

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE 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 LAGHOUAT
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:

BOUNOURA Bahmed

TRARI Zakaria

THEME

Cinétique d'adsorption du Bleu de Méthylène sur une bentonite pontée

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Mr. KORIBA Bakhti

M.A. A

Président

Mme. ALLAL Farida

M. C. B

Examinatrice

Mme. HAMDI Fatima Zohra Karima

M. A. A

Examinatrice

Mlle. BATANA Fatima Zohra

M.A. A

Promotrice

Année Universitaire : 2018- 2019

Dédicaces

Je dédie ce travail :

*A mes parents qui me sont très chers et qui m'ont toujours aidé à réussir dans la vie
J'espère qu'ils sont fiers de moi et de mon travail.*

A ma très chère grande mère

A mon cher frère Ilyes et mes sœurs

A ma chère femme

A toute ma famille Bounoura, Hanni et said

A tous mes amis, surtout mon frère Salah

A tous mes collègues surtout Halima et Nesrine

*A tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, même avec un mot
d'encouragement et de gentillesse.*

A tous ceux et celles qui sont chères à mon cœur.

Ahmed Bounoura

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A ma chère mère qui m'a beaucoup encouragée

A mon cher père qui m'a beaucoup soutenu

A mes frères

A mes cousins

A mes amis TIMAWI, CHATTI, ABDRAHMAN, MAHDAUOI

A toute ma famille

*A tous ceux qui sont proches de mon cœur et dont je ne n'ai pas cité
les noms surtout mes collègues de la 2^{ème} année chimie inorganique*

Trari Zakaria

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions le bon Dieu de nous avoir menés jusqu'ici. Pourquoi ne pas le dire, dans cette épreuve où seuls le courage et la maîtrise des connaissances ne suffisent pas, la force qui donne l'impulsion ne peut provenir que de Dieu.

Nos premiers remerciements s'adressent à notre promotrice **Mlle. BATANA Fatima Zohra** pour la qualité de son encadrement, ses compétences, ses conseils, sa disponibilité et ses qualités humaines qui nous ont permis de mener à bien ce mémoire.

Nous tenons à remercier très sincèrement Monsieur **KORIBA Bakhti** pour l'honneur qu'il nous a fait en acceptant la présidence de ce jury.

Nous remercions également Mesdames **ALLAL Farida** et **HAMDI Fatima Zohra Karima** pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail, qu'ils trouvent ici l'expression de notre profond respect.

Nos remerciements s'adressent également au Professeurs **SAIDAT Boubekour** et **ALLAOUI Omar**

C'est avec un grand plaisir que nous profitons de cette occasion pour remercier toute l'équipe de laboratoire pédagogique (SM).

On terminera en pensant, sans les nommer, à tous ceux que nous avons croisés sur notre chemin et qui ont contribué à rendre possible notre parcours.

Liste des abréviations

ABS : absorbance.

B : Bentonite.

B.B: Bentonite Brute.

BM : Bleu de Méthylène.

B. PCBA: Bentonite pontée par Aluminium

B. PCBF: Bentonite pontée par Fer

B.S : Bentonite Sodée.

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),

K₁ : Constante de vitesse d'adsorption du premier ordre (min⁻¹),

K₂ : Constante de vitesse d'adsorption de deuxième ordre (g. mg⁻¹. min⁻¹),

m : Masse de l'adsorbant (g),

PCBA : solution pontante de polycations à base d'aluminium (III)

PCBF : solution pontante de polycations à base de fer (III)

PPO : pseudo-premier-ordre,

PSO : pseudo-second-ordre,

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_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).

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

Liste des figures

Figure I.1 : Schéma représentant les sites octaédrique et tétraédrique.....	4
Figure I.2 : Schéma du pontage des argiles.....	5
Figure I.3 : spectre DRX d'une Bentonite brute.....	6
Figure I.4 : Différents domaines d'utilisation des colorants.....	9
Figure I.5 : Phénomène d'adsorption.....	11
Figure II.1 : Préparation de la bentonite pontée.....	16
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 la cinétique d'adsorption en réacteur discontinu.....	19
Figure II.5 : Représentation graphique de la cinétique d'adsorption de BM sur bentonites ($C_0 = 5$ mg. L ⁻¹ , $m = 0,015$ g, $v = 250$ tr. min ⁻¹ , $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 6 \pm 0,2$)	21
Figure II.6 : Modèle de pseudo premier ordre.....	24
Figure II.7 : Modèle de pseudo second ordre.....	26
Figure II.8 : Effet de la température des solutions sur l'adsorption de BM sur bentonites ($C_0 = 5$ mg. L ⁻¹ , $m = 0,015$ g, $v = 250$ tr. min ⁻¹ , $\text{pH} = 6 \pm 0,2$).....	28
Figure II.9 : Effet du pH des solutions sur l'adsorption de BM sur bentonites ($C_0 = 5$ mg. L ⁻¹ , $m = 0,015$ g, $v = 250$ tr. min ⁻¹ , $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$)	30

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Principaux groupements chromophores et auxochromes.....	6
Tableau I.2: Propriétés physico-chimiques et structurales du BM.....	8
Tableau II.1 : Caractéristiques des solutions pontantes préparées.....	13
Tableau II.2 : Caractéristiques de la régression linéaire de BM.....	16
Tableau II.3 : Valeurs des constantes et des coefficients de corrélation du premier ordre...	22
Tableau II.4: Valeurs des constantes et des coefficients de corrélation du pseudo-second ordre.....	24



Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
I. Partie Bibliographique	
I.1. Argiles	3
I.1.1. Généralités et définition	3
I.1.2. Cristallographie des minéraux argileux	3
I.1.3. Structure de minéraux argileux	3
I.1.4 Propriétés des argiles	4
I.1.5 Pontage des argiles	5
I.1.6. Argiles et environnement	5
I.2. Bentonites	5
I.2.1. Types de Bentonites	6
I.2.2. Étude le spectre DRX de l'évolution de la bentonite brut	6
I.2.2. Domaines d'utilisation	7
I.3. Colorants	7
I.3.1. Aspect toxicologique	8
I.3.2. Utilisation des colorants	8
I.3.3. Bleu de méthylène (BM)	9
I.3.4. Utilisations	10
I.3.5. Toxicité	10
I.4. Adsorption	10
I.4.1. Différents types d'adsorption	11
I.4.2. Cinétique d'adsorption	12
II. Partie expérimentale	
II.1. Matériels et produits	14
II.1.1. Produits	14
II.1.2. Matériels	14
II.2. Préparation de la bentonite pontée	14

II.2.1. Solutions pontantes.....	14
II.3. Bentonites pontées.....	15
II.4. Analyse par Spectrophotométrie d'absorption UV-Visible.....	17
II.5. Etablissement de la courbe d'étalonnage	18
II.6. Processus d'adsorption	19
II.7. Protocole de la cinétique d'adsorption	19
II.8. Cinétique d'adsorption.....	20
II.9. Modèles cinétiques	23
II.10. Influence de la température	27
II.11. Influence du pH	29
Conclusion générale	32
Références bibliographiques	33



Sommaire

Introduction générale

L'eau est à l'origine de la vie sur la terre mais diverses activités humaines, industrielles, urbaines ou agricoles provoquent sa pollution. A titre d'exemple, les teintures synthétiques utilisées en industrie textile sont rejetées directement dans l'environnement aquatique sans aucun traitement préalable.

Suite à cette grande menace de l'environnement, de nombreux travaux ont été réalisés sur la dépollution de l'eau au cours de ces dernières années et plusieurs techniques de dépollution et de traitement des rejets liquides sont développées telles que la précipitation, la coagulation-floculation et l'adsorption qui reste une technique relativement utilisée et facile à mettre en œuvre [1].

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.

Parmi les colorants les plus utilisés, on cite le bleu de méthylène, qui est un colorant cationique et a la réputation d'être une substance non biodégradable et persistante dans l'environnement [2].

Notre objectif, est d'étudier l'élimination de Blue de Méthylène par adsorption sur différents types de bentonites.

Dans le présent travail, nous nous sommes intéressés à l'étude de l'adsorption de ce colorant sur une bentonites de la région de Maghnia, qui est un adsorbant naturel et largement disponible.

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,
- ❖ Rappels sur l'adsorption, la cinétique et ses modèles.

La deuxième partie comporte :

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

I.1. Argiles

I.1.1. Généralités et définition

En tant que matière première brute, l'argile est un mélange de minéraux argileux et d'impuretés cristallines sous forme de débris rocheux de composition infiniment diverse.

L'intérêt accordé à l'étude des argiles par de nombreux laboratoires dans le monde se justifie par leur abondance dans la nature, l'importance des surfaces qu'elles développent, la présence des charges électriques sur cette surface et surtout l'échangeabilité des cations inter-foliaires responsables de l'hydratation, du gonflement, de la plasticité et ils confèrent à ces argiles des propriétés hydrophiles [3].

En Algérie, les gisements d'argile les plus importants se trouvent au nord-ouest du pays, à Maghnia (Hammam Boughrara) d'où vient le nom de Maghnite. Dont les réserves sont estimées à un million de tonnes et de celle de Mostaganem (M'zila) avec des réserves de deux millions de tonnes [4].

I.1.2. Cristallochimie des minéraux argileux

En 1980, les comités des nomenclatures de l'Association Internationale Pour l'Etude des Argiles (A.I.P.E.A) ont fixé une standardisation des termes structuraux (plan, couche et feuillet) se référant à des arrangements plus ou moins épais d'atomes et sont utilisés de la manière suivante :

- Plans : sont constitués par les atomes.
- Couches : tétraédrique ou octaédrique, sont formés par une combinaison de plans.
- Feuilletés : sont les unités structurales de base définissant la nature minéralogique, l'appartenance au type d'argile, les propriétés physico-chimiques ainsi que le comportement macroscopique.

I.1.3. Structure de minéraux argileux

Les argiles sont constituées d'empilements de feuillets bidimensionnels silicatés, ces derniers sont formés par l'assemblage d'une ou de deux couches de tétraèdres de SiO_4 et d'une couche d'octaèdres d'oxyde métalliques alumineux ou magnésiens dans un rapport 2 :1 ou 1 :1 [5].

I.1.3.1. Couche tétraédrique

Cette couche est formée par l'enchaînement de tétraèdres dont les sommets sont occupés par des atomes d'Oxygène et le centre par un atome de Silicium, comme il peut être aussi occupé par un atome trivalent Al^{3+} .

I.1.3.2. Couche octaédrique

Elle est constituée par un enchaînement de plusieurs octaèdres dont les sommets sont occupés par des atomes d'oxygènes et des groupements hydroxyles, conférant ainsi, une structure hexagonale compacte. Les centres peuvent être occupés par des atomes variés de valence trois (Al, Fe) ou deux (Fe, Mg) [4]

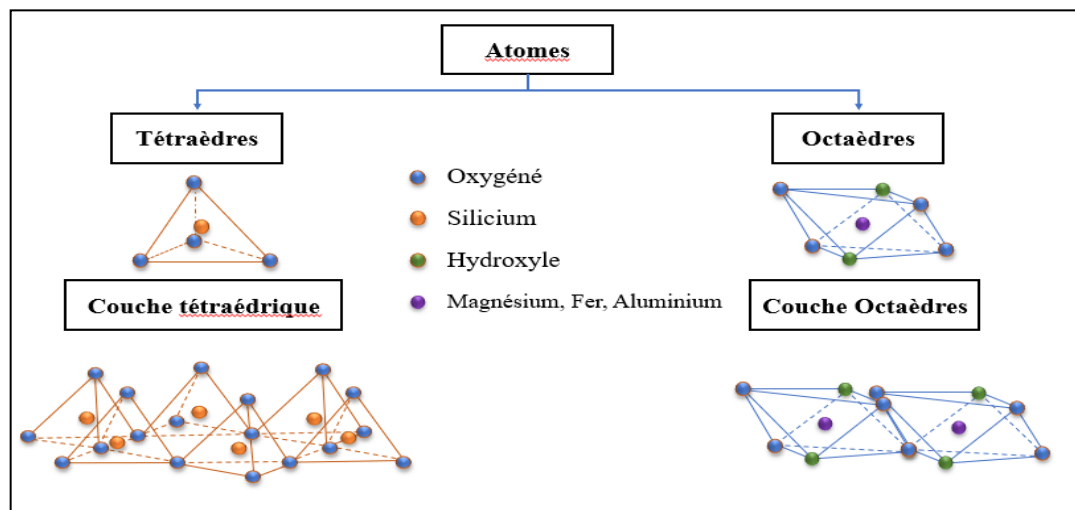


Figure I.1 : Schéma représentant les sites octaédrique et tétraédrique [3].

