

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة مولاي الطاهر، سعيدة

Université MOULAY Tahar, Saïda



كلية العلوم  
N° d'Ordre  
Faculté des Sciences

قسم الكيمياء  
Département de chimie

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

En Sciences chimiques

Spécialité : Chimie Inorganique

Thème

Elimination des micropolluants (organique : bleu de méthylène,  
inorganique : plomb, par un matériau naturel (le sable)

Présenté par :

■ M<sup>me</sup> : Kadri Mokhtaria

Soutenu le : 12/06/2024

Devant le jury composé de :

Présidente : Mme. Mostéfai. A  
Examinatrice : Mme. Ouldkada.Z  
Examinatrice : Mme. Zaoui .F  
Rapporteur : Mme. Miloudi.S

Pr Université UMTS  
MCA Université UMTS  
Pr Université UMTS  
MCB Université UMTS

Année universitaire 2023/2024

# *DEDICACE*

*A mes chers petits anges*

*"Malek et Iyed"*

*A mon très cher époux*

*A ma précieuses Maman*

*A tous ceux et celles qui me sont chers*

# Remerciement

*Je remercie du fond du cœur Allah avant tous, le tout puissant, qui m'a accordé la force, la volonté et le courage afin de mener à bout ce travail.*

*Je tiens à remercier vivement mon encadrante*

*M<sup>me</sup> MILOUDI SAFIA pour m'avoir confié se travail et pour son aide, ses conseils et sa sympathie.*

*Je tiens à remercier Madame la présidente et les membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.*

*Je remercie également mon époux pour sa précieuse aide, Sa patience et son encouragements.*

*Je remercie toute ma famille : KADRJ et SEDDIKI*

*Je remercie mon ami FATIMA SACI pour son aide et support.*

*Je remercie vivement l'ensemble de l'équipe de laboratoire du centre universitaire NOUR EL BACHIR EL BAYADH.*

*Enfin à tous ceux et celles qui m'ont soutenu ou encouragés, qu'ils y trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.*

## Liste des abréviations

Bibliographique	Expérimental
SB : Sable de Brézina	$C_e$ : Concentration du soluté à l'équilibre, exprimée en (mg/L).
HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques	$Q_e$ : Quantité adsorbée à l'équilibre en (mg/g).
POP : polluants organiques persistants	$Q_m$ : Capacité maximale d'adsorption de la monocouche en (mg/g).
OMS : Organisation mondiale de la santé	K : Constante de Langmuir : c'est le rapport des constantes de vitesses d'adsorption et de désorption (L/mg). (90)
HPLC : chromatographie liquide haute performance	$I_0$ : l'intensité incidente
CCM : chromatographie sur couche mince	I : l'intensité transmise
B.D.D.T : Brunauer, Deming, Deming et Teller	M : masse molaire (g/mol)
IUPAC : international Union of Pure and Applied Chemistry	m : masse en gramme
B.E.T : Brunauer, Emmet Et Teller	V : volume en Litre
Tube TSE : Tryptic Soy Extract	C : concentration (mol/l)
	$C_{eq}$ : Concentration du soluté à l'équilibre, exprimée en (mg/L).
	$C_0$ : Concentration initiale en (mg/L).
	V : le volume de la solution (L).
	m : la masse de l'adsorbant (g).
	$Q_t$ : la quantité en mg par gramme d'adsorbant.
	$K_d$ : Constante de distribution
	$q_e$ : Capacité d'adsorption à l'équilibre (mg/g)
	$C_e$ : Concentration à l'équilibre du soluté en solution (mg/L) ;
	R : Constante des gaz parfaits (J. mol <sup>-1</sup> . K <sup>-1</sup> )
	T : Température absolue (Kelven).
	$\Delta G^\circ$ : Energie libre
	$\Delta H^\circ$ : Enthalpie
	$\Delta S^\circ$ : Entropie

## Liste des tableaux

Tableau I. 1: Propriété physico-chimiques des bleu de méthylène: : .....	12
Tableau I. 2: Plomb: caractéristiques physico-chimiques du plomb. ....	19
Tableau I. 3 : La déférence ente adsorption physique et adsorption chimique.....	26
Tableau I. 4: Principaux minéraux du sable.....	35
Tableau II. 1: Récapitulatif des réactifs utilisés.....	40
Tableau II. 2: Evolution du pH du sable au cours du traitement et lavage de SB. ....	48
Tableau II. 3: Evolution de la masse de matériau sorbant SB au cours du séchage .....	49
Tableau II. 4: Résultats cinétique de la rétention du $Pb^{+2}$ à différents temps à pH=8,7 .....	54
Tableau II. 5: Effet de la masse de sable sur l'adsorption du $Pb^{+2}$ dans le ( $C_4 H_6 O_4 Pb, 3H_2O$ ) .....	55
Tableau II. 6: Effet de la concentration du $Pb^{+2}$ dans le $C_4 H_6 O_4 Pb, 3H_2O$ sur l'adsorbant ...	56
Tableau II. 7: Résultats cinétique de rétention du $Pb^{2+}$ à différentes températures .....	57
Tableau II. 8: Résultats cinétique de rétention du $Pb^{2+}$ à différents pH .....	58
Tableau II. 9: Résultats cinétique de la rétention du BM à différents temps.....	59
Tableau II. 10: Effet de la masse de sable sur l'adsorption du BM.....	60
Tableau II. 11: Effet de la concentration du BM sur l'adsorbant .....	61
Tableau II. 12: Résultats cinétique de rétention du BM à différentes Températures.....	62
Tableau II. 13: Résultats cinétique de rétentiondu BM à différents pH .....	63
Tableau II. 14: Constantes de Freundlich et Langmuir .....	67
Tableau II. 15: Valeur des paramètres cinétique du premier et second pseudo ordre.....	69
Tableau II. 16: Paramétrses thermodynamiques.....	70

## Liste des figures

Figure I. 1 : Bleu de méthylène .....	12
Figure I. 2 : Structure chimique du bleu de méthylène .....	12
Figure I. 3: Plomb à l'état naturel.....	18
Figure I. 4: Acétate de plomb trihydraté.....	21
Figure I. 5: Phénomène d'adsorption .....	24
Figure I. 6: Phénomène d'adsorption chimique et physique .....	25
Figure I. 7: Mécanisme d'adsorption.....	27
Figure I. 8: Les cinq types d'isotherme d'adsorption d'après la classification B.D.D.T. ....	29
Figure I. 9: Modèle d'adsorption de monocouche.....	29
Figure I. 10: Modèle d'adsorption de multicouche .....	30
Figure I. 11: Localisation du site d'étude: Oasis de Brézina (sud ouestalgérien) .....	32
Figure I. 12 : Différents couleur du sable.....	33
Figure I. 13 : Compositions du sable.....	33
Figure I. 14: Sable de B sous le microscope LCD.....	34
Figure I. 15 : Molécule de quartz, sur Rastop. En rouge les atomes d'oxygène, en orange le silicium. (SiO <sub>2</sub> ).....	34
Figure I. 16: Molécule de feldspath sur Rastop, en rouge les atomes d'oxygène, en orange ceux de silicium et en gris les atomes d'aluminium. ....	34
Figure II. 1: Principe du spectrophotomètre UV-Visible.....	42
Figure II. 2: Spectrophotomètre UV-visible (OPTIZEN 1412V).....	43
Figure II. 3: spectromètre infrarouge.....	43
Figure II. 4: Représentation schématique de principe de XRF.....	45
Figure II. 5: SB avant et après lavage.....	47
Figure II. 6 : Evolution de la masse du sable en fonction du temps.....	49
Figure II. 7: Détermination de $\lambda_{max}$ du Pb <sup>+2</sup> .....	52
Figure II. 8: Courbe d'étalonnage de Pb <sup>2+</sup> dans l'acétate de plomb trihydraté .....	53
Figure II. 9: Courbe d'étalonnage de Bleu de méthylène.....	53
Figure II. 10: Effet de temps d'agitation du Pb <sup>+2</sup> dans l'acétate de plomb trihydraté par le SB. ....	54
Figure II. 11: Effet de la masse de sable sur l'adsorption du Pb <sup>+2</sup> .....	55
Figure II. 12 : Effet de la concentration sur la quantité de Pb <sup>+2</sup> adsorbée par SB.....	56
Figure II. 13: Effet de la Températures de la solution sur la quantité de Pb <sup>+2</sup> adsorbée .....	57
Figure II. 14: Effet de pH de la solution sur la quantité de Pb <sup>+2</sup> adsorbé par le SB.....	58
Figure II. 15 : Effet de temps d'agitation du BM par le SB. ....	59
Figure II. 16: Effet de la masse de sable sur l'adsorption du BM .....	60
Figure II. 17: Effet de la concentration du BM sur l'adsorbant .....	61
Figure II. 18: Effet de la Températures de la solution sur l'adsorbtion de BM par SB.....	62
Figure II. 19: Effet de pH du du solution sur l'adsorption du BM par le SB. ....	63
Figure II. 20: Isotherme de sorption de BM. Type L.....	64
Figure II. 21: Isotherme de sorption de pb <sup>+2</sup> , type L .....	64
Figure II. 22: Transformées linéaire des isothermes de Langmuir de BM.....	65
Figure II. 23: Transformées linéaire des isothermes de Langmuir de pb <sup>+2</sup> .....	66
Figure II. 24: Transformées linéaire des isothermes de Freundlich deBM. ....	66
Figure II. 25: Transformées linéaire des isothermes de Freundlich de pb <sup>+2</sup> .....	66

Figure II. 26: cinétique du Premier pseudo ordre du BM.....	67
Figure II. 27: cinétique du Premier pseudo ordre du $Pb^{+2}$ .....	68
Figure II. 28: cinétique du second pseudo ordre du BM.....	68
Figure II. 29: cinétique du second pseudo ordre du $Pb^{+2}$ .....	68
Figure II. 30 : LnKc en fonction de l'inverse de la température du BM dans SB.....	70
Figure II. 31: LnKc en fonction de l'inverse de la température du $Pb^{+2}$ dans SB.....	70
Figure III. 1:Cellule bactérienne.....	72
Figure III. 2: Test de la zone d'inhibition des solutions de SBs contre Staphylococcus aureus. .....	77

## Table des matières

Liste des abréviations.....	4
Liste des tableaux.....	5
Liste des figures.....	6
Tableaux des matières.....	8
Introduction Générale.....	1
Référence Bibliographie : .....	1
I.1. La pollution hydrique: .....	3
I.1.1. Introduction:.....	3
I.1.2. Définition de la pollution hydrique:.....	3
I.1.3. Source de pollution: .....	3
I.1.3.1. Pollution naturelle:.....	3
I.1.3.2. Pollution atmosphérique: .....	3
I.1.3.3. Pollution urbaine:.....	4
I.1.3.4. Pollution industrielle:.....	4
I.1.3.5. Pollution agricole: .....	4
I.1.3.6. Pollution accidentelle:.....	4
I.1.4. Types de polluants:.....	4
I.1.4.1. Pollution physique: .....	4
I.1.4.2. Polluants Biologiques: .....	5
I.1.4.3. Pollution chimique: .....	6
I.2. Les micropolluants: .....	6
I.2.1. Définition des micropolluants:.....	7
I.2.2. Groupes de micropolluants: .....	7
I.2.3. Colorants:.....	8
I.2.3.1. Généralités: .....	8
I.2.3.2. Définition des colorants: .....	8
I.2.3.3. Origine et Classification: .....	8
I.2.3.4. Application:.....	9
I.2.4. Métaux lourds: .....	15
I.2.4.3. Effets des métaux lourds sur le milieu aquatique:.....	16
I.2.4.3.a. Toxicité pour les organismes aquatiques:.....	16
I.2.4.4. Effets sur la santé humaine: .....	17
I.2.4.5. Métal utilisé dans cette étude:.....	17

I.3. Traitement des eaux usées:.....	23
I.3.1. Prétraitement:.....	23
I.3. 2. Traitement primaire:.....	23
I.3.3. Traitement secondaire: .....	23
I.3. 4. Traitement tertiaire:.....	23
I.3.5. Traitement quaternaire: .....	23
I.3.6. Traitement des boues d'épuration: .....	23
I.4. Caractérisation de l'Adsorption: .....	24
I.4.1. Généralités sur l'adsorption:.....	24
I.4.2. Définition de l'adsorption: .....	24
I.4. 3. Types d'adsorption:.....	25
I.4. 3.1. Adsorption physique: .....	25
I.4. 3.2. Adsorption chimique: .....	25
I.4.4. Mécanisme d'adsorption:.....	26
I.4.5. Isothermes d'adsorption:.....	27
I.4.5.1. Classification des isothermes d'adsorption:.....	27
I.4.6. Modèles d'isothermes d'adsorption: .....	29
I.4.6.1. Model de Langmuir: .....	29
I.4.6.2. Isotherme de Freundlich: .....	30
I.5. Matériau naturel (SB): .....	31
I.5.1. Introduction:.....	31
I.5.2. Source du sable à étudier (La zone de Brézina):.....	31
I.5.3. Définition du sable:.....	32
I.5.4. Composition du sable:.....	33
I.5.5. Caractéristiques physicochimiques:.....	36
I.5.6. Utilisation: .....	36
I.5.7. Différents types de sable: .....	37
I.5.7.1. Sables naturels: .....	37
I.5.7.2. Sables artificiels: .....	37
I.5.7.3. Différents types de sable disponibles sur le marché: .....	37
I.5.8. Histoire de l'utilisation du sable par nos ancêtres dans la purification de l'eau: .....	38
I.5.8.1. Filtres à sable lent: .....	38
I.5.8.2. Puits de sable: .....	38
I.5.8.3. Bassins de décantation avec du sable:.....	38
I.5.8.4. Filtres à sable multiples: .....	38
I.5.8.5. Purification de l'eau avec des récipients en sable: .....	39
I.5.8.5. filtre à sable pour piscine: .....	39

Références bibliographiques: .....	
II Patie expérimentale.	
II.1. Introduction : .....	40
II.2. Réactifs et appareils utilisés : .....	40
II.2.1. Réactifs utilisés : .....	40
II.2.2. Appareils et instruments utilisés: .....	40
II.2.3. Verreries:.....	41
II.3. Technique d'analyseutilisée:.....	41
II.3.1. Spectrophotomètres UV-Visible: .....	41
II.3.1.1 Principe du spectrophotomètre UV-Visible: .....	41
II.3.2. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF):.....	43
II.3.2.1. Principe de l' infrarouge: .....	44
II.3.3. Spectrométrie de fluorescence X (XRF):.....	44
II.3.3.1. Principe:.....	44
II.4. Protocole de traitement du matériau utilisé:.....	46
II.5. Préparation de matériau (SB): .....	47
II.5.1. Traitement et lavage: .....	47
II.5.2. Détermination du temps nécessaire pour le séchage du SB : .....	49
II.6. Protocole expérimentale d'adsorption des métaux lourds et colorant : .....	50
II.6.1. Préparation dessolutions : .....	50
II.6.1.2. Préparation de solutions du colorant BM : .....	50
II.6.2. Méthodes d'adsorption : .....	50
II.6.2.2. Méthode d'adsorption du colorantBM : .....	51
II.6.3. Calcul du rendements (R%) et quantités adsorbées : .....	51
II.7. Résultats et discussion : .....	52
II.7.1. Méthode de titrage des micropolluants utilisés : .....	52
II.7.2. Courbes d'étalonnages :.....	53
II.7.3. Etude cinétique de l'adsorption du plomb :.....	54
II.7.3.1. Effet du temps de contact et le nombre d'agitation : .....	54
II.7.3.2. Effet de la masse d'adsorbant :.....	55
II.7.3.3. Effet de la concentration de la solution : .....	56
II.7.3.4. Effet de la température : .....	57
II.7.3.5. Effet du pH de la solution : .....	58
II.7.4. Etude cinétique de l'adsorption du BM :.....	59
II.7.4.1. Effet du temps de contact et le nombre d'agitation : .....	59
II.7.4.2. Effet de la masse d'adsorbant :.....	60
II.7.4.3. Effet de la concentration de la solution : .....	61

II.7.4.4. Effet de la température :	62
II.7.4.5. Effet du pH de la solution :	63
II.7.5. Modélisation d'isotherme d'adsorption :	64
II.7.5.2.a. Modèle de Langmuir :	65
II.7.5.2.b. Modèle de Freundlich :	66
II.7.6. Etude cinétique de l'adsorption :	67
II.7.6.1. Premier Pseudoordre:	67
II.7.6.2. Second pseudo ordre :	68
II.7.7. Etude thermodynamique :	69
Référence Bibliographique :	40
III.Activités antibactériennes :	72
III.1. Introduction	72
III.2. Définition des bactéries :	72
III.3. Critères de classification des bactéries :	72
III.3. Types de bactéries :	73
III.3.1. Staphylococcus aureus :	73
III.4. Modes de transmission des bactéries par l'eau :	73
III.5.Effet antibactérienne :	74
III.5.1. Effet bactériostatique :	74
III.5.1Effet bactéricide :	74
III.6. Les méthodes utilisées dans l'ctivité antibactérienne :	74
III.6.1. Méthodes de diffusion sur milieu Mueller-Hinton bouillon ou agar :	75
III.7. Activité biologique :	75
III.7.1. Introduction :	75
III.7.2. Matériel et Méthodes	75
III.8. Conclusion :	77
Référence bibliographique :	72
Conclusion générale :	78

## **Résumé :**

L'accumulation de micropolluants dans les systèmes aquatiques représente une menace sérieuse pour l'environnement et la santé humaine. Ces substances, souvent présentes à des concentrations infimes, peuvent avoir des effets toxiques et perturbateurs sur les écosystèmes et les organismes vivants. Dans ce contexte, notre étude se concentre sur l'utilisation du sable, un matériau naturel, économique et abondant, comme moyen efficace pour l'élimination de ces micropolluants. L'objectif principal de cette recherche est d'examiner la capacité du sable à adsorber différents types de micropolluants inorganique tel que le plomb et organique comme le bleu de méthylène. L'influence de certains paramètres sur le processus d'adsorption : le temps de contact et d'agitation solide-liquide, dose d'adsorbant, concentration des polluants, la température et le pH du solution. L'équilibre est atteint après une heure de la mise en contact pour les deux adsorbats, avec un rendement de 98,6% pour le plomb, et 96,96 pour le BM. L'adsorption est favorable à pH neutre pour le plomb et à pH acide pour le BM, et l'augmentation de la température améliore la capacité d'adsorption du colorant BM, au contraire pour le Pb<sup>+2</sup>. Les résultats déduits du tracé des isothermes et de cinétique d'adsorption des deux polluant montre que la rétention est prévisible à partir de ces tracés en accord avec le modèle de Langmuir et modèle pseudo -second ordre. Cette étude montre que le sable est un bon matériau adsorbant pour se débarrasser du colorant BM et le plomb.

**Les mots clés :** pollution de l'eau, sable, adsorption, plomb, bleu de méthylène.

## **ملخص**

يشكل تراكم الملوثات الدقيقة في النظم المائية تهديدا خطيرا للبيئة وصحة الإنسان. هذه المواد، التي غالبا ما تكون موجودة بتركيزات دقيقة، يمكن أن يكون لها آثار سامة ومدمرة على النظم الإيكولوجية والكائنات الحية. في هذا السياق، تركز دراستنا على استخدام الرمل، وهو مادة طبيعية واقتصادية وفيرة، كوسيلة فعالة لإزالة هذه الملوثات الدقيقة. الهدف الرئيسي من هذا البحث هو فحص قدرة الرمل على امتصاص أنواع مختلفة من الملوثات الدقيقة غير العضوية مثل الرصاص والعضوية مثل الميثيلين الأزرق تأثير بعض العوامل على عملية الامتزاز: وقت التلامس والتحرير الصلب السائل، جرعة الممتزات، تركيز الملوثات، درجة الحرارة ودرجة الحموضة في المحلول. يتم الوصول إلى التوازن بعد وقت من التلامس، بكفاءة 98.6% للرصاص، و96.96 لآزرق الميثيلين. يعد الامتزاز مناسباً لدرجة الحموضة المعتدلة للرصاص وفي وسط حمضي بالنسبة لآزرق الميثيلين. ان ارتفاع درجة الحرارة يحسن من قدرة الامتصاص بالنسبة لآزرق الميثيلين على عكس الرصاص. تبين الدراسة الحركية والدراسة الديناميكية الحرارية لعملية الامتزازهما تتوافق مع نموذج لانغموير ونموذج تفاعل الدرجة الثانية. تظهر هذه الدراسة ان الرمل مادة جيدة نوعا ما للتخلص من الرصاص وصبغة أزرق الميثيلين.

**الكلمات المفتاحية:** تلوث الماء، الرمل، امتزاز، الرصاص، أزرق الميثيلين.

## **Abstract :**

The accumulation of micropollutants in aquatic systems poses a serious threat to the environment and human health. These substances, often present in minute concentrations, can have toxic and disruptive effects on ecosystems and living organisms. In this context, our study focuses on the use of sand, a natural, economical and abundant material, as an effective means for the removal of these micropollutants. The main objective of this research is to examine the ability of sand to adsorb different types of inorganic micropollutants such as lead and organic such as methylene blue. The influence of certain parameters on the adsorption process : the time of contact and solid-liquid agitation, adsorbent dose, concentration of pollutants, temperature and pH of the solution. The equilibrium is reached after an hour of contact for the two adsorbats, with an efficiency of 98.6% for lead, and 96.96 for BM. Adsorption is favorable to neutral pH for lead and acidic pH for BM, and the increase in temperature improves the adsorption capacity of BM dyes, on the contrary for PB<sup>+2</sup>. The results deducted from the layout of isotherms and adsorption kinetics of the two pollutants shows that retention is predictable from these routes in accordance with the Langmuir model and pseudo model -which this study shows that sand is a good adsorbling material to get rid of BM coloring and lead.

**Keywords :** water, sand, adsorption, lead, methylene blue.

# **Introduction Générale**

## Introduction Générale

L'eau est un élément indispensable à l'existence ; Son rôle est fondamental pour le développement économique de la civilisation humaine vu son utilisation dans de nombreux secteurs notamment l'industrie et l'agriculture.

Cette ressource vitale est très connue par sa grande fragilité (1). De ce fait la pollution des eaux, qu'elle soit accidentelle ou volontaire, devient un problème universel qui entraîne la dégradation de l'environnement, la diminution de la qualité de l'eau et représente une menace pour la santé publique. Elle suscite actuellement un grand intérêt à travers le monde.

Les eaux usées industrielles chargées en métaux lourds (par exemple celles de l'industrie de traitement de surface : la galvanoplastie), des colorants (exemple les industries textiles, les additifs de l'industrie pétrolière) sont une source importante de toxicité pour les écosystèmes aquatiques. Les règlements en matière de rejets d'eaux industrielles usées (nature, normes...) sont maintenant sévères et obligent les industriels à traiter leurs effluents pour éliminer tous les polluants dangereux. (2)

Dans le domaine de l'élimination des micropolluants par des matériaux naturels, l'adsorption est une méthode largement utilisée en raison de son efficacité et de sa simplicité d'application.

L'avantage de l'adsorption réside dans sa capacité à cibler une large gamme de micropolluants, qu'ils soient organiques ou inorganiques, sans nécessiter l'ajout de produits chimiques supplémentaires. De plus, cette méthode est relativement simple et économique à mettre en œuvre, ce qui la rend attrayante pour des applications à grande échelle. (3)

L'objectif de ce travail est d'évaluer la capacité, du résine naturelle (le sable de Brezina) d'adsorber les micropolluants notamment les métaux lourds (le plomb), les colorants (le bleu de méthylène).

Le sable qui est un matériau abondant et largement disponible, se révèle être un candidat potentiellement efficace pour l'élimination des micropolluants. Sa structure poreuse et sa capacité d'adsorption en font un filtre naturel capable de retenir diverses substances indésirables présentes dans l'eau. (4)

## Introduction Générale

---

Notre travail se divise en trois parties principales ;

La première est la partie des revues bibliographiques engendrant la problématique des pollutions hydrique, définition des micropolluants en particulier le plomb et le bleu de méthylène et leurs toxicités, ainsi que le phénomène d'adsorption utilisé pour leur élimination, les différents procédés de traitement des eaux contaminées et enfin une présentation de la région et choix des sites de notre étude avec définition de notre adsorbant naturel et ces propriétés physico-chimiques.

La deuxième partie est dédiée aux produits chimiques, aux techniques expérimentales et analytiques utilisées. En premier lieu, nous avons commencé par la préparation de matériau « le sable » utilisés dans notre travail, puis nous présentons, les protocoles expérimentaux utilisés pour les expériences de l'adsorption de colorant, et —du métal lourd,

En deuxième lieu, nous exposerons et nous commenterons ensuite, les résultats expérimentaux.

La troisième partie concerne l'application de notre matériau l'activité antibactérienne pour montrer sa résistance vis-à-vis les bactéries pathogènes responsables de la contamination de l'eau.

Et enfin nous terminons par une conclusion générale englobant les principaux résultats.



## Introduction Générale

---

### Référence Bibliographie :

- (1) *YASSINE BENTAHAR, Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse. Université Côte d'Azur (ComUE). Thèse de doctorat.(2016).*
- (2) *FARIDA, LAKEL. Adsorption des ions  $Zn^{+2}$  en solutions aqueuses par la bentonite de sig. Diss. Université des Sciences et de la Technologie d'Alger, Houari Boumediene mémoire de magister, (2013).*
- (3) *MARINE, HARGUINDEGUY. Développement de supports d'immobilisation biosources pour la dégradation enzymatique de micropolluants dans un réacteur à lit fluidisé. Université Montpellier. Thèse de doctorat. (2020).*
- (4) *BRAHIM, MOHAMEDOU. Valorisation des sédiments de dragage dans la fabrication de blocs de terre comprimée stabilisée par des liants géo polymères. Paris université. Thèse de doctorat. (2022).*

# **Partie I**

**Revue bibliographique**

**I.1. La pollution hydrique:****I.1.1. Introduction:**

Pour les besoins de l'homme et l'équilibre des écosystèmes aquatiques, il faut que la qualité de l'eau soit bonne. Une pollution de l'eau peut générer une perturbation des activités humaines qui en dépendent et de l'équilibre existant entre le milieu naturel et les espèces animales et végétales qui s'y trouvent. (1)

**I.1.2. Définition de la pollution hydrique:**

La pollution de l'eau est une forme de dégradation de l'environnement qui se produit dans les écosystèmes aquatiques. Cette contamination résulte de divers agents responsables, notamment des ruissellements industriels et agricoles, ainsi que d'interventions humaines typiques qui ont lieu dans les rivières, les lacs et les mers.

