

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 تليدي 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 : METLILI Abderrahmane**

### **THEME**

---

## **Elimination d'un polluant par adsorption sur une argile modifiée par un tensioactif**

---

*Soutenu publiquement devant le jury composé de :*

HAMDI Ahmed	MCA	Président
TAOUTI Mohamed Benabdallah	Pr	Examineur
SEBIANE Sofiane	MAA	Examineur
BATANA Fatima Zohra	MCA	Promotrice
BRICHI Nour Elhouda	Doctorante	Invité

**Année Universitaire 2022/2023**

## Remerciements

Au début, je dois d'abord remercier **Allah** qui m'a permis d'atteindre ce haut niveau scientifique et m'a ouvert la voie pour être parmi vous aujourd'hui pour discuter mon mémoire de master.

J'exprime également mes remerciements et ma gratitude à mon enseignante **Dr. BATANA Fatima Zohra**, que Dieu la protège, la préserve et prolonge sa vie. Sa supervision et le fait qu'elle m'a accordé beaucoup de temps m'ont permis à produire ce mémoire scientifique sous la forme dans laquelle il est apparu, ses orientations et ses conseils qui ont joué un rôle fondamental dans la réalisation de mes études scientifiques.

Je remercie aussi les membres du jury **Dr. HAMDI Ahmed, Pr. TAOUTI Mohamed Benabdallah** et **Mr. SEBIANE Sofiane** d'avoir accepté d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Je remercie également le chef du département **Dr. Hamdi Ahmed** et tous les professeurs et les enseignants du département Science de la Matière pour tous leurs efforts et leurs conseils pour notre réussite.

Merci aux membres du laboratoire pédagogique pour leurs conseils et leurs orientations

Enfin, je remercie toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

A ma mère ♥,

Tu m'as donné la vie, la tendresse et le courage pour réussir.

A mon père,

L'épaule solide, la personne la plus digne de mon estime et de mon respect, que dieu te préserve et te procure santé et longue vie.

A ma grand-mère, que Dieu ait pitié de son âme, qui m'a toujours encouragé et a souhaité que je réussisse

A toute ma famille

A mes très chères amies (Djamate Maria et BenOmrane Yousra)

A tous mes amis qui étudient avec moi

A tous ceux qui m'aiment

A tous ceux que j'aime

A tous ceux qui m'ont aidé de loin où de près à ce travail.

# Table des matières

<b>Introduction générale</b> .....	1
<b>I. Partie bibliographique</b> .....	3
<b>I.1 Adsorption</b> .....	3
I.1.1 Types d'adsorption.....	3
I.1.2 Mécanisme d'adsorption.....	4
I.1.3 Capacité d'adsorption.....	4
I.1.4 Cinétique d'adsorption.....	5
I.1.5 Modèle de pseudo-premier ordre (PPO) .....	5
I.1.6 Modèle pseudo-second-ordre (PSO) .....	5
I.1.7 Modèle de diffusion intra-particule.....	6
I.1.8 Thermodynamique d'adsorption .....	6
<b>I.2 Argiles</b> .....	6
I.3 Bentonite.....	7
I.3.1 Types de bentonite .....	7
I.3.2 Utilisations de la bentonite.....	7
<b>I.4 Colorant</b> .....	8
I.4.1 Utilisation des colorants.....	8
I.4.2 Toxicité des colorants .....	8
I.4.3 Classification des colorants.....	9
<b>I.5 Violet de gentiane VG</b> .....	9
I.5.1 Utilisations de VG.....	10
I.5.2 Toxicité de VG.....	10
<b>I.6 Tensioactif</b> .....	10
I.6.1 Bromure de cetyltriméthyl ammonium (CTAB).....	10
<b>II. Partie expérimentale</b> .....	12
II.1 Produits .....	12
II.2 Matériels.....	12
II.3 Préparation des solutions de VG .....	12
II.4 Pontage de la bentonite .....	12
II.5 Analyse par spectrophotométrie d'absorption UV-Visible.....	13
II.6 Etablissement de la courbe d'étalonnage .....	14
II.7 Protocoles expérimentaux .....	15
II.7.1 Processus d'adsorption.....	15

II.7.2 Effet de la masse .....	16
II.7.3 Effet du temps de contact sur l'adsorption .....	16
II.7.4 Effet du pH.....	17
II.7.5 Effet de la température .....	18
<b>II.8 Modèles cinétiques .....</b>	<b>19</b>
II.8.1 Modèle cinétique de pseudo-premier ordre (PPO).....	19
II.8.2 Modèle cinétique du pseudo second ordre (PSO).....	21
II.8.3 Modèle cinétique de la diffusion intra-particulaire (DIP).....	21
II.8.4 Etude thermodynamique .....	23
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>26</b>
<b>Références bibliographiques.....</b>	<b>26</b>

## Liste des abréviations

<b>C</b> : Epaisseur de la couche limite	
<b>C<sub>e</sub></b> : Concentration à l'équilibre du soluté en solution	(mg. L <sup>-1</sup> )
<b>C<sub>0</sub></b> : Concentration initiale de l'adsorbat	(mg. L <sup>-1</sup> )
<b>CTAB</b> : Bromure de cetyltriméthyl ammonium	
<b>DIP</b> : Diffusion intra-articulaire	
<b>K<sub>d</sub></b> : Constante de distribution	(L. g <sup>-1</sup> )
<b>K<sub>id</sub></b> : Constante de la vitesse de diffusion intra-articulaire	(mg. g <sup>-1</sup> .min <sup>1/2</sup> )
<b>K<sub>1</sub></b> : Constante de vitesse d'adsorption du pseudo premier ordre	(min <sup>-1</sup> )
<b>K<sub>2</sub></b> : Constante de vitesse d'adsorption de pseudo second ordre	(g. mg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )
<b>m</b> : Masse de l'adsorbant	(g)
<b>PPO</b> : Pseudo-premier ordre	
<b>PSO</b> : Pseudo-second ordre	
<b>q<sub>e</sub></b> : Quantité d'adsorbât à l'équilibre, par gramme d'adsorbant	(mg. g <sup>-1</sup> )
<b>q<sub>e, calc</sub></b> : Capacité d'adsorption à l'équilibre calculée	(mg. g <sup>-1</sup> )
<b>q<sub>e, exp</sub></b> : Capacité d'adsorption à l'équilibre expérimentale	(mg. g <sup>-1</sup> )
<b>q<sub>m</sub></b> : Capacité maximale de l'adsorbant	(mg. g <sup>-1</sup> )
<b>q<sub>t</sub></b> : Quantité d'adsorbât à l'instant t, par gramme d'adsorbant	(mg. g <sup>-1</sup> )
<b>R</b> : Constante des gaz parfaits	(J.mol <sup>-1</sup> )
<b>R</b> : Rendement d'élimination	(%)
<b>R<sup>2</sup></b> : Coefficient de corrélation des régressions linéaires	(J.mol <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> )
<b>T</b> : Température absolue	(K)
<b>V</b> : Volume de la solution	(L)
<b>VG</b> : Violet de gentiane	
<b>ΔH°</b> : Variation de l'Enthalpie	(j. mol <sup>-1</sup> )
<b>ΔG°</b> : Variation de l'enthalpie libre standard	(j. mol <sup>-1</sup> )
<b>ΔS°</b> : Variation de l'Entropie	(j. mol <sup>-1</sup> .k <sup>-1</sup> )

## Liste des figures

<b>Figure I. 1:</b> Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption.....	3
<b>Figure I. 2:</b> Etapes de la cinétique d'adsorption.....	4
<b>Figure I. 3:</b> Structure cristalline des phyllosilicates. ....	7
<b>Figure I. 4:</b> Structure simplifiée d'un tensioactif .....	10
<b>Figure II. 1:</b> Différentes étapes du pontage de la bentonite par CTAB. ....	13
<b>Figure II. 2:</b> Spectre UV-vis relatif au pic du VG.....	14
<b>Figure II. 3:</b> Représentation de la courbe d'étalonnage de VG ( $\lambda=560$ nm).....	14
<b>Figure II. 4:</b> Schéma descriptif de l'adsorption de VG en réacteur discontinu.....	15
<b>Figure II. 5 :</b> Effet de la masse d'adsorbant sur la quantité adsorbée de VG .....	16
<b>Figure II. 6 :</b> Effet du temps de contact sur l'adsorption du VG.....	17
<b>Figure II. 7:</b> Effet du pH de la solution sur l'adsorption du VG par bentonite .....	18
<b>Figure II. 8 :</b> Effet de la température de la solution sur la quantité de VG adsorbée.....	19
<b>Figure II. 9 :</b> Cinétique d'adsorption du pseudo premier ordre du VG sur bentonite (global). ...	20
<b>Figure II. 10:</b> Cinétique d'adsorption du pseudo premier ordre du VG sur bentonite (avant équilibre).....	20
<b>Figure II. 11 :</b> Cinétique d'adsorption du pseudo second ordre du VG sur bentonite. ....	21
<b>Figure II. 12:</b> Cinétique d'adsorption de VG sur bentonite selon le modèle de diffusion intraparticulaire. ....	21
<b>Figure II. 13 :</b> Effet de la température sur la constante de distribution du phénomène d'adsorption de VG sur bentonite.....	23

## Liste des tableaux

<b>Tableau I. 1:</b> Distinction entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique.....	3
<b>Tableau I. 2 :</b> Principaux groupements chromophores et auxochromes .....	8
<b>Tableau I. 3:</b> Classification des colorants .....	9
<b>Tableau I. 4:</b> Caractéristiques physico-chimiques et structurales du VG .....	9
<b>Tableau I. 5:</b> Principales caractéristiques physico-chimiques de CTAB.....	11
<b>Tableau II. 1:</b> Caractéristiques de la régression linéaire de VG. ....	15
<b>Tableau II. 2 :</b> Valeurs des constantes de vitesse et coefficients de corrélation des différents modèles cinétiques.....	22
<b>Tableau II. 3:</b> Paramètres thermodynamiques de l'adsorption de VG sur bentonite.....	24

# **Introduction générale**

## Introduction générale

La pollution accidentelle ou volontaire des différents milieux récepteurs par certains rejets chimiques industriels (colorants, métaux lourds, phénols...) ou agricoles (pesticides, engrais,) constitue une source de dégradation de l'environnement qui nécessite à l'heure actuelle un intérêt particulier à l'échelle internationale [1].