I.1.4 Propriétés des argiles

- **Fragilité** : elles cassent et se raient facilement.
- **Coloration** : leur couleur varie selon les minéraux dont elles sont constituées.
- **Transformabilité** : on peut les cuire pour obtenir des céramiques.
- **Miscibilité à l'eau** : elles ne se dissolvent pas mais gonflent pour former une pâte
- **Surface spécifique** : très importante, varie entre 10 à 20 $m^2 \cdot g^{-1}$ et peut atteindre 800 $m^2 \cdot g^{-1}$ dans le cas de la montmorillonite sodique [6].

I.1.5. Pontage des argiles

Le pontage des argiles réside dans l'intercalation entre leurs feuillets de gros polycations métalliques simples ou mixtes dans le but d'obtenir des matériaux microporeux, à structure rigide, avec un grand espacement inter-foliaire.

Le pontage défini par ces trois notions (intercalation, porosité et stabilité thermique) conduit à ce qui est appelé argiles à piliers inter-lamellaire [6].

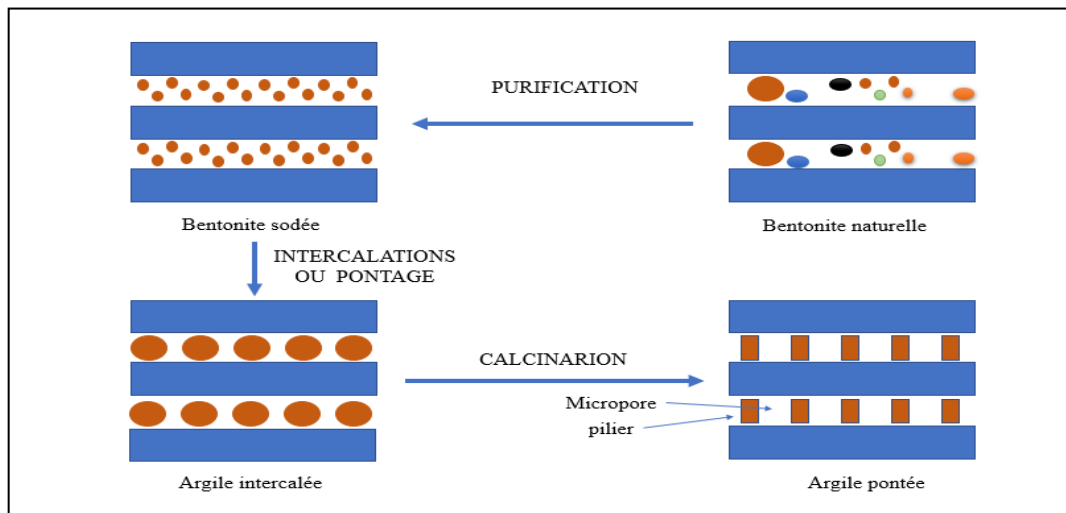


Figure I.2 : Schéma du pontage des argiles [6].

I.1.6. Argiles et environnement

Dans le domaine environnemental, les argiles ont un rôle important dans divers problèmes environnementaux et leur utilisation augmente significativement :

- Rétention des isotopes radioactifs dans les sols contaminés ;
- Support solide des pesticides et des éléments métalliques dans les sols ;
- Barrière d'étanchéité dans les décharges.

I.2. Bentonites

La bentonite est une argile colloïdale naturelle découverte aux Etats Unis en 1888 à Fort Benton dans le Wyoming. Par rapport aux autres argiles, la bentonite a la propriété de gonfler au contact de l'eau en donnant un gel plus ou moins épais. De très nombreux gisements ont été découverts dans le monde [7].

I.2.1. Types de Bentonites

On distingue trois grands groupes de bentonites.

- **Bentonites sodiques naturelles** (gonflantes et actives naturellement)
- **Bentonites calciques naturelles** (peu gonflantes, peu actives).
- **Bentonites activées** (gonflement et activité définis par le taux d'activation) [7].

I.2.2. Étude le spectre DRX de l'évolution de la bentonite brut

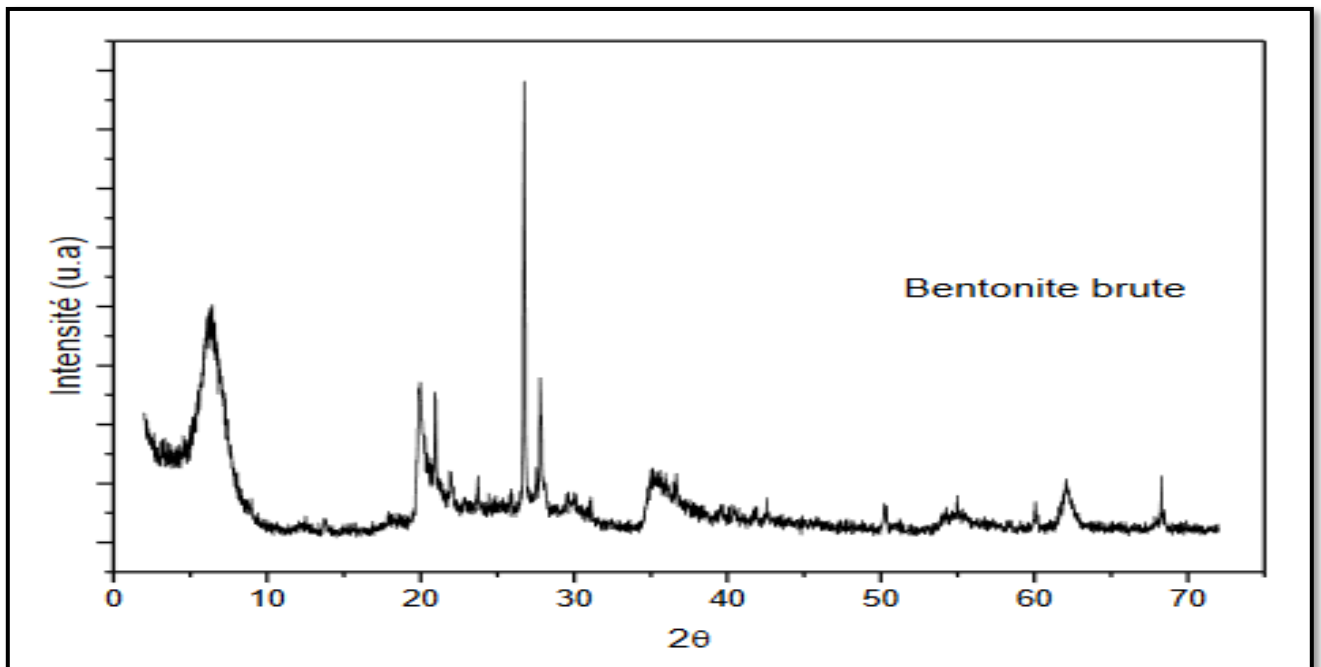


Figure I.3 : spectre DRX d'une Bentonite brute.

Les phases majoritaires non gonflantes mises en évidence dans la bentonite brute et qui sont considérées comme impuretés sont le quartz, le feldspath, la cristobalite et le carbonate (calcite). La fraction argileuse de la bentonite brute est constituée en grande proportion de montmorillonite.

Tableau I.1. Les principales intensités du DRX de la Bentonite de Maghnia brute d'après Greenwood L. L. (2000).

Position 2θ Cu Kα	d _{hkl} (Å)	hkl	Phase identifiée
6.00	14.72	001	Montmorillonite (M).
17.50	5.06	002	Montmorillonite (M).
20.00	4.44	110	Montmorillonite (M).
20.90	4.25	001	Quartz (Q).
22.00	4.04	--	Cristobalite(Cri).
26.00	3.75	020	Montmorillonite (M).
26.60	3.35	002	Quartz (Q).
27.35	3.21	--	Feldspath (F).
29.50	3.03	--	Calcite(Ca).
35.00	2.56	200	Montmorillonite (M)..
55.00	1.67	009	Montmorillonite (M)..
62.00	1.50	060	Montmorillonite(M)..

I.2.2. Domaines d'utilisation

La structure particulière de la bentonite et son exploitation peu onéreuse lui confèrent certaines propriétés. Elle se caractérise par une capacité élevée d'adsorption, d'échange ionique et de gonflement, aussi par des propriétés rhéologiques particulières qui rendent son application très utile dans divers domaines comme :

- Catalyseur et échangeur d'ions dans l'industrie chimique et pétrolière.
- Sorbant adéquat dans l'épuration des eaux résiduaires contaminées par les métaux lourds dans l'industrie du papier, textile, et du cuir.
- Support colloïdal des boues dans les laitiers de ciment et le domaine de forage [8].

I.3. Colorants

Les colorants sont des composés organiques capables de teindre une substance et d'absorber certaines radiations lumineuses, cette propriété résulte de l'introduction, dans leurs molécules de certains groupements d'atomes insaturés qui leur confèrent la couleur appelés « Chromophores » qui

sont: C=O, C=S, -C=N, -N=N-, -N=O,-NO₂, et des groupements qui permettent leur fixation dénommés auxochromes qui sont essentiellement les groupements -NR₂, -OH, -SH, -SO₃H et -COOH [3, 4].

Tableau I.2. Principaux groupements chromophores et auxochromes :

Groupes chromophores	Groupes auxochromes
Azo (-N=N-)	Amino (-NH ₂)
Nitroso (-N=O)	Méthylamino (-NHCH ₃)
Carbonyl (>C=O)	Diméthylamino (-N(CH ₃) ₂)
Vinyl (-C=C-)	Hydroxyl (-OH)
Nitro (-NO ₂)	Alkoxy (-OR)
Sulfure (>C=S)	Groupes donneurs d'électrons

I.3.1 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.

I.3.2. Utilisation 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** :

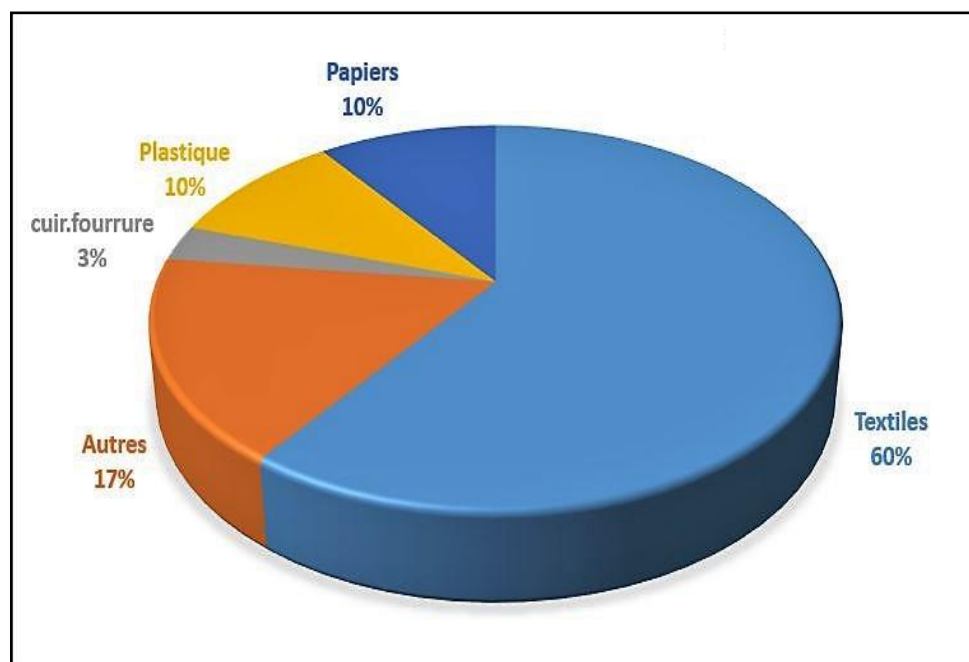


Figure I.4 : Différents domaines d'utilisation des colorants [4]

Parler des colorants est vaste, aussi dans notre présente étude, nous avons ciblé un colorant d'usage courant s'agissant du bleu de méthylène.