Un milieu est dit pollué lorsqu'il contient une substance toxique qui peut provoquer une mort subite ou un effet différé à long terme par accumulation de cette substance dans le corps. Ces substances toxiques proviennent dans la plupart des cas des déchets de l'industrie chimique, de l'industrie des métaux, de l'activité agricole et des décharges de déchets domestiques ou industriels (2)

**I.1.3. Source de pollution:**

C'est une classification selon l'origine de la pollution:

**I.1.3.1. Pollution naturelle:**

Les développements technologiques ont montré que certains polluants dans les eaux et les sols ont une origine naturelle. Cette accumulation naturelle résulte de processus géologiques. Des éruptions volcaniques, des épanchements sous-marins d'hydrocarbures, peuvent aussi être à l'origine de pollutions. (3)

**I.1.3.2. Pollution atmosphérique:**

L'eau d'origine pluviale est relativement polluée. L'origine de cette pollution peut provenir des gaz ou solides en suspension rejetés dans l'atmosphère par les véhicules, les usines ou les centrales thermiques. Ces polluants (oxyde de carbone, dioxyde de soufre, poussière...) sont envoyés vers le sol à la moindre pluie. (4)

**I.1.3.3. Pollution urbaine:**

Les polluants urbains sont représentés par les rejets domestiques, les eaux de lavage collectif et de tous les produits dont se débarrassent les habitants d'une agglomération notamment des rejets industriels rejetés par les entreprises en quantités variables selon l'importance de l'agglomération et son activité. (5)

**I.1.3.4. Pollution industrielle:**

Le développement accéléré des techniques industrielles modernes a engendré une pollution très importante. Il est primordial d'être informé sur les procédés de fabrication et le circuit des réactifs et des produits. Les effluents déversés sans traitement entraînent des changements. (6)

**I.1.3.5. Pollution agricole:**

La pollution liée à l'agriculture est causée par l'utilisation anarchique d'engrais, de pesticides et d'herbicides ou de fongicides. Les méthodes modernes exigent parfois des labourages profonds et violents, ce qui favorise l'infiltration directe des polluants ( $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{PO}_4$  et  $\text{Cl}$ ) vers la nappe phréatique. (7)

**I.1.3.6. Pollution accidentelle:**

Leurs origines sont multiples. Certains déversements de produits polluants sont dus à des accidents (camions citernes, bacs endommagés, fuites sur canalisations...). D'autres surviennent dans des usines, lorsque des quantités importantes de gaz ou de liquides toxiques s'en échappent et sont disséminées en peu de temps dans la nature. Les stations d'épuration elles-mêmes peuvent tomber en panne et déverser leurs eaux usées ou leurs boues directement dans le milieu aquatique. Enfin, la pollution peut être due à l'ignorance ou à la légèreté de certains usagers: rejet de solvants chlorés dans les égouts, huiles de vidange. (8)

**I.1.4. Types des polluants:**

On peut classer la pollution en trois catégories, selon le type de polluant: pollution physique, pollution chimique et pollution biologique.

**I.1.4.1. Pollution physique:**

Cette pollution regroupe:

**I.1.4.1.1. Pollution thermique:**

L'augmentation de la température des eaux, ou autrement dit « Pollution thermique », provoque une diminution de la quantité d'oxygène dans le milieu Aquatique. (9)

Depuis le temps, l'eau est utilisée pour le refroidissement dans certains processus manufacturiers, tels que les industries chimiques et pétrolières. Mais actuellement, l'électricité est considérée comme la principale source de pollution thermique. La température de l'eau peut augmenter de 15°C lors des rejets directs dans l'eau de la chaleur de la production électrique. (10)

**I.1.4.1.2. Pollution radioactive:**

La radioactivité: Par exemple, les rejets radioactifs liquides du site nucléaire accidenté de Fukushima Dai-ichi (Japon), lors du séisme en mars 2011. Ces rejets N'ont pas pu être vraiment quantifiés parce que l'eau a été contaminée de deux façons: par rejet radioactif direct ou indirect, par les retombés atmosphériques sur la surface de la mer. Le seul radionucléide identifié est le césium. (11)

**I.1.4.1.3. Pollution mécanique:**

Elle résulte des décharges de déchets et de particules solides apportés par les eaux résiduares industrielles, ainsi que les eaux de ruissellement. Ces polluants sont soit les éléments grossiers soit du sable ou bien les matières en suspension MES (12)

**I.1.4.1.4. Polluants d'origine plastique:**

Microplastiques: petits fragments de plastique provenant de la décomposition de déchets plastiques plus importants ou de produits de soins personnels contenant des particules de plastique.

Problème environnemental majeur, les microplastiques peuvent se retrouver dans les océans, les rivières, les lacs et les sols, où ils sont ingérés par les animaux marins et les organismes terrestres, jusqu'aux humains, qui les ingèrent également. Ils peuvent également libérer des produits chimiques toxiques lors de leur décomposition, qui peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine et l'environnement. (13)

**I.1.4.2. Polluants Biologiques:**

Les algues, la pollution microbiologique qui se développe conjointement à la pollution organique par une prolifération de germes d'origines humaine ou animale dont certains sont éminemment pathogènes, et les microorganismes: bactéries fécales, virus, parasites.(14)Les eaux usées contenant des micro-organismes pathogènes, tels que des bactéries fécales (comme Escherichia

coli) ou des parasites (comme le ver de guinée), peuvent contaminer les sources d'eau potable et causer des maladies d'origine hydrique chez les humains.

Les proliférations d'algues toxiques, telles que les cyanobactéries, peuvent entraîner une contamination de l'eau douce et causer des efflorescences algales nocives (EAN), qui produisent des toxines pouvant être nocives pour les humains, les animaux et les écosystèmes aquatiques.

#### **I.1.4.3. Pollution chimique:**

La pollution chimique est la contamination de l'environnement par des substances chimiques indésirables qui ont des effets nocifs sur la santé humaine, la biodiversité et les écosystèmes. Cette forme de pollution résulte de l'introduction de substances chimiques dans l'air, l'eau ou le sol, généralement par des activités humaines telles que l'industrie, l'agriculture, le transport et la gestion des déchets.

Selon notre étude nous nous intéressons à ces deux polluants:

##### **I.1.4.3.1. Pollution organique (colorants):**

Les polluants organiques sont les plus nombreux et les plus dangereux. Certaines de ces substances sont même cancérogènes ou mutagènes. Ils peuvent être classés en phénols, hydrocarbures, colorants, détergents et pesticides, issues des effluents domestiques. Ainsi des rejets industriels, aussi tous les déchets carbonés qui provoquent l'appauvrissement en oxygène des milieux aquatiques. (15)

##### **I.1.4.3.2. Pollution inorganique ou minérale (métaux lourds):**

Les métaux lourds sont présents le plus souvent dans l'environnement sous forme de traces présentes à l'état solide dans les sols, et sont mis en circulation par l'érosion qui les met en solution ou en suspension. Ils sont issues de nombreuses activités industrielles, qui utilisent des métaux d'où la possibilité de rejets dans l'environnement. (16)

#### **I.2. Les micropolluants:**

Dans cette étude, nous sommes intéressés par les micropolluants qui sont une catégorie particulière de polluants qui se distinguent des autres polluants en raison de leur petite taille, de leur faible concentration et de leur potentiel de bioaccumulation. Leur impact potentiellement important sur la santé et l'environnement suscite de plus en plus de préoccupations.

**I.2.1. Définition des micropolluants:**

Les micropolluants sont de petites quantités de substances chimiques présentes dans l'environnement, notamment dans l'eau, à des concentrations très faibles. Ils proviennent de diverses sources telles que les activités industrielles, agricoles, domestiques et pharmaceutiques.

En raison de leur petite taille et de leur persistance, les micropolluants peuvent poser des problèmes importants pour la qualité de l'eau et la santé humaine, même à des concentrations minimales. (17)

**I.2.2. Groupes des micropolluants:**

On distingue généralement trois grands groupes de micropolluants: les micropolluants organiques, les micropolluants minéraux et les micropolluants organométalliques.

**I.2.2.1. Micropolluants organiques:**

Regroupent plusieurs types de composés contenant un ou plusieurs atomes de carbone.

Ce groupe de micropolluants peut être scindé en deux grandes familles: les colorants, les pesticides et les autres micropolluants organiques (18) Ces derniers comprennent notamment:

**I.2.2.1.1. Hydrocarbures:**

Les plus connus sont les hydrocarbures aromatiques polycycliques (**HAP**) qui se forment lorsque la combustion des matières organiques est incomplète. Ces composés sont dès lors présents de manière non intentionnelle dans de nombreux matériaux (goudrons, carburants...). Certains micropolluants organiques (comme les **PCB**, les dioxines, les furannes et certains pesticides) font partie des **POP** (polluants organiques persistants). Il s'agit de composés extrêmement toxiques et peu biodégradables qui peuvent, d'une part être transportés sur de longues distances par les courants atmosphériques, et d'autre part, s'accumuler dans les tissus le long de la chaîne alimentaire. (19)

**I.2.2.1.2. Produits pharmaceutiques et les produits de soins personnels:**

Les médicaments, les hormones, les produits de soins personnels tels que les crèmes solaires et les produits cosmétiques contiennent souvent des substances chimiques qui peuvent être libérées dans l'environnement lors de leur utilisation et de leur élimination, contribuant ainsi à la contamination des eaux de surface et des eaux souterraines. (20)

**I.2.2.2. Micropolluants minéraux:**

Sont représentés essentiellement par les éléments trace métalliques (ETM). Les principaux ETM rencontrés dans les eaux sont le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le chrome (Cr), le mercure (Hg), l'arsenic (As), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le nickel (Ni) (21). Ces éléments sont présents naturellement dans les roches et les sols, mais les niveaux de concentration actuels résultent pour la plupart de diverses activités humaines (sidérurgie, tannerie, transport routier, effluents agricoles...). (22)

**I.2.2.3. Les micropolluants organométalliques:**

sont des molécules mixtes dans lesquelles un ion métallique est lié à un groupement organique (méthyle de mercure,). (23)

**I.2.3. Colorants:****I.2.3.1. Généralités:**

L'utilisation des colorants dans la vie humaine date de l'antiquité. Des populations primitives ont utilisé les peintures pour les décors corporels. Les anciens égyptiens et prussien ont aussi utilisé les colorants pour teindre les rupestres et les céramiques. A l'époque, les matières colorantes utilisées étaient d'origine naturelle extraites soit des végétaux comme l'indigo ou d'animaux comme le carmin qui est extrait de la cochenille (24). L'utilisation de ces colorants naturels s'est prolongée jusqu'à la première moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle. Après, ils ont été remplacés progressivement par les colorants synthétiques. Aujourd'hui les colorants constituent une matière de base dans de nombreuses industries comme le textile, le cuir, le papier, le plastique, la pharmaceutique, la cosmétique...etc. La production mondiale des colorants est d'environ 7.105tonnes/ans. (25)

**I.2.3.2. Définition des colorants:**

Les colorants sont des substances chimiques qui ajoutent de la couleur aux matériaux tels que les textiles, les aliments, les produits cosmétiques, les encres et les plastiques. Ils sont largement utilisés dans de nombreux domaines de la vie quotidienne pour améliorer l'esthétique, l'attrait visuel et l'identification des produits. (26)

**I.2.3.3. Origine et Classification:****I.2.3.3.1. Origine:**

Les colorants peuvent être d'origine naturelle, synthétique ou artificielle. Les colorants naturels sont souvent extraits de sources végétales telles que les racines, les feuilles, les fruits, les fleurs et

même les insectes. Par exemple, le carmin est un colorant rouge naturel extrait des cochenilles, un type d'insecte. Les colorants synthétiques sont fabriqués en laboratoire à partir de réactions chimiques entre différents composés. Enfin, les colorants artificiels sont des colorants synthétiques conçus pour imiter les colorants naturels. (27)

**I.2.3.3.2. Classification:**

Les colorants sont classés en fonction de leur structure chimique et de leurs propriétés physiques. Par exemple, les colorants azoïques, qui contiennent le groupe fonctionnel azote (N=N), sont largement utilisés dans l'industrie textile pour leur stabilité et leur variété de couleurs. Les colorants anthraquinoniques, dérivés de la molécule d'anthraquinone, sont utilisés pour teindre les textiles, les papiers et les plastiques en raison de leur excellente stabilité à la lumière et à la chaleur. (28)

**I.2.3.4. Application:****I.2.3.4.1. Textile:**

Les colorants sont largement utilisés dans l'industrie textile pour teindre les fibres naturelles telles que le coton, la laine et la soie, ainsi que les fibres synthétiques comme le polyester et le nylon. Différentes techniques de teinture sont utilisées, notamment la teinture en solution, la teinture en dispersion et la teinture en réserve. (29)

**I.2.3.4.2. Alimentaire:**

Les colorants alimentaires sont utilisés pour ajouter de la couleur et de l'attrait visuel aux aliments et aux boissons. Ils sont largement utilisés dans l'industrie alimentaire pour imiter les couleurs naturelles, améliorer l'apparence des produits et faciliter l'identification des saveurs.(30).

**I.2.3.4.3. Cosmétique:**

Les colorants sont des ingrédients courants dans les produits cosmétiques tels que les rouges à lèvres, les ombres à paupières, les fonds de teint et les vernis à ongles. Ils sont utilisés pour créer une gamme infinie de teintes et de nuances pour répondre aux besoins des consommateurs. (31)

**I.2.3.4.4. Impression:**

Les encres utilisées dans l'impression sur papier, plastique, textile et autres substrats contiennent souvent des colorants pour produire des images colorées et des textes lisibles. (32)

**I.2.3.4.5. Plastique:**

Les colorants sont ajoutés aux matières plastiques lors de leur fabrication pour leur donner de la couleur et améliorer leur apparence esthétique. Ils sont largement utilisés dans la fabrication d'emballages, de jouets, de produits ménagers et d'articles divers. (33)

**I.2.3.5. Propriétés:****I.2.3.5.1. Solubilité:**

La solubilité des colorants dans les solvants appropriés est importante pour leur utilisation dans les processus de teinture ou d'impression. Certains colorants sont solubles dans l'eau, tandis que d'autres sont solubles dans des solvants organiques. (34)

**I.2.3.5.2. Stabilité:**

Les colorants doivent être stables à la lumière, à la chaleur, aux produits chimiques et aux agents de blanchiment pour maintenir leur couleur et leur intensité au fil du temps. La stabilité des colorants peut varier en fonction de leur structure chimique et de leurs conditions d'utilisation. (35)

**I.2.3.5.3. Affinité:**

Les colorants doivent avoir une affinité pour le matériau à colorer afin de s'y fixer de manière durable. L'affinité des colorants dépend de divers facteurs, notamment la nature du colorant et du substrat, ainsi que les conditions de teinture ou d'impression. (36)

**I.2.3.5.4. Sélectivité:**

Certains colorants peuvent être sélectifs et ne colorer que certains types de substrats.

Par exemple, certains colorants sont spécifiquement conçus pour teindre les fibres textiles, tandis que d'autres sont utilisés pour colorer les plastiques ou les produits alimentaires. (37)

**I.2.3.6. Effets du colorant:**

Les effets des colorants rejetés dans l'eau sur la santé peuvent être divers et dépendent de plusieurs facteurs, notamment la nature des colorants, leur concentration dans l'eau, la durée d'exposition, et la sensibilité individuelle.

Voici quelques effets potentiels sur la santé humaine:

**I.2.3.6.1. Toxicité directe:**

Certains colorants synthétiques peuvent être toxiques pour les humains s'ils sont ingérés, inhalés ou absorbés par la peau. Ces colorants peuvent entraîner des problèmes de santé tels que des irritations cutanées, des réactions allergiques, des troubles respiratoires, des troubles gastro-intestinaux et même des effets toxiques sur les organes internes en cas d'exposition prolongée ou à des concentrations élevées. (38)

**I.2.3.6.2. Cancérogénicité:**

Certains colorants synthétiques sont soupçonnés d'être cancérigènes ou d'augmenter le risque de développer certains types de cancer lorsqu'ils sont présents à des niveaux élevés dans l'eau potable ou lorsqu'ils entrent en contact direct avec la peau. (39)

**I.2.3.6.3. Effets sur le système endocrinien:**

Certains colorants synthétiques peuvent interférer avec le système endocrinien humain en imitant ou en bloquant les hormones naturelles, ce qui peut perturber le fonctionnement normal des glandes endocrines et entraîner des déséquilibres hormonaux et avoir des effets néfastes sur la santé reproductive et d'autres problèmes de santé. (40)

**I.2.3.6.4. Bioaccumulation:**

Certains colorants peuvent s'accumuler dans les tissus des organismes vivants au fil du temps, y compris dans les poissons et les fruits de mer consommés par les humains, ce qui peut entraîner une exposition chronique à des niveaux toxiques de colorants et de leurs sous-produits. (41)

**I.2.3.6. Colorant utilisé dans cette étude:**

Les colorants représentent un défi majeur pour la qualité de l'eau, en raison de leur persistance et de leur toxicité. Parmi ces colorants, le bleu de méthylène, largement utilisé dans diverses applications industrielles et médicales, est reconnu pour sa stabilité et sa capacité à polluer les écosystèmes aquatiques.

**I.2.3.6.1. Le bleu de méthylène:**

Le bleu de méthylène, connu aussi sous l'appellation chlorure de méthylthioninium, est un dérivé de la phénothiazine, composé chimique à l'origine de divers médicaments et colorants. Le bleu de méthylène est lui-même utilisé comme médicament et comme colorant (notamment en biochimie et en bactériologie), son action résidant essentiellement sur ses propriétés d'oxydoréduction. C'est un solide se présentant sous forme de cristaux inodores solubles dans l'eau et, bien qu'un peu moins,

dans l'éthanol. A l'état pur, il est sous forme de poudre vert foncé ou brune. En solution, il peut être commercialisé sous sa forme oxydée (de couleur bleue) ou sous sa forme réduite (incolore). Le passage de sa forme oxydée à sa forme réduite ou inversement entraîne ainsi un changement de couleur, cette dernière permettant de donner des indications sur la nature du milieu dans lequel il se trouve (42). Voici quelques informations détaillées sur le bleu de méthylène en tant que polluant organique:



Figure I. 1 : BLEU DE MÉTHYLÈNE

#### I.2.3.6.2. Structure chimique:

Le bleu de méthylène, également connu sous le nom de chlorhydrate de tétraméthylène diamine, a une formule chimique  $C_{16}H_{18}ClN_4S$  et une masse moléculaire d'environ 319,85 g/mol. Sa structure comprend un noyau hétérocyclique tricyclique contenant des atomes d'azote et de soufre.

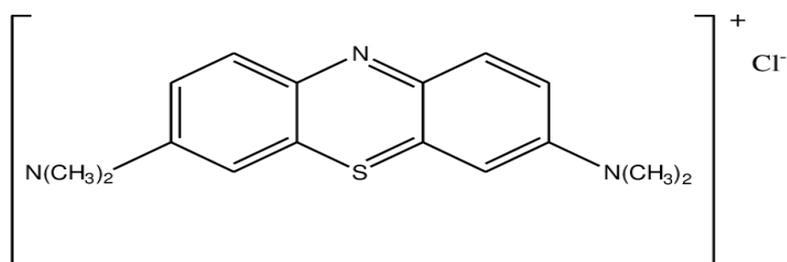


Figure I. 2 : Structure chimique du bleu de méthylène

#### Tableau I. 1 Propriété physico-chimiques du bleu de méthylène:

##### Propriétés

Dénomination	Bleu de méthylène ou chlorure de tétraméthylthionine, Basic blue 9
Appellation chimique	Chlorure de 3,7 – bis (diméthylamino)
Famille	Colorant basique

---

Formule brute	$C_{16}H_{18}ClN_3S$
Masse molaire (mg. L <sup>-1</sup> )	319.85
Solubilité dans l'eau (g. L <sup>-1</sup> ) à 20 C°	40
pH	5.9
pKa	3.8
$\lambda_{max}(nm)$	665

#### I.2.3.6.3. Propriétés physiques:

À température ambiante, le bleu de méthylène se présente sous forme de cristaux verts ou bleus, solubles dans l'eau et légèrement solubles dans l'alcool. Il est généralement sous forme de sel cristallin, le chlorhydrate de bleu de méthylène, qui est plus soluble dans l'eau que la forme libre. (43)

#### I.2.3.6.4. Utilisations:

Outre son utilisation comme colorant, il permet par exemple de visualiser des bactéries, de colorer les tissus ou encore les acides nucléiques (ADN et ARN). Ses domaines d'utilisation s'étendent à l'agroalimentaire afin de colorer certaines viandes, à l'hydrologie pour calculer le taux de dureté de l'eau, au domaine paysager en tant que marqueur des traitements afin d'améliorer les pratiques ou comme bleuissant des hortensias, au textile utilisé comme teinture, au BTP (test à la tâche sur béton) ou encore à la géologie pour déterminer l'argilosité des sols. Utilisé comme médicament, il est inscrit sur la liste modèle de l'OMS des médicaments essentiels comme antidote pour traiter la méthémoglobinémie (trouble sanguin entraînant un défaut de transport de l'oxygène dans l'organisme) après une intoxication. Il est également utile pour déterminer les caractéristiques d'une structure organique, mais aussi dans la prévention de la neuro-toxicité liée à la prise de certains médicaments. (44)

#### I.2.3.6.5. Toxicité:

Les colorants peuvent présenter une toxicité variable en fonction de leur structure chimique, de leur concentration et de leur exposition. Voici quelques exemples de risques potentiels associés à certains colorants:

- ✓ Les colorants azoïques: Certains colorants azoïques, utilisés dans l'industrie textile et alimentaire, peuvent se décomposer en amines aromatiques potentiellement cancérigènes lorsqu'ils sont métabolisés dans le corps. Par exemple, certains colorants azoïques ont été associés à des cancers de la vessie chez l'homme (45).
- ✓ **Les colorants synthétiques:** Certains colorants synthétiques peuvent contenir des impuretés toxiques, telles que les métaux lourds (plomb, mercure, cadmium) ou les solvants organiques, qui peuvent présenter des risques pour la santé humaine en cas d'exposition prolongée ou à des concentrations élevées (46).
- ✓ **Les colorants alimentaires:** Certains colorants alimentaires, tels que le tartrazine (E102) et le rouge allura (E129), ont été associés à des réactions allergiques chez certaines personnes sensibles, ainsi qu'à des troubles du comportement chez les enfants (47).

#### I.2.3.6.6. Détection et analyse:

Le bleu de méthylène est un colorant organique largement utilisé dans divers domaines, notamment en tant que colorant histologique en biologie, en médecine vétérinaire et humaine, ainsi que comme indicateur dans certaines réactions chimiques. Sa détection et son analyse peuvent être effectuées à l'aide de plusieurs techniques analytiques, notamment la spectroscopie UV-Visible, la chromatographie liquide haute performance (HPLC) et la chromatographie sur couche mince (CCM). (48)

#### I.2.3.6.7. Dégradation et persistance:

La dégradation et la persistance du bleu de méthylène peuvent varier en fonction des conditions environnementales, telles que la lumière, la température, le pH et la présence d'agents oxydants ou réducteurs. Il peut être dégradé par différents processus, notamment la photodégradation, la dégradation chimique et la dégradation biologique.

- ✓ **Photo dégradation:** Le bleu de méthylène est sensible à la dégradation par la lumière ultraviolette du soleil. L'exposition à la lumière du soleil peut entraîner la dégradation du bleu de méthylène en produits moins toxiques, tels que le leuco méthylène bleu.
- ✓ **Dégradation chimique:** Le bleu de méthylène peut également être dégradé par des réactions chimiques, telles que l'oxydation et la réduction. Par exemple, l'oxydation du bleu de méthylène peut se produire en présence d'agents oxydants tels que le peroxyde d'hydrogène ou le dioxygène, conduisant à la formation de produits de dégradation.

- ✓ **Dégradation biologique:** Certains micro-organismes sont capables de dégrader le bleu de méthylène en utilisant des enzymes spécifiques. Cette dégradation biologique peut se produire dans les eaux naturelles ou les sols contenant des populations microbiennes actives. (49)

#### **I.2.4. Métaux lourds:**

##### **I.2.4.1. Généralité sur les métaux lourds:**

Un métal lourd désigne tout composé d'antimoine, d'arsenic, de cadmium, de chrome hexavalent, de cuivre, de plomb, de mercure, de nickel, de sélénium, de tellure, de thallium et d'étain, ainsi que ces matériaux sous forme métallique, pour autant qu'ils soient classés comme substances dangereuses ». C'est sur cette définition que nous baserons notre synthèse sur les métaux lourds.

Tous les métaux lourds sont présents naturellement à l'état de traces dans l'environnement. Cependant, pour nombre d'entre eux, l'activité humaine a fortement augmenté leur présence. Ils sont notamment utilisés dans de nombreux matériaux quotidiens, purs ou sous forme d'alliage. On peut ainsi les employer dans les aciers inoxydables, les matériaux du bâtiment, les munitions, les matériaux médicaux, la bijouterie...

La combustion de matières fossiles solides ou liquides (charbon, pétrole) peut également contribuer au rejet de métaux dans l'environnement, via les cendres, vapeurs et fumées. (50)

##### **I.2.4.2. Sources:**

Les métaux lourds ont diverses origines, et ils se trouvent naturellement dans l'environnement ainsi que dans les activités humaines. Voici quelques sources principales:

###### **I.2.4.2.1. Sources naturelles:**

Les métaux lourds sont présents dans la croûte terrestre depuis des millions d'années, résultant de processus géologiques tels que l'érosion des roches et des sols, les éruptions volcaniques et les dépôts de poussières atmosphériques (51) et les mouvements tectoniques.

###### **I.2.4.2.2. Les sources anthropiques:**

Les métaux provenant d'apports anthropiques sont présents sous des formes chimiques assez réactives et entraînent de ce fait, des risques très supérieurs aux métaux d'origine naturelle qui sont le plus souvent immobilisés sous des formes relativement inertes.