Au vu de ces différents problèmes qui dégradent l'environnement, plusieurs méthodes de traitement des rejets industriels ont été rapportées. Parmi ces méthodes, on peut citer la précipitation chimique, l'échange ionique, la neutralisation, la filtration sur membrane (biologique, électrochimie et photochimique) et l'adsorption qui est un procédé de choix pour traiter les effluents industriels et un outil utile pour protéger l'environnement, aussi une méthode largement employée pour l'élimination des polluants notamment les colorants [2].

Certains colorants lors de leur dégradation produisent des substances cancérigènes et des produits toxiques, dans cette optique, plusieurs procédés ont été utilisés, les recherches se sont orientées vers des procédés de traitement utilisant les matériaux naturels comme les matières agricoles et les argiles.

Les colorants sont largement utilisés à des fins industrielles tels que l'impression, l'agro-alimentaires, le cosmétique ainsi que pour la teinture de textiles en raison de leur stabilité chimique, de leur facilité de synthèse et de leur polyvalence. Leur stabilité entraîne cependant une pollution une fois que les colorants sont rejetés dans l'environnement dans les effluents. Compte tenu de la composition hétérogène de ces derniers, leur dégradation nécessite généralement une chaîne de traitements physiques et chimiques assurant l'élimination des différents polluants par étapes successives. De plus, le traitement de ces colorants est aujourd'hui d'un intérêt scientifique majeur [3].

Dans cette optique, plusieurs procédés ont été utilisés, les recherches se sont orientées vers des procédés de traitement utilisant les matériaux naturels comme les argiles en raison de leurs disponibilités et de leurs faibles coûts.

Les argiles sont des nanoparticules particulièrement remarquables de par leur ubiquité et leur réactivité. Leur taille nanométrique et leur structure en feuillets offre une grande surface spécifique vis-à-vis de l'adsorption et leur confère un rôle crucial dans la rétention d'un grand nombre de polluants d'origine industriel. L'intérêt accordé à ces matériaux se justifie par l'importance de leur surface développée, par la présence de charges sur leur surface, leur possibilité d'échanger les cations et une large disponibilité dans la nature. Lors de cette étude, nous

nous sommes intéressés à l'élimination d'un colorant cationique (violet de gentiane) par adsorption sur une argile naturelle de type bentonite.

Ce mémoire est constitué de deux parties :

- La première partie est une étude bibliographique qui traitera en premier lieu des informations d'ordre général sur les argiles notamment la bentonite, quelques généralités sur les colorants plus précisément le violet de gentiane et le phénomène d'adsorption.
- La deuxième partie est une étude expérimentale qui portera sur l'influence de divers paramètres réactionnels sur la rétention du colorant (masse d'adsorbant, pH et température du milieu, temps de contact...) ainsi que des différents modèles cinétiques utilisés avec interprétations et discussion des résultats obtenus.

Nous clôturerons ce travail par une conclusion générale et des perspectives.

# **Partie bibliographique**

# I. Partie bibliographique

## I.1 Adsorption

C'est un phénomène de surface par lequel des molécules de fluide (liquide ou gaz) se fixent sur une surface solide d'un adsorbant comme montré sur la figure I.1

L'efficacité de ce procédé est évaluée par la capacité d'adsorption qui augmente lorsque la concentration du soluté adsorbable, la surface spécifique de l'adsorbant et le poids moléculaire du soluté augmentent [4].

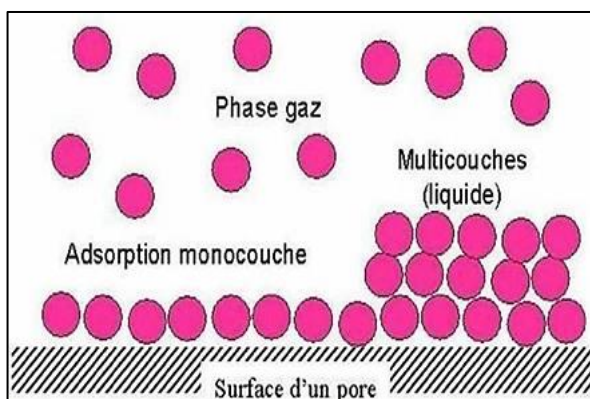


Figure I. 1: Schéma simplifié représentant le phénomène d'adsorption.

### I.1.1 Types d'adsorption

On distingue deux types d'adsorption entre le substrat et les particules adsorbées, le tableau ci-dessous [5] récapitule les différences entre les deux types :

Tableau I. 1: Distinction entre l'adsorption physique et l'adsorption chimique

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Types de liaison	Van der Waals, electro statique	Covalente, ionique
Chaleur d'adsorption (Kj /mol)	20	40
Températures du processus	Relativement basse	Plus élevé
Désorption	Facile	Difficile
Spécificité	Processus non spécifique	Processus très spécifique
Cinétique	Rapide	Lente
Couches formées	Mono et Multicouches	Uniquement monocouche

### I.1.2 Mécanisme d'adsorption

Lors d'un transfert d'une phase liquide contenant l'adsorbat vers une phase solide avec rétention des solutés à la surface du solide appelé adsorbant. L'adsorption peut être décomposée en quatre étapes selon la figure ci-dessous :

**1<sup>ère</sup> étape :** Transfert de la particule (très rapide).

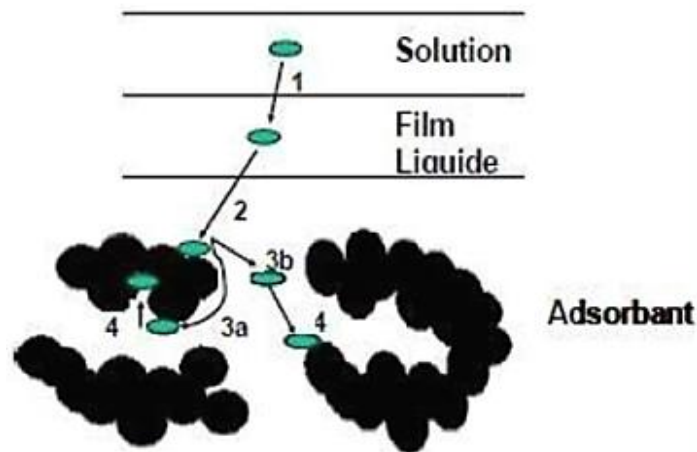
**2<sup>ème</sup> étape :** Déplacement de l'eau liée jusqu'à contact avec le solide (rapide).

**3<sup>ème</sup> étape :** Diffusion à l'intérieur du solide sous l'influence du gradient de concentration (lente).

**3a :** Sous l'état adsorbé, par diffusion de surface.

**3b :** A l'état libre, par diffusion de pores.

**4<sup>ème</sup> étape :** Adsorption dans un micropore (très rapide) [6].



**Figure I. 2:** Etapes de la cinétique d'adsorption

### I.1.3 Capacité d'adsorption

La capacité d'adsorption dépend de plusieurs paramètres tels que les facteurs d'adsorbant (surface spécifique, granulométrie, fonctions de surface, porosité, ...), ainsi que les facteurs de l'adsorbat (concentration, solubilité, taille des molécules, fonctions chimiques présentes, compétition entre les différentes molécules...) [7].

On mesure la concentration résiduelle adsorbée à l'aide de l'équation suivante :

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} \quad \text{Equation I. 1}$$

Où

$C_0$  : Concentration initiale de soluté (mg. L<sup>-1</sup>).

$C_e$  : Concentration de soluté à l'équilibre (mg. L<sup>-1</sup>).

$q_e$  : Quantité de soluté adsorbée à l'équilibre par unité de masse de l'adsorbant (mg. g<sup>-1</sup>).

**V** : Volume de la solution (L).

**m** : Masse de l'adsorbant (g).

On peut calculer aussi le rendement d'élimination à l'aide de l'équation suivante :

$$R(\%) = \left( \frac{C_0 - C_e}{C_0} \right) \cdot 100 \quad \text{Equation I. 2}$$

### I.1.4 Cinétique d'adsorption

Nous allons présenter trois modèles cinétiques les plus importants et les plus utilisés pour interpréter des données empiriques pour les résultats d'adsorption obtenus [8].

### I.1.5 Modèle de pseudo-premier ordre (PPO)

Ce modèle est donné par l'expression suivante :

$$\frac{dq_t}{dt} = K_1(q_e - q_t) \quad \text{Equation I. 3}$$

**K<sub>1</sub>** : Constante de vitesse d'adsorption du pseudo premier ordre (min<sup>-1</sup>).

**q<sub>t</sub>** : Quantité adsorbée à l'instant t (mg. g<sup>-1</sup>).

**t** : Temps de contact (min).

Après intégration, l'équation s'écrit :

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad \text{Equation I. 4}$$

### I.1.6 Modèle pseudo-second-ordre (PSO)

Le modèle pseudo-second-ordre (PSO) est donné par l'expression suivante :

$$\frac{dq_t}{dt} = K_2(q_e - q_t)^2 \quad \text{Equation I. 5}$$

Où :

**K<sub>2</sub>** : Constante cinétique de pseudo-second-ordre (g. mg<sup>-1</sup>. min<sup>-1</sup>).

Après intégration on obtient :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 \cdot q_e^2} + \frac{1}{q_e} \cdot t \quad \text{Equation I. 6}$$

### I.1.7 Modèle de diffusion intra-particule

Pour comprendre le mécanisme d'adsorption du colorant étudié, nous allons utiliser l'équation de Weber et Morris. Si on trace  $q_t$  en fonction de  $t^{1/2}$  on peut déterminer la constante  $k_{id}$  et l'épaisseur de la couche limite  $C$  suivant l'équation ci-dessous :

$$q_t = K_{id} \cdot t^{1/2} + C \quad \text{Equation I. 7}$$

**C** : Constante qui donne une idée sur l'épaisseur de la couche limite (mg. g<sup>-1</sup>).

**K<sub>id</sub>** : Constante de vitesse de diffusion dans les pores (g. mg. min<sup>-1/2</sup>).

### I.1.8 Thermodynamique d'adsorption

Les paramètres thermodynamiques mettent en évidence le changement de l'énergie libre de Gibbs ( $\Delta G^\circ$ ), de l'enthalpie ( $\Delta H^\circ$ ) et de l'entropie ( $\Delta S^\circ$ ) et permettent de prévoir la spontanéité d'un processus d'adsorption du VG par une bentonite pontée par un tensioactif. D'une façon générale, le phénomène d'adsorption est toujours accompagné d'un effet thermique qui peut être soit exothermique ou endothermique. La mesure de la chaleur ( $\Delta H^\circ$ ) est le principal critère qui permet de différencier la chimisorption de la physisorption [9].