I.3.3. Bleu de méthylène (BM)

Le colorant de bleu de méthylène a été employé pour déterminer la surface spécifique des minéraux argileux pendant plusieurs décennies. La formule chimique est $C_{16}H_{18}ClN_3S$, avec une masse moléculaire correspondant à $373,91 \text{ g. mol}^{-1}$.

A l'état aqueux, le bleu de méthylène est un colorant cationique, $C_{16}H_{18}ClN_3S^+$, lequel est adsorbé par les surfaces des argiles qui sont chargées négativement.

Ce colorant est choisi comme modèle représentatif des polluants organiques de taille moyenne.

Le tableau suivant résume les différentes caractéristiques du BM [9].

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

Nom chimique	
Chlorure de tetra-methylthionine (Chlorure de 3,7-bis (diméthylamino) phenazathionium)	
Formule brute C ₁₆ H ₁₈ N ₃ ClS	Masse molaire 319.85 mg. L ⁻¹
pKa 3.8	Solubilité dans l'eau à 20°C 40 g. L ⁻¹
Pureté (%) ≥85	pH 5.9

I.3.4. Utilisations

Le bleu de méthylène est utilisé intensivement dans différents domaines 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.3.5. 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.

I.4. Adsorption

L'adsorption est le processus au cours duquel des molécules d'un fluide (gaz ou liquide), appelé un adsorbât, viennent se fixer sur la surface d'un solide, appelé un adsorbant. Cette dernière est caractérisée par le fait que la valence de ses atomes n'est pas saturée ; ce qui conduit à la formation d'un champ d'adsorption qui provoque l'accumulation des molécules qui se trouvent à proximité de cette surface [10,11].

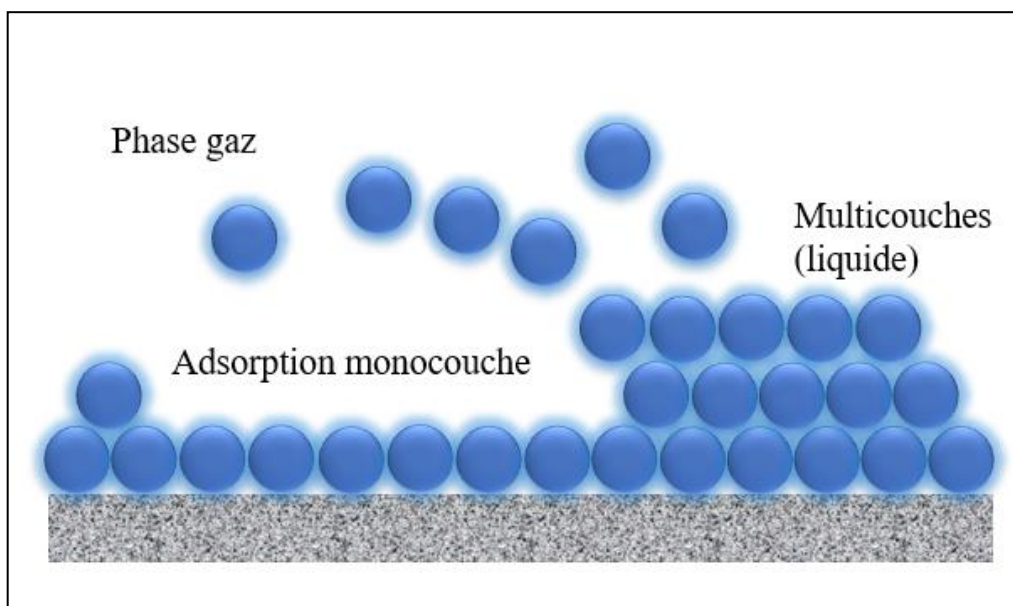


Figure I.5 : Phénomène d'adsorption [11].

I.4.1. Différents types d'adsorption

Il existe deux types de processus d'adsorption :

I.4.1.1. Adsorption physique

La physisorption, est un phénomène réversible et rapide due à l'existence des forces d'attractions intermoléculaires entre les solides et la substance adsorbée d'origine électrostatique de type "Van Der-Waals".

L'énergie mise en jeu dans ce cas est faible, elle est de l'ordre de 2 Kcal. mol^{-1} à $10 \text{ Kcal. mol}^{-1}$.

I.4.1.2. Adsorption chimique

La chimisorption est un phénomène irréversible due à une liaison chimique forte de type covalente entre les atomes superficiels du solide et les molécules adsorbées, ce type d'adsorption met en jeu des énergies d'attractions élevées, qui conduisent à des chaleurs d'adsorption élevées, approchant souvent aux énergies de liaisons chimiques covalentes de l'ordre de $20 \text{ Kcal. mol}^{-1}$ à $80 \text{ Kcal. mol}^{-1}$ [12].

I.4.2. Cinétique d'adsorption

Il est important de bien connaître les cinétiques d'adsorption quand on cherche à avoir des prévisions quantitativement correctes des performances des procédés. L'étude de l'adsorption d'un composé sur un adsorbant nous permet d'examiner l'influence du temps de contact sur sa rétention [2].

On peut calculer la quantité adsorbée à l'aide de l'équation suivante :

$$q = \frac{(C_0 - C_e) * V}{m} \dots\dots\dots (1)$$

Sachant que :

C_0 : Concentration initiale de l'adsorbât en (mg. L⁻¹),

C_e : Concentration résiduelle d l'adsorbât (mg. L⁻¹),

V : Volume de la solution (L),

m : Masse de l'adsorbant (g)

Plusieurs modèles ont été largement utilisés pour décrire la cinétique d'adsorption :

I.4.2.1. Modèle cinétique du pseudo-premier ordre (Lagergen)

Selon ce modèle, la cinétique d'adsorption peut être exprimée par l'équation suivante :

$$\frac{dq}{dt} = k_1 (q_e - q_t) \dots\dots\dots (2)$$

Avec :

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

q_t : Quantité d'adsorbât adsorbée par gramme d'adsorbant au cours du temps (mg. g⁻¹),

K_1 : Constante de la vitesse d'adsorption du premier ordre (min⁻¹).

La forme linéarisée de cette équation est donnée comme suit :

$$\ln(q_e - q_t) = -k_1 t + \ln q_e \dots\dots\dots (3)$$

I.4.2.2. Modèle cinétique du pseudo-second ordre (Lagergen)

Ce modèle est décrit par l'équation différentielle suivante :

$$\frac{dq}{dt} = k_2 (q_e - q_t)^2 \dots\dots\dots (4)$$

Après intégration, la forme linéarisée de cette équation est donnée ci-dessous :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{q^2 k_2} + \frac{1}{q_e} t \dots\dots\dots (5)$$

K₂ : Constante de la vitesse de réaction d'ordre 2 (mg. g⁻¹. min⁻¹).

II. Partie expérimentale

L'objectif principal de notre travail est d'étudier la cinétique de l'adsorption de bleu de méthylène sur différentes bentonites et l'influence de certains paramètres tel que le pH et la température sur le taux d'adsorption.

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

II.1. Matériels et produits

II.1.1. Produits

- Bleu de méthylène (DC Panarea),
- Bentonites (B. Brute, B. Sodée)
- Eau distillée préparée au laboratoire
- $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (99%),
- $(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O})$
- HCl (0,1M),
- NaOH (0,1M)

II.1.2. Matériels

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

II.2. Préparation de la bentonite pontée

II.2.1. Solutions pontantes

Dans cette partie de notre travail nous avons synthétisés deux solutions pontantes à base d'aluminium ($\text{Al}(\text{III})$) et de fer ($\text{Fe}(\text{III})$). Dans la préparation de ces solutions, nous utilisons le même procédé qui consiste à titrer une solution d'un sel métallique par une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à l'aide d'une burette avec un débit discontinu (goutte à goutte).

Lors du titrage, l'homogénéisation de chaque solution est réalisée par un agitateur rapide et puissant, afin d'éviter la sur alcalinité locale des solutions, qui peut déclencher la formation du précipité de l'hydroxyde métallique ($\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$).

II.2.1.1. Solution polycation d'aluminium

Dans cette synthèse, nous procédons au titrage d'une solution de chlorure d'aluminium 0,5 M (AlCl_3 , $6\text{H}_2\text{O}$) par une solution d'hydroxyde de sodium 0,225 M (NaOH) avec un débit discontinu $1,5 \text{ ml. min}^{-1}$ [13].

II.2.1.2. Solution polycation de fer

Cette solution est préparée en titrant une solution de sel ferrique, Nitrate de fer 0,43 M ($\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$) par une solution d'hydroxyde de sodium 0,75 M, selon les conditions présentées dans le tableau 2.1. Le titrage est effectué avec les mêmes conditions que l'aluminium.

Les différentes conditions de préparations des solutions pontantes utilisées sont reproduites par le tableau ci-dessous.

Tableau II.1. Caractéristiques des solutions pontantes préparées

Solutions pontantes	PCBA	PCBF
Formule de poly cation	$[\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}(\text{H}_2\text{O})_{12}]^{7+}$	Non identifié
Symbole	$\text{Al}_x(\text{OH})_y$	$\text{Fe}_x(\text{OH})_y$
Rapport molaire	$\text{OH}/\text{Al}=1,8$	$\text{OH}/\text{Fe} =2$
Temps de vieillissement	48 h	10 j
Débit (ml. min^{-1})	1,5	0,6

II.3. Bentonites pontées

L'intercalation de la bentonite par des polycations métalliques a pour but d'espacer le mieux possible les feuillets du minéral et de créer des pores dans ce minéral. Le pontage de la bentonite par

des polycations d'oxydes métalliques est réalisé selon une procédure qui fait appel à une succession d'opérations fondamentales qui sont l'échange cationique suivi d'un traitement thermique.

Des suspensions de bentonite de concentrations généralement égales à 0,5 % (w/w), initialement bien homogénéisées pendant une heure sont titrées goutte à goutte ($8,1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$), par des solutions pontantes sous agitation rapide et permanente. A la fin de la titration, nous laissons la bentonite en contact avec les polycations métalliques pendant environ 4 heures dans le but d'assurer une bonne insertion. Après plusieurs lavages à l'eau et filtration sous vide, les complexes sont mis dans un four à 500°C pendant 24 heures à l'abri de toute contamination extérieure surtout par les produits organiques volatils.