Les sources anthropogènes sont les suivantes:

- ✓ Activités pétrochimiques utilisation de combustibles fossiles (centrales électriques au charbon, chaudières Industrielles, fours à ciment...)
- ✓ Transport (véhicules et moteurs routiers et non routiers, embarcations) Incinération des déchets.
- ✓ Produits (interrupteurs électriques, amalgames dentaires, éclairages fluorescents)
- ✓ Déchets urbains (eaux usées, boues d'épuration, ordures ménagères) (52)
- ✓ Les pesticides et les fertilisants contribuent d'une manière importante dans la pollution des sols agricoles, cette contamination met toutefois en péril la faune du sol qui se retrouve contaminée, et détériore la qualité des eaux fluviales et souterraines. (53)

#### **I.2.4.3. Effets des métaux lourds sur le milieu aquatique:**

Les métaux lourds peuvent avoir des effets néfastes sur les milieux aquatiques lorsqu'ils sont présents en concentrations élevées. Leurs effets peuvent être variés et dépendent du type de métal, de sa concentration, de la durée de l'exposition et des conditions environnementales (54).

Voici quelques-uns des effets les plus courants des métaux lourds sur les milieux aquatiques:

##### **I.2.4.3.1. Toxicité pour les organismes aquatiques:**

La toxicité des métaux lourds pour les organismes aquatiques dépend de divers facteurs, tels que la concentration du métal, la durée de l'exposition, le type d'organisme et les conditions environnementales. Les métaux lourds tels que le mercure, le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre et le nickel peuvent être toxiques pour les organismes aquatiques à des concentrations relativement faibles. Ces métaux peuvent être présents dans l'eau sous forme dissoute, particulaire ou colloïdale, ainsi que dans les sédiments.

Les effets toxiques des métaux lourds sur les organismes aquatiques peuvent inclure:

- ✓ **Mortalité:** À des concentrations élevées, les métaux lourds peuvent entraîner la mort des organismes aquatiques, en particulier des espèces sensibles telles que les poissons, les crustacés et les mollusques. (55)
- ✓ **Perturbation:** Du comportement et des fonctions physiologiques: Les métaux lourds peuvent perturber le comportement, le développement, la croissance, la reproduction, la respiration et d'autres fonctions physiologiques des organismes aquatiques. Par exemple, le mercure peut interférer avec le système nerveux des poissons, entraînant des changements de comportement et des perturbations neurologiques. (55)

##### **I.2.4.3.2. Bioaccumulation:**

Les métaux lourds peuvent s'accumuler dans les tissus des organismes aquatiques à des concentrations plus élevées que dans l'eau environnante. Ce processus de bioaccumulation est

---

particulièrement préoccupant pour les espèces en haut de la chaîne alimentaire, telles que les poissons prédateurs, qui peuvent accumuler des concentrations dangereuses de métaux lourds dans leurs tissus.

La bioaccumulation peut entraîner des effets néfastes pour les organismes eux-mêmes, mais aussi pour les consommateurs, y compris les humains, qui se nourrissent de poissons contaminés.(56)

**I.2.4.4. Effets sur la santé humaine:**

Les métaux lourds s'accumulent facilement dans l'organisme et particulièrement au niveau des reins, des os, du foie et du cerveau. L'inhalation et l'ingestion sont les principales voies d'exposition humaine aux métaux lourds, la voie cutanée existe mais elle est négligeable, en cas d'absorption de fortes ou faibles concentrations en métaux sur une longue période, ils peuvent affecter le système nerveux, les fonctions rénales, hépatiques, respiratoires, auto-immunes et inflammatoires ou digestives. Ils sont aussi impliqués dans de nombreuses pathologies sévères comme la sclérose en plaque, les cancers du poumon, l'autisme, les maladies neuro-dégénératives, maladie d'Alzheimer et de Parkinson. (57)

**I.2.4.5. Métal utilisé dans cette étude:**

Dans cette étude, nous avons étudié le plomb comme type de matériau lourd. Le plomb est un élément métallique de couleur gris bleuâtre, qui appartient au groupe 14 du tableau périodique. Il a le symbole chimique Pb et le numéro atomique 82. Le plomb est connu depuis l'Antiquité et a été largement utilisé dans de nombreuses civilisations en raison de ses propriétés physiques favorables, notamment sa malléabilité, sa ductilité et sa résistance à la corrosion.

Historiquement, le plomb a été utilisé dans la fabrication de divers produits, y compris les tuyaux, les munitions, les batteries, les pigments de peinture, les vitraux, et même les cosmétiques et les céramiques. Cependant, l'utilisation généralisée du plomb a été associée à de graves problèmes de santé publique en raison de sa toxicité. (58)



Figure I. 3: Le Plomb à l'état naturel (50)

#### **I.2.4.5.1. Caractéristiques physico-chimiques du plomb:**

Le plomb existe sous les états d'oxydation (0), (+II) et (+IV), mais dans l'environnement, il est principalement sous l'état (+II). Le degré (+IV) n'existe que dans des conditions oxydantes sévères. Le degré (+II) est stable dans pratiquement toutes les conditions environnementales. (59)

Les principales caractéristiques physico-chimiques du plomb sont données dans le tableau suivant:

Tableau I. 2: Caractéristiques physico-chimiques du plomb. (60)

Masse atomique	207g/ml
Numéro atomique	82
Aspect	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gris terne</li> <li>• Mou, fragile et d'une faible conductivité électrique</li> <li>• Se ternit à l'air humide mais il est stable vis à vis de l'O<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O</li> <li>• Il existe 38 isotopes dont 4 sont stable dans la nature (Pb208, Pb207, Pb206, Pb204)</li> </ul>
Etat à 20°C	solide
Volatilité	Apartir de 550°C
Densité	11,34
Point de fusion	327°C
Point d'ébullition	1525° _ 1740°C
Solubilité	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eau: solubilité non négligeable</li> <li>• Les acides forts: lentement dissous par (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), mais facilement attaqué par les acides faibles minéraux ou organiques (acétique, citrique ou tartrique) pour donner des sites solubles.</li> </ul>

#### I.2.4.5.2. Effet sur la santé:

La principale voie d'exposition au plomb chez les humains est l'ingestion de poussières ou de particules contaminées, ainsi que l'ingestion ou l'inhalation de peintures, d'eau, de sol ou de produits alimentaires contaminés par du plomb. Les enfants en bas âge, les femmes enceintes et les travailleurs exposés à des environnements contaminés par le plomb sont particulièrement vulnérables aux effets toxiques du plomb sur la santé.

Le plomb peut affecter plusieurs systèmes et organes du corps humain, notamment:

- ✓ **Système nerveux:** Le plomb peut causer des dommages au système nerveux, entraînant des symptômes tels que des troubles du comportement, des problèmes d'apprentissage, des déficits cognitifs, des convulsions et des lésions cérébrales irréversibles, en particulier chez les enfants en développement.
  - ✓ **Système hématopoïétique:** Le plomb peut perturber la production de globules rouges et provoquer une anémie. Il peut également affecter les fonctions du système immunitaire, augmentant ainsi la susceptibilité aux infections.
  - ✓ **Système rénal:** Le plomb peut endommager les reins, entraînant des troubles rénaux, une insuffisance rénale et une hypertension artérielle.
  - ✓ **Système cardiovasculaire:** Le plomb peut augmenter le risque de maladies cardiovasculaires telles que l'hypertension, les maladies coronariennes et les accidents vasculaires cérébraux.
  - ✓ **Système reproducteur:** Le plomb peut avoir des effets néfastes sur la fertilité et le développement embryonnaire, ainsi que sur la santé reproductive des hommes et des femmes.
- (61)

**I.2.4.5.3. Existence du plomb:** Le plomb existe sous forme métallique, inorganique et organique. Il prend une forme inorganique lorsqu'il est associé à certains composés pour former les sels du plomb. Parmi les sels de plomb les plus fréquemment rencontrés, on retrouve ceux des chlorures, du chromate, du nitrate, des phosphates et des sulfates. (62)

Quant au plomb organique, il se présente le plus souvent sous forme de plomb tétra méthyle et de plomb tétra éthyle, et dans cette étude, nous avons utilisé:

**I.2.4.5.4. Le plomb dans l'acétate trihydraté:**

L'acétate de plomb trihydraté, également connu sous le nom de sucre de plomb en raison de sa douceur, est un composé chimique avec la formule  $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ . Il se présente sous forme de cristaux incolores ou blancs, et il est soluble dans l'eau. Historiquement, il a été utilisé dans diverses applications, notamment comme adoucissant dans les produits alimentaires, dans les médicaments et les cosmétiques. (63)



**Figure I. 4: Acétate de plomb trihydraté (64)**

En raison de ces préoccupations, l'utilisation de l'acétate de plomb trihydraté dans les produits de consommation est désormais strictement réglementée. Dans de nombreux cas, des alternatives plus sûres ont été développées pour remplacer ce composé toxique

#### **I.2.4.5.5. Détection et analyse:**

Le plomb peut être détecté et analysé à l'aide de plusieurs techniques analytiques sensibles et spécifiques. Voici quelques-unes des méthodes couramment utilisées pour la détection et l'analyse du plomb:

- ✓ **Spectrométrie UV visible:** La spectroscopie UV-visible est une méthode efficace pour la détection du plomb dans des échantillons aqueux. Elle permet de déterminer les ions plomb dans une solution en utilisant une longueur d'onde. Cette technique est reconnue pour sa capacité à analyser rapidement la qualité de l'eau, détecter les impuretés et quantifier les éléments critiques souvent présents dans notre approvisionnement en eau.
- ✓ **Spectrométrie d'absorption atomique (SAA):** La SAA est l'une des méthodes les plus couramment utilisées pour l'analyse du plomb dans divers échantillons, tels que l'eau, les sols, les peintures, les aliments, les échantillons biologiques, etc. Cette technique repose sur la mesure de l'absorption de la lumière par des atomes de plomb dans un échantillon atomisé à haute température. (65)
- ✓ **Spectrométrie de fluorescence de rayons X (XRF):** La XRF est une technique non destructive qui peut être utilisée pour l'analyse qualitative et quantitative du plomb dans divers matériaux solides, tels que les peintures, les céramiques, les métaux, les sols, etc. Cette méthode repose sur la mesure de la fluorescence de rayons X émise par les atomes de plomb lorsqu'ils sont excités par un rayonnement X incident. (66)
- ✓ **Chromatographie avec détection par absorption atomique (HPLC-AA):** La HPLC-AA est une technique de séparation chromatographique qui peut être utilisée pour l'analyse du

plomb dans des échantillons liquides complexes, tels que les échantillons biologiques, les eaux, les produits alimentaires, etc. Cette méthode combine la séparation chromatographique des composés dans l'échantillon avec la détection sélective du plomb par absorption atomique. (67)

- ✓ **Spectrométrie de masse avec plasma d'argon (ICP-MS):** L'ICP-MS est une technique très sensible et sélective qui peut être utilisée pour la détection et la quantification du plomb dans une large gamme d'échantillons, y compris les eaux, les sols, les échantillons biologiques, etc. Cette méthode repose sur l'ionisation des atomes de plomb dans un plasma d'argon et la mesure des ions formés par spectrométrie de masse. (68)
- ✓ **Méthodes colorimétriques:** Certaines méthodes colorimétriques basées sur des réactions chimiques spécifiques peuvent être utilisées pour la détection qualitative et semi-quantitative du plomb dans des échantillons, notamment l'utilisation de réactifs tels que le dithizonate ou le rhodizonate de sodium pour former des complexes colorés avec le plomb. (69)

#### I.2.4.5.6. Dégradation et persistance:

Le plomb est un métal lourd persistant dans l'environnement, ce qui signifie qu'il a tendance à rester présent pendant de longues périodes de temps sans se décomposer complètement. Cependant, le plomb peut subir certains processus de transformation et de dégradation, notamment:

- ✓ **Processus physico-chimiques:** Le plomb peut subir des processus de sorption, de complexation, de précipitation, de dissolution et de volatilisation dans l'environnement, en fonction des conditions physico-chimiques telles que le pH, la température, la concentration des ions et la composition minéralogique des sols et des sédiments.
- ✓ **Processus biologiques:** Certains micro-organismes sont capables de métaboliser ou de méthaniser le plomb dans des conditions anaérobies spécifiques, ce qui peut conduire à une diminution de la concentration de plomb dans les environnements contaminés.
- ✓ **Processus de transport et de transfert:** Le plomb peut être transporté à travers les sols, les sédiments, les eaux de surface et les eaux souterraines par des processus tels que l'érosion, le ruissellement, la lixiviation, la diffusion et la volatilisation.
- ✓ Cependant, malgré ces processus de transformation, le plomb a tendance à persister dans l'environnement pendant de longues périodes de temps en raison de sa stabilité chimique et de sa faible biodégradabilité. (70)

**I.3. Traitement des eaux usées:**

Le traitement des eaux usées est l'ensemble des procédés visant à dépolluer l'eau usée avant son retour dans le milieu naturel ou sa réutilisation. Les eaux usées sont celles qui, à la suite de leur utilisation domestique, commerciale ou industrielle, sont de nature à polluer les milieux dans lesquels elles seraient déversées (71). Voici quelques points clés sur le traitement des eaux usées:

**I.3.1. Prétraitement:**

Cette étape consiste à éliminer les gros débris, les matières solides et les graisses présentes dans les eaux usées. Cela se fait généralement par des grilles, des tamis et des décanteurs.

**I.3.2. Traitement primaire:**

Pendant cette phase, les eaux usées passent par des bassins de décantation où les particules en suspension se déposent au fond. Cela permet de réduire la charge de matières solides.

**I.3.3. Traitement secondaire:**

Le traitement biologique intervient ici. Des bactéries aident à décomposer les matières organiques dissoutes dans l'eau. Les systèmes courants incluent les lits bactériens, les boues activées et les filtres à sable.

**I.3.4. Traitement tertiaire:**

Cette étape vise à éliminer les nutriments (azote et phosphore) et à désinfecter l'eau. des procédés comme la filtration membranaire, l'ozonation et la désinfection aux UV sont utilisés.

**I.3.5. Traitement quaternaire:**

Si nécessaire, des traitements supplémentaires peuvent être effectués pour éliminer des contaminants spécifiques, comme les métaux lourds ou les produits chimiques.

**I.3.6. Traitement des boues d'épuration:**

Les boues résiduelles issues du traitement sont également gérées. Elles peuvent être compostées, incinérées ou utilisées comme engrais. (72)

Ces techniques, dans leur ensemble, pour être plus efficaces, ont besoin de leur associer une autre méthode à laquelle nous nous sommes intéressés particulièrement: l'adsorption.

#### I.4. Caractérisation de l'Adsorption:

##### I.4.1. Généralité sur l'adsorption:

Le terme d'adsorption a été proposé pour la première fois en 1881, pour différencier entre une condensation de gaz à la surface, et une adsorption de gaz. Enfin le terme large de sorption a été proposé en 1909 par MC. Bain. Il désigne aussi bien le phénomène d'adsorption que celui d'absorption (73). Son utilisation repose sur sa capacité à capturer sélectivement des substances indésirables et à les éliminer de la phase liquide ou gazeuse, contribuant ainsi à améliorer la qualité des produits et à protéger l'environnement.

##### I.4.2. Définition de l'adsorption:

L'adsorption est un phénomène physico-chimique se traduisant en particulier par une modification de concentration à l'interface de deux phases non miscibles (74) elle permet d'extraire un soluté d'un solvant liquide ou gazeux. Le terme de «surface» doit s'étendre à la totalité de la surface du solide, surface géométrique pour un solide en grain non poreux, à laquelle s'ajoute, pour un solide poreux, la surface interne engendrée par les fissures et les pores accessibles aux molécules de la phase gazeuse ou liquide. Le solide qui est le siège de cette adsorption est appelé solide adsorbant, ou simplement adsorbant. Le composé gazeux ou liquide qui subit l'adsorption est appelé adsorbat (75)

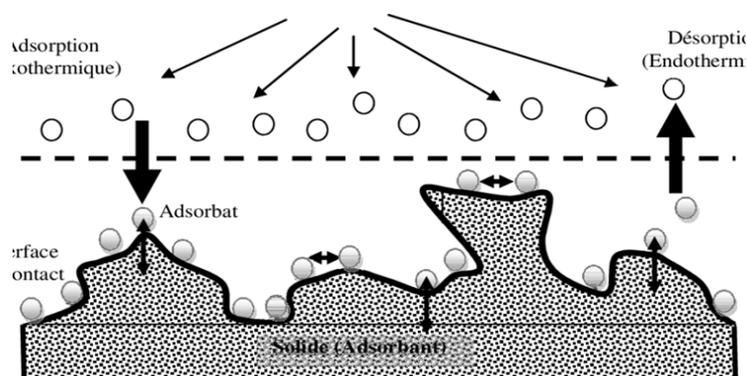


Figure I. 5: Phénomène d'adsorption (76)

IL existe deux types de processus d'adsorption: adsorption physique ou physisorption et adsorption chimique ou chimisorption

### I.4. 3.Types d'adsorption:

#### I.4. 3.1. Adsorption physique:

Ce type d'adsorption résulte de l'établissement d'un échange de forces de faible énergie entre la surface d'un solide et des molécules à proximité de cette surface. Dans ce cas, la rétention est le résultat des liaisons de nature électrostatique de type Van Der Waals (77).

Du point de vue énergétique, la physisorption se produit aux basses températures avec des énergies de l'ordre de 10 Kcal.mol<sup>-1</sup> au maximum. Elle correspond à un processus réversible (équilibre dynamique d'adsorption et de désorption) et ne conduit pas à une modification de l'identité chimique de la molécule adsorbée. Dans le cas d'une telle adsorption, le temps de rétention de la substance adsorbée est court et la surface absorbante peut être recouverte de multiples couches moléculaires de produit adsorbé (78).

#### I.4. 3.2. Adsorption chimique:

Dans ce cas, l'adsorption est due à la formation d'une liaison chimique, covalente plus permanente, entre l'adsorbat et la surface de l'adsorbant. Par rapport au premier, l'adsorption chimique se distingue par des énergies d'adsorption plus élevées (2 à 100 Kcal mol<sup>-1</sup> contre quelques Kcal mol<sup>-1</sup>) et par une fixation irréversible de l'adsorbat sur des sites d'adsorption très spécifiques. Elle est aussi favorisée à température élevée (79).

Dans ce type d'adsorption, le temps de rétention est long et seule la première couche liée à la surface adsorbant est chimiquement adsorbée, les autres couches, dans le cas où elles existent, sont retenues par physisorption.

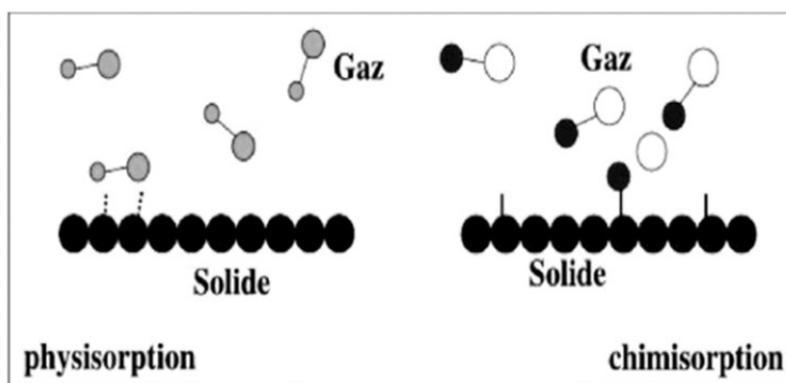


Figure I. 6: Phénomène d'adsorption chimique et physique (80)

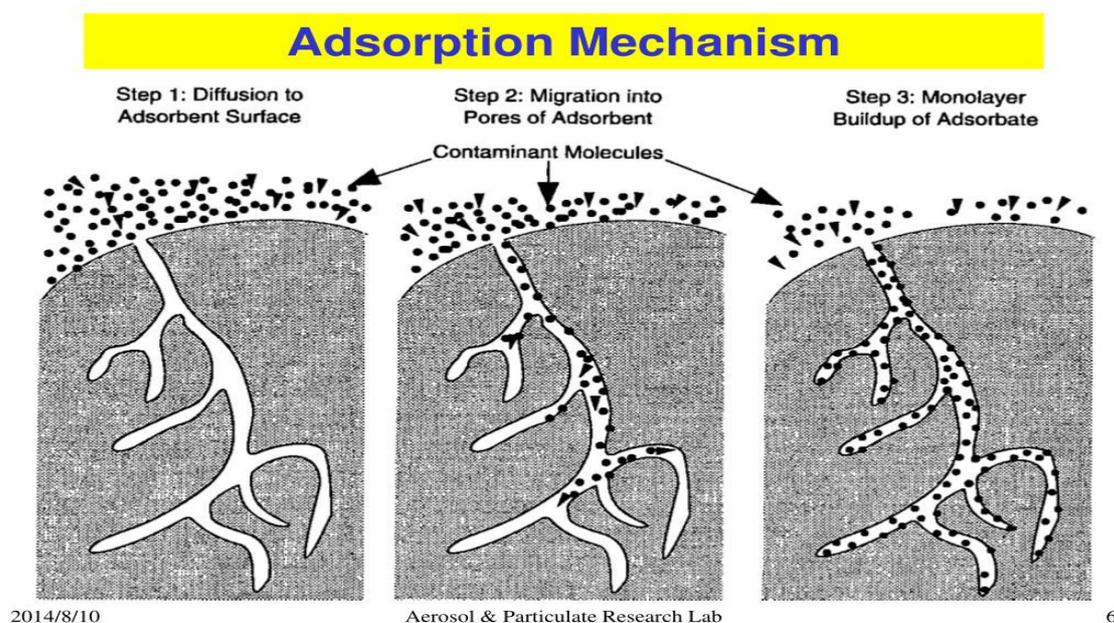
Tableau I. 3 : La différence entre adsorption physique et adsorption chimique (81)

Physisorption	Chimisorption
<ul style="list-style-type: none"> <li>• interactions faibles (Van der Waals)</li> <li>• T basse</li> <li>• <math>\Delta H &lt; 40 \text{ kJ.mol}^{-1}</math></li> <li>• adsorption multicouches</li> <li>• <math>E_a</math> faible <math>\rightarrow</math> rapide</li> <li>• Processus non spécifique</li> <li>• Réversible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• interactions fortes (liaisons chimiques)</li> <li>• T élevée</li> <li>• <math>40 \text{ kJ.mol}^{-1} &lt; \Delta H &lt; 800 \text{ kJ.mol}^{-1}</math></li> <li>• adsorption monocouche</li> <li>• <math>E_a</math> élevée <math>\rightarrow</math> lente</li> <li>• Processus spécifique</li> <li>• Réversible à haute T seulement</li> </ul>

#### I.4.4. Mécanisme d'adsorption:

Au cours de l'adsorption d'une espèce sur un solide, le transfert de masse des molécules se fait de la phase fluide vers le centre de l'adsorbant. Ce processus s'opère au sein d'un grand adsorbant en plusieurs étapes. (82) Avant son adsorption, le soluté va passer par plusieurs étapes:

- ✓ Diffusion de l'adsorbât de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
- ✓ Diffusion extra granulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains).
- ✓ Transfert intra granulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des grains vers les sites actifs).
- ✓ Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile. (83)



**Figure I. 7: Mécanisme d'adsorption. (84)**

Le processus d'adsorption est influencé par plusieurs facteurs, notamment:

- ✓ La nature chimique et la surface spécifique de l'adsorbant.
- ✓ La concentration, la nature et les propriétés des molécules d'adsorbat.
- ✓ La température et la pression du système.
- ✓ Le pH de la solution dans le cas de l'adsorption de composés ioniques.

#### **I.4.5. Isothermes d'adsorption:**

L'adsorption d'un constituant sur un adsorbant dépend de sa pression et dans le cas de l'adsorption multi constituants, de la présence des autres composés. La relation d'équilibre entre la quantité de composant adsorbé et ces paramètres à température constante est appelée isotherme d'adsorption. (85)

##### **I.4.5.1. Classification des isothermes d'adsorption:**

En 1940, Brunauer, Deming, Deming et Teller ont établi une classification des cinq types d'isothermes rencontrés, de I à V (B.D.D.T.), ou ces cinq catégories constituent la classification de l'International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). Pour chaque type il y a plusieurs modèles d'isothermes d'adsorption, néanmoins:

**I.4.5.1.1. L'isotherme de type I:**

Est typiques d'une adsorption en monocouche, ou correspondant au remplissage de micropores avec saturation lorsque le volume à disposition est totalement rempli. Ce type d'isothermes est caractéristique pour l'adsorption de gaz sur les charbons microporeux et les zéolithes, aussi sur des surfaces de mica et de tungstène.

Cette isotherme se rencontre aussi bien en physisorption qu'en chimisorption. Elle est généralement décrite par les équations de Langmuir et de Freundlich (87), où l'adsorption est limitée par effet d'encombrement stérique à une ou deux couches de molécules (maximum quatre couches).

**I.4.5.1.2. Les isothermes du type II et III:**

Généralement bien décrite par l'équation B.E.T (BRUNAUER, EMMET et TELLER).

**I.4.5.1.3. Les isothermes du type II:**

S'obtiennent lorsque les molécules s'adsorbent sur un solide non poreux en formant d'abord une couche mono-moléculaire suivie d'une couche polymoléculaire.

