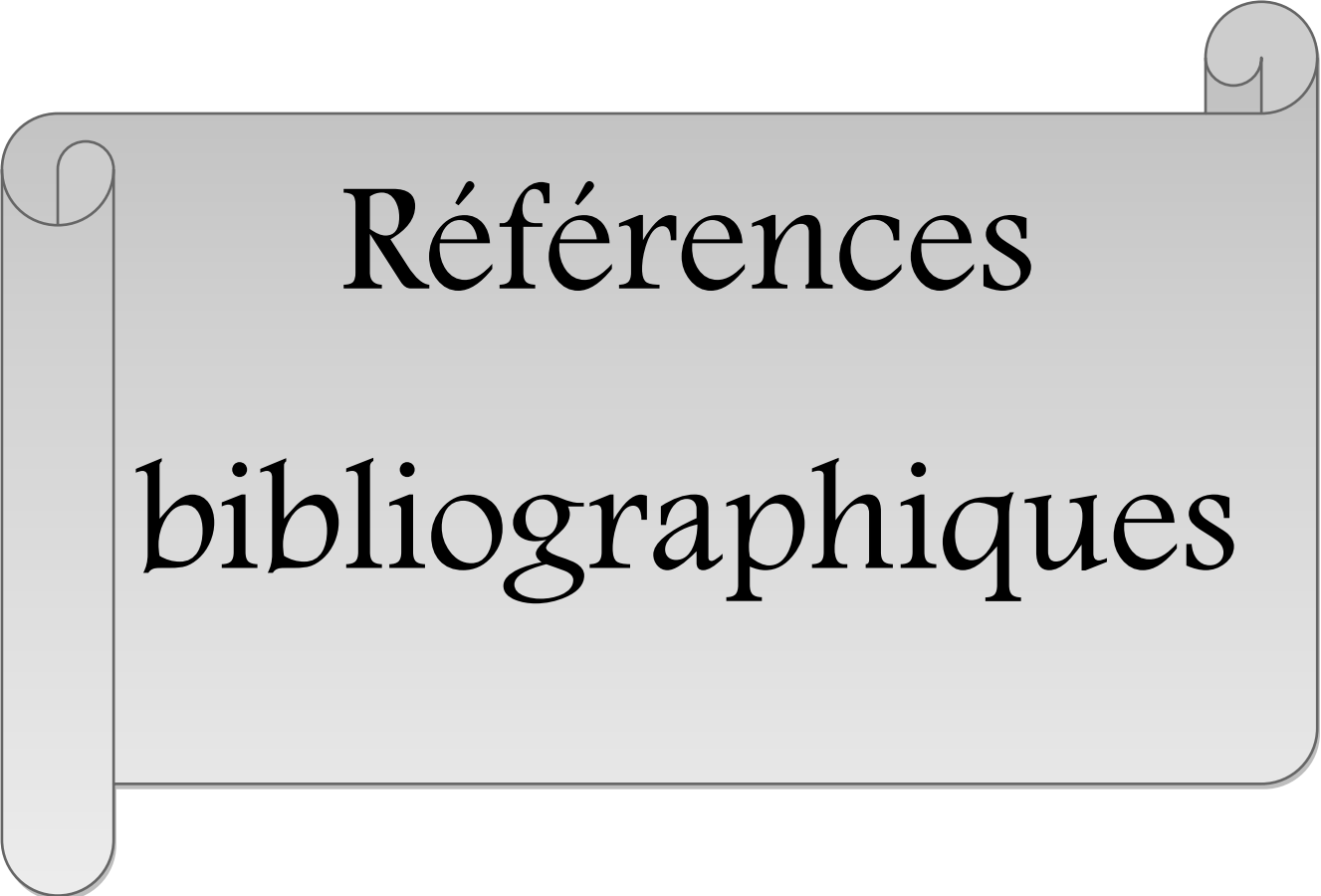
bibliographique



Introduction
générale



Conclusion
générale



Références
bibliographiques

Annexe 1

Tableau : Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents textiles.

Paramètre	Unité	Valeurs limites	Tolérance aux valeurs limites anciennes installations
Température	°C	30	35
pH	-	6,5 - 8,5	6 – 9
DBO₅	mg. L ⁻¹	150	200
DCO	-	250	300
Matière décantable	-	0,4	0,5
Matière non dissoute	-	30	40