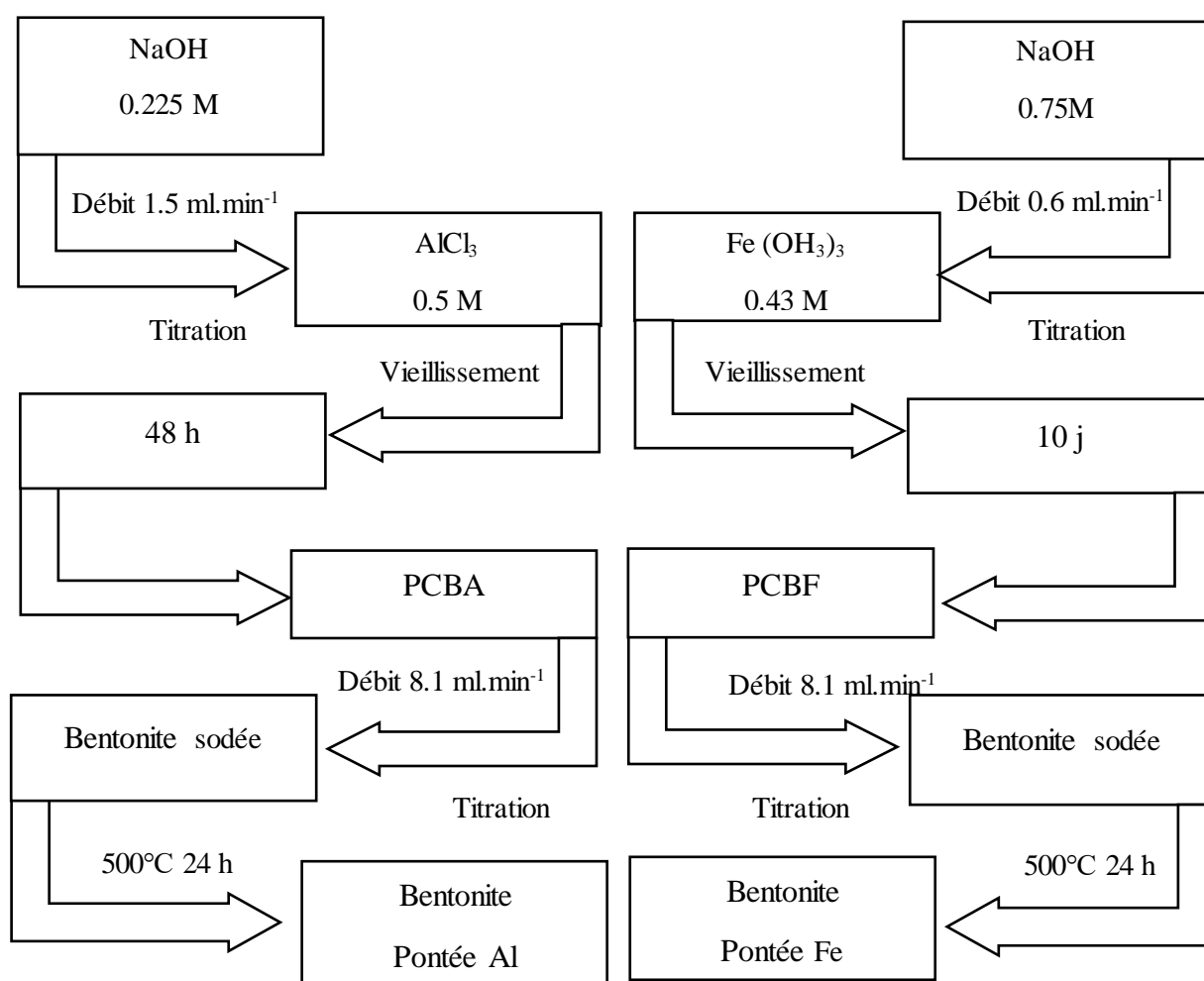


Figure II.1. : Préparation de la bentonite pontée [13].

II.4. Analyse par Spectrophotométrie d'absorption UV-Visible

La détermination de la concentration des colorants est effectuée par dosage spectrophotométrique dans le domaine de visible, en utilisant la loi de Beer-Lambert.

$$A = \text{Log} \frac{I_0}{I} = \varepsilon.l.C \dots\dots\dots (6)$$

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 :

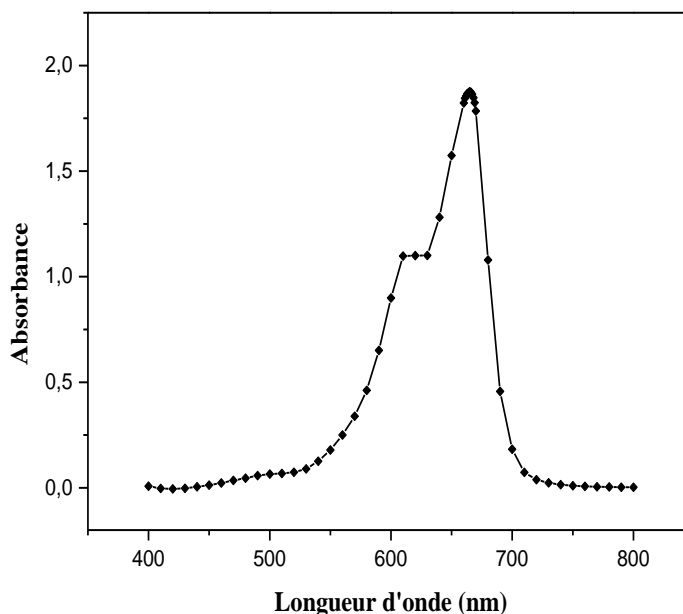


Figure II.2 : Spectre UV relatif au pic du BM

II.5. 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 plusieurs solutions étalons de concentrations différentes variant de 0,5 mg. L⁻¹ à 4 mg. L⁻¹.

La courbe d'étalonnage représentant l'absorbance en fonction de la concentration initiale en Bleu de Méthylène, $ABS = f(C_0)$, les résultats obtenus sont représentés sur la figure suivante :

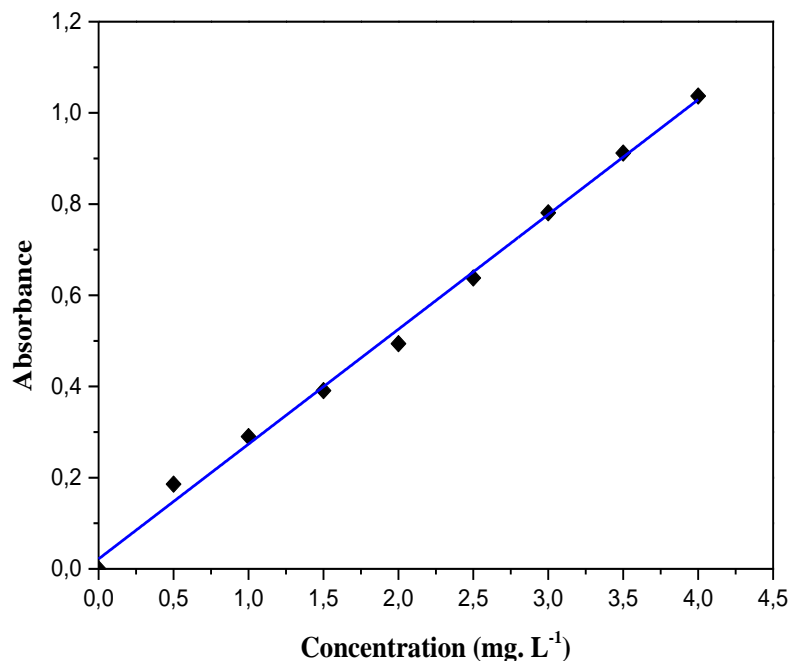


Figure II.3 : Représentation graphique de la courbe d'étalonnage de BM ($\lambda=665$ nm).

D'après la figure II.4, 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.2 : Caractéristiques de la régression linéaire de BM.

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

II.6. Processus d'adsorption

L'étude de l'adsorption du bleu de méthylène sur les différentes bentonites en poudre a été réalisée en réacteur discontinu dans des flacons fermés avec du para film. Ces derniers contenant une quantité de bentonite et 100 mL d'une solution du colorant à une concentration de 5 mg. L^{-1} , sont placés sous agitation à 250 tours par minute.

II.7. Protocole de la cinétique d'adsorption

Pour déterminer le temps d'équilibre qui correspond à une adsorption maximale, des solutions filles de concentration initiales égale à 5 mg. L^{-1} ont été préparées à partir de la solution mère. Les solutions préparées ont été transvasées dans des flacons fermés avec du parafilm et contenant 0,015 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 une durée d'agitation variable, les solutions sont filtrées à l'aide du papier filtre, les filtrats sont récupérés et analysés par UV-visible. Un flacon témoin sans adsorbant, servant de référence (blanc), a été traité dans les mêmes conditions pour chaque cas.

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

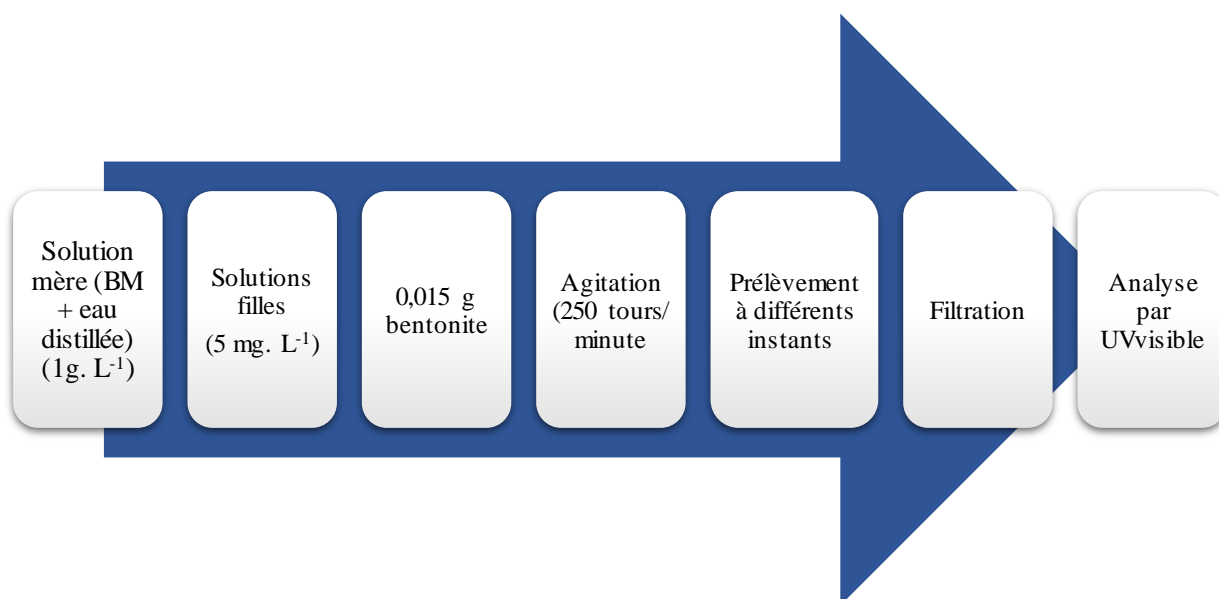


Figure II.4 : Schéma descriptif de la cinétique d'adsorption en réacteur discontinu.

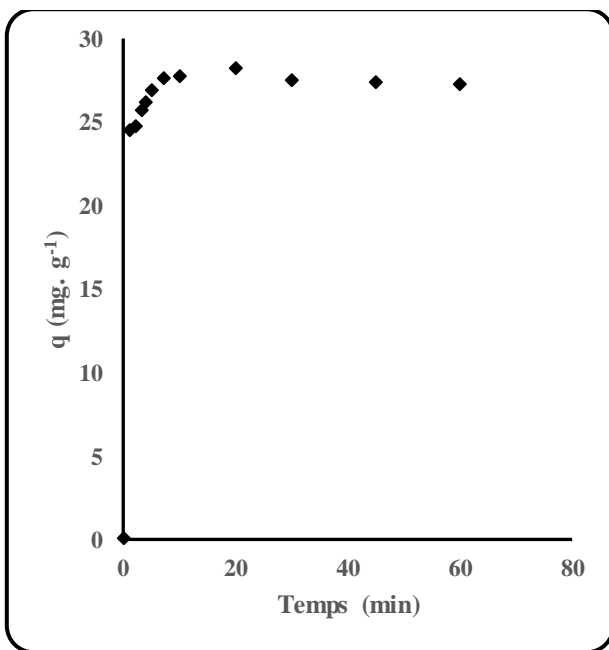
II.8. Cinétique d'adsorption

Les cinétiques d'adsorption décrivent les vitesses de réactions qui permettent de déterminer le temps de contact mis pour atteindre l'équilibre d'adsorption, cet équilibre est aussi étroitement lié à la concentration initiale de l'adsorbât et le temps de contact. Cette étude est souhaitable car elle fournit des informations sur le mécanisme de l'adsorption.