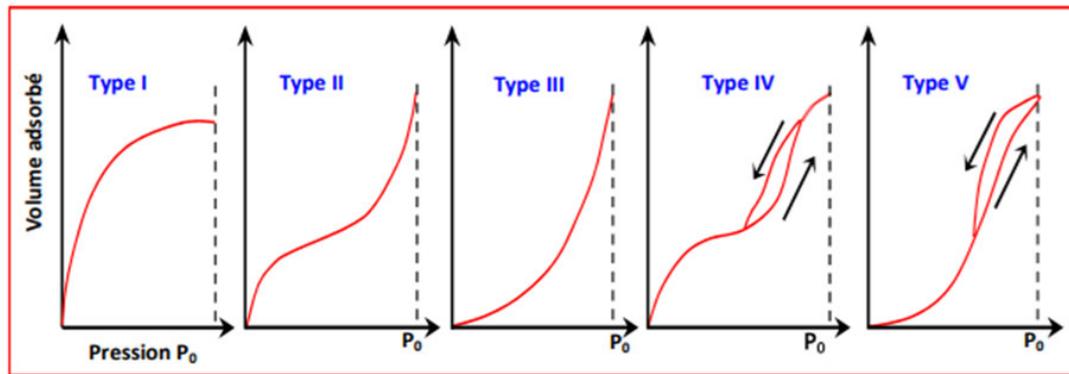
**I.4.5.1.4. Pour le type III:**

Elles se rencontrent rarement. Elle indique la formation d'une couche polymoléculaire dès le début de l'adsorption et avant que la surface ait été recouverte complètement d'une couche monomoléculaire. C'est le cas où la surface du solide n'est pas homogène et que l'adsorption s'effectue sur des sites préférentiels où les forces d'attraction sont les plus intenses (87)

**I.4.5.1.5. Isothermes du type IV et V:**

Se rencontrent principalement lorsque les adsorbants ont une structure poreuse. Au début du phénomène, les courbes sont semblables à celle des types II et III, mais à une pression plus élevée, la condensation capillaire se manifeste. Ces isothermes présentent une hystérésis. (88)

Elles sont représentées sur la figure ci-dessous:



**Figure I. 8: Les cinq types d'isotherme d'adsorption d'après la classification B.D.D.T. (86)**  
**I.4.6. Modèles d'isothermes d'adsorption:**

#### I.4.6.1. Model de Langmuir:

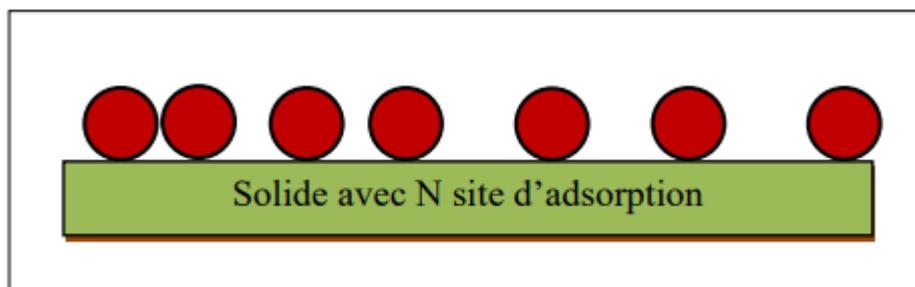
Dans ce modèle, Langmuir a supposé que le taux de récupération ne pouvait pas être supérieur à un, c'est-à-dire une monocouche. Plus tard, les phénomènes d'adsorption s'étendant aux couches supérieures (Soit  $\theta > 1$ ) ont ensuite été considérés comme un exemple plus général, et le revêtement monocouche s'est avéré représenter un cas spécifique.

Un certain nombre d'hypothèses sous-tendent le modèle de Langmuir pour une isotherme d'adsorption chimique sont:

- ✓ La surface du solide est uniforme.
- ✓ La chaleur d'adsorption est indépendante du taux de recouvrement de la surface du solide.
- ✓ L'adsorption est localisée et ne donne lieu qu'à la formation d'une monocouche.
- ✓ Il y a équilibre entre les molécules des deux phases. (89)

La forme linéaire de l'équation de Langmuir est donnée par l'équation suivante: (90)

$$Q_e = Q_m [k \cdot C_e / (1 + k_l \cdot C_e)]$$



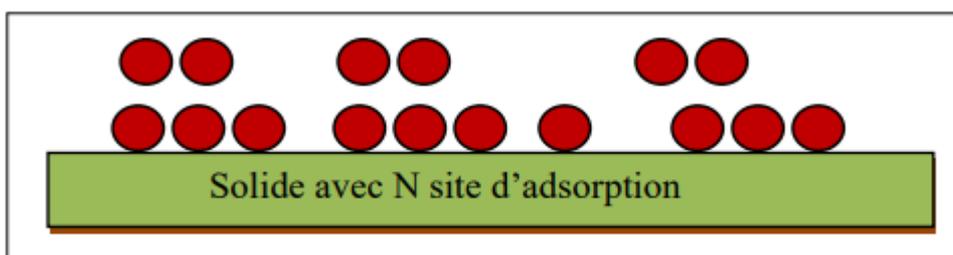
**Figure I. 9: Modèle d'adsorption de monocouche**

**I.4.6.2. Isotherme de Freundlich:**

A ce modèle l'adsorption est localisée sur des sites bien définis qui possèdent la même énergie, les molécules adsorbées n'ont pas d'interaction entre elles. L'adsorption s'effectue dès le début en plusieurs couches, les molécules adsorbées dans la première couche servent de sites d'adsorption pour les molécules de la deuxième couche et ainsi de suite. C'est une équation empirique largement utilisée pour la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption. Elle se présente sous la forme:

$$Q = K_f C_e \frac{1}{n_f}$$

$K_f$  et  $1/n_f$  : constantes de Freundlich caractéristiques de l'efficacité d'un adsorbant donné vis-à-vis d'un soluté donné.



**Figure I. 10: Modèle d'adsorption de multicouche**

**I.5. Matériau naturel (SB):****I.5.1. Introduction:**

Dans la lutte contre la pollution environnementale, le développement de méthodes efficaces et durables pour éliminer les polluants de l'eau est d'une importance cruciale. L'utilisation de matériaux naturels abondants et peu coûteux, tels que le sable, s'est avérée être une solution prometteuse pour éliminer divers polluants présents dans les eaux usées et les effluents industriels. Le sable, en raison de ses propriétés physiques, chimiques et structurales uniques, offre un support idéal pour l'adsorption, la filtration et la dégradation des polluants, contribuant ainsi à l'amélioration de la qualité de l'eau et à la préservation de l'environnement.

Le choix du sable de la région de Brézina, comme matériau d'élimination des polluants repose sur plusieurs avantages. Tout d'abord, le sable est largement disponible dans la nature et peut être facilement collecté à partir de sources locales, réduisant ainsi les coûts associés à son acquisition. De plus, le sable est un matériau poreux avec une grande surface spécifique, ce qui lui confère une capacité d'adsorption élevée pour une large gamme de polluants organiques et inorganiques présents dans l'eau. De plus, sa porosité permet un écoulement efficace de l'eau à travers le sable, favorisant ainsi la filtration des particules en suspension et la rétention des polluants.

En outre, le sable est un matériau inerte et non toxique, ce qui le rend sûr à utiliser dans les applications d'élimination des polluants sans risque de contamination supplémentaire de l'eau. Sa stabilité chimique et sa durabilité lui permettent de maintenir ses propriétés d'adsorption et de filtration même dans des conditions environnementales difficiles. De plus, le sable peut être régénéré et réutilisé après saturation en polluants, ce qui en fait une option économique et écologique pour le traitement des eaux usées et des effluents industriels.

**I.5.2. Source du sable à étudier (La zone de Brézina):**

L'oasis de Brézina est située dans la région présaharienne à 85 Km au sud du chef-lieu de wilaya El Bayadh, en Algérie. Elle se trouve sur le synclinal compris entre la dernière dorsale de l'Atlas (DiebelDiss) et la plateforme saharienne de l'Erg El Anageur. Elle est délimitée par le bassin alluvial de l'oued Seggueur, qui collecte les eaux d'un bassin hydrographique d'environ 3680 km<sup>2</sup> le contexte naturel du site est caractérisé par un climat aride présaharien, avec des températures moyennes qui varient entre 9°C minimum au mois de janvier et 35°C maximum au mois d'août, avec des amplitudes thermiques journalières qui dépassent les 10°C. Les précipitations varient entre 100 et 180 mm de pluie par an. L'humidité relative avoisine 25% pendant les mois d'été. La zone d'étude

enregistre une forte évapotranspiration, qui avoisine 1600 mm par an, influant sur le couvert végétal dans la zone d'intervention. (91)



**Figure I. 11: Localisation du site d'étude: Oasis de Brézina (sud-ouest algérien) (92)**

### I.5.3. Définition du sable:

Le sable ou arène est une roche sédimentaire meuble constituée de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches dont la dimension est comprise entre 0,063 et 2 mm. Une particule individuelle est appelée grain de sable. Les sables sont classés selon leur granulométrie (la grosseur des grains). Les grains de sable sont assez légers pour être transportés par le vent et l'eau. Ils s'accablent alors pour former des plages, des dunes. Un vent violent qui se charge en sable est une " tempête de sable (92)

Il peut avoir plusieurs couleurs en fonction de la nature des particules sableuses (minéraux) issues de la roche-mère:

- ✓ noir (exemple: sable issu d'une roche volcanique);
- ✓ blanc (exemple: White Sands, dunes de gypse pur; sable coquillier enrichi de certains débris de coquillages; sables riches en quartz usés et micas blancs)
- ✓ grenat (exemple: plage de Groix constituée de grenats, minéraux riches et abondants dans la roche-mère de cette île) ;
- ✓ rose (plages de la côte de granit rose).



**Figure I. 12 : Différents couleur du sable.**

L'extrême diversité vient des quelque 180 minéraux différents qui ont été découverts dans les sables sur les 4 900 espèces connues et décrites par les minéralogistes. En fonction du type et de la quantité de pigments qui recouvrent les particules sableuses (oxyde de fer...), il prend une couleur jaunâtre, rouille. (93)

#### **I.5.4. Composition du sable:**

La composition du sable varie en fonction des sources et des conditions rocheuses locales, mais le constituant le plus courant du sable dans les milieux continentaux intérieurs et les milieux côtiers non tropicaux est la silice (dioxyde de silicium ou  $\text{SiO}_2$ ), généralement sous forme de quartz. Le deuxième type de sable le plus courant est le carbonate de calcium, par exemple l'aragonite, qui a été principalement créée, au cours du dernier demi-milliard d'années, par diverses formes de vie, comme le corail et les crustacés. (94)



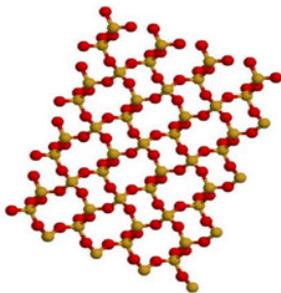
**Figure I. 13 : Compositions du sable (95)**



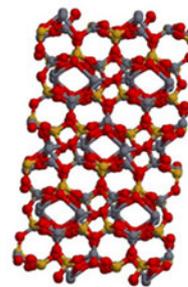
**Figure I. 14: Sable de B sous le microscope LCD**

Remarque: la figure précédente est prise essentiellement par le microscope LCD du laboratoire de centre universitaire d'El Bayadh, de notre matériau SB.

Le sable contient aussi, de l'olivine, du feldspath, du mica et bien d'autres. Tous ces minéraux appartiennent à la famille des Silicates; sel combinant principalement du silicium et de l'oxygène avec d'autres oxydes métalliques. (96)



**Figure I. 15 :** Molécule de quartz, sur Rastop. En rouge les atomes d'oxygène, en orange le silicium. ( $\text{SiO}_2$ )



**Figure I. 16:** Molécule de feldspath sur Rastop, en rouge les atomes d'oxygène, en orange ceux de silicium et en gris les atomes d'aluminium.

Tableau I. 4: Principaux minéraux du sable. (97)

Constituant	Couleur	Transparence	Densité	Caractères distinctifs
Quartz (tectosilicate)	la couleur est variable, souvent plusieurs couleurs sur un même grain.	opaque ou translucide	2,5 - 3	Polyminéral, un même grain est généralement formé de plusieurs couleurs
Feldspaths (groupe de tectosilicates)	blanc, rose, gris jaunâtre, brunâtre.	translucide à opaque	2,5 - 2,7	Cassures contrôlées par 2 plans de clivage presque orthogonaux, éclat rappelant la porcelaine
Muscovite (mica blanc) (phyllosilicate)	incolore, brun à reflet bronzé lorsque altéré	transparent à translucide	2,8 - 2,9	Grains en forme de feuillets, reluisants sous la lumière
Calcite (carbonate)	blanc, jaunâtre	translucide	2,7	3 plans de clivage, fréquemment en grains rhomboédriques blanc, forte effervescence avec HCl
Olivine (néosilicate)	vert	Transparent à translucide	3,3 - 3,4	Pas de clivage, comme de minéral s'altère très rapidement, se retrouve uniquement dans le sable provenant de la désagrégation mécanique d'une roche-mère riche en olivine
Pyrite (sulfure)	jaune doré à éclat métallique	opaque	5	Grains à reflets métallique jaune doré
Zircon (néosilicate)	incolore, jaune, brun	transparent à translucide	4,7	Pas de clivage, indice de réfraction élevé
Amphiboles (groupe d'inosilicates)	noir, brun foncé	opaque à translucide	3,1– 3,3	Grains noir brun ou vert, de forme allongée, 2 clivages (60° 120°), la principale variété noire est la hornblende

**I.5.5. Caractéristiques physicochimiques:**

Une particule individuelle est appelée grain de sable. Les sables sont identifiés grâce à la granulométrie (la grosseur des grains). Le sable se caractérise par sa capacité à s'écouler, il forme naturellement des pentes stables jusqu'à environ 30°, au-delà de cet angle, il s'écoule par avalanches successives pour retrouver cette pente stable. Plus, les grains sont ronds, plus le sable s'écoule facilement. Le sable artificiel, obtenu par découpage ou broyage mécanique de roches, est principalement composé de grains aux aspérités marquées. On peut également différencier un sable qui a été transporté par le vent d'un sable transporté par l'eau. Le premier est de forme plus ronde, sphérique, alors que le deuxième est plus ovoïde. De plus, le sable éolien présente une diaphanéité plus mate que le sable fluviatile ou marin qui est dit « émoussé-luisant ». L'aspect de la surface du grain de sable éolien est dû aux multiples impacts que subit le sable lors de son déplacement. (98)

Les grains ne font pas tous la même taille. Typiquement, dans un sable, la taille des grains s'échelonne de quelques dizaines de micromètres à quelques centimètres. C'est ce qu'on appelle la granulométrie. Lorsqu'elle est étalée (c'est-à-dire, lorsqu'il y a une multitude de tailles de grains différentes), le milieu comportera peu de vides entre les grains. Les grains plus petits se positionnent entre les plus gros, comblant les vides, et ainsi de suite. On parlera de sable dense lorsque, pour un volume d'échantillon donné, la part du volume des vides entre les grains est petite. Dans le cas contraire, on parlera de sables lâches. (99)

**I.5.6. Utilisation:**

La taille, la nature et la forme plus ou moins arrondie de ses grains en font un matériau de qualité recherché pour la construction.

- ✓ En maçonnerie, le sable est utilisé comme agrégat<sup>25</sup> mélangé à un liant comme la chaux ou le ciment.
- ✓ En électronique, le sable et plus précisément le silicium contenu dans la silice est utilisé pour fabriquer des micro-processeurs.
- ✓ En fonderie de métaux ferreux ou alliages légers, les moules peuvent être réalisés en sable aggloméré par des résines ou des argiles pour couler les pièces.
- ✓ En cuisine, il a été utilisé au **XIX<sup>e</sup>** siècle pour la conservation de la viande.
- ✓ Il est utilisé comme matière première du verre.
- ✓ Il peut être utilisé pour filtrer les liquides (dont l'eau de piscine, des eaux usées...), des gaz ou de l'air (filtre à sable filtrant les vapeurs d'un four à plomb, ou filtre à sable filtrant un air susceptible de contenir des radionucléides accidentellement émis dans l'air d'une

installation nucléaire ; « Après l'accident de **Three Mile Island**, les centrales françaises ont été équipées de filtres à sable pour dépressuriser l'enceinte en cas d'accident grave », mais ce type de filtre reste inefficace pour certains éléments comme l'iode organique. De plus, selon les expertises faites après la catastrophe de Fukushima, « Les filtres à sable ne tiennent pas face aux séismes ». (100)

### **I.5.7. Différents types de sable:**

#### **I.5.7.1. Sables naturels:**

Les sables naturels peuvent être issus des rivières. Également appelé « sable des rivières » ou « sable alluvionnaire », il se caractérise par sa forme arrondie et sa dureté, et il provient de l'action de l'eau sur les rochers.

Un autre type de sable naturel est le sable de carrière, extrait des sablonnières et à la forme angulaire. Le sable de carrière est soit retiré du sol en masse, soit fabriqué à partir de roches extraites en carrière.

Quant au sable de mer qui provient de roches sous-marines, il est particulièrement chargé en sel. L'utilisation de ce type de sable nécessite un rinçage minutieux et peut être à l'origine d'éventuelles efflorescences.

Enfin, le sable de feuilles est un sable fin, comportant de nombreux vides d'air qui imposent lors de son utilisation une association avec d'autres sables. Ce sable est récupéré sur les reliefs montagneux.

#### **I.5.7.2. Sables artificiels:**

Les sables artificiels comprennent les sables résultant du concassage de blocs de laitier des hauts-fourneaux, le sable concassé obtenu de façon identique mais sans filler, le laitier granulé ayant subi un refroidissement rapide, et le laitier broyé obtenu à partir du concassage du laitier granulé. (101)

#### **I.5.7.3. Différents types de sable disponibles sur le marché:**

Il existe plusieurs types de sable disponibles sur le marché en fonction de leur composition et de leurs caractéristiques. Ci-dessous quelques exemples:

- ❖ Sable de rivière: provenant des lits des rivières, il est souvent utilisé dans la construction et l'aménagement paysager.

- ❖ **Sable de carrière:** extrait des carrières, il peut être utilisé dans la fabrication du béton ou comme matériau de remblai.
- ❖ **Sable siliceux:** composé principalement de silice, il est utilisé dans l'industrie du verre, des céramiques et pour les filtres à eau.
- ❖ **Sable marin:** provenant des plages marines, il est parfois utilisé pour les travaux d'assainissement ou comme matériau décoratif. (102)

### **I.5.8. Histoire de l'utilisation du sable par nos ancêtres dans la purification de l'eau:**

Nos ancêtres ont utilisé plusieurs méthodes pour purifier l'eau avec du sable, voici quelques-unes des méthodes utilisées:

#### **I.5.8.1. Filtres à sable lent:**

Utilisés par les civilisations anciennes comme les Égyptiens et les Indiens. Ces filtres sont construits en superposant des couches de sable, avec du sable fin en haut et du sable grossier et du gravier en bas. L'eau passe lentement à travers le filtre, où le sable élimine les impuretés et les particules solides. (103)

#### **I.5.8.2. Puits de sable:**

Ils creusaient des puits dans des zones contenant des couches de sable et de limon. Le sable agit comme un filtre naturel pour l'eau, en éliminant les impuretés et les particules suspendues lorsque l'eau s'infiltré à travers les couches de sable.

#### **I.5.8.3. Bassins de décantation avec du sable:**

Un bassin est rempli d'eau et laissé pendant un certain temps pour permettre aux particules lourdes de se déposer au fond. Ensuite, l'eau est passée à travers des couches de sable pour éliminer les particules plus fines et les impuretés.

#### **I.5.8.4. Filtres à sable multiples:**

Dans certaines cultures, ils utilisaient plusieurs filtres à sable successifs. Chaque filtre contenait différentes couches de sable et de gravier, ce qui augmentait l'efficacité de la purification.

Les Romains et les Grecs anciens ont développé des systèmes de filtration incluant l'utilisation de couches de sable et de gravier pour purifier l'eau transportée. (104)

**I.5.8.5. Purification de l'eau avec des récipients en sable:**

L'eau est placée dans des récipients faits de sable compacté. Ces récipients permettent à l'eau de passer très lentement, aidant ainsi à filtrer les impuretés et les contaminants.

Ces méthodes simples étaient efficaces pour améliorer la qualité de l'eau et éliminer de nombreuses impuretés, rendant l'eau plus sûre à consommer. Malgré les avancées technologiques d'aujourd'hui, plusieurs de ces principes sont encore utilisés dans les systèmes de purification de l'eau modernes.

Les méthodes naturelles de filtration à travers le sable et les graviers sont documentées dans plusieurs études sur les techniques de purification de l'eau des communautés anciennes.(105)

**I.5.8.5. filtre à sable pour piscine:**

Les filtres à sable, en raison de leur efficacité de filtration éprouvée et de leur simplicité technique, sont une option de premier choix pour de nombreux amateurs de piscine.

Avantages du filtre à sable. Les filtres à sable offrent de nombreux avantages pour la qualité d'eau de votre piscine:

- ✓ **Efficacité de filtration:** Les filtres à sable sont excellents pour éliminer les particules fines, les débris et même les micro-organismes de l'eau de piscine, assurant ainsi une eau cristalline.
- ✓ **Simplicité d'utilisation:** Ils sont faciles à entretenir et à utiliser. Une fois en place, ils nécessitent peu d'interventions.
- ✓ **Coût abordable:** Comparés à d'autres systèmes de filtration, les filtres à sable sont généralement plus abordables à l'achat et à l'entretien. (106)

**I.5.9. Avantages du sable comme un filtrant naturel:**

L'utilisation du sable comme matériau de filtration présente de nombreux avantages, notamment son faible coût, son efficacité, et sa durabilité. Ces caractéristiques en font une option viable pour le traitement de l'eau à diverses échelles, des petites installations domestiques aux grandes usines de traitement des eaux usées.

- ✓ **Abondance et coût faible:**

Le sable est un matériau naturellement abondant et peu coûteux, ce qui le rend accessible pour une utilisation à grande échelle dans le traitement de l'eau. (107)

- ✓ **Grande surface spécifique:**

La structure granulaire du sable offre une grande surface spécifique pour l'adsorption des micropolluants, améliorant ainsi l'efficacité de la filtration. (108)

✓ **Simplicité et faible entretien:**

Les filtres à sable sont simples à concevoir, à construire et à entretenir, nécessitant peu d'énergie et de ressources pour leur fonctionnement. (109)

✓ **Durabilité et réutilisation:**

Le sable peut être régénéré et réutilisé plusieurs fois après des processus de nettoyage simples, tels que le lavage à contre-courant, ce qui en fait une solution durable pour le traitement de l'eau. (110)

**Références bibliographiques:**

- (1) **Houria Mesrouk**, *Caractérisation physico-chimique et étude de l'évolution spatiotemporelle de quelques polluants organiques dans les points de rejets d'eaux usées de la région de Ouargla, et contribution à la mise en place d'un protocole de leur traitement. Thèse de Doctorat, (2017)*
- (2) **Y. Bentahar**, *Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse. Université De Nice-Sophia Antipolis - UFR Sciences Ecole Doctorale de sciences Fondamentales et appliquées. Thèse de Doctorat. (2016).*
- (3) **Hadda, Alliouat, Oudina, Seggani Chaima, et al.** *Analyse de la qualité des eaux de Barrage de Beni Haroun Mila. University center of abdalhafidboussouf-MILA. Thèse de doctorat. (2023).*
- (4) **Mohammed Khaled Bechki**, *Préparation et caractérisation du charbon actif à partir des noyaux du palmier dattier et des coquilles des noix. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA. Thèse de doctorat. (2018).*
- (5) **Adda, Narimane, And Denia Chenina.** *Adsorption du bleu de méthylène par des boues modifiée chimiquement. Diss. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, 2015.*
- (6) **Youcef Leila**, *Adsorption d'un colorant basique (Bleu de méthylène) sur différents ADSORBANTS (CHARBON actif en poudre, charbon en grain et la bentonite). MÉMOIRE de Master. (2014).*
- (7) **Intissar Tayoudj - Ines Habbache - Rayene Boumaaza - Meriem Triki.** *Contribution à l'étude microbiologique de l'eau de baignade de la région de Guelma: cas piscine et de la retenue NATURELLE (la digue de Rasfa). MÉMOIRE de MASTÉR. (2022)*
- (8). **Anonyme:** [https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/becol/Pollutiondes\\_eaux](https://fac.umc.edu.dz/snv/faculte/becol/Pollutiondes_eaux). *Dr-HDR-TOUATI Laid/(2020)*
- (9) **G. P. Martineau** « *Maladies d'élevage des porcs* ». *LIVRE. France agricole éditions (1997).*
- (10) **Fatima akroum Ahlam Chaourare**, *usées par Adsorption, sur des Matériaux Naturels: Application aux coquilles des noix. Mémoire de Master, (2020/2021).*

(11) **Taleb, Zoubida, et al.** *Etude comparative de la dépollution de l'o-crésol des effluents industriels par électro-adsorption. Thèse de doctorat. (2015).*

(12) **Ikene, Rania Et Messad, Melissa.** *Suivi qualitatif des eaux usées brutes et traitées de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. Université Mouloud Mammeri. Thèse de doctorat. (2022).*

(13). **Anonyme:** <https://pure-berkey.eu/fr/blog/article/les-microplastiques-tout-ce-que-vous-devez-savoir>

(14) **Houria Mesrouk,** *aractérisation physico-chimique et étude de l'évolution spatiotemporelle de quelques polluants organiques dans les points de rejets d'eaux usées de la région de Ouargla, et contribution à la mise en place d'un protocole de leur traitement. Thèse de Doctorat, (2017)*

(15) **Yamina, Chergui.** *Sequéstration De Polluants Organiques Et Minéraux Par Des Bio-Adsorbants Modifiés: Effet Du Traitement Chimique. Université abdelhamid ibn badismostaganem. Thèse de doctorat. (2020).*

(16) **Nouara Lefki.** *Etude de l'adsorption du bleu de méthylène sur la poudre des feuilles d'olivier. UMMTO. Thèse de doctorat. (2017).*

(17) **Intissar Gasmi.** *Parametric control and intensification of the degradation of emerging pollutants in aqueous phase by Sonochemistry, Galvano-Fenton and Sono-Galvano-Fenton. Ecole Centrale de Lyon; Université Badji Mokhtar-Annaba. Thèse de doctorat. (2022).*

(18) **François Zaviska.** *Modélisation du traitement de micropolluants organiques par oxydation électrochimique. livre. Institut National de la Recherche Scientifique (Canada), Thèse de doctorat. (2011).*

(19). **Anonyme:** [http://etat.environnement.wallonie.be/files/live/sites/eew/files/Publications/Rapport%20analytique%20/Chap10/5\\_MicropolluantsEau/EAU\\_04.pdf](http://etat.environnement.wallonie.be/files/live/sites/eew/files/Publications/Rapport%20analytique%20/Chap10/5_MicropolluantsEau/EAU_04.pdf)(2006-2007)

(20) **Michel Boisvert.** *Développement d'une nouvelle méthode d'analyse multi-résidus par LDTD/APCI-MS/MS pour la quantification de pesticides et de produits pharmaceutiques dans les eaux usées. mémoire en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences. (2012)*

(21) **Kouakou, Yao Kouman Nestor, Bi, Trazié Jérémie Gala, Coulibaly, Justin Louis Kafana, et al.** *Evaluation des éléments traces métalliques (ETM) des sols autour de la mine de Gbétogo à Séguéla, au Nord-Ouest de la Côte d'Ivoire. International Journal of Innovation and Applied Studies, D.O.I, (2020)*