$$K_d = \frac{q_e}{C_e} \quad \text{Equation I. 8}$$

$$\Delta G^\circ = -RT \cdot \ln K_d \quad \text{Equation I. 9}$$

$$\ln K_d = \left( \frac{\Delta S^\circ}{R} \right) - \left( \frac{\Delta H^\circ}{R} \right) \frac{1}{T} \quad \text{Equation I. 10}$$

**K<sub>d</sub>** : Constante de distribution (L. g<sup>-1</sup>).

**$\Delta G^\circ$**  : Variation de l'enthalpie libre standard (J. mol<sup>-1</sup>).

**$\Delta H^\circ$**  : Variation de l'Enthalpie (J. mol<sup>-1</sup>).

**$\Delta S^\circ$**  : Variation de l'Entropie (J. mol<sup>-1</sup>. K<sup>-1</sup>).

**R** : Constante des gaz parfaits. 8,314 (J. mol<sup>-1</sup>. K<sup>-1</sup>)

**T** : Température absolue (K)

## I.2 Argiles

L'argile est un matériau naturel utilisé par l'homme dans divers domaines et un mélange de minéraux argileux formés par l'assemblage d'une ou deux couches de tétraèdres siliceux SiO<sub>4</sub> et d'une couche d'octaèdres alumineux, ferrifères ou magnésiens comme montré sur la figure I.3; il est considéré comme une partie de la famille des phyllosilicates. L'argile brute contient des

particules d'un diamètre de grain inférieur à 2  $\mu\text{m}$  et possède des propriétés telles que le gonflement, la plasticité et les propriétés d'adsorption [10].

### I.3 Bentonite

Le terme bentonite a été proposé en 1898 pour désigner une argile au touché savonneux, ce sont des silicates d'alumine hydratés appartenant au groupe de Montmorillonite.

#### I.3.1 Types de bentonite

- **Bentonite calcique**

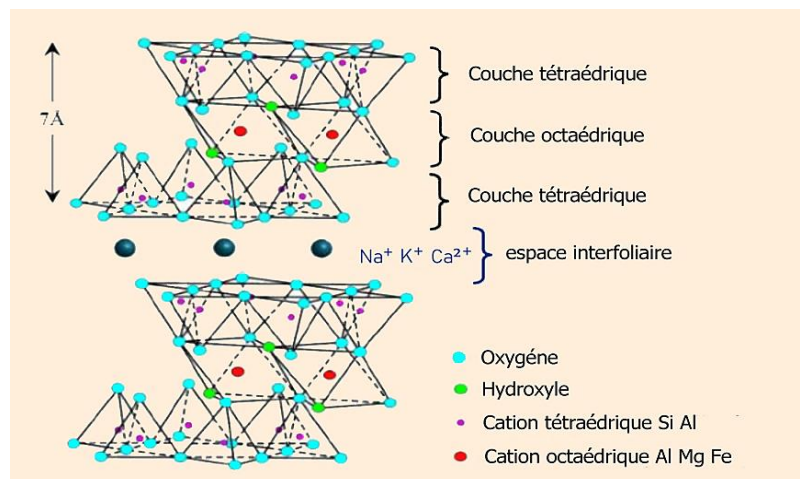
Ces argiles présentent un taux de gonflement de 3 à 7 fois le volume initial, elles constituent la plus grande part de gisements exploités dans le monde [11].

- **Bentonite sodique**

Ce sont des argiles rares, leur ion interfoliaire échangeable est le sodium ( $\text{Na}^+$ ). Elles ont un pouvoir de gonflement très élevé (12 à 18 fois)

- **Bentonites permutées** : Ce sont des bentonites calciques et dopées par des ions  $\text{Na}^+$ .

- **Bentonites activées** : Bentonites permutées activées par des adjuvants tels que les polymères hydrosolubles [12].



**Figure I. 3:** Structure cristalline des phyllosilicates.

#### I.3.2 Utilisations de la bentonite

En raison de son principal composant (la montmorillonite), la bentonite est l'argile industrielle la plus utilisée dans différents secteurs tels que :

- Céramique.
- Agroalimentaire.
- Additif dans la fabrication du papier.

- Pharmacie et cosmétique.
- Protection environnementale.
- Génie civil.

#### I.4 Colorant

Un colorant est une substance obtenue par extraction de plantes, de fruits et de fleurs. Les propriétés colorantes des composés organiques dépendent de leur structure. Pour qu'un composé soit un colorant, il faut que ses molécules contiennent des groupes chromophores et auxochromes (Tableau I.2).

Les matières colorantes sont caractérisées par leur capacité à absorber les rayonnements lumineux dans le spectre visible (380 - 750 nm) [9].

**Tableau I. 2 : Principaux groupements chromophores et auxochromes**

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

##### I.4.1 Utilisation des colorants

Les colorants peuvent être utilisés en industrie principalement :

- Pigments (industrie des matières plastiques)
- Encre, papier (imprimerie)
- Colorants alimentaires (industrie agro-alimentaire)
- Pigments des peintures, matériaux de construction, céramiques (industrie du bâtiment)
- Colorants textiles à usage vestimentaire, décoration, bâtiment, transport, colorants textiles à usage médical...etc.

##### I.4.2 Toxicité des colorants

L'utilisation excessive de colorants par certaines industries entraîne une pollution importante dans plusieurs domaines : pollution des eaux , problèmes esthétiques et interférence de transmission de lumière (endommagement de la faune et la flore) [13].

### I.4.3 Classification des colorants

Ils peuvent être classés en deux catégories, selon leur composition chimique ou selon leur utilisation. Le tableau I.3 donne les différentes classifications des colorants.

**Tableau I. 3:** Classification des colorants

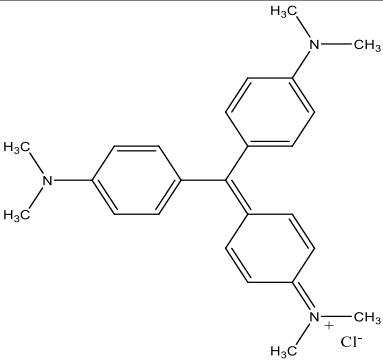
Classification chimique	Classification tinctoriale
Anthra quinoniques	Azoïques insolubles
Indigoïdes	Cuve
Xanthènes	Directs
Phtalocyanines	À mordants
Nitrés et nitrosés	Acides

### I.5 Violet de gentiane VG

Le violet de gentiane est un colorant industriel se présentant sous forme de poudre, aussi appelé cristal violet, possède une absorption maximale dans la région visible.

Les différentes caractéristiques physico-chimiques et structurales du VG sont récapitulées dans le tableau I.4 [14].

**Tableau I. 4:** Caractéristiques physico-chimiques et structurales du VG

<b>Formule brute</b>	$C_{25}H_{30}ClN_3$
<b>Formule développée</b>	
<b>T° fusion (°C)</b>	215
<b>Masse molaire (g. mol<sup>-1</sup>)</b>	407,99
<b>Famille</b>	Colorant basique
<b><math>\lambda_{max}</math> (nm)</b>	560

### I.5.1 Utilisations de VG

Ce colorant est utilisé dans différents secteurs industriels et dans le domaine biologique tels que :

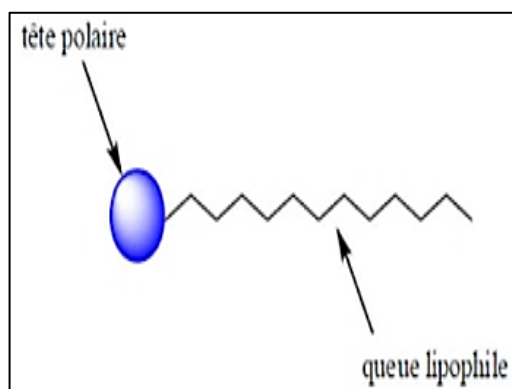
- Industrie textile ou cosmétique.
- Désinfectant externe de la peau humaine.
- Traitement de certaines infections fongiques (candidoses).
- Traitement des bactéries et champignons.

### I.5.2 Toxicité de VG

Le violet de gentiane est un produit cancérigène qui a été classé comme molécule récalcitrante, il n'est pas biodégradable et peut persister dans l'environnement, Il provoque une irritation de la peau, des yeux et des muqueuses ; son ingestion peut être dangereuse pour les enfants, comme il peut décolorer le cuir et tacher les vêtements pendant longtemps [15].

### I.6 Tensioactif

Les tensioactifs ou surfactants (chimique ou biologique) sont des molécules amphiphiles : c'est-à-dire composées de deux parties : une hydrophobe (lipophile) appelée la queue et l'autre hydrophile appelée la tête, comme le montre la figure I.5. Ils sont capables de s'accumuler à l'interface entre deux phases non miscibles comme l'huile et l'eau, tout en réduisant la tension de surface, et par conséquent, ils permettent à celles-ci de se mélanger et de s'interagir plus facilement [16].




**Figure I. 4:** Structure simplifiée d'un tensioactif

#### I.6.1 Bromure de cetyltriméthyl ammonium (CTAB)

C'est un tensioactif cationique qui possède une chaîne alkyle à seize (16) atomes de carbone. Ses principales caractéristiques physico-chimiques sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau I. 5:** Principales caractéristiques de CTAB

<b>Nomenclature</b>	Bromure de cetyltriméthyl ammonium CTAB
<b>Formule brute</b>	$C_{19}H_{42}NBr$
<b>Formule chimique</b>	
<b>Masse molaire (g/mol)</b>	364,45

# **Partie expérimentale**

## **II. Partie expérimentale**

Nous avons réalisé cette étude dans le laboratoire pédagogique du département des Sciences de la Matière de l'Université Amar Telidji dont le but était de suivre le processus d'adsorption d'un colorant cationique (Violet de Gentiane) par un matériau adsorbant (bentonite pontée).

Dans cette partie, nous allons citer les produits chimiques et le matériel utilisé ainsi que le protocole expérimental suivi pour réaliser ce travail.

### **II.1 Produits**

- Violet de gentiane VG (Grade pharmaceutique).
- Bromure de cétyltriméthyl ammonium CTAB (98%).
- Hydroxyde de sodium NaOH (97%).
- Acide chlorhydrique HCl (37%).
- Nitrate d'argent AgNO<sub>3</sub> (99,5%).
- Bentonite sodée.
- Eau distillée préparée au laboratoire.