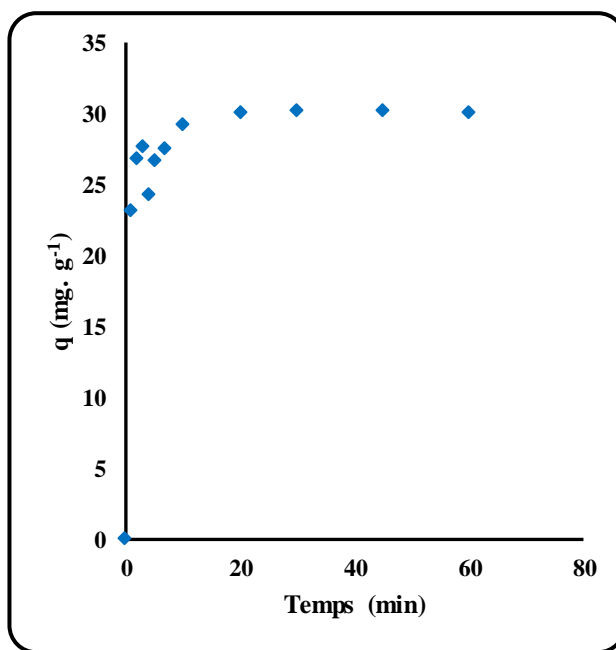
Nous avons suivi la cinétique d'adsorption du bleu de méthylène dans les conditions opératoires suivantes :

- Concentration initiale en bleu de méthylène = 5 mg. L⁻¹,
- Vitesse d'agitation = 250 tr. min⁻¹,
- Volume de l'adsorbat = 100 ml,
- Température = 22°C ± 2°C,
- Masse de bentonite = 0,015 g.
- pH = 6.2

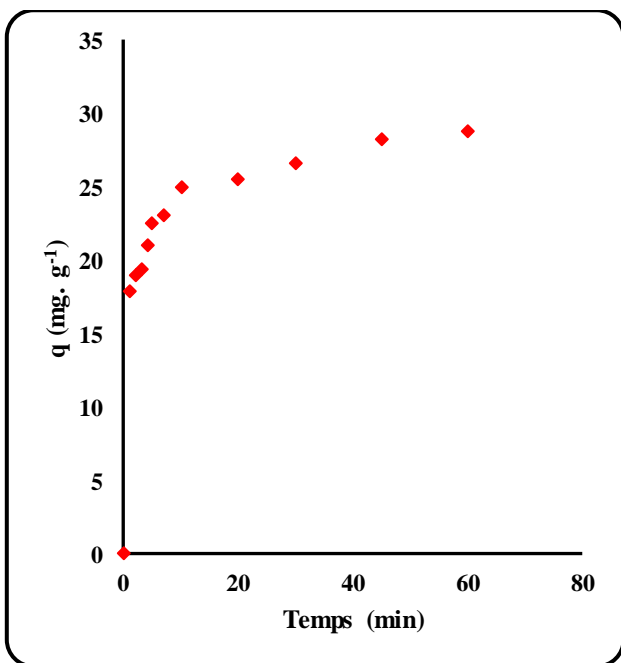
Les résultats obtenus sont illustrés sur les figures, qui représentent l'évolution de la quantité adsorbée en BM en fonction du temps de contact.



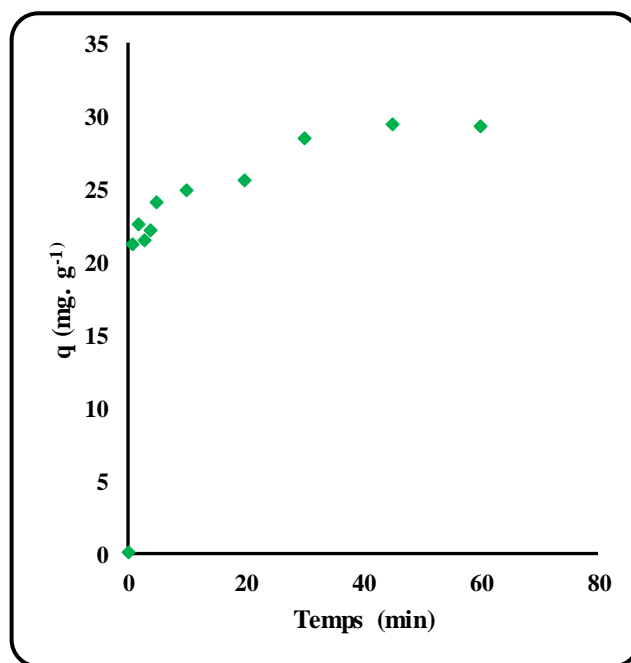
(a) : B. Brute



(b) : B. Sodée



(c) : B. PCBA



(d) : B. PCBF

Figure II.5 : Représentation graphique de la cinétique d'adsorption de BM sur bentonites à ($C_0 = 5$ mg. L⁻¹, $m = 0,015$ g, $v = 250$ tr. min⁻¹, $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 6 \pm 0,2$).

La figure II.5, montre qu'il y a une forte augmentation de l'adsorption de BM pour les premières minutes de contact environ 24 mg. g⁻¹ au bout de 1 minute pour la bentonite brute, cette quantité augmente jusqu'à atteindre une valeur de 28 mg. g⁻¹ et reste constante indiquant un état d'équilibre au bout de 10 minutes d'agitation. Cependant, pour la bentonite sodée, un état d'équilibre est remarqué après 10 minutes d'agitation avec une quantité adsorbée égale à 29 mg. g⁻¹.

Un temps d'équilibre de l'ordre de 20 minutes est remarqué pour la bentonite PCBA, mais avec une quantité adsorbée moins élevée en BM et de l'ordre de 25,5 mg. g⁻¹. Pour la bentonite PCBF ; il y a une augmentation de la quantité adsorbée jusqu'à 24 mg. g⁻¹ au bout de 5 minutes, cette quantité continue à augmenter et après 30 minutes d'agitation reste constante avec une valeur de 28 mg. g⁻¹ indiquant un état d'équilibre.

Nous pouvons conclure que, le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre dans le cas de l'adsorption de BM sur les différentes bentonites étudiées varie de 10 à 30 minutes avec des quantités variant de 25 mg. g⁻¹ à 29 mg. g⁻¹.

On constate que le taux d'adsorption était très rapide à la période initiale du temps de contact, ensuite, il a diminué graduellement avec le temps jusqu'à ce que l'adsorption soit atteinte au point d'équilibre.

Lorsque l'adsorption sur la surface extérieure a atteint le point de saturation, le colorant s'est diffusé dans les pores de l'adsorbant et a été adsorbé par la surface intérieure de l'adsorbant .

En général, l'adsorption de BM a montré que q_e augmentait brusquement de 1 minute à 20 minutes et s'équilibrait au-delà de ça. L'augmentation rapide initiale de q_e est attribuée à l'abondance des sites actifs sur les bentonites et, au fil du temps, ces sites sont saturés par le colorant, et par conséquent, l'adsorption ralentit et finalement se stabilise [14].

D'après les résultats représentés sur les figures, on peut constater que la courbe de cinétique peut se diviser en deux étapes distinctes : La première étape est rapide et correspond au transfert de masse externe tandis que la seconde est lente et est liée au phénomène de diffusion (transfert de masse interne).

La fixation rapide de BM sur les différentes bentonites étudiées s'explique par la grande affinité de ces dernières à l'adsorption de ce colorant. La quantité adsorbée de ce colorant sur les bentonites augmente avec le temps de contact jusqu'à l'obtention d'un palier [13].

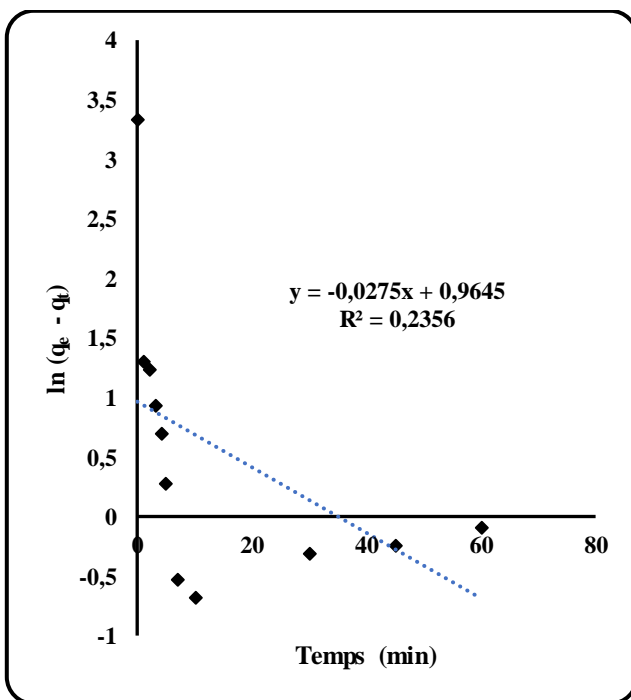
II.9. Modèles cinétiques

Plusieurs modèles de cinétique ont été utilisés afin d'interpréter les données expérimentales et donner des informations essentielles pour l'utilisation de bentonite dans le domaine d'adsorption. Nous avons adopté deux modèles de cinétique : pseudo premier ordre (PPO) et pseudo second ordre (PSO).

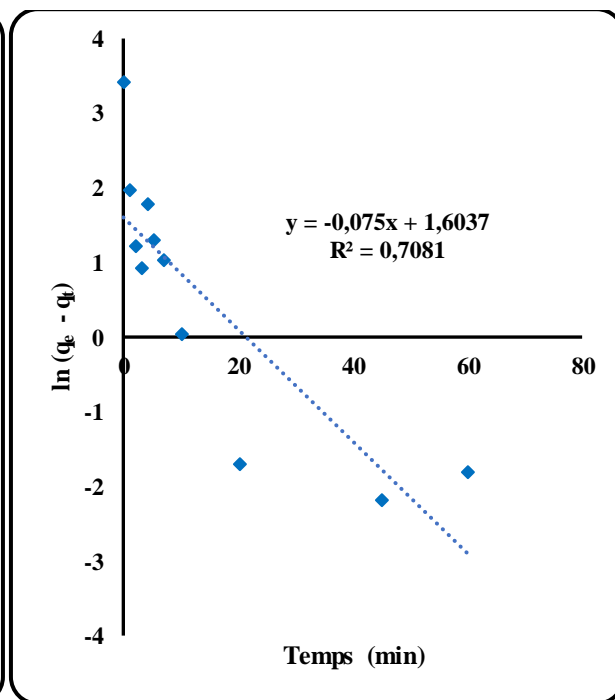
a. Pseudo premier ordre

On trace $\ln (q_e - q_t) = f(t)$, on obtient une droite d'une pente k_1 et $\ln q_e$ comme ordonnée à l'origine.