- (22) **Samia, Behloul.** *Contribution à l'étude de l'élimination des micropolluants des eaux par le procédé de coagulation-floculation. Thèse de doctorat. (2021).*
- (23). *Anonyme: [http://etat.environnement.wallonie.be/files/live/sites/eew/files/Publications/Rapport%20analytique%20/Chap10/5\\_MicropolluantsEau/EAU\\_04.pdf](http://etat.environnement.wallonie.be/files/live/sites/eew/files/Publications/Rapport%20analytique%20/Chap10/5_MicropolluantsEau/EAU_04.pdf)(2006-2007)*
- (24) **Yassine, Bentahar.** *Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines: application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse. Université Côte d'Azur (ComUE). Thèse de doctorat. (2016).*
- (25) **Mustapha, Khenfoussi, Cherifa, Boulghiti, Abdelaziz, Arroussi, et al.** *Dépollution des eaux usées par un biosorbant. Université Ahmed Draia-ADRAR. Thèse de doctorat. 2019.*
- (26). *Anonyme: <https://fastercapital.com/fr/contenu/Colorants-synthetiques---des-couleurs-au-dela-de-la-nature---l-art-des-colorants-synthetiques.>(2024)*
- (27) **Andriamanantena, Mahery.** *Valorisation de la biodiversité et études ethnobotanique, phyto-chimique et toxicologique des plantes tinctoriales de Madagascar: applications dans le domaine des colorants naturels. La Réunion. Thèse de doctorat. (2020).*
- (28) **Mansour, Hedi Ben, Oualid, Boughzala, Dorra, Dridi, 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, , vol. 24, no 3, p. 209-238.(2011)*
- (29) **Warshaw, Leon J., Crompton, D. S., Et Kay, D. J.** *Chapitre 89-L'industrie textile. Encyclopédie de Sécurité et de Santé au Travail du BIT (3ème édit, p. 1-64). (2019)*
- (30) **Boulocher, Véronique Et Ruaud, Sabine.** *La Couleur, Variable Stratégique En Marketing: Une Illustration De Sa Mise En Œuvre. La couleur au cœur de la stratégie marketing, livre, ED, p. 183. (2016)*
- (31) **Ilham, Bouchemal, Hadjer, Guenane, Kanza, Mezmiz, et al.** *Risques toxicologiques des colorants synthétiques de type azoïque utilisés dans les produits cosmétiques: Enquête épidémiologique dans la wilaya de Jijel. Université de Jijel. Thèse de doctorat. (2022).*
- (32) **Denis, Marie.** *Vers le développement de l'impression covalente spatio-contrôlée ultra-rapide. Nantes. Thèse de doctorat. (2021).*
- (33) **Flora, KouameAffouetEulaïss.** *Etude De La Migration Des Antioxydants Phenoliques Dans Les Boissons En Sachet (Abidjan-Cote D'ivoire). Thèse de doctorat. (2004)*

- (34) **Rabah, Maalem.** *Décoloration des eaux par électrocoagulation* Université, LarbiTébessiTébessa. Thèse de doctorat. (2017).
- (35) **Harrlekas, Farida.** *Couplage des procédés membranaires aux techniques physico-chimiques ou biologiques pour le traitement des rejets liquides de l'industrie de textile.* Autre. Institut National Polytechnique de Lorraine, Thèse de doctorat. (2008).
- (36) **Sabiha, Bouit, Amira, Djahida, Et Krika, Fouad Encadreur.** *Élimination d'un polluant organique par adsorption sur matériau naturel.* Université de Jijel. Thèse de doctorat. (2021).
- (37) **Lamis, Chouikret Et Laifa, Hazar.** *Etude de la dégradation du Bleu de méthylène et de la production de l'énergie par le procédé Galvano-Fenton.* mémoire de mastér. (2020).
- (38). **Anonyme:** <https://acapros.fr/cuisine-et-gastronomie/avantages-et-inconvenients-des-colorants-syntheriques/>.(2024)
- (39). **Anonyme:** <https://www.officiel-prevention.com/>. *La prévention des risques chimiques des colorants et pigments*
- (40). **Anonyme:** [https://www.reseau-environnement-sante.fr/LES DÉCIDEURS POLITIQUES, SUR LES PRODUITS. PLASTIQUES, SANTÉ ET PRODUITS CHIMIQUES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS \(PE\).](https://www.reseau-environnement-sante.fr/LES_DÉCIDEURS_POLITIQUES_SUR_LES_PRODUIITS_PLASTIQUES_SANTÉ_ET_PRODUIITS_CHIMIQUES_PERTURBATEURS_ENDOCRINIENS_(PE).) (2024)
- (41). **Anonyme:** [https://pages.uwf.edu/cedb/PERCH\\_Accumulation\\_of\\_pollutants\\_in\\_fish\\_and\\_shellfish.pdf](https://pages.uwf.edu/cedb/PERCH_Accumulation_of_pollutants_in_fish_and_shellfish.pdf)(2009)
- (42) **Laura Fonteneau,** Docteur En Pharmacie, *journal volume D.O. I Bleu de méthylène: indication, utilisation, dangereux.* Mis à jour le 29/03/22
- (43) **Laura Fonteneau,** Docteur En Pharmacie, *Bleu De Méthylène: Indication, utilisation, dangereux.* journal volume D.O.I Mis à jour le (29/03/22)
- (44) **Fonteneau, Laura,** Docteur En Pharmacie *Bleu de méthylène: indication, utilisation, dangereux,* journal volume D.O.I. Mis à jour (2022)
- (45) **Efsa - European Food Safety Authority.** *Opinion of the Scientific Panel on Food Additives, Flavourings, Processing Aids and Materials in Contact with Food on a request from the Commission related to certain Azo Dyes Derived from Benzidine and Benzidine Congeners.* The EFSA Journal, volume D.O.I 263, 1-38.(2005).

- (46). ANNONIME: Kirkland, Anna E., Langan, Mackenzie T., Et Holton, Kathleen F. *Artificial food coloring affects EEG power and ADHD symptoms in college students with ADHD: A pilot study. Nutritional neuroscience*, vol. 25, no 1, p. 159-168. (2022)
- (47).Annonime: Mccann, D., Barrett, A., Cooper, A., Crumpler, D., Dalen, L., Grimshaw, K., ... & Stevenson, J. *Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: a randomised, double-blinded, placebo-controlled trial. The Lancet*, 370(9598), 1560-1567. Article, (2007).
- (48) *Analytical Methods for Methylene Blue: A Review. Vijay R. Bommakanti, Ajit S. Narang, Sunil Kumar Dubey, and Vivekanand P. Pathak. Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. Volume 12, Issue 1, January (2020)*
- (49)**ZatilAmaliCheRamli**, 1Nilofar Asim, 1WanN.R.W. Isahak, 2Zeynab Emdadi, 1Norasikin Ahmad-Ludin,1M. AmbarYarmo, 2and K. Sopian"Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Dye in Water Using Titanium Dioxide Nanoparticles." *International Journal of Environmental Science and Development*, vol. 3, no. 1, pp. 69–73. Research Article, (2012)
- (50).Annonime: <https://www.asef-asso.fr/production/les-metaux-lourds-la-synthese-de-lasef/>(2017)
- (51) *Sources of heavy metals and metalloids in soils of mining and non-mining areas: A review." Polish Journal of Environmental Studies*, vol. 28, no. 2, pp. 923-944. (2019)
- (52).Annonime: <http://dspace.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/5848/2/Chapitre-I.pdf>
- (53)**Messadene, Sofiane**. *Impact des métaux lourds 'plomb & cadmium'sur l'organisme, inoculés chez les rongeurs rats 'Wistars'.* Diss. Université Mouloud Mammeri, (2022)
- (54)**Blanchard, Matthias**. *Effets de métaux (Cd et Pb) et d'une substance énergétique (HMX) sur la reproduction et sur les protéines de type métallothionéine chez Eiseniaandrei/mémoireprésenté comme exigence partielle de la maîtrise en biologie par Matthias Blanchard; [directeur de recherche, Pierre-Yves Robidoux]. (2010).*
- (55) Campbell, P. G. C., & Stokes, P. M. *Acidification and toxicity of metals to aquatic biota. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42(12), 2034-2049. DOI: 10.1139/f85-254. (1985).
- (56)**Sihem, Taibi Et Asma, Reguiég**.*Evaluation de la bioaccumulation des métaux lourds chez les poissons dulçaquicoles de barrage Bougara Tiaret. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Thèse de doctorat. (2021).*

- (57) *Salvarredy-Aranguren, Matias Miguel, Probst, Anne, Roulet, Marc, Et Al. Contamination of surface waters by mining wastes in the Milluni Valley (Cordillera Real, Bolivia): Mineralogical and hydrological influences. Applied Geochemistry, Journal, vol. 23, no 5, p. 1299-1324. (2008)*
- (58).Annonime: <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/programmes/consultation-plomb-eau-potable/document.html>
- (59) *Samir Kadi. Etude des propriétés structurale, texturale et application d'une argile locale de type 1:1 traitée thermiquement. Application à l'adsorption de Cd<sup>2+</sup> et Pb<sup>2+</sup>, Université De Mostaganem. Thèse De Doctorat. (2013).*
- (60) Annonime: [https://facmed.univconstantine3.dz/wp\\_content/uploads/02/saturnismeDr.BoudemaghK.pdf](https://facmed.univconstantine3.dz/wp_content/uploads/02/saturnismeDr.BoudemaghK.pdf) (2022)
- (61) *Lead Toxicity: Current Concerns." Indian Journal of Medical Specialities, vol. 5, no. 2, 2014, pp. 78-83. DOI: 10.1016/j.injms.2014.01.001.*
- (62) *Houria, Benfriha Et Zineb, Bensaci. Valorisation des déchets d'une variété de palmier de la région d'Ouargla Application à l'élimination des métaux lourds. Thèse de doctorat. (2020/2021)*
- (63).Annonime: <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/programmes/consultation-plomb-eau-potable/document.html>
- (64).Annonime: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Acte\\_de\\_plomb\(II\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Acte_de_plomb(II))
- (65) *"Analytical methods for determination of lead in environmental samples – A review Journal." Talanta, vol. 72, no. 3, pp. 1045-1057. DOI: 10.1016/j.talanta.2007.01.040. (2007)*
- (66) *"Applications Of X-Ray Fluorescence Spectroscopy In Environmental Research." Journal Of Environmental Monitoring, Vol. 2, NO. 3, PP. 228-234. DOI: 10.1039/B001106L. (2000)*
- (67) *"Determination of lead in environmental samples by high-performance liquid chromatography: A review Journal." Talanta, vol. 82, no. 4, pp. 1555-1563. DOI: 10.1016/j.talanta.2010.06.028. (2010)*
- (68) *"Determination of lead in environmental samples by inductively coupled plasma mass spectrometry: A review." Microchemical JOURNAL, vol. 63, no. 1, pp. 3-13. DOI: 10.1016/S0026-265X(99)00007-1. (1999)*

- (69) "Determination Of Lead By Colorimetric Methods: A Review." *Microchemical Journal*, Vol. 87, NO. 1, PP. 1-7. DOI: 10.1016/J.MICROC.2007.02.009. (2007)
- (70) "Lead Pollution And Its Impacts On Aquatic Ecosystem." *Journal Of Environmental Protection*, Vol. 3, Pp. 1006-1012. Doi: 10.4236/Jep.2012.329115. (2012)
- (71).Annonime: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Traitement\\_des\\_eaux\\_usées](https://fr.wikipedia.org/wiki/Traitement_des_eaux_usées)
- (72).Annonime: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Traitement\\_primaire\\_de\\_l'eau](https://fr.wikipedia.org/wiki/Traitement_primaire_de_l'eau)
- (73)**Chitour, Chems Eddine**. *Physico-chimie des surfaces: L'adsorption gaz-solide et liquide-solide*. Office des publications universitaires, Livre, Ed, (2004.)
- (74) **SouheilaBouacherine**. *Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée. mémoire de Magister*. (2012 – 2013)
- (75) Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall. *Water -- Purification, Sewage -- Purification, Sanitary chemistry*. Livre Ed, (1982)
- (76).Anonyme: [https://www.researchgate.net/figure/Phenomene-dadsorption-27-124\\_fig10\\_339213550](https://www.researchgate.net/figure/Phenomene-dadsorption-27-124_fig10_339213550) Mohammed Ali Hadj Ammar Doctoral Dissertation - Scientific Figure on ResearchGate. Availablefrom: [accessed 2 May, 2024]
- (77). **Anonyme**: *Des jardins R. Le traitement des eaux*. 2 ème édition revue. (1997)
- (78) **El Azzouzi, M. Persistence, mobilité et photodégradation de l'imazapyr dans le sol et l'eau**. Diss. Thèse de Doctorat d'état. Univ. Mohammed V, Faculté des Sciences de Rabat. Maroc, 1999.
- (79) **Mekaoui M**. *Etude de l'adsorption, de la persistance et de la photodégradation du (TBM) dans le sol et l'eau* (2001).
- (80) **Dahani Fatima Et Laidi Oum El Kheir**. *Valorisation des déchets des palmiers dattiers pour dépollution des eaux. Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master* Université Ahmed Draïa Adrar. 2022.
- (81).Anonyme: <https://www.univ-tissemsilt.dz/fst/wp-content/uploads/> Phénomènes de Surface et Catalyse Hétérogène 2021-2022
- (82) **Manole Creanga, Carmen**. *Procédé AD-OX d'élimination de polluants organiques non biodégradables: par adsorption puis oxydation catalytique*. 2007. Thèse de doctorat. Toulouse, INPT.

- (83) *W.J. Webeer, B.M. Vanvliet, Journal D.O.I Suffet, Irwin H. "Activated carbon adsorption of organics from the aqueous phase." (1980).*
- (84). *Anonyme: [https://www.slideserve.com/eman/adsorption#google\\_vignette](https://www.slideserve.com/eman/adsorption#google_vignette)*
- (85) *FAIZA, MME BOUAZZA. Adsorption des polluants organiques par des. thèse doctoraten sciences université Abou-Bakr Belkaid - Tlemcen. 2019.*
- (86). *Anonyme: Dr. HAID Slimane. <https://www.univ-tissemsilt.dz/fst/wp-content/uploads/>, phénomènes de Surface et Catalyse Hétérogène, 2021-2022*
- (87). *Anonyme: <http://elearning.univ-djelfa.dz>. Dehbi.Meriem. Chapitre I: Phénomènes d'adsorption. (88). ANNONIME: Dr. HAID Slimane. <https://www.univ-tissemsilt.dz/fst/wp-content/uploads/>, phénomènes de Surface et Catalyse Hétérogène, 2021-2022*
- (89). *Anonyme: Dr. HAID Slimane. <https://www.univ-tissemsilt.dz/fst/wp-content/uploads/>, phénomènes de Surface et Catalyse Hétérogène, 2021-2022*
- (90) *Aziri Sabrina, Etude De L'adsorption Du Nickel Par Des Biosorbants. mémoire de magistère. 2012*
- (91). *Benslimane Mohamed, Larbi Hocine, Khaldi Abdelkader, Experimentation D'un Systeme De Recyclage D'eaux Usees Urbaines Phyto-Epurees En Milieu Aride: Etude De Cas De Brezina (Sud Ouest Algerien)*
- (92). *Experimentation D'un Systeme De Recyclage D'eaux Usees Urbaines Phyto-Epurees En Milieu Aride: Etude De Cas De Brezina (Sud Ouest Algerien) Benslimane Mohamed, Larbi Hocine, KHALDI Abdelkader Laboratoire de Géomatique, Ecologie et Environnement (LRGEE), Faculté des Sciences de la Nature*
- (93). *Anonyme: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Sable>*
- (94). *Anonyme: <https://material-properties.org/fr/sable-tableau-des-materiaux-applications-prix/>*
- (95). *Anonyme <https://www.bing.com/images/>*
- (96). *Anonyme: <https://lechateaudesabletpe.e-monsite.com/pages/le-sable-et-la-physique.html>*
- (97). *Anonyme: [https://cours.polymtl.ca/PBedard/glq1100/Sables/identification\\_sable.html](https://cours.polymtl.ca/PBedard/glq1100/Sables/identification_sable.html)*
- (98). *Anonyme: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Sable>*
- (99). *Anonyme: <https://www.encyclopedie-environnement.org/sol/les-sables/>*

- (100). *Anonyme*: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Sable#cite\\_note-27](https://fr.wikipedia.org/wiki/Sable#cite_note-27)
- (101). *Anonyme*: <https://Construction-Maison.Pagesjaunes.Fr/Astuce/Voir/617185/Les-Differents-Types-De-Sable>
- (102). *Anonyme* <https://www.wikiwand.com/fr/Sable>
- (103). *Anonyme*: <https://waterfilterdata.org/the-evolution-of-water-filters-a-comprehensive-history/>
- (104) **Hodge, A. Trevor**, *Aqueducts -- Rome -- History, Water-supply -- Rome -- History, Rome – Antiquities*, livre, 1992
- (105). "Natural Water Purification and Water Management by Artificial Groundwater Recharge" par *Christian Kazner, Thomas Wintgens, et Peter Dillon*.
- (106). *Anonyme*: <https://www.poolcare.io/article/comment-choisir-filtre-sable-piscine>
- 107) **Crittenden, J. C., Trussell, R. R., Hand, D. W., Howe, K. J., & Tchobanoglous, G.** *MWH's Water Treatment: Principles and Design*. LIVRE Ed, John Wiley & Sons. (2012).
- (108) **L. Huisman, L & Wood, W. E.** *Slow sand filtration*, W. E. Wood. World Health Organization. (1974). <https://iris.who.int/handle/10665/38974>, Huisman
- (109) **Vigneswaran, S., & Visvanathan**, *Water Treatment Processes: Simple Options*. CRC Press. livre Ed, C. (1995).
- (110) **Weber, W. J.** *Physicochemical Processes for Water Quality Control*. livre Ed, John Wiley & Sons. (1972).



# **Partie II**

## **Expérimentale**

## Partie II Expérimentale

---

### II.1. Introduction :

Ce chapitre est dédié aux produits chimiques et appareillages, et aux techniques analytiques utilisées. En premier lieu, nous avons commencé par la préparation de matériau

« le sable » utilisés dans notre travail. Nous décrirons, en deuxième lieu, les protocoles expérimentaux utilisés pour les expériences de l'adsorption de colorant, et de métal lourd sur le sable, et en fin, la caractérisation de nos matériaux par l'infrarouge, et rayon X.

### II.2. Réactifs et appareils utilisés :

#### II.2.1. Réactifs utilisés :

Les produits et réactifs utilisés dans les différentes étapes de nos recherches sont récapitulés dans le tableau suivant :

**Tableau II. 1/ Récapitulatif des réactifs utilisés**

Réactifs	Formule brute	Fournisseurs
Hydroxyde de sodium	NaOH	Riedel- de Haen
Arsenazo	$C_{22}H_{18}As_2N_4O_{14}S_2$	Fluka
Tampon 10	/	/
Acid- chloridrique	HCl (35-38%)	Biochem
Acetate de plomb trihydraté	$C_4H_6O_4Pb \cdot 3H_2O$	/
Bleu de méthylène	$C_{16}H_{18}ClN_3S$	

#### II.2.2. Appareils et instruments utilisés:

- ✓ Spectrophotomètre UV- Visible modèle: « OPTIZEN 1412V »
- ✓ Spectrophotomètre IR modèle « FTIR » (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) Obtenue entre 400-4000 $cm^{-1}$  ; la marque <ACI (Matson) ; N° 9501165.

## Partie II Expérimentale

---

- ✓ Agitateur magnétique type « DAIHAN Labtech COLTD »
- ✓ Balance analytique électronique type « Denver. Instrument »
- ✓ PH-mètre « Type HANNA pH 210 ; Instruments Microprocessor pH Meter
- ✓ Centrifugeuse type « -EBA20-HEttich ZenTRIFUGEN »
- ✓ Microscope LCD
- ✓ Etuve (Mettler)

### II.2.3. Verreries:

- Cristallisoirs.
- Bécher 100 ml, 50ml.
- barreaux.
- Erlenmeyer.
- Fioles jaugées 100ml, 50ml.
- Verre de montre.
- Spatule.
- Cuvee.
- Micropipette 1000 $\mu$ l.
- Pissette.
- Tubes à essais.

### II.3. Technique d'analyse utilisée:

#### II.3.1. Spectrophotomètres UV-Visible:

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative destinée à réaliser des dosages ou permettre des suivis quantitatifs de réactions en vue d'étudier, par exemple, des cinétiques de réaction. La spectrophotométrie est aussi une technique d'analyse qui repose sur l'absorption de la lumière par les espèces chimiques colorées. Une solution est colorée si elle absorbe une partie des radiations de la lumière blanche, la couleur perçue résultant de la superposition des teintes des radiations non absorbées. (1)

##### II.3.1.1 Principe du spectrophotomètre UV-Visible:

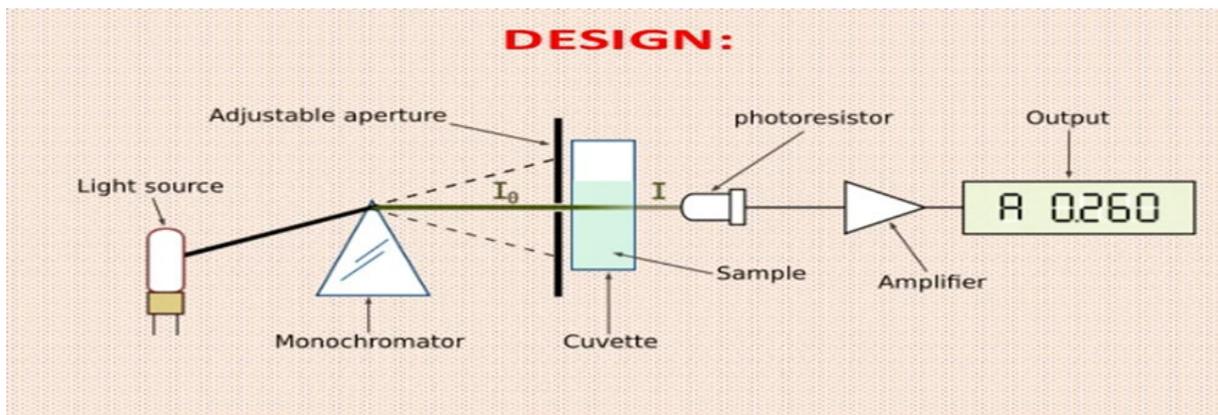
On fait interagir une source lumineuse avec une molécule, suivant la longueur d'onde utilisée et la nature de l'échantillon, l'énergie du rayonnement va faire passer des électrons de valences de la molécule à d'autres niveaux énergétiques. Cette énergie sera absorbée et le

## Partie II Expérimentale

rayonnement sera en partie stoppé, on parle d'absorbance. L'absorbance A (sans unité) se calcule grâce à la formule suivante:

$$A = \log \frac{I_0}{I}$$

L'absorbance est proportionnelle à la concentration et grâce à la loi de Beer-Lambert on peut retrouver la concentration de la substance dans la solution. (2)



**Figure II. 1: Principe du spectrophotomètre UV-Visible**

La spectroscopie ultraviolet-visible ou spectrométrie ultraviolet-visible est une technique de spectroscopie mettant en jeu les photons dont les longueurs d'onde sont dans le domaine de l'ultraviolet (200 nm – 400 nm), du visible (400 nm – 750 nm) ou du proche infrarouge (750 nm – 4000 nm). Soumis à un rayonnement dans cette gamme de longueurs d'onde, les molécules, les ions ou les complexes sont susceptibles de subir une ou plusieurs transitions électroniques.

Les substrats analysés sont le plus souvent en solution, mais peuvent également être en phase gazeuse et plus rarement à l'état solide. Le spectre électronique est la fonction qui relie l'intensité lumineuse absorbée par l'échantillon analysé en fonction de la longueur d'onde. (3)



**Figure II. 2: Spectrophotomètre UV-visible (OPTIZEN 1412V)**

### II.3.2. Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (IRTF):

La spectroscopie infrarouge est une technique d'analyse rapide permettant d'identifier rapidement les fonctions chimiques des molécules présentes dans les matériaux analysés (solides, liquides ou plus rarement gazeux). Cette technique repose sur l'absorption par l'échantillon de radiations électromagnétiques infrarouges comprises entre 1 et 50  $\mu\text{m}$  (micromètre). Cette bande spectrale est divisée en proche infrarouge (de 1 à 2.5  $\mu\text{m}$ ) et en moyen infrarouge (de 2.5 à 50  $\mu\text{m}$ ). Le moyen infrarouge est utilisé pour identifier des molécules organiques dont il permet de garder une sorte d'empreinte digitale. Selon le matériau analysé et des informations souhaitées, la spectroscopie infrarouge peut être complétée par d'autres techniques analytiques comme la spectroscopie UV-visible ou la spectroscopie Raman.(4)



**Figure II. 3: spectromètre infrarouge**

### II.3.2.1. Principe de l' infrarouge:

Un faisceau de lumière infrarouge, traverse l'échantillon de la matière à analyser, celle-ci en absorbe une partie et des modifications des liaisons interatomiques (vibrations, déformations) ont lieu. Ces changements sont perçus par le détecteur et l'examen de la lumière transmise, permet d'établir le spectre infrarouge en absorbance ( $A = -\log T$ ) ou en transmittance ( $T = I/I_0$ ), représentant la quantité d'énergie absorbée ou transmise en fonction du nombre d'onde ( $1/\lambda$ ). (5)

### II.3.3. Spectrométrie de fluorescence X (XRF):

Est une technique d'analyse élémentaire globale permettant d'identifier et de déterminer la plupart des éléments chimiques qui composent un échantillon. Cette technique peut être utilisée pour des matériaux très variés: minéraux, céramiques, ciments, métaux, huiles, eau, verres... sous forme solide ou liquide. Elle permet l'analyse de tous les éléments chimiques du Béryllium (Be) à l'Uranium (U) dans des gammes de concentration allant de quelques ppm à 100%, avec des résultats précis et surtout reproductibles.