### **II.2 Matériels**

- Étuve (Memmert).
- UV-visible (SP-3000 nano OPTIMA).
- Agitateurs magnétiques (OVAN).
- pH mètre (BPH-231).
- Balance (OHAUS).
- Centrifugeuse (Sinal TD4 A).
- Flocculateur Jar test (VELP SCIENTIFICA JLT6).
- Thermomètre Digital.
- Verrerie courante de laboratoire.

### **II.3 Préparation des solutions de VG**

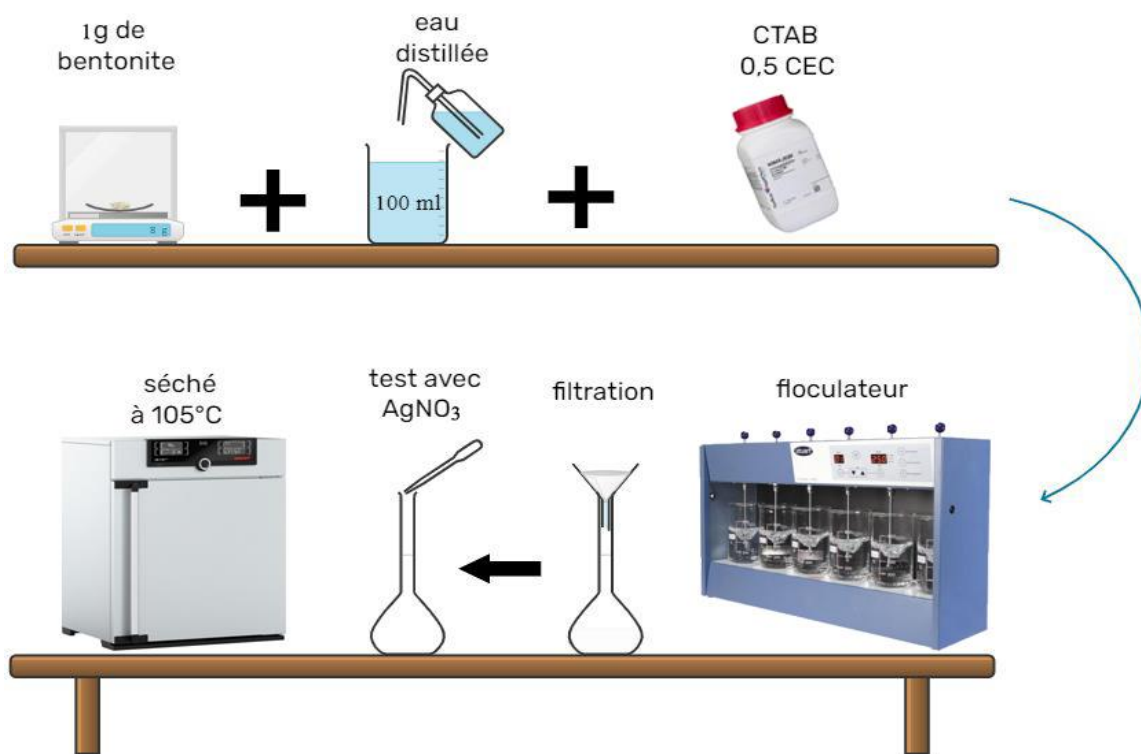
Nous avons préparé une solution mère de concentration égale à 1 g. L<sup>-1</sup>, à partir de cette dernière, des solutions filles de différentes concentrations ont été ensuite préparées [5].

### **II.4 Pontage de la bentonite**

1g de bentonite sodée est introduite dans un bécher contenant 100 ml d'eau distillée en présence de tensioactif (CTAB) à concentration égale à 1,64 g/l. Le mélange est agité à l'aide d'un flocculateur Jar test pendant 1 heure avec une vitesse égale à 250 tr. min<sup>-1</sup>. Après filtration et lavage

plusieurs fois avec de l'eau distillée (jusqu'à test négatif avec  $\text{AgNO}_3$ ), le produit obtenu est séché à  $105^\circ\text{C}$  pendant 5 heures ensuite broyé.

Le schéma suivant résume les différentes étapes du pontage :



**Figure II. 1:** Différentes étapes du pontage de la bentonite par CTAB.

## II.5 Analyse par spectrophotométrie d'absorption UV-Visible

Un spectrophotomètre UV-visible est un instrument couramment utilisé en laboratoire qui permet de déterminer la longueur d'onde de décomposition et l'absorbance maximale, il analyse les composés dans l'ultraviolet et visible.

Le principe de cette méthode est basé sur la loi de Beer-Lambert liant le calcul de l'absorbance des composés en fonction de leur concentration :

$$A = \varepsilon \cdot l \cdot C = \left( \frac{I_0}{I} \right) \quad \text{Équations II. 1}$$

**A** : Absorbance ou densité optique.

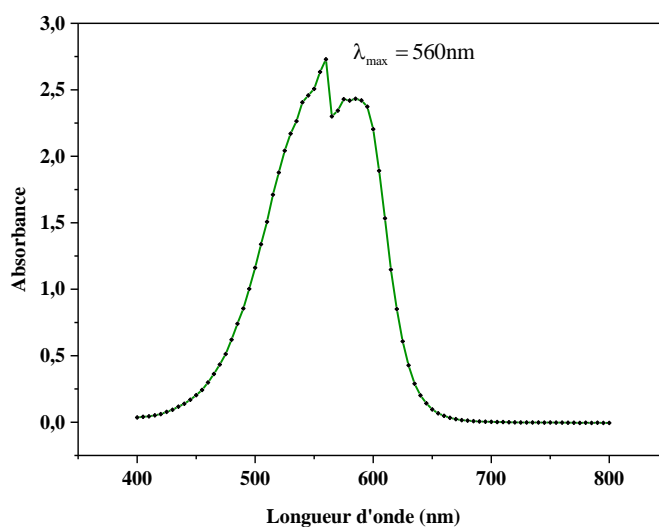
**C** : Concentration massique du composé dosé ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

**I, I<sub>0</sub>** : Intensités du faisceau émergent et incident.

**$\varepsilon$**  : Coefficient d'extinction moléculaire ( $\text{L} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ ).

**l** : Epaisseur de la cuve (cm).

Le spectre UV visible associé à la molécule de violet de gentiane VG est représenté sur la figure suivante :

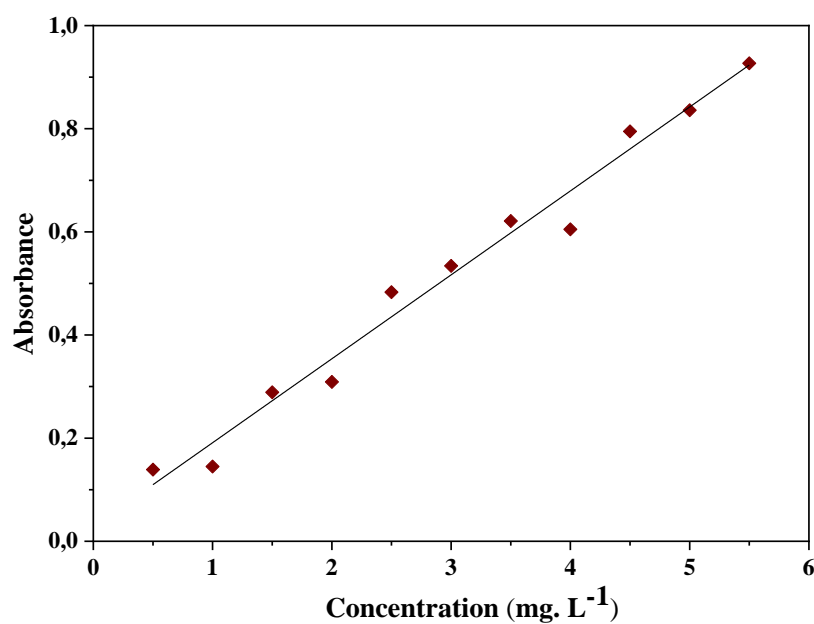


**Figure II. 2:** Spectre UV-vis relatif au pic du VG.

L'analyse quantitative UV-visible entre 400 nm et 800 nm nécessite la détermination de  $\lambda_{\max}$ . A cette valeur de longueur d'onde qui est égale à 560 nm, l'absorption est maximale.

## II.6 Etablissement de la courbe d'étalonnage

Pour tracer l'absorbance en fonction de la concentration de la solution en VG, nous avons préparé des solutions filles à partir de la solution mère préparée précédemment. Ces solutions filles ont été analysées à l'aide du spectrophotomètre UV-visible. La figure II.3 met en évidence la courbe d'étalonnage.



**Figure II. 3:** Représentation de la courbe d'étalonnage de VG ( $\lambda=560\text{nm}$ ).

D'après la figure II.3, la courbe d'étalonnage établie est sous forme d'une droite croissante avec un coefficient de corrélation  $R^2$  égale à 0,977, elle montre une bonne linéarité et la loi de Beer Lambert est ainsi respectée. Le tableau II.1 récapitule les caractéristiques de la régression linéaire de VG.