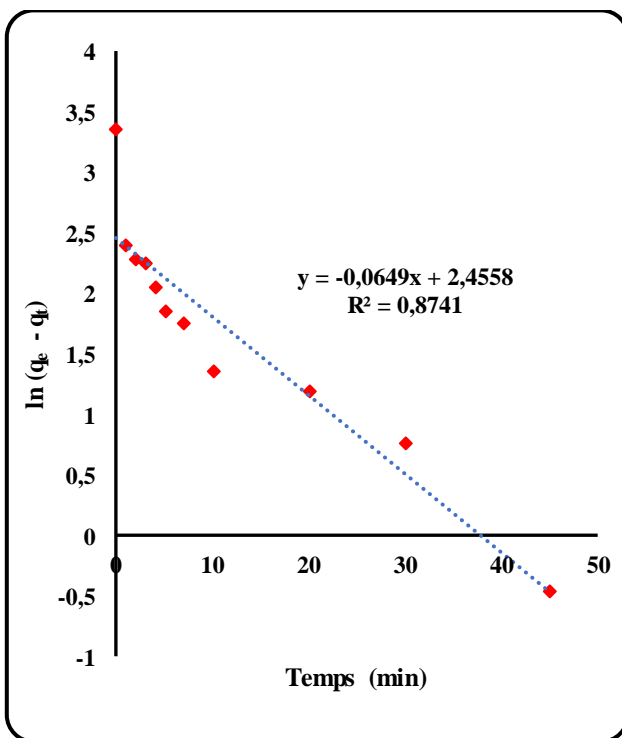
Les droites obtenues par le pseudo 1er ordre sont représentées ci-dessous :



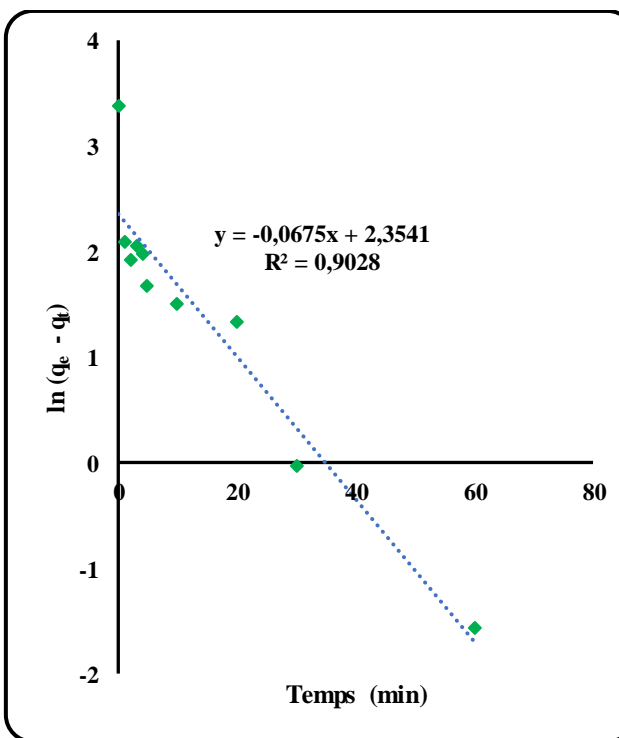
(a) : B. Brute



(b) : B. Sodée



(c) : B. PCBA



(d) : B. PCBF

Figure II.6 : Modèle de pseudo premier ordre

A partir des courbes de pseudo-premier ordre obtenues, nous avons pu calculer les paramètres cinétiques de ce modèle ; ce dernier permet de décrire les phénomènes ayant lieu lors des premières minutes du processus d'adsorption.

Nous avons récapitulé les différentes constantes de ce modèle d'adsorption à savoir les constantes de vitesse, les quantités adsorbées théoriques, expérimentales et les coefficients de corrélation R^2 dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.3 : Valeurs des constantes et des coefficients de corrélation du premier ordre BM.

Paramètres cinétiques	B. B	B. S	B. PCBA	B. PCBF
K_1 (min^{-1})	0.0275	0.075	0.0649	0.0675
q_{exp} ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	28.17	30.23	28.8	29.38
q_{calc} ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	2,62	4.97	11.65	10.52
R^2	0.2356	0.7081	0.8741	0.9028

D'après les résultats obtenus, il apparaît clairement que les facteurs de corrélations pour le pseudo premier ordre sont faibles ($R^2 < 0,90$), donc on peut conclure que l'adsorption du BM sur les différentes bentonites étudiées ne suit pas une cinétique du pseudo-premier ordre.

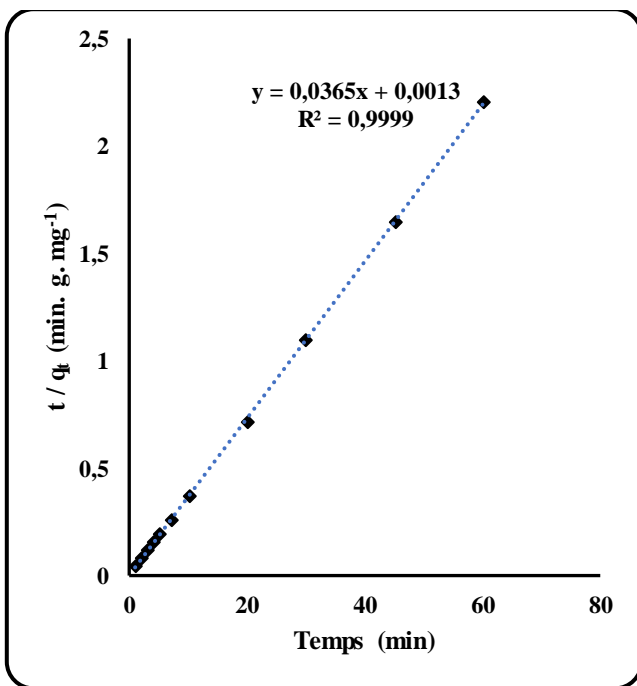
On remarque aussi que les valeurs des capacités maximales d'adsorption à l'équilibre déterminées théoriquement sont complètement différentes de celles mesurées expérimentalement et ceci est pour les quatre adsorbants étudiés.

b. Pseudo Second ordre

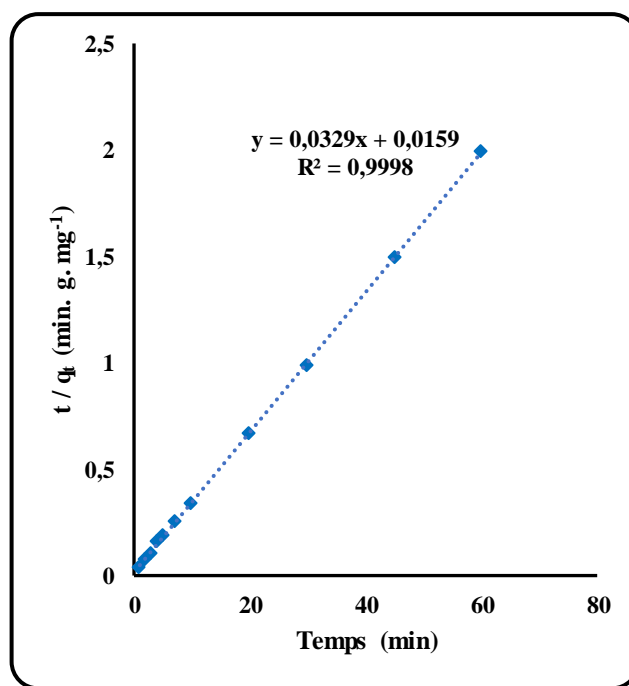
On trace les droites données par (t / q_t) en fonction du temps, on obtient une pente égale à

$$\frac{1}{q_e} \text{ et ordonnée à l'origine égale à } \frac{1}{k_2 q_e^2}.$$

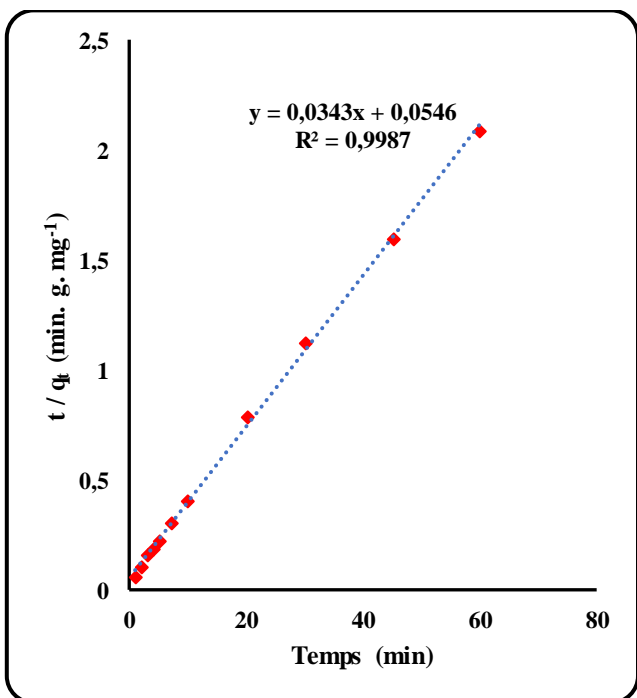
Les droites obtenues par le pseudo second ordre sont représentées ci-dessous :



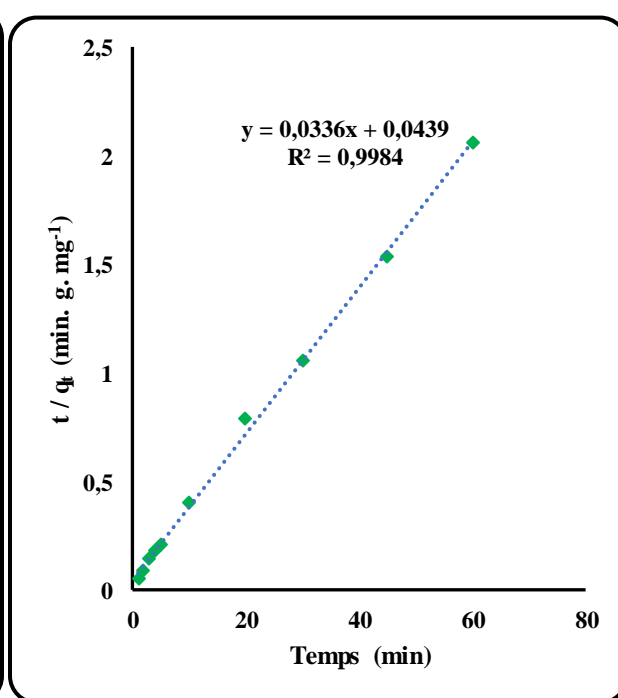
(a) : B. Brute



(b) : B. Sodée



(c) : B. PCBA



(d) : B. PCBF

Figure II.7 : Modèle de pseudo second ordre

A partir des courbes de pseudo-second ordre obtenues, nous avons pu calculer les paramètres cinétiques de ce modèle ; ce dernier est applicable à un intervalle de temps plus large (généralement l'ensemble du processus d'adsorption).

Ainsi, nous avons récapitulé les différentes constantes du modèle de pseudo second ordre à savoir les constantes de vitesse, les quantités adsorbées théoriques, expérimentales et les coefficients de corrélation R^2 dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.4: Valeurs des constantes et des coefficients de corrélation du pseudo-second ordre :

Paramètres cinétiques	B. B	B. S	B. PCBA	B. PCBF
K_2 (g. mg⁻¹. min⁻¹)	1.025	0.068	0.022	0.026
q_{exp}	28.17	30.23	28.8	29.38
q_{calc}	27.39	30,39	29.15	29.76
R^2	0,999	0.998	0.998	0.998

D'après les résultats obtenus, il apparaît clairement que les facteurs de corrélations pour le pseudo second ordre sont proches de l'unité ($R^2 > 0,99$) pour les différentes bentonites étudiées, contrairement, aux résultats trouvés dans le cas de pseudo premier ordre, donc on peut conclure que l'adsorption du BM sur les bentonites suit une cinétique du pseudo-second ordre.