#### II.3.3.1. Principe:

L'échantillon à analyser est placé sous un faisceau de rayons X. Sous l'effet de ces rayons X, les atomes constituant l'échantillon passent de leur état fondamental à un état excité. L'état excité est instable, les atomes tendent alors à revenir à l'état fondamental en libérant de l'énergie, sous forme de photons X notamment. Chaque atome, ayant une configuration électronique propre, va émettre des photons d'énergie et de longueur d'onde propres. C'est le phénomène de fluorescence X qui est une émission secondaire de rayons X, caractéristiques des atomes qui constituent l'échantillon. L'analyse de ce rayonnement X secondaire permet à la fois de connaître la nature des éléments chimiques présents dans un échantillon ainsi que leur concentration massique. (6)

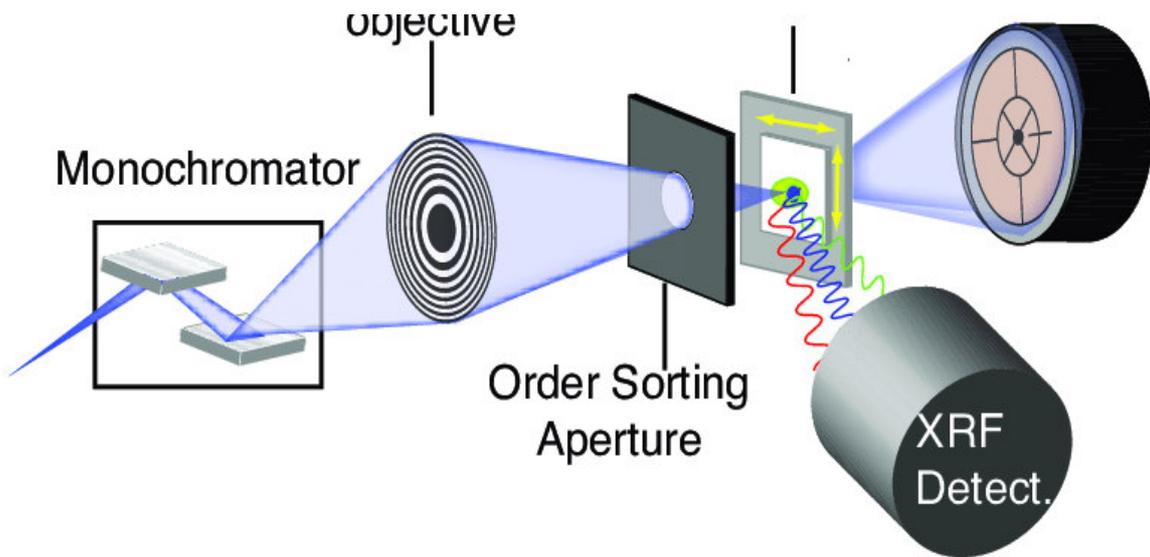
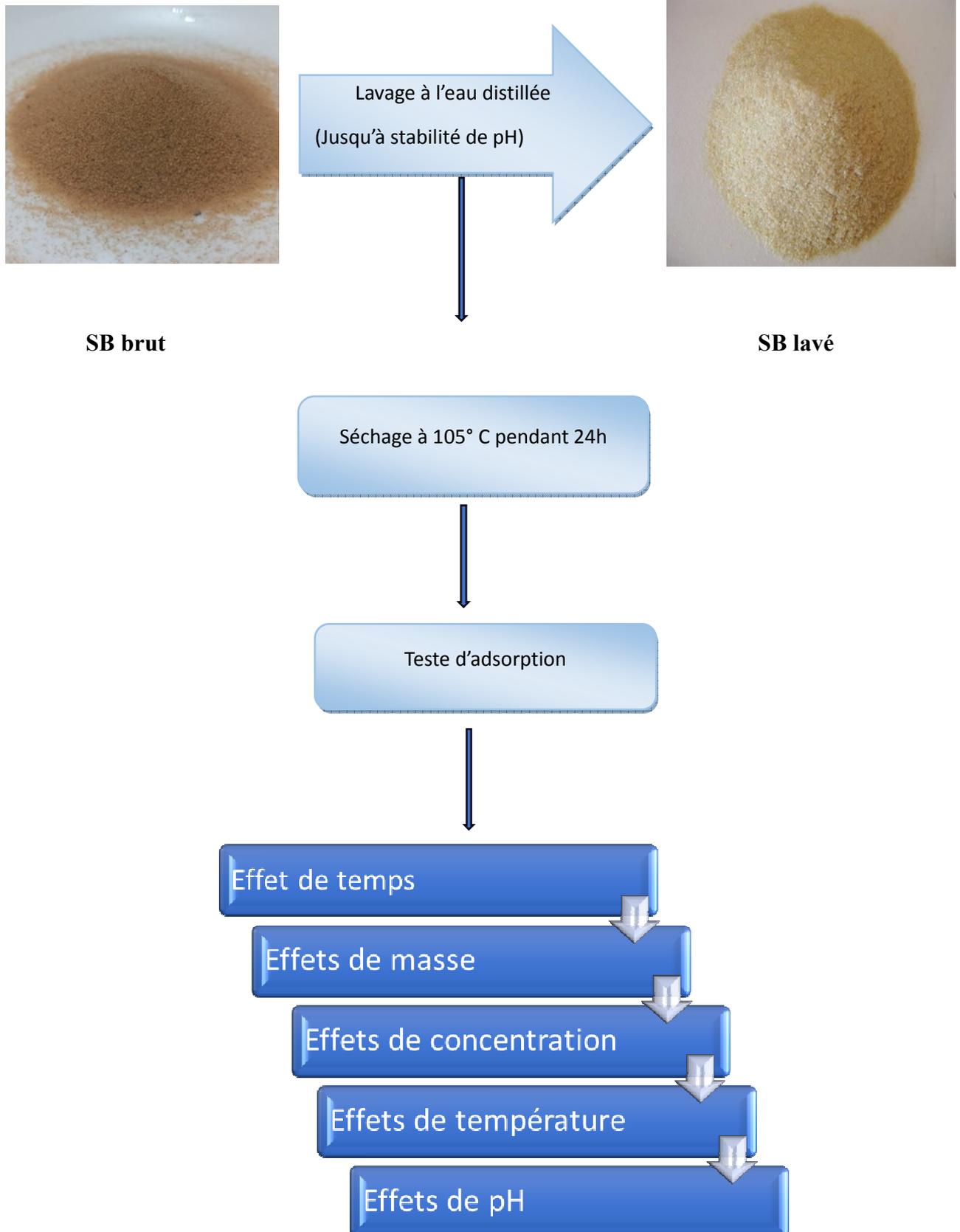


Figure II. 4: Représentation schématique de principe de XRF.

### II.4. Protocol de traitement du matériau utilisé:



### II.5. Préparation de matériau (SB):

#### II.5.1. Traitement et lavage:

Pour son traitement préalable dans des conditions choisies arbitraire, nous avons mis 10 g en contact avec 2l d'eau distillée dans un éprouvette. Le mélange ainsi obtenu à été agité durant 4 heures à une vitesse forte et à une température ambiante, pour assurer un bon contact et une bonne homogénéisation de la solution, nous réalisons une fois le temps d'agitation écoulée une filtration et un lavage intense à l'eau distillée (en utilisant un volume de 300ml) jusqu'à ce que le pH de la solution soit devenu constant, comme indiqué dans le tableau ci-dessous:



**Figure II. 5: SB avant et après lavage.**

**Tableau II. 2: Evolution du PH du sable au cours du traitement et lavage de SB.**

/	Temp	Traitement et lavage	pH	Couleur des solutions	Couleur de sable
1	t <sub>0</sub>	2L d'eau distillée + agitation fort	9,1	Incolore et Transparent	Marron
	t = 4h	//	9,1	Trouble	Marron
2	t = 4h	300 ml d'eau distillée + agitation fort	9,2	Trouble et marron à rouge brique	Marron clair
3	t = 4h	300 ml d'eau distillée + agitation fort	9,1	Moins trouble qu'avant + une mousse blanche	Marron clair
4	t = 4h	300 ml d'eau distillée + agitation fort	8,1	Jaune clair + Mousse blanche	Marron clair
5	t = 4h	300 ml d'eau distillée + agitation fort	8,7	Blanc trouble	Marron clair
6	t = 4h	300 ml d'eau distillée + agitation fort	8,8	Blanc trouble + couche blanche	Marron clair
7	t = 4h	300 ml d'eau distillée + agitation fort	8,7	Clair	Blanc rose
8	t = 4h	300 ml d'eau distillée + agitation fort	8,7	Clair	Blanc rose

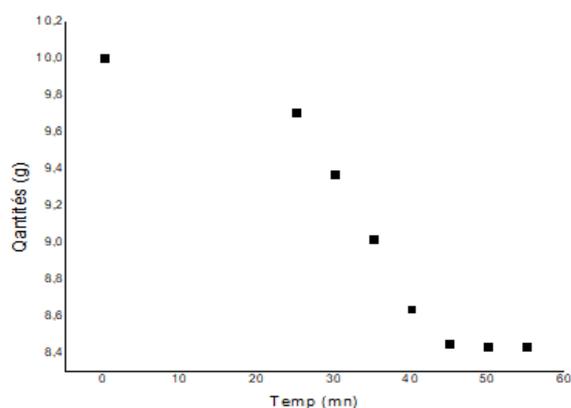
### II.5.2. Détermination du temps nécessaire pour le séchage du SB :

On a mis une masse de 10 g de SB, après un lavage, dans l'étuve pendant 24 h à 105°C jusqu'à fixation de la masse.

**Tableau II. 3: Evolution de la masse de matériau sorbant SB au cours du séchage**

Temp (mn)	0	25	30	35	40
Quantité (g)	10	9,71	9,37	9,02	8,64

45	50	55	60	65	70
8,45	8,44	8,44	8,44	8,44	8,44



**Figure II. 6 : Evolution de la masse du sable en fonction du temps**

Comme l'indique respectivement le **tableau.II.3** et la **figure. II.6**, le temps nécessaire pour sécher cette masse de sorbant est de l'ordre de 50 mn, donc nous avons obtenu 8,44 g du sable après l'avoir lavé, c'est-à-dire 84,4%, ou en d'autres termes, nous avons perdu 15,6%.

### II.6. Protocole expérimentale d'adsorption des métaux lourds et colorant :

#### II.6.1. Préparation de solutions :

##### II.6.1.1. Préparation de solution du plomb dans l'acétate de plomb trihydraté

Une solution mère contenant  $10^{-3}$  mol/l d'acétate de plomb tri hydraté ( $C_4 H_6 O_4 Pb, 3H_2O$ ) a été préparée en utilisant 100 ml d'eau distillée.

##### II.6.1.2. Préparation de solutions du colorant BM :

Nous avons préparé une solution mère de concentration 5mg/l du bleu méthylène dans 100ml de l'eau distillée.

La loi utilisée pour calculer la masse :

$$m = C \cdot V \cdot M$$

#### II.6.2. Méthodes d'adsorption :

##### II.6.2.1. Méthode de l'adsorption de plomb :

- ❖ **Effet de nombres d'agitation** : nous ajoutons 0,025 g de sable à 5 ml d'une solution de plomb à concentration  $10^{-5}$  mol/l, et on agite à différents vitesses (faible, moyenne et fort).
- ❖ **Effet de temps d'agitation** : à 5 ml d'une solution  $Pb^{+2}$  à concentration  $10^{-5}$  mol/l, nous ajoutons 0,025 g de sable et agitions à une vitesse moyenne, en changeant le temps de contact (5min, 15min, 30min, 60min, 120min, 240min) à une température de 25°C.
- ❖ **Effets de concentration** : à 5 ml d'une solution plomb à une concentration différente, nous ajoutons 0,025g de sable, et nous agitions pendant 60 minutes à une vitesse moyenne et à une température de 25°C.
- ❖ **Effets de masse** : On ajoute le sable à différentes masses (0,006g, 0,008g, 0,012g, 0,025g, 0,05g, 0,075g, 0,1g) à 5ml d'une solution de plomb de concentration  $10^{-5}$  mol/l et agitions à vitesse moyenne pendant 60 minutes à une température de 25°C.

## Partie II Expérimentale

---

- ❖ **Effets de température** : Nous ajoutons 0.025g de sable à 5 ml d'une solution plomb de concentration  $10^{-5}$  mol/l, et on agite pendant 60 minutes à vitesse moyenne avec un changement de température ( $25^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $55^{\circ}$ ,  $65^{\circ}\text{C}$ ).
- ❖ **Effets de pH** : lors de cette étape, on change le pH (2,3,4,6,7,9,11) en utilisant les solutions de NaOH(0,1N) et HCl(0,1N), et on fixe la masse 0.025g, la température à  $25^{\circ}\text{C}$ , la concentration  $10^{-5}$  mol/L, une vitesse d'agitation moyenne et le temps de contact à 60 min.

### II.6.2.2. Méthode d'adsorption du colorant BM :

- ❖ **Effet de nombres d'agitation** : nous ajoutons 0,025 g de sable à 5 ml d'une solution BM à concentration 5 mg/l, et on agite à différents vitesses (faible, moyenne et fort).
- ❖ **Effet de temps** : Nous ajoutons 0.025g de sable à 5 ml d'une solution BM de concentration 5mg/l avec un changement de temps de contact (5min, 15min, 30min, 60min, 120min, 240min) à une température ambiante, et agitions à vitesse moyenne.
- ❖ **Effets de masse** : On ajoute différentes masses de sable (0,006g, 0,008 g, 0,012 g, 0,025 g, 0,05g, 0,1g) à 5 ml d'une solution BM de concentration 5mg/let agitions à vitesse moyenne pendant 60 minutes à une température de  $25^{\circ}\text{C}$ .
- ❖ **Effets de concentration** : Nous ajoutons 0.025g du sable à 5 ml d'une solution BM à une concentration différente (1mg/L, 2mg/L, 3mg/L, 4mg/L, 5mg/L, 6mg/L, 7mg/L, 8mg/L, 9mg/L) et on agite pendant 60 minutes à vitesse moyenne et à une température de  $25^{\circ}\text{C}$ .
- ❖ **Effets de température** : Nous ajoutons 0.025g de sable à 5 ml d'une solution BM de concentration 5mg/L, et on agite pendant 60 minutes à vitesse moyenne avec un changement de température ( $25^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $55^{\circ}$ ,  $65^{\circ}\text{C}$ ).
- ❖ **Effets de pH** : dans cette étape on change le pH et on fixe la masse 0.025g et la température à  $25^{\circ}\text{C}$ , la concentration de solution BM à 4 mg/L, une vitesse d'agitation moyenne et le temps contact à 60 min.

### II.6.3. Calcul du rendements (R%) et quantités adsorbées :

La loi utilisée pour calculer le rendement est :

$$R\% = \frac{(C_0 - C_{eq})}{C_0} \times 100$$

## Partie II Expérimentale

---

La loi utilisée pour calculer la quantité est :

$$Q_t = (C_0 - C_{eq}) \times \frac{V}{m}$$

### II.7. Résultats et discussion :

#### II.7.1. Méthode de titrage des micropolluants utilisés :

On a préparé la solution du plomb ( $10^{-5}$  mol/L) en utilisant des solutions aqueuses d'acétate de plomb trihydraté ( $C_4H_6O_4Pb \cdot 3H_2O$ ) auquel on ajoute 1 ml de solution tampon 10, et 1 ml d'Arsénazo (III) de même concentration que celle du plomb, et le colorant Bleu de méthylène de concentration 5mg/L, Les absorbances seront consignées à un maximum de  $\lambda_{max}$ .

- $\lambda_{max} = 664$  nm pour le BM

#### Détermination de $\lambda_{max}$ de solution du plomb:

La concentration  $10^{-3}$  mol/L a été choisie pour déterminer la longueur d'onde maximal du colorant.

L'extrapolation des résultats nous donne une bande d'absorption à 356 nm. Cette dernière est celle de  $\lambda_{max}$  pour laquelle l'absorbance est maximale.

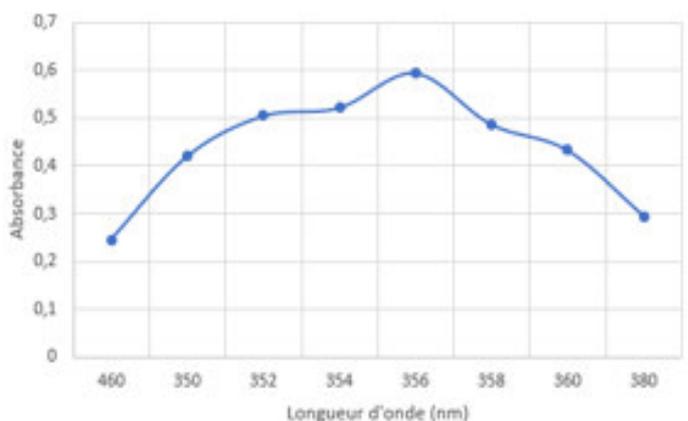
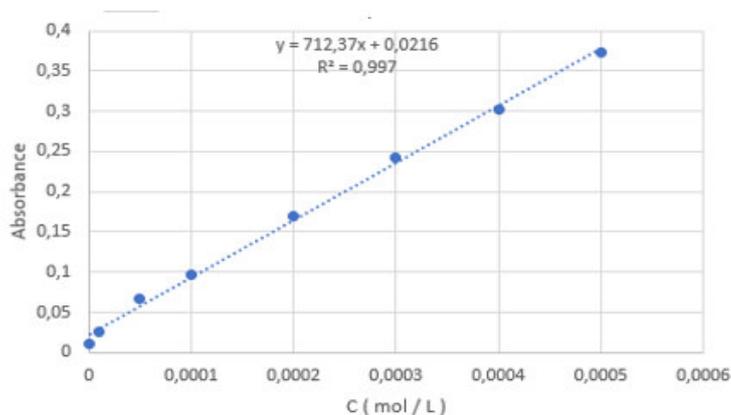


Figure II. 7: Détermination de  $\lambda_{max}$  du plomb.

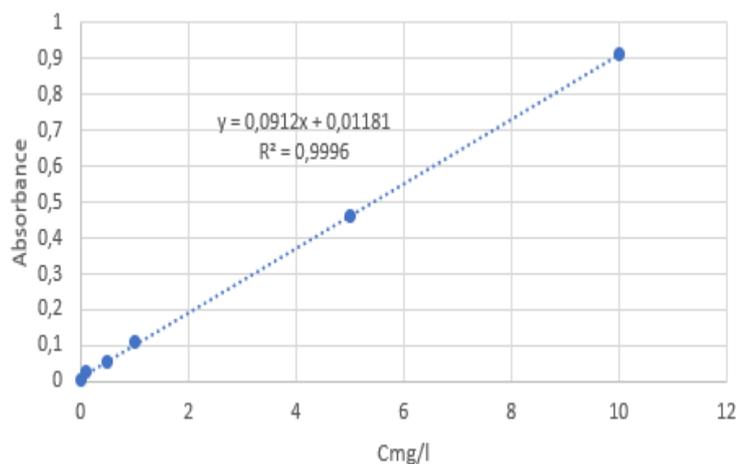
### II.7.2. Courbes d'étalonnages :

Pour déterminer la concentration optimale des polluants utilisés dans cette étude, nous avons dosé avec précision différentes concentrations connues de métal ( $\text{Pb}^{\text{II}}$ ) et de colorant BM la courbe d'étalonnage générée permet de déterminer la concentration de polluant, en spectroscopie UV/visible.



**Figure II. 8: Courbe d'étalonnage de plomb dans l'acétate de plomb trihydraté**

Le graphe ci-dessus est linéaire sur l'intervalle de concentration choisi, donc la loi de Beer Lambert ( $A = \xi l c$ ) est vérifiée. Une concentration en  $\text{Pb}^{2+}$ , est prise égale à  $10^{-5}$  mol/L appartenant à la droite.



**Figure II. 9: Courbe d'étalonnage de Bleu de méthylène.**

## Partie II Expérimentale

La linéarité du graphique ci-dessus confirme que la loi de Beer-Lambert est vérifiée donc, le choix de la concentration 5mg/L, en bleu de méthylène, appartenant à la droite.

### II.7.3. Etude cinétique de l'adsorption du plomb :

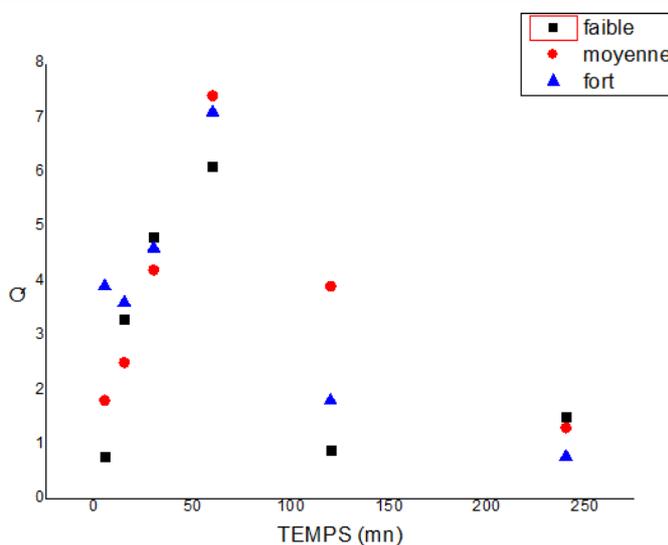
#### II.7.3.1. Effet du temps de contact et le nombre d'agitation:

On a effectué une étude sur l'impact du temps d'agitation pour évaluer les quantités de plomb adsorbées par le SB afin d'atteindre l'équilibre d'adsorption.

Les résultats obtenus sont représentés dans le **tableau II.4** suivant et la **figure II.10** :

**Tableau II. 4: Résultats cinétique de la rétention du plomb à différents temps à pH=8,7**

$C_i$ (mol/L)	$10^{-5}$					
m (g)	0,025					
Vitesse d'agitation	Moyenne					
Temp (min)	5	15	30	60	120	240
Q (mg/g)	0,18	0,25	0,42	0,74	0,39	0,13
R (%)	24,2	34,41	56,6	98,6	61	17,5



**Figure II. 10: Effet de temps d'agitation du plomb.**

Les courbes indiquent que le taux d'adsorption maximal est atteint à 60 minutes, avec un rendement de 98,6% et une capacité d'adsorption de 0.74 mg/g.

## Partie II Expérimentale

### II.7.3.2. Effet de la masse d'adsorbant:

Tableau II. 5: Effet de la masse de sable sur l'adsorption du plomb

$C_i$ (mol/L)	$10^{-5}$						
Temp (min)	60						
Vitesse	Moyenne						
m (g)	0,006	0,008	0,012	0,025	0,05	0,075	0,1
$Q_t$ (mg/g)	0,32	0,57	0,604	0,74	0,166	0,168	0,09
R %	10,16	24,2	38,24	98,6	43,85	66,4	52,3

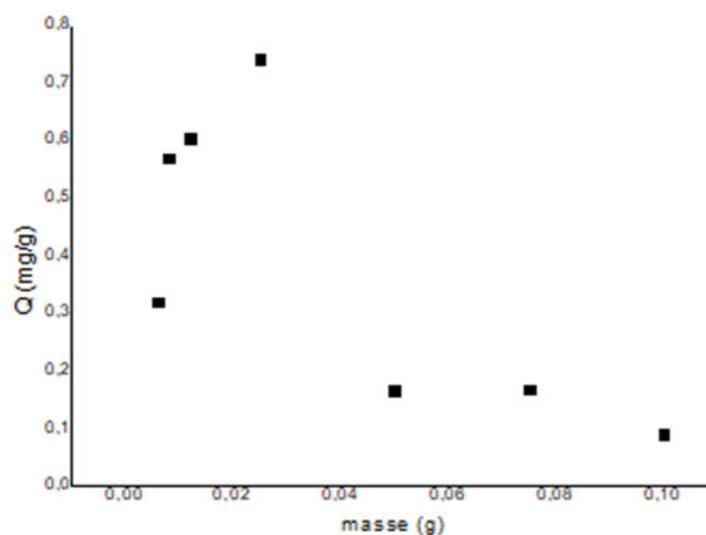


Figure II. 11: Effet de la masse de sable sur l'adsorption du plomb

Selon le graphe de  $Q=f$  (masse des adsorbants), il est observé une augmentation significative de la quantité adsorbée (0,74mg/g), suivie d'une diminution. Ainsi, il est possible de conclure que le choix de SB de masse élevée pour le  $Pb^{+2}$  est défavorable.

## Partie II Expérimentale

### II.7.3.3. Effet de la concentration de la solution:

Tableau II. 6: Effet de la concentration du  $Pb^{+2}$  dans le  $C_4 H_6 O_4 Pb, 3H_2O$  sur l'adsorbant

<b>m (g)</b>	<b>0,025</b>								
<b>Temp (min)</b>	<b>60</b>								
<b>Vitesse</b>	<b>Moyenne</b>								
<b><math>C_i</math> (mol/L)</b>	$10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{-5}$	$4 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$	$6 \times 10^{-5}$	$7 \times 10^{-5}$	$8 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-5}$
<b>Qt (mg/g)</b>	0,73	0,622	0,477	0,546	0,455	0,356	0,318	0,333	0,333
<b>R %</b>	98,5	41,05	21	18	12	7,83	6	5	4,89

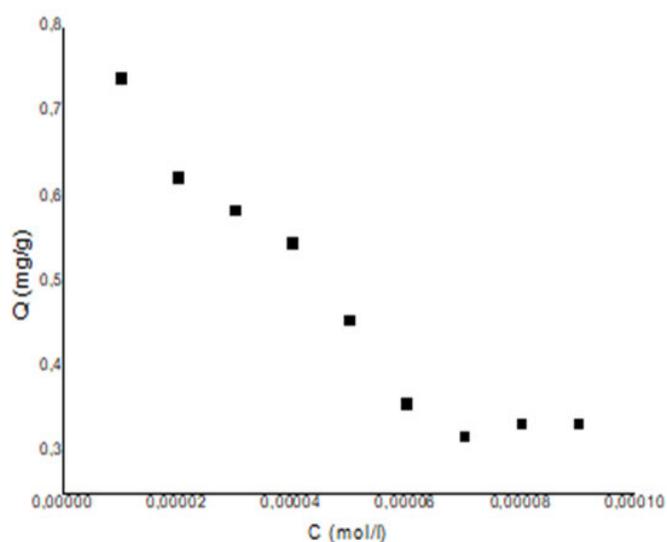


Figure II. 12 : Effet de la concentration sur la quantité de plomb adsorbée par SB

Nous constatons que l'allure de la figure en haut nous montre une diminution de la quantité adsorbée par rapport à l'augmentation de la concentration de solution de  $Pb^{+2}$  et la quantité maximale est de 0,73 mg/g avec un rendement de 98,5%.