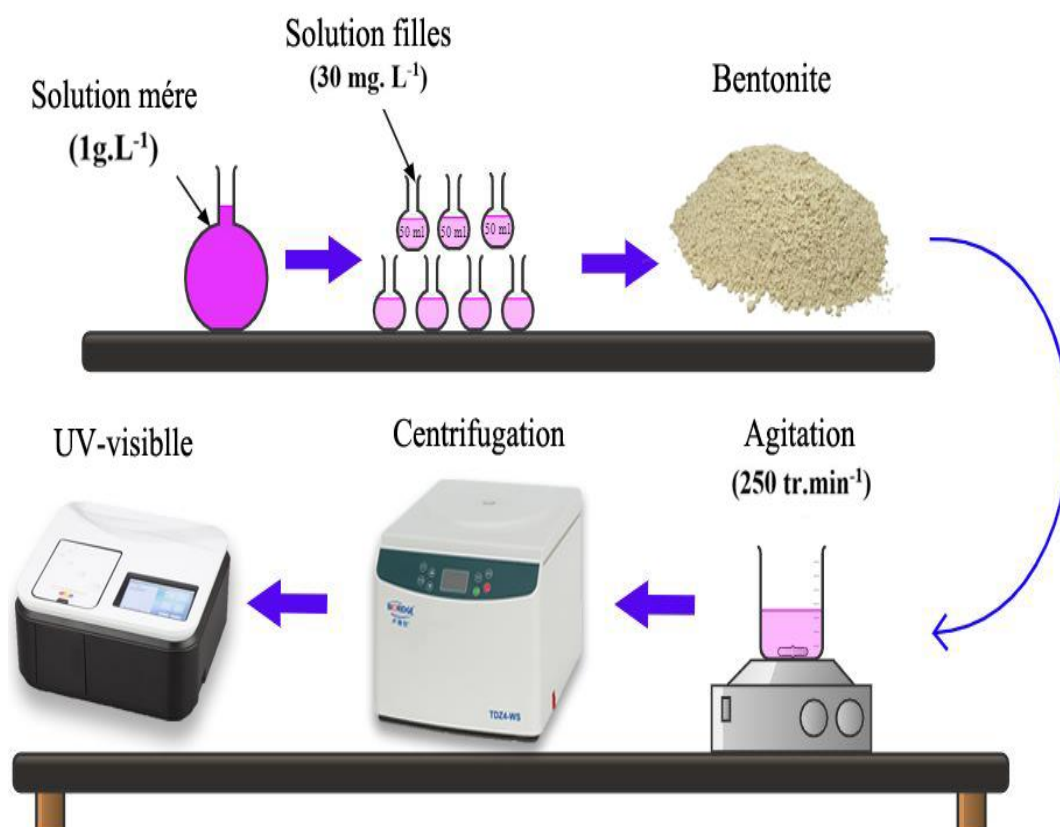
**Tableau II. 1:** Caractéristiques de la régression linéaire de VG.

Composé	Equation	Coefficient de corrélation $R^2$
Violet de gentiane (VG)	$Y=0,16276x + 0,02835$	0,977

## II.7 Protocoles expérimentaux

### II.7.1 Processus d'adsorption

Le processus d'adsorption de VG sur la bentonite pontée par le CTAB est réalisé dans des flacons opaques - comme montré sur le schéma suivant - afin d'éviter la dégradation du colorant par la lumière.

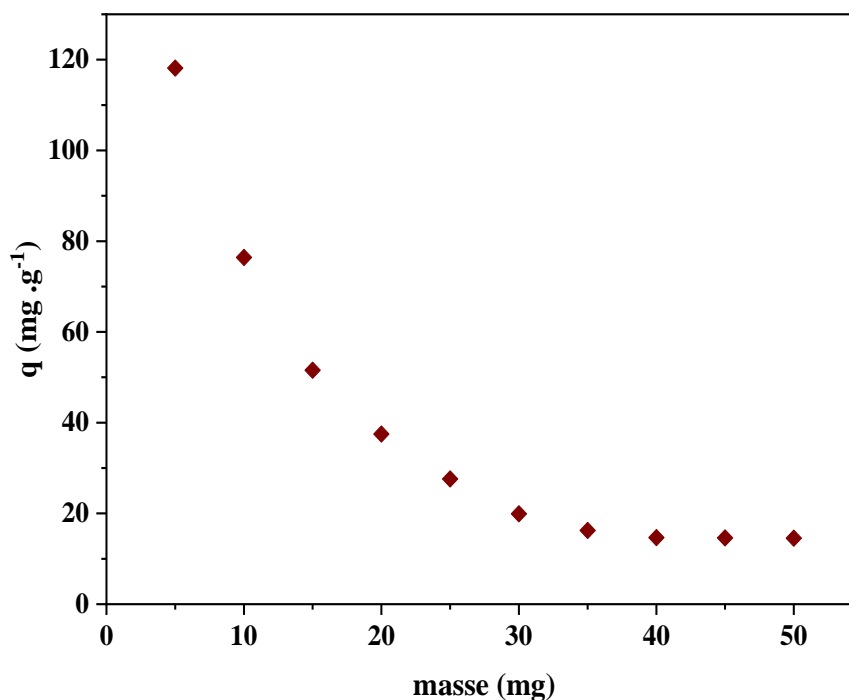


**Figure II. 4:** Schéma descriptif de l'adsorption de VG en réacteur discontinu.

## II.7.2 Effet de la masse

Dans cette expérience, nous avons étudié l'effet de la masse de la bentonite pontée par CTAB sur le processus d'adsorption de VG, nous avons varié cette dernière de 5 mg à 50 mg.

Les résultats obtenus sont exposés sur la figure II.5:



**Figure II. 5 :** Effet de la masse d'adsorbant sur la quantité adsorbée de VG (V=50 ml, C<sub>0</sub> = 30 mg. L<sup>-1</sup>, v = 250 tr. min<sup>-1</sup>, T= 20 ± 2 °C, pH = 6 ± 0.2).

D'après la figure ci-dessus, on remarque que la quantité de colorant adsorbée diminue avec l'ajout de l'adsorbant jusqu'à une masse de 35 mg. À partir de cette valeur, la quantité adsorbée du colorant n'évolue plus et reste presque constante, ce comportement peut être dû aux cations de colorant qui atteignent facilement les sites d'adsorption lorsque la quantité d'adsorbant ajoutée à la solution est faible.

La diminution de la quantité de colorant par unité de masse de bentonite pontée peut être expliquée par les grandes quantités d'adsorbant qui ont créé des agglomérations de particules et par conséquent, la réduction de la masse totale [13].

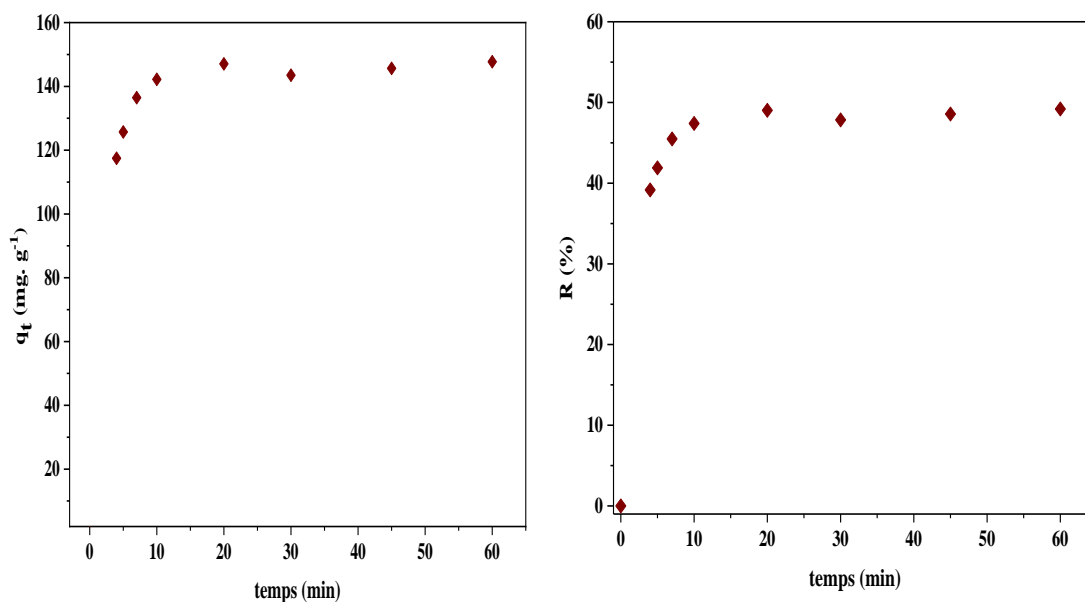
Pour le reste des expériences, on va maintenir une masse de 5 mg.

## II.7.3 Effet du temps de contact sur l'adsorption

L'étude de l'effet du temps de contact ou la cinétique d'adsorption permet de déterminer le temps nécessaire à la mise en équilibre entre l'adsorbat et l'adsorbant à température ambiante et au pH de la solution.

Nous avons effectué des prélèvements à différents temps (de 30 secondes à 60 minutes).

L'évolution de la quantité adsorbée en fonction du temps d'agitation est représentée sur la figure suivante :



**Figure II. 6 :** Effet du temps de contact sur l'adsorption du VG  
( $V=50$  ml,  $C_0=30$  mg.  $L^{-1}$ ,  $v= 250$  br.  $\text{min}^{-1}$ ,  $T= 20 \pm 2$  C°,  $\text{pH} = 6 \pm 0.2$ ,  $m = 5$  mg).

Nous remarquons que la cinétique d'adsorption du VG est très rapide au début et augmente au fur et à mesure au cours du temps jusqu'à l'obtention d'un équilibre caractérisé par un temps égal à 10 minutes. Au-delà de cette valeur, la quantité adsorbée reste constante.

La première étape montre que la quantité éliminée augmente rapidement pendant les 10 premières minutes (de l'ordre de  $140$  mg.  $\text{g}^{-1}$ ) ce qui correspond à 47% du pourcentage d'élimination à cause de la disponibilité des sites actifs sur la surface de l'adsorbant

Dans la deuxième étape, elle augmente lentement jusqu'à une quantité maximale adsorbée égale à  $147$  mg.  $\text{g}^{-1}$  qui représente 50% du rendement d'élimination pour un temps égal à 20 minutes ensuite elle se stabilise durant le temps restant.

Pour le reste de notre étude, nous avons opter pour un temps de contact égale à 20 minutes.

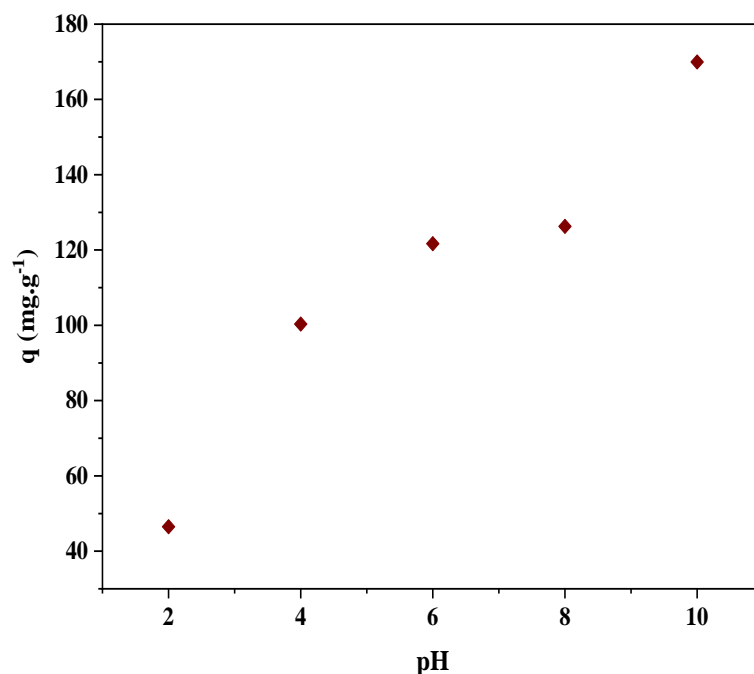
#### II.7.4 Effet du pH

Le pH est un facteur important dans toute étude d'adsorption. L'influence de ce paramètre sur l'adsorption de VG a été étudiée en le faisant varier entre 2 et 10.