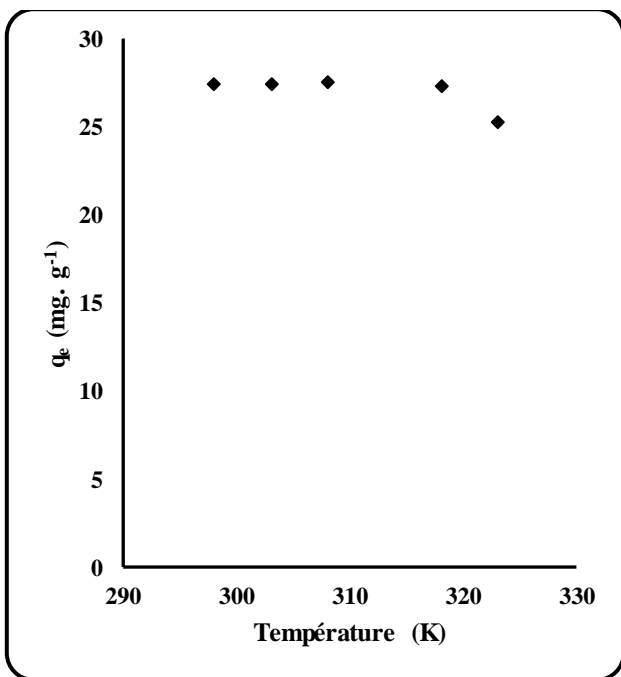
Contrairement au pseudo premier ordre, les valeurs des capacités maximales d'adsorption à l'équilibre déterminées théoriquement pour le pseudo second ordre sont proches à celles mesurées expérimentalement pour tous les adsorbants.

Donc on peut conclure, que les cinétiques d'adsorption sont bien ajustées par le pseudo second ordre ceci est confirmé par les résultats obtenus précédemment [13].

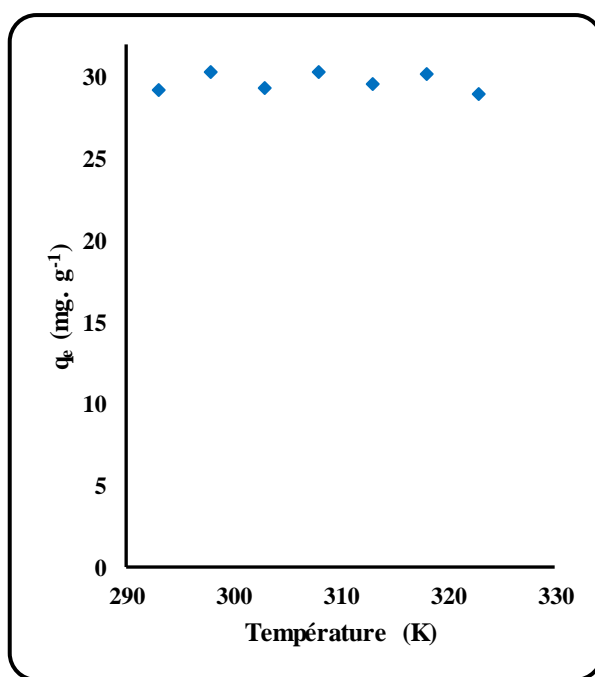
II.10. Influence de la température

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

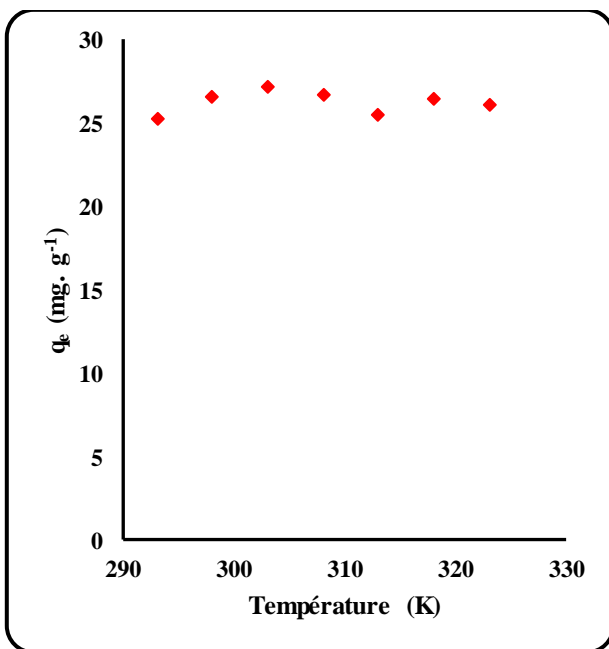
Les résultats obtenus sont présentés sur les figures suivantes.



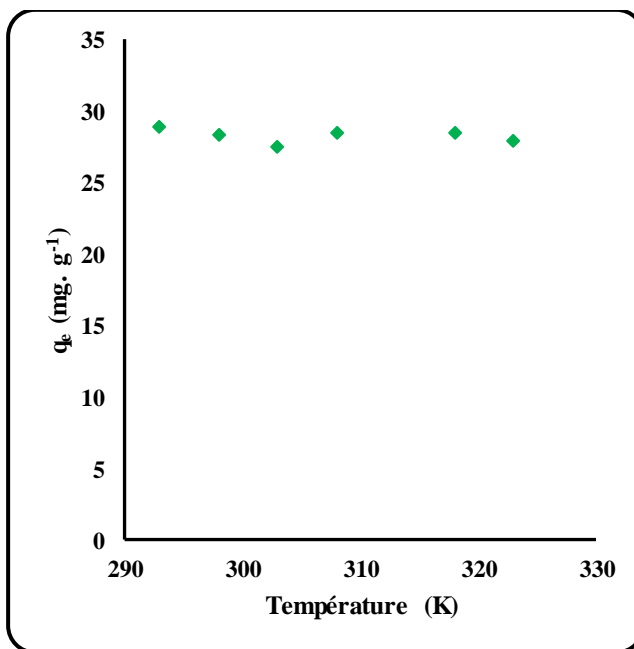
(a) : B. Brute



(b) : B. Sodée



(c) : B. PCBA



(d) : B. PCBF

Figure II.8 : Effet de la température des solutions sur l'adsorption de BM sur bentonites à ($C_0 = 5$ mg. L⁻¹, $m = 0,015$ g, $v = 250$ tr. min⁻¹, , pH = $6 \pm 0,2$).

D'après les figures ci-dessus, on remarque que :

Dans le cas de la bentonite brute et sodée, la variation de la température a une légère influence sur la quantité de BM adsorbée voire négligeable qui est égale à 27 mg. g⁻¹ et 30 mg. g⁻¹ pour B. B et B.S respectivement, ceci pour les températures comprises entre 293 K et 318 K, au-delà de cette température, on remarque une légère diminution de l'efficacité d'élimination du colorant pour atteindre 25 mg. g⁻¹ et 28 mg. g⁻¹ lorsque la température augmente de 318 K à 323 K, révélant que l'adsorption du BM est de nature exothermique, et la basse température favorise l'adsorption.

Toutefois, une surchauffe défavorise le déroulement du phénomène d'adsorption et peut entraîner l'augmentation de la cinétique de désorption [14].

La capacité d'adsorption de la bentonite PCBA augmentait de 25 mg. g⁻¹ à 27 mg. g⁻¹ avec l'augmentation de la température de 293 K à 303 K, donc, 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 [15].

La légère diminution de la capacité d'adsorption du BM sur la bentonite PCBF avec l'augmentation de la température indique que le processus est exothermique, et conduirait dans ces conditions à une adsorption physique [16].

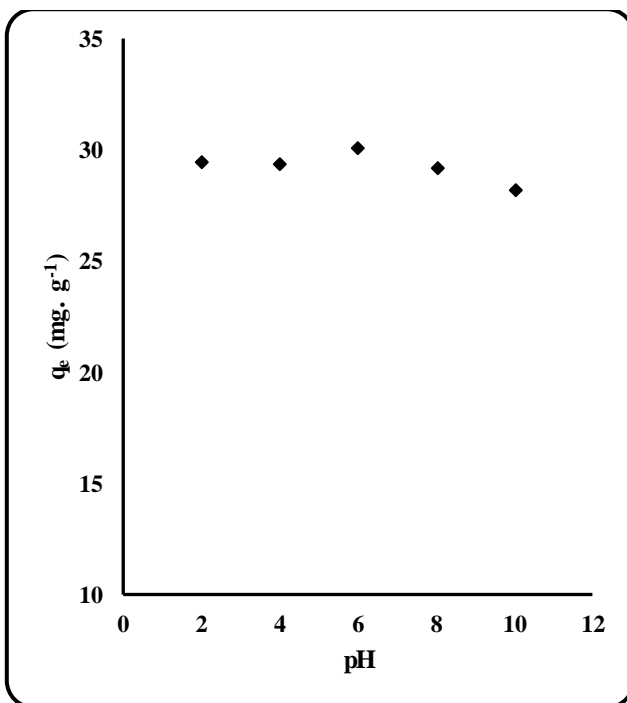
II.11. Influence du pH

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.

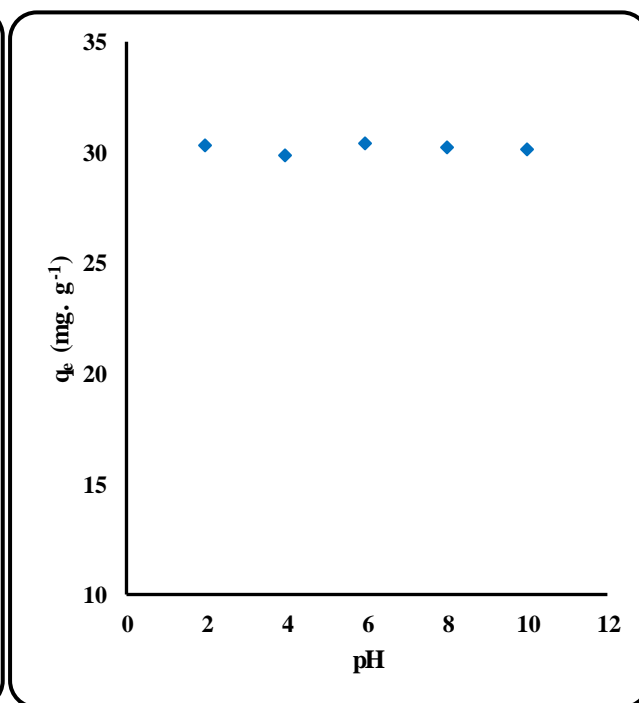
Afin d'évaluer l'influence du pH sur l'adsorption du BM sur les différents types de bentonite, nous avons menés une série d'échantillons du Bleu de Méthylène (5 mg. L⁻¹) à différent pH compris entre 2 et 10, sous agitation constante pendant 30 minutes pour les bentonites (brute, sodé, PCBA et PCBF)

L'acidification du milieu a été réalisée en y additionnant quelques gouttes d'acide chlorhydrique (0,1M) ; et l'hydroxyde de sodium (0,1M) a été utilisée pour avoir pH basique.

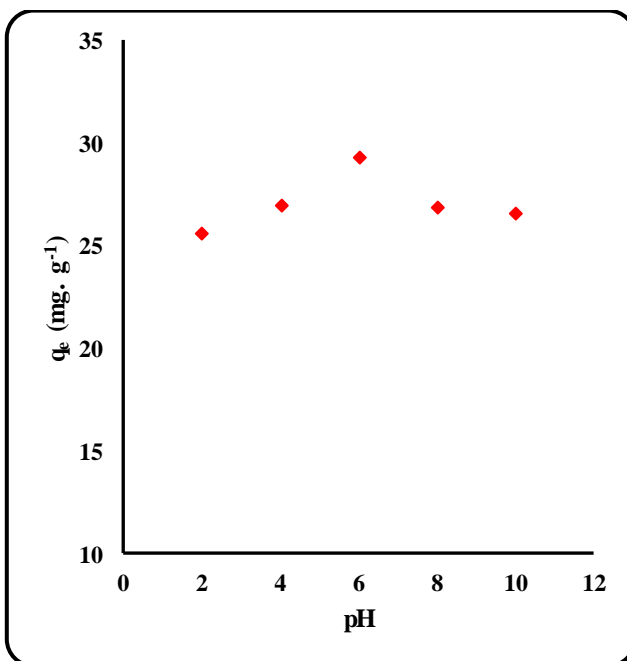
Les résultats obtenus sont présentés sur les figures suivantes.



