



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Département de : Génie Civil et Hydraulique

*Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de
Master, Filière: Hydraulique*

C:.....
R:.....

Spécialité : Traitement, Epuration et Gestion des eaux.

Option : Traitement, épuration et Gestion des eaux

Mémoire Fin d'étude

Master professionnel

Thème

***PRODUCTION DU CHARBON À PARTIR DES
BOUES DE LA STATION D'ÉPURATION***

Présenté par :

- GHETTAS HALA
- KASMI MADIHA

Soumis au jury composé de :

BAOUIA Kais	MCA	UKMO	Président
OULHACI Dalila	MCA	UKMO	Examinatrice
BOUZIANE Lamya	MCB	UKMO	Encadrante

Année Universitaire : 2022 / 2023

Résumé :

Le but de notre étude est d'évaluer la capacité d'adsorption de trois charbons (ONA, US, UB) obtenus à partir des boues de la station d'épuration. L'adsorption du bleu de méthylène sur ces adsorbants a été étudiée à différentes concentrations. Les données expérimentales sont vérifiées par les modèles de Langmuir qui décrit bien nos résultats. L'échantillon UB est l'échantillon qui nous a donné une meilleure élimination de bleu de méthylène avec une capacité d'adsorption de 88 mg de bleu de méthylène par gramme de charbon.

Mots-Clés : Charbon, Adsorption, Bleu de méthylène, Boue step.

Abstract

The aim of our study is to evaluate the adsorption capacity of three carbons (ONA, US, UB) from the sludge of the treatment plant. The adsorption of methylene blue on these adsorbents has been studied at different concentrations. The experimental data are verified by Langmuir models which describe our results well. The UB sample is the sample that gave us the best removal of methylene blue with an adsorption capacity of 88 mg of methylene blue per gram of carbon.

Keywords: carbon, Adsorption, Methylene Blue, Step Mud.

ملخص:

الهدف من دراستنا هو تقييم قدرة امتصاص ثالث عينات من فحم منتج من حمأة محطة معالجة بثالث طرائق مختلفة. تمت دراسة امتزاز الميثيلين الأزرق على هذه العينات بدراسة تركيبات مختلفة. تم التحقق من البيانات التجريبية بواسطة نموذج Langmuir الذي يصف نتائجنا بشكل جيد. حيث أكد النموذج أن العينة UB هي العينة التي أعطتنا أفضل إزالة للميثيلين الأزرق بسعة امتصاص تقدر بـ 88 مغ من أزرق الميثيلين لكل غرام من الكربون.

الكلمات المفتاحية: الفحم ، المتزاز ، الميثيلين الأزرق ، الحمأة

SOMMAIRE

Remerciements.....	2
DEDICACE.....	3
Résumé.....	4
SOMMAIRE.....	5
Liste des figures.....	6
Liste des tableaux.....	7
Introduction générale.....	8
Chapitre 1 : généralité sur les boues.....	8
Introduction :.....	8
I .1 Définition de la boue.....	8
I .2 Origine des boues.....	8
I .3 Classification des boues :	9
I .4 Filières de traitement des boues.....	10
I .5 Destination finale des boues	14
Chapitre II : Généralité sur l'adsorption.....	16
Introduction :.....	16
II .1.2 Types d'adsorption :	16
III . Les paramètres de l'adsorption :	18
VI . Importance de l'adsorption :	18
V . Domaine d'application de l'adsorption :	18
VI . Isothermes d'adsorption.....	21

Figure 20: Variation de concentration en fonction de temps (pour $C_0=7.5\text{mg/L}$)	35
Figure 21 : changement de couleur à l'équilibre (pour $C_0=7.5\text{mg/L}$).....	35
Figure 22: Variation de concentration en fonction de temps (pour $C_0=5\text{mg/L}$; $m=1\text{g}$)	36
Figure 23: changement de couleur à l'équilibre (pour $C_0=5\text{mg/L}$; $m=1\text{g}$)	36
Figure 24: Variation de concentration en fonction de temps (pour $C_0=5\text{mg/L}$; $m=0.3\text{g}$).....	37
Figure 25 : changement de couleur à l'équilibre (pour $C_0=5\text{mg/L}$; $m=0.3\text{g}$).....	37
Figure 26: Variation de concentration en fonction de temps (pour $C_0=2\text{mg/L}$; $m=0.3\text{g}$)	38
Figure 27: Variation de concentration en fonction de temps (pour $C_0=2\text{mg/L}$; $m=0.3\text{g}$)	38
Figure 28: Rendement élimination de bleu de méthylène par l'échantillon	39
Figure 29: Rendement élimination de bleu de méthylène	40
Figure 30: Rendement élimination de bleu de méthylène par l'échantillon ONA ($C_0=2\text{mg/L}, 3\text{mg/L}, 7.5\text{mg/L}$)	40
Figure 31: L'effet de la quantité de charbon de bois sur l'élimination du bleu de méthylène de l'eau ..	41
Figure 32 : Isotherme de Langmuir par l'échanti.....	41
Figure 33: Isotherme de Langmuir par l'échantillon US	47
Figure 34 Isotherme de Langmuir par l'échantillon ONA	47

Liste de tableaux

Tableau 1: Les facteurs pratiques qui peuvent définir les deux types d'adsorption.....	17
Tableau 2: les conditions de carbonisation.	29
Tableau 3: four à moufle de la station de Touggourt.	30
Tableau 4: calculée SL des trios échantillon	48

Introduction générale

Les boues urbaines sont des substances solides ou liquides produites par les stations d'épuration après épuration des eaux usées. En raison des problèmes de production importante, de croissance rapide, de fermentescibilité de toxicité et parfois de difficulté d'élimination, il constitue une menace et nuisance sérieuses pour l'environnement urbain [1,2].