Les expériences ont été réalisées en ajoutant 5 mg de bentonite pontée à 50 ml de la solution du violet de gentiane de concentration initiale égale à  $30$  mg.  $L^{-1}$  à température ambiante.

Nous avons ajouté l'acide chlorhydrique (HCl 0,1M) pour obtenir le milieu acide et l'hydroxyde de sodium (NaOH 0,1M) pour obtenir un milieu basique.

La figure II.7 montre l'évolution de la quantité adsorbée en fonction du pH :



**Figure II. 7:** Effet du pH de la solution sur l'adsorption du VG par bentonite (V=50 ml, C<sub>0</sub> = 30 mg. L<sup>-1</sup>, v = 250 tr. min<sup>-1</sup>, T= 20 ± 2 °C, m =5 mg, t<sub>eq</sub>=20 min).

Les résultats obtenus dans la figure ci-dessus montrent que la rétention de VG a été très influencée par la variation du pH, la quantité adsorbée augmente avec l'élévation du pH où elle passe de 47 mg. g<sup>-1</sup> (à pH = 2) pour atteindre une valeur de 170 mg g<sup>-1</sup> (à pH=10).

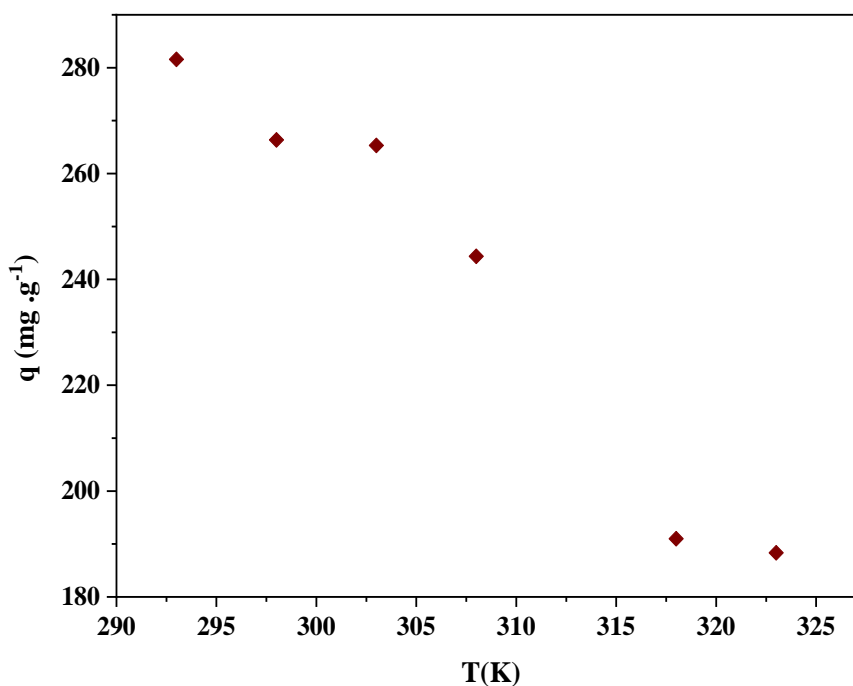
En milieu acide, la faible augmentation de la quantité adsorbée s'explique par la présence de H<sup>+</sup>, et par conséquent, la concurrence avec VG pour occuper les sites libres [17].

En revanche, l'adsorption de VG est favorisée dans un milieu basique qui peut être interprété par la présence des sites chargés négativement sur l'adsorbant qui sont capables de fixer les fonctions basiques de ce colorant [9].

### II.7.5 Effet de la température

La température a un effet majeur sur le processus d'adsorption du violet de gentiane par la bentonite pontée par CTAB qui a été étudié en faisant varier la température entre 20°C (293 K) et 50°C (323 K).

La figure II.8 présente l'influence de la température sur la quantité du colorant retenue par l'adsorbant.



**Figure II. 8 :** Effet de la température de la solution sur la quantité de VG adsorbée (V=50 ml, C<sub>0</sub> = 30 mg. L<sup>-1</sup>, v = 250 tr. min<sup>-1</sup>, pH = 6 ± 0.2, t<sub>eq</sub>=20 min, m = 5 mg).

On note sur la figure II.8 une diminution de la quantité adsorbée de 281 mg. g<sup>-1</sup> à 293 K jusqu'à 188 mg. g<sup>-1</sup> à 323 K, étant donné que le phénomène d'adsorption est défavorable, l'augmentation de la température entraîne la diminution de la capacité d'adsorption, s'explique physiquement par l'augmentation de l'énergie cinétique des molécules adsorbées à la surface du matériau adsorbant, ce qui conduit à une augmentation de la possibilité de les séparer de la surface de l'adsorbant [18].

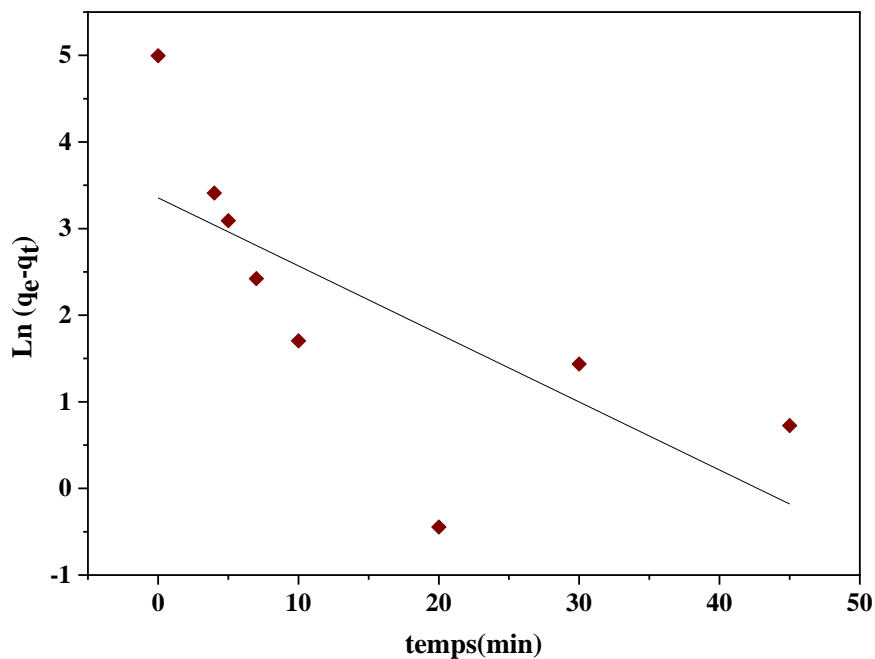
Donc la température appropriée est la température ambiante, qui est de l'ordre de 20°C (293 K).

## II.8 Modèles cinétiques

### II.8.1 Modèle cinétique de pseudo-premier ordre (PPO)

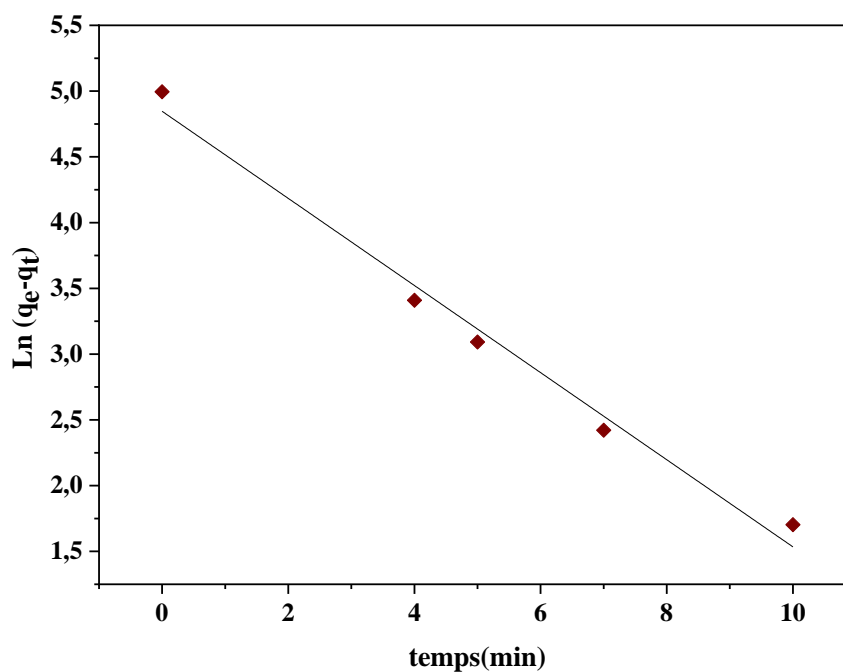
Ce modèle est applicable et la sorption est d'autant plus rapide que le système est loin de l'équilibre.