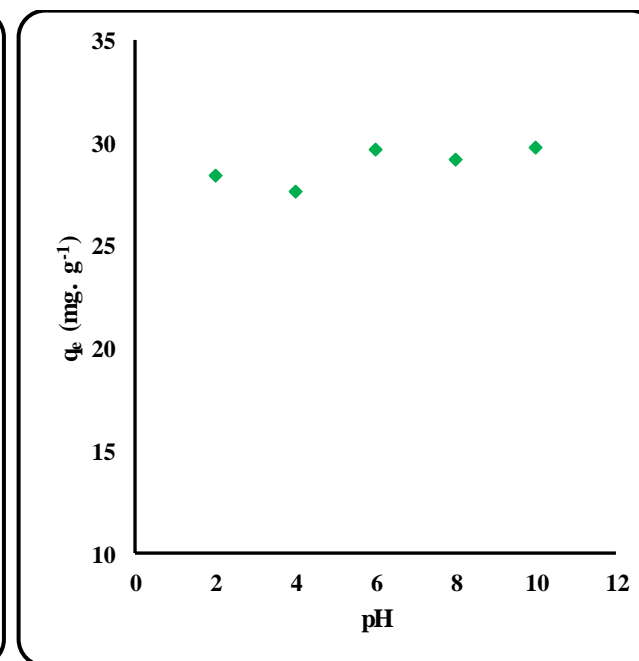
(a) : B. Brute



(b) : B. Sodée



(c) : B. PCBA



(d) : B. PCBF

Figure II.9 : Effet du pH des solutions sur l'adsorption de BM sur bentonites à ($C_0 = 5 \text{ mg. L}^{-1}$, $m = 0,015 \text{ g}$, $v = 250 \text{ tr. min}^{-1}$, $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$).

Les résultats de la figure précédente montrent que le taux d'élimination du colorant est généralement très peu influencé par les variations de pH

Nous pouvons constater, qu'en augmentant les valeurs de pH de 2 à 6, la quantité de BM retenue augmente légèrement pour les quatre types de bentonites [17].

L'augmentation de l'adsorption du Bleu de Méthylène avec l'augmentation du pH peut être le résultat de l'adsorption de l'ion de BM chargé positivement sur les surfaces minérales (bentonites) qui sont chargées négativement et spécialement à pH inférieur à 6 [18, 19].


Les valeurs de pH basique (supérieur à 7), entraînent une diminution des quantités adsorbées de BM. Ceci peut s'expliquer par l'existence des ions hydroxydes (OH^-) en excès dans la solution. Toutes les solutions de BM deviennent basiques après l'ajout des cendres ce qui a négligé l'effet de ce paramètre lors de cette étude [20, 21].

Conclusion générale

L'objectif de notre travail est d'étudier le pouvoir adsorbant de la bentonite à l'état brute, sodée et pontée sur l'élimination du bleu de méthylène.

Dans notre travail, nous avons réalisé des cinétiques d'adsorption, et l'influence de certains paramètres les résultats obtenus montrent que :

- La cinétique d'adsorption du bleu de méthylène sur les différentes bentonites est rapide et la capacité maximale est atteinte entre 15 et 30 minutes d'adsorption.
- Les capacités du traitement d'adsorption du bleu de méthylène sont variables selon le type de la bentonite étudiée et la quantité adsorbée sur la bentonite brute s'est avérée plus importante que celle d'autres bentonite.
- Le modèle de pseudo-premier ordre n'ajuste pas la cinétique d'adsorption de BM sur les quatre bentonites, car les coefficients de régression linéaire R^2 sont inférieurs à 0,90.
- Le modèle de pseudo-second ordre paraît modéliser convenablement les résultats obtenus et ceci pour toutes les bentonites avec des coefficients de régression linéaire $R^2 > 0,99$, ainsi, les capacités maximales d'adsorption à l'équilibre déterminées théoriquement sont proches à celles mesurées expérimentalement.
- Le taux d'élimination du colorant est généralement très peu influencé par les variations de pH
- L'efficacité d'adsorption de bleu de méthylène diminue avec l'augmentation de la température, donc le processus d'adsorption est exothermique.



Conclusion générale

Références bibliographiques

- [1] 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, 2060-2065.
- [2] Karim, A., Mounir, B., Hachkar, M., Bakasse, M., Yaacoubi, A. (2010). **Élimination du colorant basique « Bleu de Méthylène » en solution aqueuse par l'argile de Safi.** *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 23(4), 375-388.
- [3] Djebbar, M. (2014). **Argile de Maghnia : purification et adsorption de polluants,** *Thèse de doctorat*, Université d'Oran, Algérie.
- [4] Bouras, O. (2003). **Propriétés adsorbantes d'argiles pontées organophiles : synthèse et caractérisation** *Thèse de doctorat*, Université de Limoges, France.
- [5] Kheliel, O. (2014). **Etude du pouvoir adsorbant du charbon actif pour la dénitrification des eaux souterraines,** *Thèse de doctorat*, Université Mohamed Khider de Biskra.
- [6] Johnston, C. T., Sposito, G., & Erickson, C. (1992). **Vibrational probe studies of water interactions with montmorillonite.** *Clays and Clay Minerals*, 40(6), 722-730
- [7] DJAB, M. (2012). **Modification de la bentonite par des sels de Bis imidazolium– Applications à l'adsorption d'un colorant textile (Orange Télou),** *Mémoire de Master*, Université de Tlemcen.
- [8] BOUGDAH, N. (2007). **Etude de l'adsorption de micropolluants organique sur la bentonite.** *Mémoire de magister*, Université de Skikda.

- [9] BOUAZZA, F. (2012). **Elimination des polluants organiques par des argiles naturelles et modifiées**, *Mémoire de Master*, Université de Tlemcen.
- [10] Bouacherine, S. (2013). **Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée**, *Thèse de Doctorat*, Université de Souk Ahras.
- [11] Oubagha, N. (2011). **Décontamination des eaux contenant les colorants textiles et les adjuvants par des matériaux naturels et synthétique**. *Mémoire de magister*. Université de Tizi Ouzou.
- [12] Ayari, F., Srasra, E., Trabelsi-Ayadi, M. (2004). **Application des modèles de Langmuir et Freundlich aux isothermes d'adsorption des métaux lourds par l'argile purifiée**. *Journal de Physique IV* 122, 229-234.
- [13] Nistor, D. I., Miron, N. D., & Siminiceau, I. (2006). **Préparation des Argiles Pontées d'origine Roumaine avec des Polycations d'Aluminium et de Fer**. In *Actes du quatrième Colloque franco/roumain de chimie appliquée, COFRROCA*, 237-238.
- [14] Abdallah, M., Hijazi, A., Hamieh, M., Alameh, M., Toufaily, J., & Rammal, H. (2016). **Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de l'eucalyptus selon la taille des particules**, *Journal of materials and Environmental Science*, 7(11), 4036-4048.
- [15] Bao, Y., & Zhang, G. (2012). **Study of adsorption characteristics of methylene blue onto activated carbon made by Salix psammophila**. *Energy Procedia*, 16, 1141-1146.
- [16] Dbik, A., El Messaoudi, N., & Lacherai, A. (2014). **Valorisation du bois des noyaux des dattes d'une variété de palmier de la région de Tinghir (Maroc) : Application à l'élimination de bleu de méthylène**. *Journal of materials and Environmental Science*, 5, 2510-2514.
- [17] Aşçı, Y., Nurbaş, M., & Açıkel, Y. S. (2008). **A comparative study for the sorption of Cd (II) by soils with different clay contents and mineralogy and the recovery of Cd (II) using rhamnolipid biosurfactant**. *Journal of Hazardous Materials*, 154(1-3), 663-673.

- [18] Kantar, C., Ikizoglu, G., Koleli, N., & Kaya, O. (2009). **Modeling Cd (II) adsorption to heterogeneous subsurface soils in the presence of citric acid using a semi-empirical surface complexation approach.** *Journal of contaminant hydrology*, 110(3-4), 100-109.
- [19] Dong, D., Zhao, X., Hua, X., Liu, J., & Gao, M. (2009). **Investigation of the potential mobility of Pb, Cd and Cr (VI) from moderately contaminated farmland soil to groundwater in Northeast, China.** *Journal of hazardous materials*, 162(2-3), 1261-1268.
- [20] Laabd, M., El Jaouhari, A., Chafai, H., Aarab, N., Bazzaoui, M., & Albourine, A. (2015). **Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des colorants monoazoïques sur la polyaniline.** *Journal of materials and Environmental Science* 6(4), 1049-1059.
- [21] Fayoud, N., Younssi, S. A., Tahiri, S., & Albizane, A. (2015). **Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption de bleu de méthylène sur les cendres de bois.** *Journal of materials and Environmental Science* 11, 3295-3306.

ملخص

من أجل دراسة امتزاز ازرق الميثيلين على مختلف البنتونيت، تم إجراء اختبارات امتزاز في الدُفَعات. تم تحليل ازرق الميثيلين المدمص بواسطة الأشعة فوق البنفسجية. وأجريت التجارب بتركيز أولي قدره 5 ملغ. ل⁻¹. وقد أظهرت حركية الامتزاز أن التوازن يتم الوصول إليه بين 15 و30 دقيقة لكميات تتراوح بين 25 ملغ. ل⁻¹ و29 ملغ. ل⁻¹. توضح جميع النتائج التي تم الحصول عليها أن حركية الامتزاز للصبغة على البنتونيت موصوفة بشكل جيد من خلال نموذج الدرجة الثانية وأن نموذج الدرجة 1 لا يبدو كافياً. لا يتأثر معدل الامتزاز لازرق الميثيلين بشكل عام بتغيرات درجة الحموضة، في حين أن الزيادة في درجة الحرارة تقلل من كفاءة الامتزاز.

الكلمات المفتاحية: بنتونيت، ازرق الميثيلين، ادمصاص، درجة الحرارة، درجة الحموضة.

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 5 mg. L⁻¹. La cinétique d'adsorption a montré que l'équilibre est atteint entre 15 et 30 minutes pour des quantités comprises entre 25 mg. g⁻¹ et 29 mg. g⁻¹. L'ensemble des résultats obtenus montre que la cinétique d'adsorption du colorant sur les bentonites est bien décrite par le modèle du second ordre et le modèle de pseudo-ordre 1 ne semble pas adéquat. Le taux d'élimination du BM est généralement très peu influencé par les variations de pH, par contre l'augmentation de la température diminue l'efficacité de l'adsorption.

Mots clés : Bentonite, bleu de méthylène, adsorption, température, pH.

Abstract

In order to study the adsorption of BM on the various bentonites, batch adsorption tests were carried out. The adsorbed BM analysis was done by UV-visible. The experiments were carried out with an initial concentration of 5 mg. L⁻¹. The adsorption kinetics have shown that equilibrium is reached between 15 and 30 minutes for quantities of between 25 mg. g⁻¹ and 29 mg. g⁻¹. All the results obtained show that the adsorption kinetics of the dye on the bentonites is well described by the second-order model and the pseudo-order model 1 does not seem adequate. The elimination rate of BM is generally very little influenced by pH variations, whereas the increase in temperature decreases the efficiency of the adsorption.

Key words : Bentonite, methylene blue, adsorption, temperature, pH.