### II.7.3.4. Effet de la température :

Tableau II. 7: Résultats cinétique de rétention du plomb à différentes températures

m (g)	0,025				
Temp (min)	60				
Vitesse	Moyenne				
Ci (mol/L)	$10^{-5}$				
Température (°C)	25	35	45	55	65
Qt (mg/g)	0,74	0,716	0,609	0,183	0,077
R %	98,4	94,39	80,4	24,2	10,2

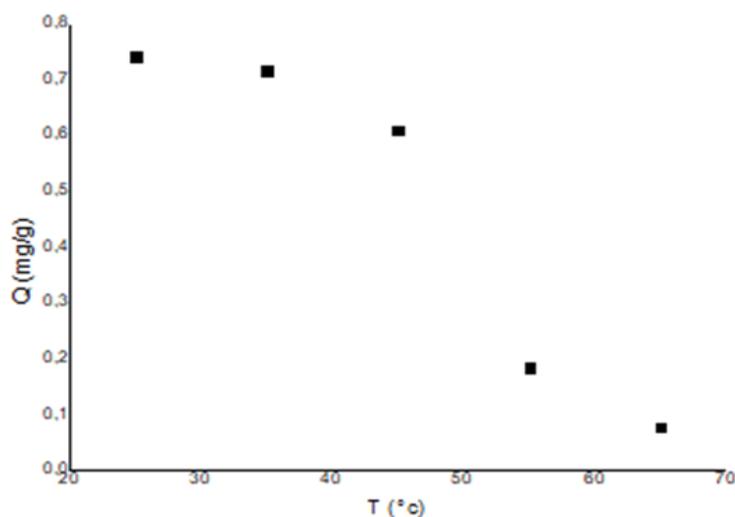


Figure II. 13: Effet de la Températures de la solution sur la quantité de plomb adsorbée

L'expérience précédente révèle une diminution significative de la quantité adsorbée avec l'augmentation de la température, avec un rendement satisfaisant de 98,4% à 25 °C. On peut donc conclure que ce procédé d'adsorption favorise une température standard qui est de 25°C, donc c'est un procédé économique pour le traitement des solutions de métal lourd  $Pb^{+2}$ .

## Partie II Expérimentale

---

### II.7.3.5. Effet du pH de la solution:

Tableau II. 8: Résultats cinétique de rétention du plomb à différents pH

<b>m (g)</b>	<b>0,025</b>					
<b>Temp (min)</b>	<b>60</b>					
<b>Vitesse</b>	<b>Moyenne</b>					
<b>C<sub>i</sub> (mol/L)</b>	<b>10<sup>-5</sup></b>					
<b>PH</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>11</b>
<b>Qt (mg/g)</b>	<b>0,64</b>	<b>0,503</b>	<b>0,077</b>	<b>0,75</b>	<b>0,609</b>	<b>0,68</b>
<b>R %</b>	<b>84,55</b>	<b>66,31</b>	<b>10,16</b>	<b>98,59</b>	<b>80,34</b>	<b>90,17</b>

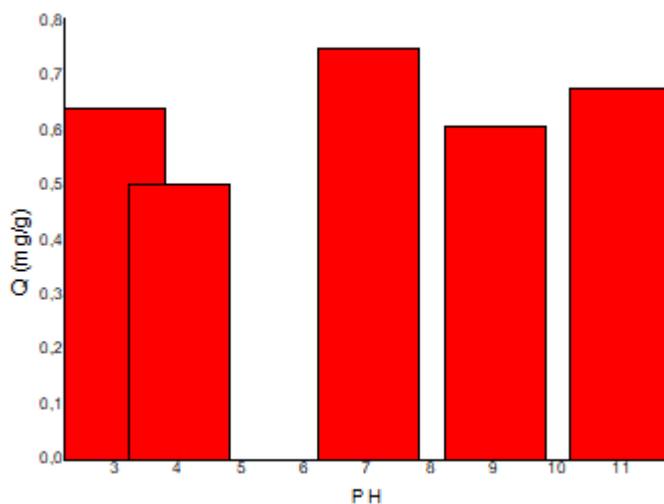


Figure II. 14: Effet de pH de la solution sur la quantité de plomb adsorbé par le SB.

L'allure de la courbe ci-dessus confirme que la quantité adsorbée maximale est de 0,75 mg/g à un pH de 7, donc notre expérience est favorable dans un milieu neutre.

## Partie II Expérimentale

### II.7.4. Etude cinétique de l'adsorption du BM :

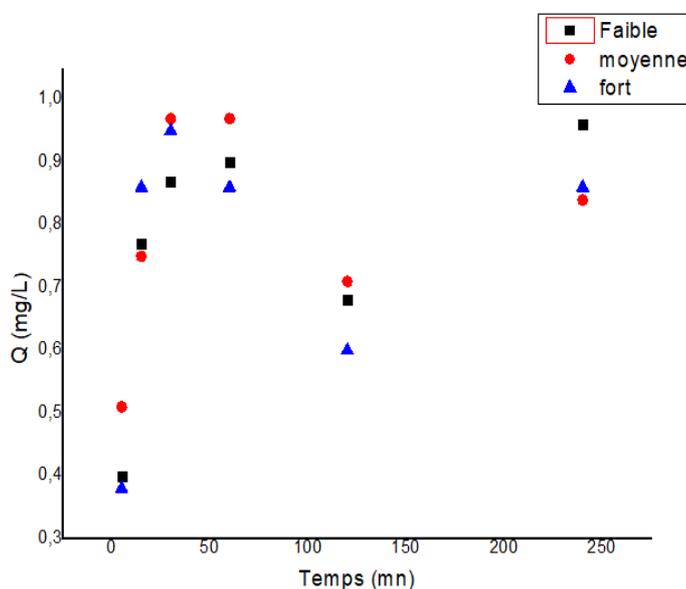
#### II.7.4.1. Effet du temps de contact et le nombre d'agitation :

L'étude de l'influence du temps d'agitation a été réalisée afin de déterminer les quantités du BM adsorbé par le SB pour atteindre d'équilibre d'adsorption.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau II.9 suivants et la figure II.15 :

**Tableau II. 9: Résultats cinétique de la rétention du BM à différents temps**

$C_i$ (mg/L)	5					
m (g)	0,025					
Vitesse d'agitation	Moyenne					
Temp (min)	5	15	30	60	120	240
Q (mg/g)	0,51	0,75	0,96	0,97	0,71	0,84
R (%)	51,4	75,4	96,94	96,96	71,6	84,6



**Figure II. 15 : Effet de temps d'agitation du BM par le SB.**

Selon le tableau et la courbe du graphique, il est possible de conclure que le moment optimal pour effectuer un mouvement avec un rendement maximum de 96,96% est de 60 minutes.

## Partie II Expérimentale

### II.7.4.2. Effet de la masse d'adsorbant :

Tableau II. 10: Effet de la masse de sable sur l'adsorption du BM

$C_i$ (mg/L)	5						
Temp (min)	60						
Vitesse	Moyenne						
m (g)	0,006	0,008	0,012	0,025	0,05	0,075	0,1
Qt(mg/)	2,05	1,78	1,50	0,96	0,38	0,31	0,19
R %	54	57	72,2	96,90	77,8	95,8	79,2

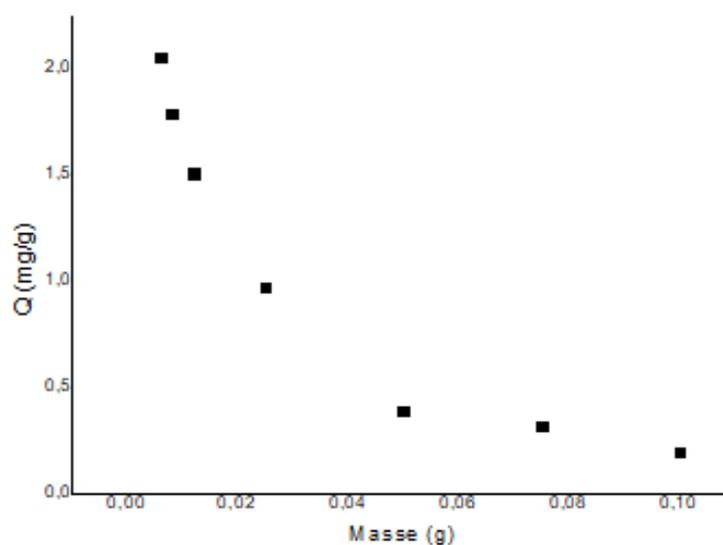


Figure II. 16: Effet de la masse de sable sur l'adsorption du BM

D'après la figure ci-dessus, la courbe de la cinétique de rétention du BM sur le SB a montré que la quantité retenue par notre matériau atteint 96,90% pour une masse de 0,96 mg, et diminue par l'augmentation de la masse. Donc le choix de SB de masse élevée pour le BM est défavorable.

## Partie II Expérimentale

### II.7.4.3. Effet de la concentration de la solution :

Tableau II. 11: Effet de la concentration du BM sur l'adsorbant

<b>m (g)</b>	<b>0,025</b>								
<b>Temp (min)</b>	<b>60</b>								
<b>Vitesse</b>	<b>Moyenne</b>								
<b>C<sub>i</sub> (mg/L)</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>Qt(mg/)</b>	<b>0,185</b>	<b>0,367</b>	<b>0,554</b>	<b>0,741</b>	<b>0,592</b>	<b>0,529</b>	<b>0,542</b>	<b>0,552</b>	<b>0,720</b>
<b>R %</b>	<b>92,5</b>	<b>91,85</b>	<b>92,36</b>	<b>92,62</b>	<b>59,24</b>	<b>44,10</b>	<b>38,71</b>	<b>34,00</b>	<b>41,44</b>

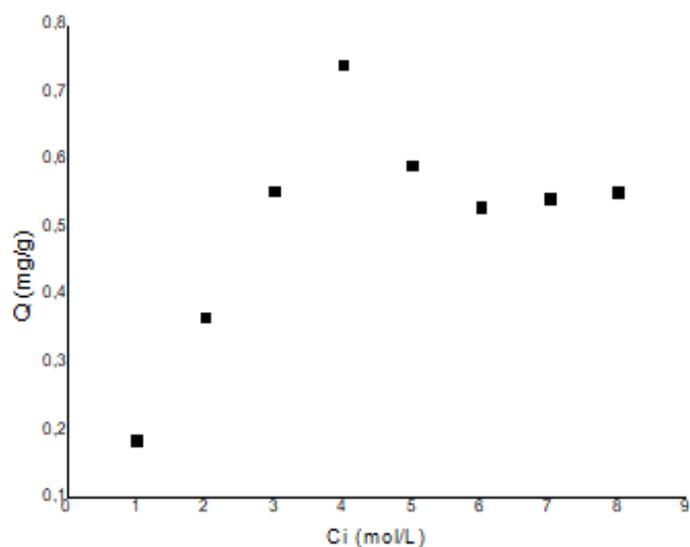


Figure II. 17: Effet de la concentration du BM sur l'adsorbant

D'après la figure précédente, nous remarquons une élévation de la quantité adsorbée, qui atteint un maximum de concentration de 4mg et un rendement de 92,62%, suivie d'une diminution qui signifie que l'augmentation de la concentration pour le BM est défavorable.

## Partie II Expérimentale

### II.7.4.4. Effet de la température :

Tableau II. 12: Résultats cinétique de rétention du BM à différentes Températures

m (g)	0,025				
Temp (min)	60				
Vitesse	Moyenne				
Ci (mg/L)	4				
Température(°C)	25	35	45	55	65
Qt (mg/g)	0,88	0,90	0,94	0,948	0,95
R %	88,2	90	94	94,8	95

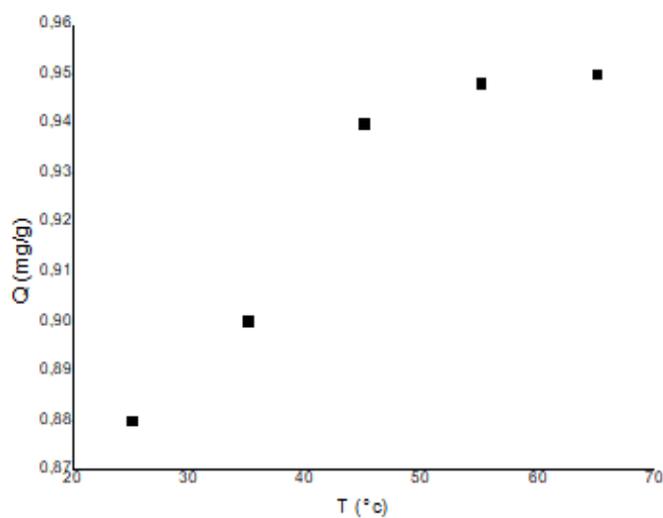


Figure II. 18: Effet de la Températures de la solution sur l'adsorption de BM par SB.

Comme le montre la figure, plus la température augmente plus la quantité de BM sorbée est augmentée.

### II.7.4.5. Effet du pH de la solution :

Tableau II. 13: Résultats cinétique de rétention du BM à différents pH

m (g)	0,025						
Temp (min)	60						
Vitesse	Moyenne						
Ci(mgL)	4						
pH	2	3,1	4	6	7	9	10,9
Qt(mg/)	0,550	0,624	0,719	0,613	0,386	0,177	0,160
R %	69,35	78,00	89,9	76,72	48,22	22,2	20

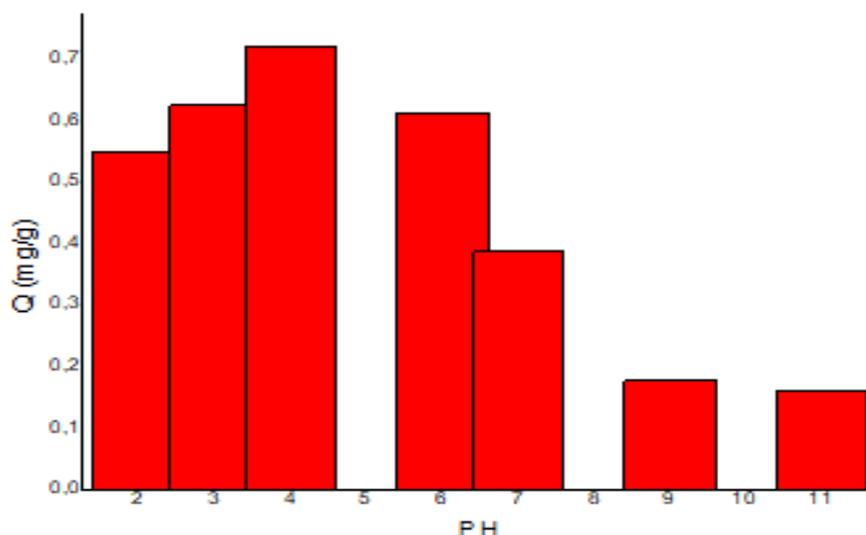


Figure II. 19: Effet de pH de la solution sur l'adsorption du BM par le SB.

On remarque que la quantité adsorbée augmente jusqu'à atteindre le maximum d'un rendement élevé de 89,9 % à un pH=4, donc notre expérience est favorable dans un milieu moyennement acide.

### II.7.5. Modélisation d'isotherme d'adsorption :

#### II.7.5.1. Isothermes d'adsorptions :

Les isothermes d'adsorption sont obtenues par la représentation graphique de  $Q_e = f(C_e)$ ; où  $Q_e$  et  $C_e$ , sont respectivement, la quantité adsorbée (adsorbé) par gramme d'adsorbant et la concentration à l'équilibre l'adsorbé.

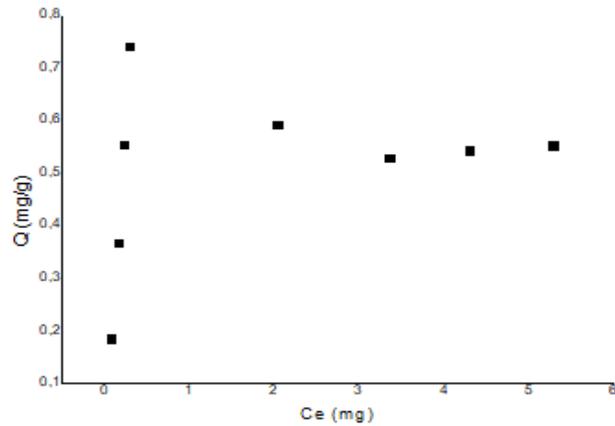


Figure II. 20: Isotherme de sorption de BM. Type L

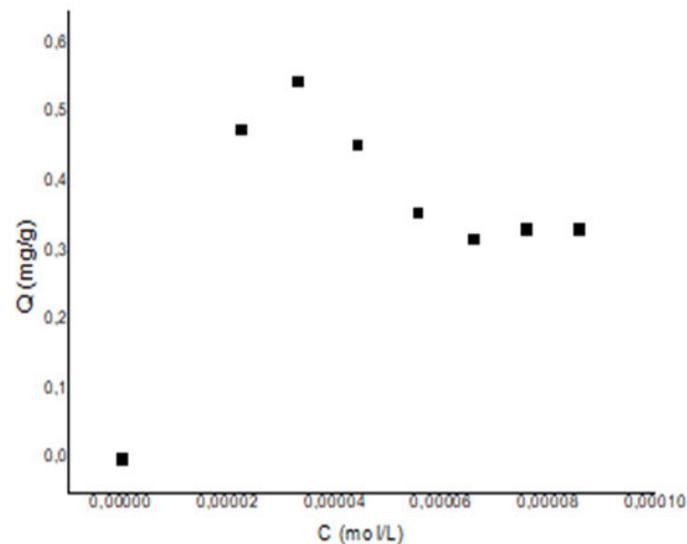


Figure II. 21: Isotherme de sorption de plomb, type L

D'après la figure. II.20, figure. II.21, on conclut que les deux isothermes sont de type L.

## Partie II Expérimentale

### II.7.5.2. Modélisation d'isotherme d'adsorption :

Cette partie traite les représentations des équilibres des isothermes d'adsorption les plus couramment employées sont celle de Langmuir et de Freundlich. Le but de cette modélisation est de décrire avec précision les résultats expérimentaux des isothermes d'adsorption du métal  $Pb^{+2}$  et du colorant par le SB.

On utilise deux modèles très utilisés dans la littérature : **Langmuir** et **Freundlich**, pour décrire les données d'équilibres de sorption ainsi obtenues. Leurs équations sont comme suit :

Equation de **Langmuir**

$$Q_e = \frac{a C_e Q_m}{1 + a C_e}$$

Equation de **Freundlich** :

$$Q_e = K C_e^n$$

Pour utiliser ces deux dernières équations, on recourt à leur forme linéarisée respective :

$$\frac{1}{Q_e} = f\left(\frac{1}{C_e}\right) \quad \text{ou} \quad \frac{C_e}{Q_e} = f(C_e) \quad \text{et} \quad \ln Q_e = f(\ln C_e)$$

dont les constantes **K** sont déterminées à partir de leur pente et leur ordonnées à l'origine.

#### II.7.5.2.a. Modèle de Langmuir :

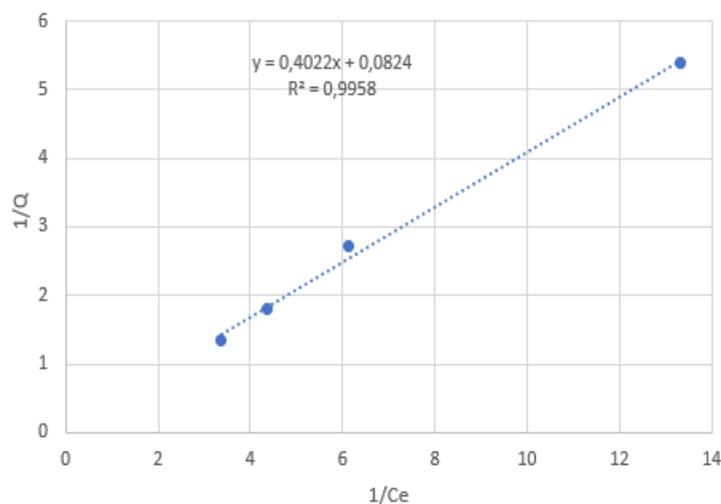


Figure II. 22: Transformées linéaire des isothermes de Langmuir de BM

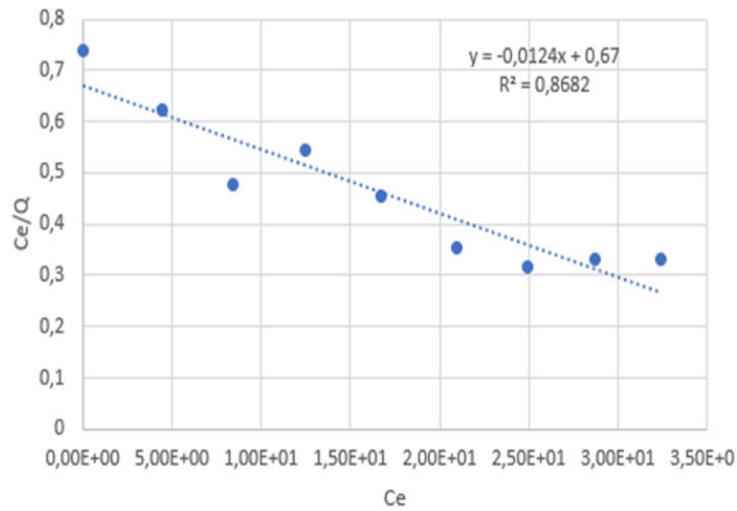


Figure II. 23: Transformées linéaire des isothermes de Langmuir de plomb.

II.7.5.2.b. Modèle de Freundlich :

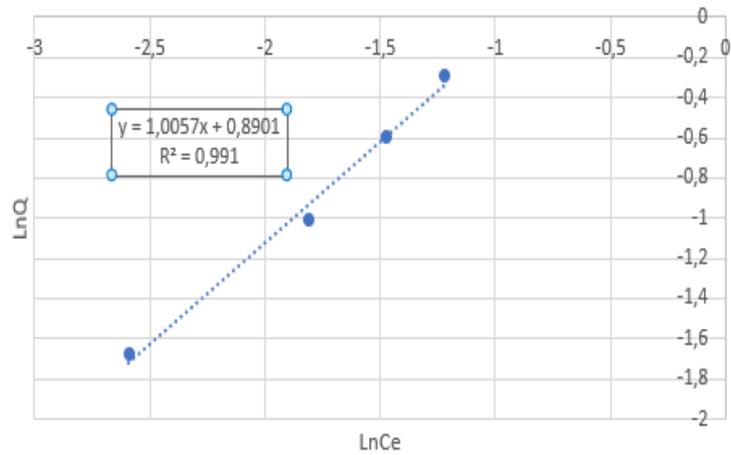


Figure II. 24: Transformées linéaire des isothermes de Freundlich de BM.

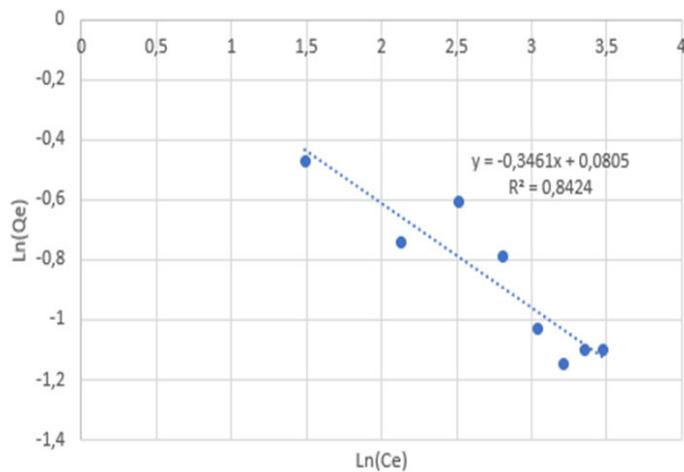


Figure II. 25: Transformées linéaire des isothermes de Freundlich de plomb.

## Partie II Expérimentale

Tableau II. 14: Constantes de Freundlich et Langmuir

/	Langmuir			Freundlich		
	$q_m$ (mg/g)	$K_1$ (L/g)	$R^2$	N	$K_f$ (L/g)	$R^2$
BM	12,13	0,204	0,995	0,99	2,435	0,991
Pb <sup>+2</sup>	80,64	0,0186	0,8682	-2,89	1,088	0,8424

En comparant les coefficients de corrélation des deux modèles, il ressort que le modèle de Langmuir est plus approprié pour décrire les données d'équilibre de sorption par rapport à celui de Freundlich.

### II.7.6. Etude cinétique de l'adsorption :

Afin de déterminer le modèle cinétique de la rétention des Pb<sup>+2</sup> et colorant bleu méthylène étudiée pour SB pour concentration  $10^{-5}$  mol/l, 5mg/l, deux modèles cinétiques les plus courants ont été examinés pour les données expérimentales obtenues : pseudo premier ordre, deuxième ordre.

#### II.7.6.1. Premier Pseudoordre:

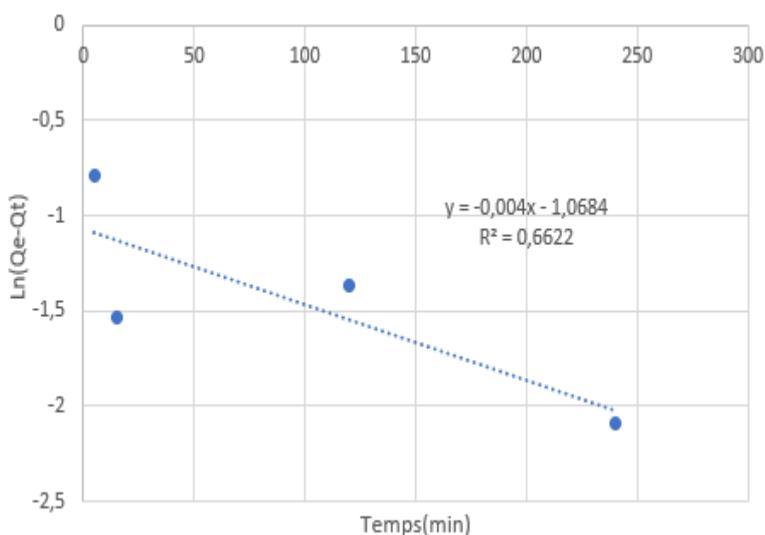


Figure II. 26: La cinétique du Premier pseudo ordre du BM.