Le graphique de la représentation linéaire  $\ln(q_e - q_t)$  en fonction du temps (global) est représenté sur la figure II.9 :



**Figure II. 9 :** Cinétique d'adsorption du pseudo premier ordre du VG sur bentonite (global).

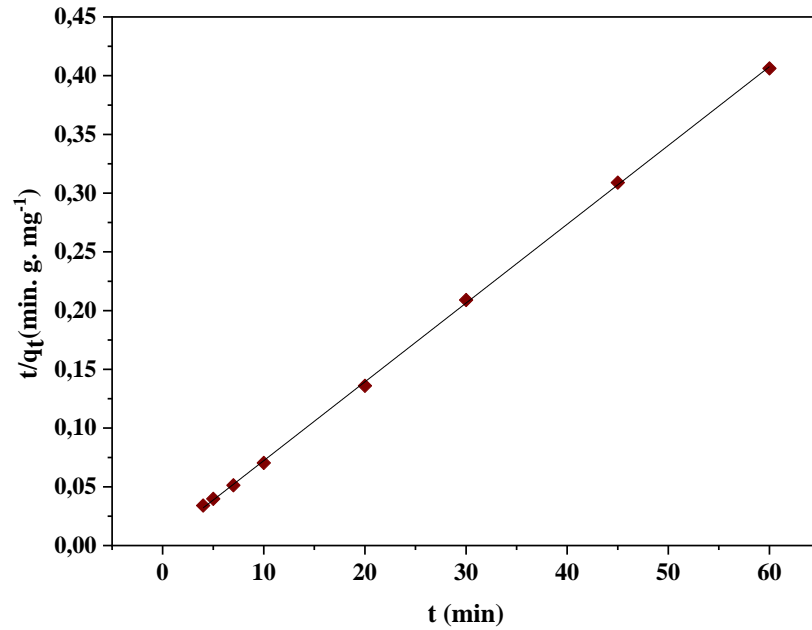
Ce modèle permet de décrire les phénomènes ayant lieu lors des premières minutes du processus d'adsorption, c'est pour cela qu'on va tracer  $\ln(q_e - q_t)$  en fonction du temps pour les premières minutes (avant d'atteindre l'équilibre) représenté par la figure II.10



**Figure II. 10:** Cinétique d'adsorption du pseudo premier ordre du VG sur bentonite (avant équilibre).

### II.8.2 Modèle cinétique du pseudo second ordre (PSO)

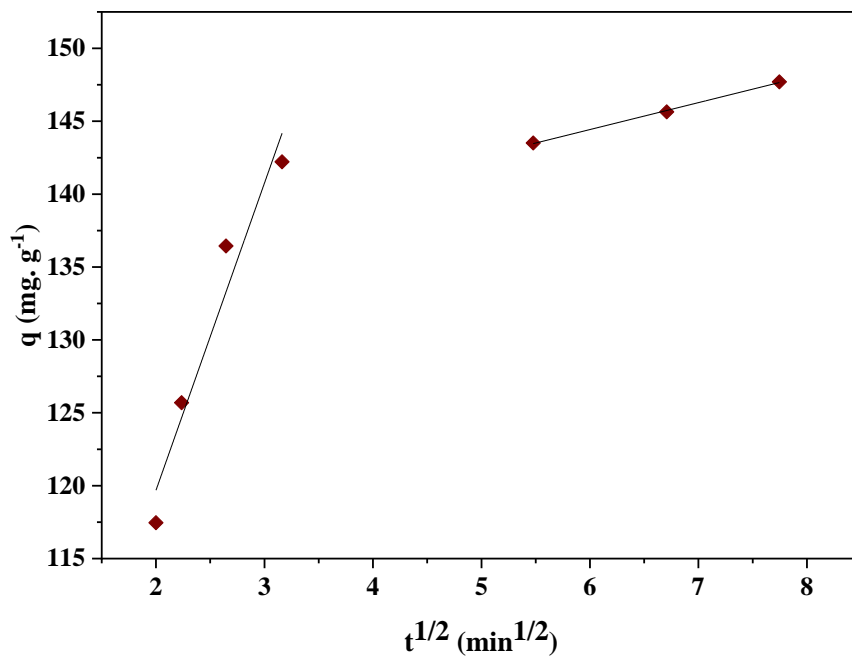
Le graphique linéaire de  $t/q_t$  en fonction de  $t$  est représenté par la figure II.11



**Figure II. 11 :** Cinétique d'adsorption du pseudo second ordre du VG sur bentonite.

Contrairement au modèle précédent, le modèle de pseudo second ordre est applicable à un intervalle du temps plus large (généralement l'ensemble du processus d'adsorption).

### II.8.3 Modèle cinétique de la diffusion intra-particulaire (DIP)



**Figure II. 12:** Cinétique d'adsorption de VG sur bentonite selon le modèle de diffusion intra-particulaire.

A partir des graphiques tracés précédemment, nous avons regroupé les différentes constantes de chaque modèle dans le tableau II.2.

**Tableau II. 2 :** Valeurs des constantes de vitesse et coefficients de corrélation des différents modèles cinétiques.

$q_{e, \text{exp}} \text{ (mg. g}^{-1}\text{)}$	<b>147,7</b>	
<b>Pseudo premier ordre</b>		
	<b>Global</b>	<b>Avant équilibre</b>
$K_1 \text{ (min}^{-1}\text{). } 10^{-2}$	7,86	33,1
$q_{e, \text{calc}} \text{ (mg. g}^{-1}\text{)}$	28,64	127,21
$R^2$	<b>0,516</b>	<b>0,986</b>
<b>Pseudo second ordre</b>		
$K_2 \text{ (g. mg}^{-1}\text{.min}^{-1}\text{). } 10^{-3}$	8,66	
$q_{e, \text{calc}} \text{ (mg. g}^{-1}\text{)}$	149,03	
$R^2$	<b>0,999</b>	
<b>Diffusion intra-particulaire</b>		
$K_{id1} \text{ (mg. g}^{-1}\text{. min}^{1/2}\text{)}$	21,07	
$C_1 \text{ (mg. g}^{-1}\text{)}$	77,54	
$R_2^1$	<b>0,946</b>	
$K_{id2} \text{ (mg. g}^{-1}\text{. min}^{1/2}\text{)}$	1,85	
$C_2 \text{ (mg. g}^{-1}\text{)}$	133,35	
$R_2^2$	<b>0,998</b>	

D'après les résultats obtenus et indiqués sur le tableau II.2, dans le cas de pseudo premier ordre, il existe deux cas :

- Le premier cas consiste à étudier tous les points (de 0 à 60 minutes) ; on obtient un coefficient de corrélation de l'ordre de 0,516 avec une quantité adsorbée à l'équilibre calculée de l'ordre de 28,64 mg. g<sup>-1</sup> qui est vraiment faible par rapport à celle obtenue expérimentalement [19].
- Le deuxième cas nous n'avons identifié que les premières minutes (de 0 minutes à avant l'équilibre), on note une différence entre les courbes, où il est possible que nous préférons appliquer le pseudo premier ordre uniquement avant l'équilibre dont le coefficient de corrélation obtenu est égal à 0,986 ainsi, la quantité adsorbée à l'équilibre calculée égale à 127,21 mg. g<sup>-1</sup> qui n'est pas vraiment différente de la quantité expérimentale.

Si on compare entre les modèles cinétiques du pseudo premier et second ordre, il semble que le second cas est plus adéquat pour modéliser la cinétique d'adsorption du violet de gentiane par la bentonite pontée par le CTAB car la valeur de de la quantité adsorbée à l'équilibre calculée 149,03 mg. g<sup>-1</sup> coïncide avec celle déterminée expérimentalement et le coefficient de régression linéaire est proche de l'unité et de l'ordre de 0,999 [20].

Le modèle de la diffusion intra-particule donne deux droites séparées qui ne passent pas l'origine, la première région peut être attribuée à la diffusion externe, alors que la deuxième partie correspond à l'équilibre d'adsorption [21].

Le tableau précédent montre que la constante de diffusion  $k_{id1}$  est supérieure à  $k_{id2}$ , ce qui peut être expliqué par la grande vitesse d'adsorption pour la première région, les valeurs de C donne une idée sur l'épaisseur de la couche diffuse [18].

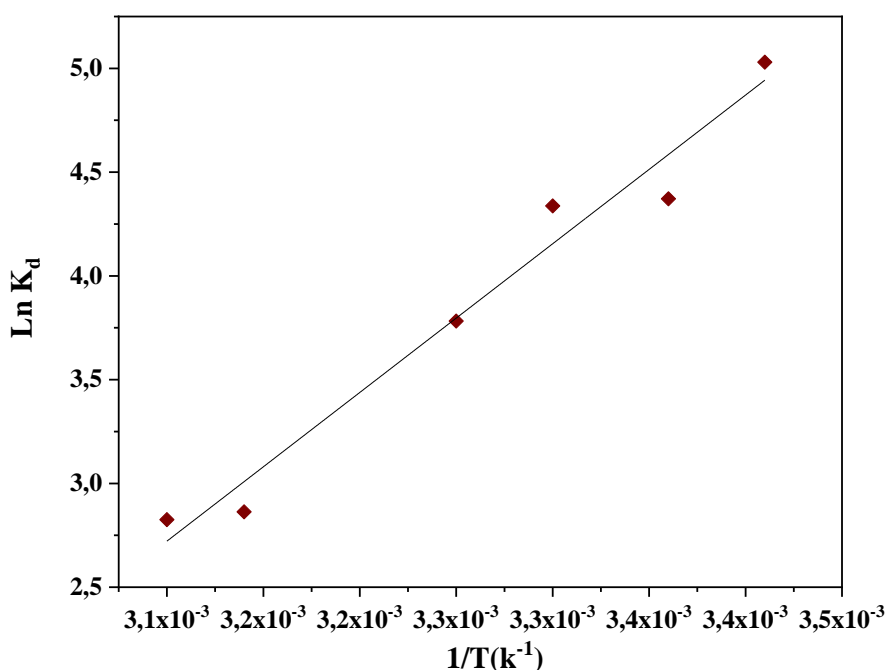
#### II.8.4 Etude thermodynamique

Les paramètres thermodynamiques ont été déterminés pour pouvoir qualifier le phénomène de l'adsorption du VG sur bentonite pontée.

L'étude thermodynamique reflète la faisabilité et la nature spontanée du processus d'adsorption.

Les paramètres tels que  $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$  et  $\Delta S^\circ$  peuvent être estimés à partir des constantes d'équilibres à différentes températures [22].

La figure II.13 représente  $\ln K_d$  en fonction de  $1/T$  :



**Figure II. 13 :** Effet de la température sur la constante de distribution du phénomène d'adsorption de VG sur bentonite.

A partir du tracé de la figure II.13, nous avons pu déterminer les paramètres de linéarisation, lesquels représentent les grandeurs thermodynamiques. Ces dernières sont regroupées dans le tableau II.3

**Tableau II. 3:** Paramètres thermodynamiques de l'adsorption de VG sur bentonite.

T(K)	$\Delta H^\circ$ (KJ. mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S^\circ$ (J. mol <sup>-1</sup> . K-1)	R <sup>2</sup>	$\Delta G^\circ$ (KJ. mol <sup>-1</sup> )
293				-12,09
298				-11,28
303	-59,573	-162,047	0,962	-10,47
308				-9,66
318				-8,04
323				-7,23

Selon les résultats obtenus dans le tableau II.3, on constate que la valeur de l'enthalpie standard d'adsorption ( $\Delta H^\circ < 0$ ) ce qui prouve que le processus est exothermique. La valeur de l'entropie standard  $\Delta S^\circ$  est petite et négative ce qui suggère qu'aucun changement clair de l'entropie n'a lieu pendant le processus d'adsorption, la valeur négative montre aussi une diminution aléatoire à l'interface pendant l'adsorption du violet de gentiane sur la bentonite [23].

Les valeurs de l'enthalpie libre sont négatives ( $\Delta G^\circ < 0$ ) ce qui indique que le processus d'élimination du violet de gentiane par la bentonite est spontané et aussi l'augmentation de  $\Delta G^\circ$  avec l'augmentation de la température, les valeurs négatives de ces trois paramètres indiquent que la réaction est spontanée exothermique et que l'ordre de distribution des molécules du colorant sur l'adsorbant [24].

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Cette présente étude avait pour objectifs, l'utilisation d'un matériau qui est la bentonite pour l'adsorption d'un polluant (colorant cationique).

Cette étude montre que notre bentonite peut éliminer des colorants cationiques des solutions aqueuses, l'influence des paramètres tels que : pH, temps, masse et température a été étudiée. Les résultats expérimentaux ont prouvé que :

- La quantité de colorant adsorbée diminue avec l'ajout d'adsorbant, ce qui peut être expliqué par la non-saturation des sites d'adsorption,
- Une cinétique d'adsorption rapide avec un équilibre atteint au bout de 20 minutes de contact qui semble bien ajustée par le modèle de pseudo premier ordre pour les premières minutes alors qu'elle est très bien modélisée par le modèle du pseudo second ordre et la diffusion intra-particulaire n'est pas la seule étape limitante.
- Adsorption favorable dans le milieu basique serait due à la forte attraction entre la surface de la bentonite chargée négativement avec le VG chargé positivement.
- L'augmentation de la température entraîne la diminution de la capacité d'adsorption, donc le processus d'adsorption est exothermique.
- Les valeurs négative des paramètres thermodynamiques montrent que la réaction et l'élimination de VG est exothermique, spontanée et avec augmentation de l'ordre à l'interface solide-solution.

Il ressort de ces résultats expérimentaux que la bentonite algérienne utilisée dans ce travail est un matériau naturel efficace pour l'élimination de ce polluant le violet de gentiane d'une solution synthétique qui est largement présent dans les effluents industriels.

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

- Utilisation d'autres colorants (anioniques par exemple) par modification de la bentonite.
- Pontage de la bentonite par une autre tensio-actifs ou composé organique.
- Procéder à une caractérisation de l'adsorbant utilisé (DRX et BET)
- Tentative de faire un processus de désorption afin de récupérer l'adsorbant.

# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

1. Bendou, S., *Utilisation des argiles traitées pour la décoloration des bains de teinture*, 2009, Boumerdès, Université M'hamed bougara. Faculté des Sciences de L'ingénieur.
2. Zahaf, F., *Etude Structurale des argiles modifiées Appliquées à l'adsorption des polluants*, 2017.
3. El Harfi, S. and A. El Harfi, *Classifications, properties and applications of textile dyes: A review*. Applied Journal of Environmental Engineering Science, 2017. **3**(3): p. 311-320.
4. Ben Mansour, H., et al., *Les colorants textiles sources de contamination de l'eau: CRIBLAGE de la toxicité et des méthodes de traitement*. Revue des sciences de l'eau, 2011. **24**(3): p. 209-238.
5. Karim, A., et al., *Élimination du colorant basique «Bleu de Méthylène» en solution aqueuse par l'argile de Safi*. Revue des sciences de l'eau, 2010. **23**(4): p. 375-388.
6. Medekhel, A., *Adsorption du bleu de méthylène par charbon actif*, in *Mémoire de MASTER Université echahid hamma lakhdar-el oued*2018.
7. Bamba, D., et al., *Etudes comparées des méthodes de préparation du charbon actif, suivies d'un test de dépollution d'une eau contaminée au diuron*. J. soc. Ouest-Afr. chim, 2009. **28**: p. 41-52.
8. Momčilović, M., et al., *Removal of lead (II) ions from aqueous solutions by adsorption onto pine cone activated carbon*. Desalination, 2011. **276**(1-3): p. 53-59.
9. Abdallah, M., et al., *Étude de l'adsorption du Bleu de Méthylène sur un biomatériau à base de l'eucalyptus selon la taille des particules Treatment of industrial wastewater using a natural and biodegradable adsorbent based on Eucalyptus*. Journal of materials and Environmental Science., 6, 2016. **2**: p. 397-406.
10. Dali, A., et al., *Allylic oxidation of cyclohexene over ruthenium-doped titanium-pillared clay*. RSC advances, 2015. **5**(37): p. 29167-29178.
11. Mesboua, N., et al., *Calcinated Bentonite as Supplementary Cementitious Materials in Cement-Based Mortar*. Journal of Applied Engineering Sciences, 2021. **11**(1): p. 23-32.
12. Li, Y., B. Zhang, and X. Pan, *Preparation and characterization of PMMA-kaolinite intercalation composites*. Composites Science and Technology, 2008. **68**(9): p. 1954-1961.
13. Asmaa Bennani, K., et al., *Élimination du colorant basique «Bleu de Méthylène» en solution aqueuse par l'argile de Safi*. Revue des sciences de l'eau, 2010. **23**(4): p. 375-388.
14. Akinola, L. and A. Umar, *Adsorption of crystal violet onto adsorbents derived from agricultural wastes: kinetic and equilibrium studies*. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 2015. **19**(2): p. 279-288.
15. Zengin, G., et al., *The adsorption of tartrazine, congo red and methyl orange on chitosan beads Polish J. Environ. Stud*, 2012. **21**(9).
16. Xi, W., Y. Ping, and M.A. Alikhani, *A review on biosurfactant applications in the petroleum industry*. International Journal of Chemical Engineering, 2021. **2021**: p. 1-10.
17. Katheresan, V., J. Kannedo, and S.Y. Lau, *Efficiency of various recent wastewater dye removal methods: A review*. Journal of environmental chemical engineering, 2018. **6**(4): p. 4676-4697.
18. Batana, F.Z., M.N. Rebizi, and A. Guibadj, *Algerian Bentonite Bridged for removes cationic dye from aqueous solutions by adsorption: Modelling, optimization and kinetics study*. International Journal of Advanced Studies in Computers, Science and Engineering, 2022. **11**(3): p. 11-27.
19. Batana, F., M. Taouti, and A. Guibadj, *Cinétique de l'adsorption du bleu de méthylène sur bentonite brute et traitée*. Algerian Journal of Environmental Science and Technology, 2019. **5**(4).

20. Rajan, M.S., P. Prabhu, and S. Keerthinarayana, *Biosorption kinetics of nitrate onto tamrind fruit shells*. Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities, 2017. **7**(6): p. 1-12.
21. Batana, F.Z., H.D. Bouras, and H. Aouissi, *Biosorption Of Congo Red And Basic Fuchsin Using Micro Fungi Fusarium Oxysporum F. Sp. Pisi As A Biosorbent: Modeling Optimization And Kinetics Study*. Egyptian Journal of Chemistry, 2022. **65**(13): p. 225-235.
22. Ncibi, M.C., B. Mahjoub, and M. Seffen, *Étude de la biosorption du chrome (VI) par une biomasse méditerranéenne: Posidonia oceanica (L.) delile*. Revue des sciences de l'eau, 2008. **21**(4): p. 441-449.
23. Nargawe, T., et al., *Adsorption study for removal of crystal violet dye using MMT-MWCNTs composite from aqueous solution*. Journal of Applicable Chemistry, 2018. **7**(5): p. 1252-1259.
24. Abbas, M., Z. Harrache, and M. Trari, *Removal of gentian violet in aqueous solution by activated carbon equilibrium, kinetics, and thermodynamic study*. Adsorption Science & Technology, 2019. **37**(7-8): p. 566-589.

## ملخص

تمت دراسة إزالة الصبغة الكاتيونية (الجنطيانا البنفسجي VG) بواسطة طين من نوع البنتونيت عن طريق الامتزاز. تم إجراء سلسلة من التجارب وتحليلها بواسطة مقياس الطيف الضوئي الامتصاصي للأشعة المرئية وفوق البنفسجية. في الجزء الأول، تابعنا تأثير عوامل معينة على هذه الظاهرة، مثل وقت التلامس، كتلة الممتز، درجة حموضة المحلول ودرجة الحرارة. في الجزء الثاني درسنا الخواص الحركية حيث تم الحصول على التوازن بعد 20 دقيقة مما يعني أنه تفاعل سريع من الدرجة الثانية الزائفة. تشير القيم الديناميكية الحرارية إلى أن العملية طاردة للحرارة وعفوية مع اضطراب متزايد في واجهة المحلول الصلب.

**الكلمات المفتاحية:** الجنطيانا البنفسجي، بنتونيت، حركية الإمتزاز، الديناميكا الحرارية

## Résumé

L'élimination d'un colorant cationique (violet de gentiane VG) par une argile de type bentonite par adsorption a été étudiée. Une série d'expérience a été réalisé et analysé par spectrophotomètre d'absorption UV-VIS. Dans la première partie, nous avons suivi l'effet de certains facteurs sur ce phénomène, tels que temps de contact, masse de l'adsorbant, pH de la solution et température. Dans la deuxième partie, nous avons étudié la cinétique ou l'équilibre a été obtenu au bout de 20 minutes, ce qui signifie qu'il s'agit d'une réaction rapide du pseudo second-ordre. Les valeurs des paramètres thermodynamiques indiquent que le processus est exothermique, spontané et avec l'augmentation de désordre à l'interface solide-solution.

**Mots clés :** Violet de gentiane, bentonite, cinétique d'adsorption, thermodynamique.

## Abstract

The removal of a cationic dye (gentian violet VG) by a bentonite-type clay through adsorption was studied. A series of experiments were carried out and analyzed by UV-VIS absorption spectrophotometer. In the first part, we monitored the effect of certain factors on this phenomenon, such as contact time, adsorbent mass, solution pH and temperature. In the second part, we studied the kinetics, where equilibrium was achieved after 20 minutes, indicating a rapid pseudo-second-order reaction. Thermodynamic parameter values indicate that the process is exothermic, spontaneous and with increasing disorder at the solid-solution interface.

**Key words:** Gentian violet, bentonite, adsorption kinetics, thermodynamics.