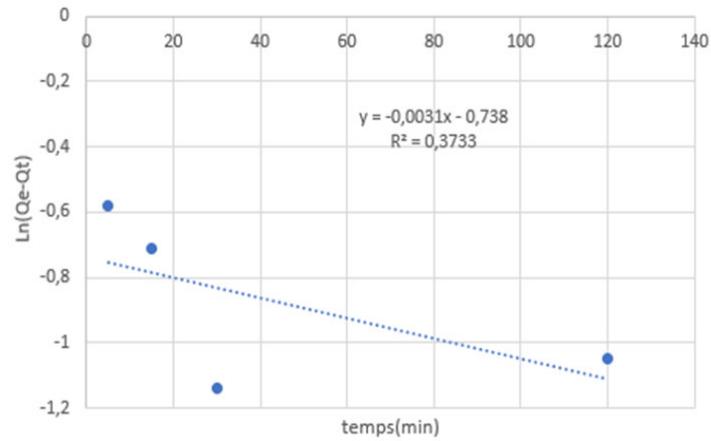


Figure II. 27: La cinétique du Premier pseudo ordre du plomb.

### II .7.6.2. Second pseudo ordre :

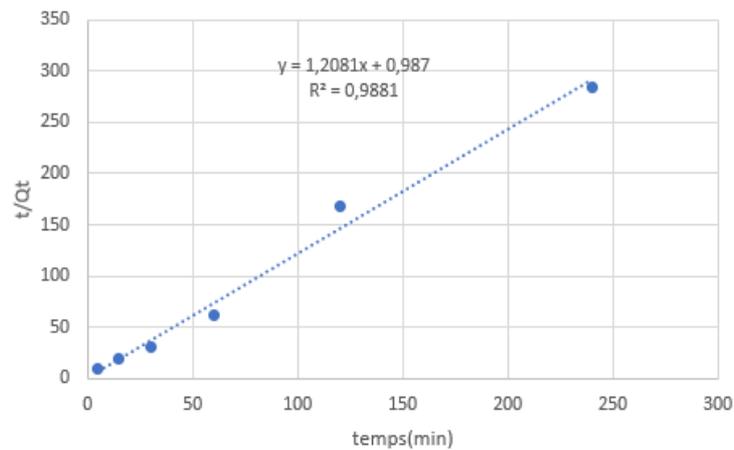


Figure II. 28: La cinétique du second pseudo ordre du BM

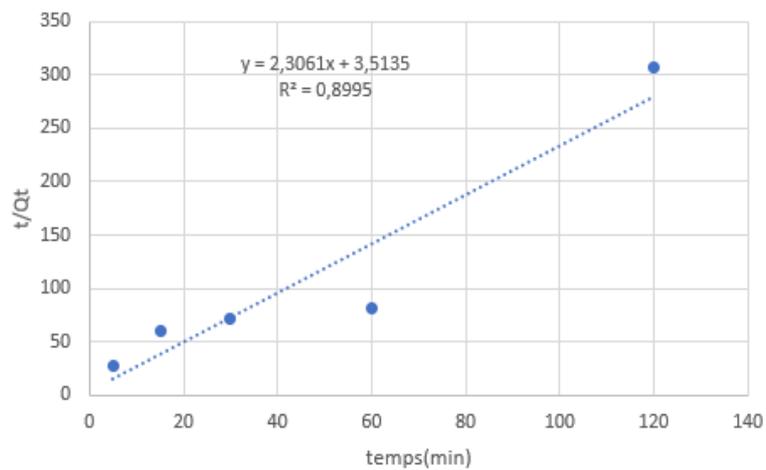


Figure II. 29: La cinétique du second pseudo ordre du plomb

Tableau II. 15: Valeur des paramètres cinétique du premier et second pseudo ordre.

/	Premier pseudo ordre			Second pseudo ordre		
	Q <sub>e</sub> (mg/g)	K	R <sup>2</sup>	Q <sub>e</sub> (mg/g)	K	R <sup>2</sup>
BM	0,34	0,0092	0,6622	0,82	0,68	0,9881
Pb <sup>+2</sup>	0,48	0,0071	0,3733	0,43	0,052	0,8995

Les valeurs des coefficients de corrélation présentées sur le tableau ci-dessus indiquant que les réactions d'adsorption sont mieux décrites par l'équation du second ordre puisqu'elles sont plus proches de l'unité. De nombreuses études ont rapporté que l'équation du premier ordre de Lagergren ne convient pas bien aux premières étapes des procédés d'adsorption. Le processus cinétique du premier ordre a été utilisé pour les réactions réversibles quand l'équilibre s'établit entre la phase liquide et la phase solide. Dans de nombreux cas, c'est l'équation du second ordre qui est bien corrélée aux études d'adsorption. (7)

### II.7.7. Etude thermodynamique :

La température est un paramètre souvent étudié dans la littérature qui peut affecter pour le processus d'adsorption. Par conséquent, les paramètres thermodynamiques tels que l'enthalpie libre standard  $\Delta G^\circ$ , l'enthalpie standard  $\Delta H^\circ$  et l'entropie standard  $\Delta S^\circ$  ont été déterminés en utilisant les équations suivantes :

$$\Delta G^\circ = - RT \ln K_c$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ$$

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT}$$

$$K_c = \frac{C_0 - C_e}{C_0}$$

Le tracé des droites  $\ln(K_c) = f(1/T)$  permet d'obtenir les valeurs de  $\Delta H^\circ$  (Pente de la droite), et de  $\Delta S^\circ$  (ordonnée à l'origine)

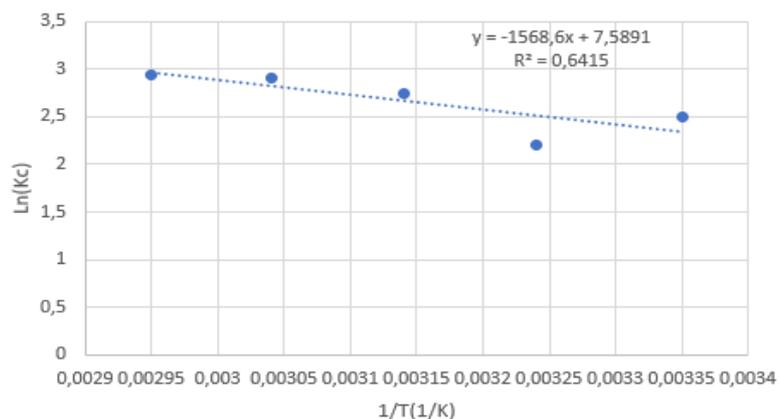


Figure II. 30 : LnKc en fonction de l'inverse de la température du BM dans SB.

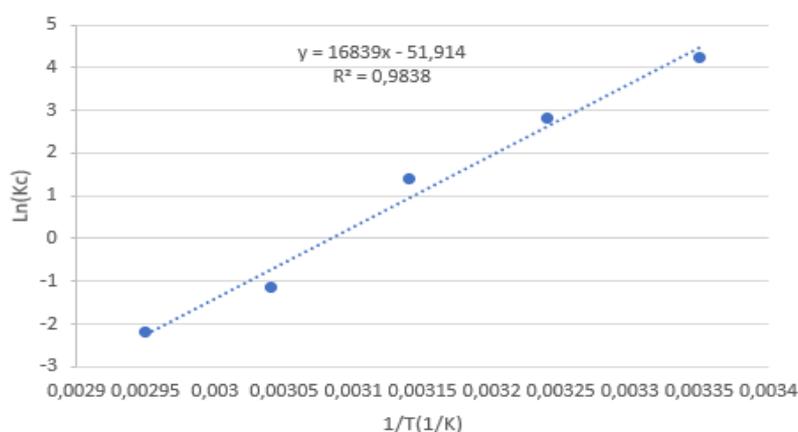


Figure II. 31: LnKc en fonction de l'inverse de la température du plomb dans SB.

Tableau II. 16: Paramètres thermodynamiques.

/	$\Delta H^\circ$ (Kj/mol)	$\Delta S^\circ$ (Kj/mol)	$\Delta G^\circ$ (Kj/mol)				
T(K)	/	/	298,15	308,15	318,15	328,15	338,15
BM	13,041	0,063	-5,74	-6,37	-7,002	-7,63	-8,26
Pb <sup>+2</sup>	-139,99	-0,431	-11,49	-7,17	-2,86	1,44	5,75

On observe que la valeur de l'enthalpie standard  $\Delta H^\circ$  de plomb est négatives ce qui confirme que le processus d'adsorption du plomb par le SB est exothermique. Alors que les valeurs d'enthalpie standard  $\Delta H^\circ$  pour le BM est positives, Le processus est donc endothermique.

Les valeurs de l'enthalpie libre  $\Delta G^\circ$  sont négatives pour tous, cela nous permet de conclure que le processus d'adsorption du BM et du  $\text{Pb}^{+2}$  est spontané sauf à température très élevée pour le plomb.

On remarque aussi que les valeurs de  $\Delta G^\circ$  augmentent légèrement avec la température pour plomb ce qui reflète l'effet négatif de la température sur l'adsorption du plomb.

## Partie II Expérimentale

---

### Référence Bibliographique :

(1) **BADR-EDDINE, KHADRI, EL FARRICHA, PROMAR, KHABBAL, PRYOUSSEF, et al.** Validation analytique du dosage de la rifampicine par spectrophotomètre uv-visible. Mémoire licence(2014-2015)

(2) **IBTISSEM, GUENNOUN.** Dosage d'un principe actif dans un médicament par techniques chromatographique (hplc) et spectroscopique (uv-visible). thèse de doctorat. 13-03-2018.

(3) **SALAH, HAMRI.** Etude thermophysique la diffusion de molécules de bas poids moléculaire dans des réseaux de polymères ACYLIQUES. Tèse docteur en sciences physique universiteaboubekrbelkaid de tlemcen, (2014)

(4) **IKRAM KERROUM.** valorisation d'un déchet agricole (palmiers) pour la dépollution des effluents aqueux. Mémoire de mastér, (2022,2023)

(5) **DOUAFER AMINA.DJIDEL SARRA.**Elaboration et caractérisation d'un nanobiocomposite à base de *plae* et de silice pyrogénée. Mémoire de master. (Juillet 2019)

(6) **THIRION-MERLE, VALÉRIE V.** spectrométrie de fluorescence x. circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes, (2014)

(7) **YASSINE BENTAHAR,** caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse, thèse doctorat, (2016)

# **Partie III**

**Activité biologique**

### III. Activités antibactériennes :

#### III.1. Introduction

L'eau, ressource naturelle indispensable à la vie, est aussi devenue, de manière directe ou induite, la première cause de maladies et de mortalité au monde.

Selon l'OMS plus de 80% des maladies qui sévissent à la surface de la terre sont d'origine hydrique, ou liées au milieu aquatique. A ce titre l'eau constitue l'une de préoccupation majeure de l'hygiène publique.

#### III.2. Définition des bactéries :

Les bactéries typiques sont des organismes unicellulaires procaryotes, Elles n'ont pas de noyau et leur génome est le plus petit des cellules vivantes. La taille d'une bactérie varie entre 1 à 10  $\mu\text{m}$ . Le poids d'une bactérie est d'environ 10-12 g. Elle Contient 70% d'eau. Rapporté au poids sec, une bactérie est constituée de protéines (55%), de lipides (10%), de lipopolysaccharides (3%), de peptidoglycane (3%), de ribosomes (40%), d'ARN (20%) et d'ADN (3%)(1)

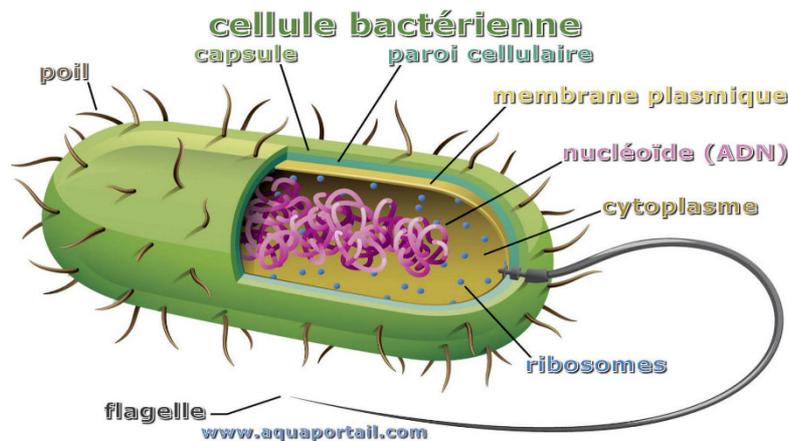


Figure III. 1: Cellule bactérienne

#### III.3. Critères de classification des bactéries :

- morphologie microscopique : Cocci (coques), bacilles (bâtonnets) , diplocoques (groupés en deux), en chaînette, en amas... ;
- morphologie macroscopique : taille – forme – couleur des colonies sur culture ;
- résultat de la coloration de Gram : Gram positif ou Gram négatif ;
- température de croissance ;

## Partie III Activité biologique

---

- besoins respiratoires : aérobie, anaérobie strict, aéro-anaérobie facultatif, micro aérophile;
- mobilité ;
- présence de spores ;
- besoins nutritionnels : nécessité de substances particulières. (2)

### III.3. Types de bactéries :

Pour connaître les différents types de bactéries qui existent, il faut absolument recourir aux classifications taxonomiques que la science de la microbiologie a réalisées au cours de l'étude longue et détaillée des bactéries. Ainsi, à l'heure actuelle, il est possible de différencier les différents types de bactéries en fonction de la structure morphologique et de la rigidité de leur paroi cellulaire, ce qui nous permet de distinguer les trois principaux types de bactéries suivants :

- ❖ Cocci (forme sphérique ou ovale).
- ❖ Bacilles (cylindriques ou en forme de bâtonnets, droits ou courbes).
- ❖ Spirilles (forme de spirale).

#### III.3.1. Staphylococcus aureus :

Est le plus dangereux de tous les nombreux staphylocoques fréquemment rencontrés. Ces bactéries Gram positives de forme sphérique (coques ; voir le schéma ) provoquent souvent des infections cutanées, mais elles peuvent entraîner une pneumonie, des infections des valves cardiaques et des infections osseuses et elles peuvent être résistantes au traitement par certains antibiotiques.(3)

### III.4. Modes de transmission des bactéries par l'eau :

Les risques sanitaires liés à l'eau destinée à la consommation humaine peuvent survenir de manière :

- ✓ Directe : résultant de l'ingestion d'eau de boisson contaminée.
- ✓ Indirecte par :
  - Consommation d'aliments ou objets souillés par eau ou main sale. Oul'utilisation d'eau contaminée pour la préparation de denrées alimentaires ;
  - Lors de baignades dans des eaux contaminées ;

## **Partie III Activité biologique**

---

- Par inhalation de gouttelettes d'eau contaminée : aérosols, douches, stations thermales.(4)

### **III.5.Effet antibactérienne :**

Les agents antibactériens agissent sur les bactéries au niveau moléculaire en perturbant certaines de leurs fonctions essentielles. L'effet antibactérien d'un agent peut être bactériostatique ou bactéricide.

#### **III.5.1. Effet bactériostatique :**

Il s'agit d'une inhibition de la croissance bactérienne qui reprend dès que la substance disparaît.

#### **III.5.1 Effet bactéricide :**

C'est une action létale sur les bactéries provoquées par l'agent antibactérien. L'effet antibactérien varie en fonction de quatre facteurs :

- ✓ Le temps de contact agent bactérien-bactérie.
- ✓ La concertation de l'agent antibactérienne.
- ✓ Les conditions physico-chimiques (pH, Température...etc.).
- ✓ Le nombre et l'état de bactéries. (5)

### **III.6. Les méthodes utilisées dans l'activité antibactérienne :**

Trois méthodes sont fréquemment utilisées et citées dans la littérature : la dilution du principe actif en milieu solide ou « macrométhode en milieu gélosé » (considérée par beaucoup d'auteurs comme la méthode de « référence ») ; la diffusion du principe actif en milieu solide ou « méthode des disques » ; et la dilution du principe actif en milieu liquide, macro- ou micro-méthode en milieu liquide.

Quelle que soit la méthode considérée, plusieurs paramètres communs sont en général retrouvés :

- la taille de l'inoculum bactérien ( $5 \times 10^5$ - $5 \times 10^6$  Unité Formant Colonie par millilitre, UFC/mL) ;
- le milieu de culture à utiliser (milieu Mueller-Hinton bouillon ou agar) ;
- la température d'incubation ( $35^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ ) ;
- le temps d'incubation (entre 18 et 24h).(6)

## **Partie III Activité biologique**

---

### **III.6.1. Méthodes de diffusion sur milieu Mueller-Hinton bouillon ou agar :**

Cette méthode consiste à la diffusion des extraits de plante existant dans les disques ou dans les puits :

#### **III.6.1.1. Méthode des disques :**

Cette méthode a été développée en 1940. Elle a été largement utilisée pour l'analyse de l'activité antimicrobienne des extraits de plantes. Son principe est basé sur la diffusion de la substance à tester à partir d'un disque de papier Wattman N°1 préalablement déposé sur une gélose appropriée comme Mueller-Hinton ou gélose nutritive ensemencée en surface avec une culture pure de microorganismes. Après incubation, des zones d'inhibitions apparaissent autour des disques si la substance testée est active. (7)

#### **III.6.1.2. Méthode des puits**

Le principe de cette méthode consiste à mesurer après 24 heures d'incubation à 37 °C les zones d'inhibitions autour des puits de 6 mm de diamètre remplie d'une dilution d'agent antibactérien.

### **III.7. Activité biologique :**

#### **III.7.1. Introduction :**

La majorité des recherches se concentrent actuellement sur la recherche d'autres agents antibactériens qui ont un mode d'action très précis. Dans notre laboratoire, nous avons effectué des études sur le pouvoir antibactérien de SB avec la bactérie *Staphylococcus aureus*.

#### **III.7.2. Matériel et Méthodes**

La méthode de diffusion sur disque est une technique largement utilisée pour évaluer l'efficacité des agents antibactériens contre des bactéries spécifiques. Elle est couramment utilisée dans les laboratoires de microbiologie pour déterminer la sensibilité ou la résistance des bactéries aux antibiotiques.

##### **III.7.2.1. Matériels:**

- ✓ Boîtes de Pétri contenant un milieu gélose Mueller-Hinton.
- ✓ Disques imprégnés d'agents antibactériens à tester (SB brut, SB lavé, SB de BM, SB de Pb<sup>+2</sup> dans le TSE)
- ✓ Boucle inoculante ou coton-tige stérile.

## Partie III Activité biologique

---

- ✓ Culture bactérienne fraîche.
- ✓ Pincettes stériles.
- ✓ Incubateur à 37°C.

### III.7.2.2. Mode opératoire:

#### ➤ Préparation de la culture bactérienne :

Inoculer la culture bactérienne dans un bouillon de culture stérile et incubé à 37°C pendant 18-24 heures pour obtenir une culture fraîche.

#### ➤ Préparation de la suspension bactérienne :

Ajuster la densité de la culture bactérienne à celle d'une solution standard de 0,5 sur l'échelle de McFarland (environ  $1-2 \times 10^8$  UFC/mL).

#### ➤ Inoculation de la gélose :

Utiliser un coton-tige stérile trempé dans la suspension bactérienne pour ensemer uniformément la surface de la gélose Mueller-Hinton dans une boîte de Pétri. Passer le coton-tige en trois directions différentes pour assurer une couverture uniforme.

#### ➤ Application des disques :

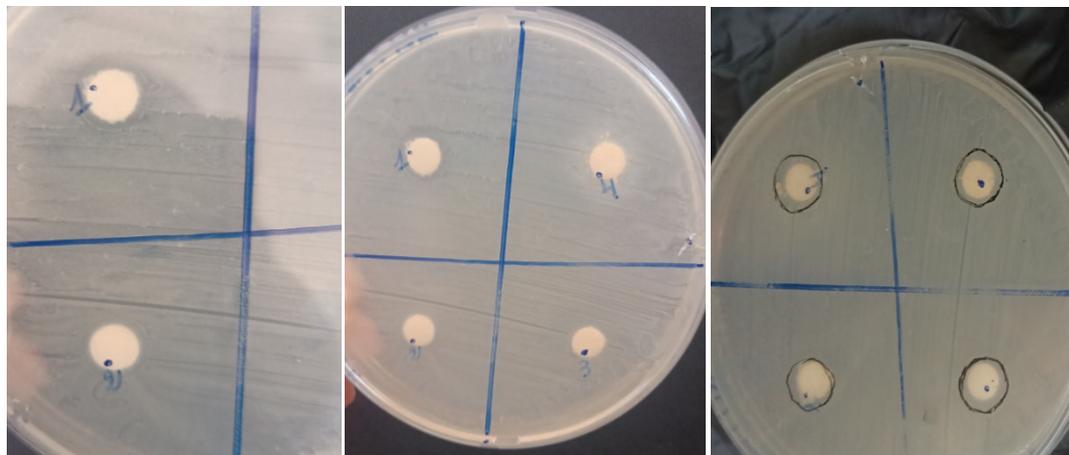
À l'aide de pincettes stériles, placer délicatement les disques imprégnés de différentes solutions de SB sur la surface de la géloseensemencée. Appuyer légèrement pour s'assurer que chaque disque adhère bien à la surface de la gélose.

Veiller à espacer suffisamment les disques pour éviter que les zones d'inhibition ne se chevauchent.

#### ➤ Incubation :

Incuber les boîtes de Pétri à l'envers (couvercle vers le bas) à 37°C pendant 18-24 heures.

➤ **Lecture des résultats :**



**Figure III. 2: Test de zone d'inhibition des solutions de SBs contre *Staphylococcus aureus*.**

Après incubation, on mesure les diamètres des zones d'inhibition (zones claires autour des disques où la croissance bactérienne a été inhibée) en millimètres à l'aide d'une règle ou d'un pied à coulisse.

- **Les résultats :** pour SB de BM, D=3mm (diamètre des zone)
- Pour SB lavée, D=3mm
  - Pour SB de  $Pb^{+2}$ , D=1,5mm
  - Pour SB brut résultats négatif + contamination
- **Interpretation :**

Les résultats sont interprétés en fonction des diamètres des zones d'inhibition. Des diamètres plus grands indiquent une plus grande sensibilité de la bactérie à l'agent antibactérien à tester, tandis que des diamètres plus petits ou inexistantes indiquent une résistance.

Nos résultats montrent des diamètres des zones d'inhibition plus petits en général, indiquent qu'il y a une résistance.

### **III.8. Conclusion :**

L'activité antibactérienne du SB limitée à être un inhibiteur de la propagation de *Staphylococcus aureus*.

## Partie III Activité biologique

---

### Référence bibliographique :

- (1). **AMER Abdelazize ET KERBOUCHE Kouider**, Etude de l'activité antibactérienne des matériaux à base de Chitosane, Mémoire de mastère, 2021,
- (2). Anonyme : [https://www.medg.fr/classification-des-bacteries/Guide pratique des bactéries pathogènes](https://www.medg.fr/classification-des-bacteries/Guide%20pratique%20des%20bacteries%20pathogenes) – SOMIPEV (Société Marocaine d'Infectiologie Pédiatrique et de Vaccinologie, actualisation 2017)
- (3). Anonyme : <https://www.msmanuals.com/fr/accueil/infections/infections-bact%C3%A9riennes-bact%C3%A9ries-gram-positives/infections-%C3%A0-staphylococcus-aureus>(2023)
- (4). Anonyme : <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- (5) **Richard Silverwood**, Développement D'un Film Antibactérien Ayant Des Propriétés De Glissement Pour Une Meilleure Processabilité, Mémoire Présenté En Vue De L'obtention Du Diplôme De Maîtrise Ès Sciences Appliquées (Génie Chimique Juillet 2012)
- (6). Anonyme : <https://www.cairn.info/revue-hegel-2015-2-page-109.htm>(2015)
- (7). Anonyme : <https://www.cairn.info/revue-hegel-2015-2-page-109.htm>

# **Conclusion Générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale :

En conclusion, cette étude a mis en évidence le potentiel considérable du sable en tant que matériau naturel pour l'élimination des micropolluants, présents dans des solutions aqueuses. Tout au long de notre recherche, nous avons démontré que le sable, grâce à ses propriétés physiques et chimiques uniques, peut servir de solution efficace et économique pour le traitement de l'eau. Les expériences réalisées ont montré que le sable est capable d'adsorber le colorant bleu de méthylène, le métal lourd le plomb, avec une efficacité significative en fonction de plusieurs paramètres tel que :

- Le temps d'équilibre pour les deux polluants, le plomb et le bleu de méthylène est 60 min avec un rendement de 98,6% et 96,96% respectivement.
- L'augmentation de la température améliore la capacité d'adsorption de colorants BM, donc elle a un effet sur le processus de rétention, or cette augmentation favorise la diffusion des molécules d'ions à travers les pores interne et la couche externe de l'adsorbant. Par contre, l'augmentation de la température a un effet inverse sur l'adsorption du plomb.
- Pour l'effet de la concentration sur la rétention par la résine SB on déduit que pour pouvoir réaliser ces expériences nous pouvons travailler dans le domaine de la concentration de  $10^{-5}$  mol/l pour le plomb et 4mg/l pour le BM.
- L'étude de l'effet du pH sur la rétention de BM par le SB a montré une nette amélioration de la capacité d'adsorption en milieu acide, et pour le plomb, la capacité d'adsorption est mieux dans un milieu neutre.
- D'après les courbes obtenues et représentées pour l'effet de masse sur la rétention des plomb et BM par la résine du sable on remarque que la quantité des polluants étudiés fixés à l'équilibre diminue avec l'augmentation de la masse de notre sorbant.
- Les isothermes d'adsorption établies ont montré que l'adsorption des deux polluants par SB est en parfaite corrélation avec le modèle de Langmuir.
- L'application du modèle cinétique montre que le processus d'adsorption de BM et de plomb, suit bien la cinétique de second pseudo ordre.
- On observe que la valeur de l'enthalpie standard  $\Delta H^\circ$  du plomb est négative ce qui confirme que le processus d'adsorption du plomb par le SB est exothermique. Alors que les valeurs d'enthalpie standard  $\Delta H^\circ$  pour le BM sont positives, le processus est donc endothermique et de type physique pour les deux polluants.

## Conclusion générale

---

- L'activité antibactérienne du SB limité à être un inhibiteur de la propagation de *Staphylococcus aureus*.

Les résultats obtenus confirment que le sable, en tant que matériau abondant et facilement accessible, offre plusieurs avantages pour les processus de filtration et d'adsorption. Ces avantages incluent son faible coût, sa durabilité et sa capacité à être régénéré pour une utilisation répétée. De plus, l'intégration du sable dans les systèmes de traitement de l'eau existants peut améliorer la qualité de l'eau traitée, tout en minimisant les impacts environnementaux associés à l'utilisation de matériaux synthétiques ou coûteux.