La gestion des déchets est une préoccupation grandissante tant pour les pouvoirs publics et les collectivités que pour les industriels. Suite au développement de l'assainissement, la gestion des boues de station d'épuration (STEP) est devenue une problématique majeure pour les acteurs du traitement de l'eau [3].

Avant de les transformer en produits valorisables, les boues d'épuration doivent être traitées afin d'en réduire le volume et d'en assurer la stabilisation et l'hygiénisation. La réduction de volume est classiquement obtenue à travers des opérations de séparation de phases liquide/solide par décantation, filtration ou évaporation rencontrées dans les techniques d'épaississement, de déshydratation et de séchage thermique. La dégradation des matières organiques de la boue par des procédés biologiques (digestion, compostage) ou thermiques (incinération à 850°C, oxydation par voie humide de boues liquides épaissies sous 45bar à 250°C) conduira également à un volume final moindre. La stabilisation sera concrètement obtenue en ralentissant, voire en supprimant, la biodégradation putride des matières organiques de la boue, à travers différentes voies, biologique, chimique ou physique avant (phase liquide) ou après (phase pâteuse) l'étape de déshydratation [2].

Cependant, certaines de leurs caractéristiques confèrent aux boues traitées un statut de produit potentiellement valorisable, notamment après un traitement adéquat, et sous des critères de qualité stricts [3].

Les débouchés possibles des boues traitées sont au nombre de quatre : le recyclage en agriculture ; le recyclage dans une autre industrie ; l'élimination thermique dans un incinérateur à boues ou à déchets ménagers ; les décharges ou les centres d'enfouissement technique de déchets ménagers, ou déchets industriels banals, et de déchets industriels spéciaux [4].

Ces dernières années, les autorités de différents pays attachent une grande importance à l'utilisation et à l'élimination des boues urbaines et encouragent la recherche sur les déchets de boues, la sécurité des boues et la protection de l'environnement.

Le traitement par pyrolyse des boues d'épuration est un procédé intéressant car il permet de réduire le volume des boues et en même temps de produire des matériaux d'adsorption à base de boues d'épuration. Le produit de pyrolyse des boues est en outre activé pour obtenir du charbon actif de boue pour l'utiliser en raison de sa teneur élevée en carbone dans le domaine de traitement des eaux. À l'heure actuelle, les chercheurs ont effectué de nombreuses recherches sur différents types de boues, types d'activateurs et paramètres d'activation [5-7].

Dans notre travail, on s'intéresse à la valorisation des déchets de la station d'épuration qui s'accumulent constamment en préparant des nouveaux matériaux adsorbants avec trois méthodes de préparation différentes. On choisit le bleu de méthylène comme molécule modèle pour évaluer le pouvoir d'adsorption des charbons préparés. Notre mémoire est composée de trois chapitres. Le premier chapitre traite des informations générales sur les boues. Le deuxième regroupe des informations générales sur l'adsorption ; types et isothermes d'adsorption. Pour le troisième chapitre on trouve la présentation des expériences menées au laboratoire et discussions des résultats obtenus.

[1] Khaled Obaideen, The role of wastewater treatment in achieving sustainable development goals (SDGs) and sustainability guideline. [Energy Nexus](#), [Volume7](#), September 2022,100112.

[2] Éric GUIBELING, Caractéristiques et traitements des boues d'épuration, Technique de l'ingénieur, G1450V2, 2014.

[3] Léa CABROL, Jean-Louis FANLO, Christophe RENNERT, Paradoxe du compostage : solution de gestion des boues d'épuration et source de nuisances odorantes, Technique de l'ingénieur, W9740, 2012.

[4] Éric GUIBELIN, Élimination finale des boues d'épuration, Technique de l'ingénieur, G 1 451v2, 2021.

[5] Jiyan Ma, Yin Liu, Sen Chen, Yujiao Du, Haifeng Wu, Changes in the pore structure of modified sludge-activated carbon and its effect on the adsorption characteristics of CO₂ under high pressure, *Microporous and Mesoporous Materials*, Volume 345, November 2022, 112255.

Chapitre 1 : généralité sur les boues

Introduction :

Station de traitement des eaux usées des usagers (particuliers et industriels) est raccordée au réseau d'assainissement et des eaux pluviales (dans le cas de réseaux non-séparatifs). La station rejette une eau épurée dans le milieu naturel qui doit être conforme aux valeurs limites définies par arrêté préfectoral. Les résidus de traitement sont récupérés sous forme de boues.

I.1 Définition de la boue

La boue est définie comme un mélange organique épais et visqueux, qui est produit à partir des matières solides en suspension restant après l'achèvement du processus de traitement de l'eau potable et du traitement aérobie ou anaérobie des eaux usées. La boue elle-même est un déchet qui peut nuire à l'environnement. Les boues sont classées selon l'étape de traitement qui en résulte. Il existe deux types de boues dans les stations d'épuration, les boues primaires et les boues secondaires. Les boues primaires sont les boues résultant des processus de sédimentation, de précipitation chimique lors du processus de traitement, tandis que les boues secondaires sont les boues résultant du traitement biologique des eaux usées.

I.2 Origine des boues

Généralement, le traitement des eaux usées au sein d'une station d'épuration comporte quatre étapes successives (Figure I.1).

-Les prétraitements : Le traitement physique dépend des propriétés naturelles des matériaux et des liquides tels que la flottation et la sédimentation, et une grande quantité de contaminants à grande échelle est éliminée.

-La décantation primaire : Le traitement chimique est basé sur des réactions chimiques. Au cours de laquelle certains types de polluants difficiles à éliminer par d'autres méthodes sont éliminés.

-La digestion aérobie ou traitement biologique : La bioremédiation est basée sur l'activité biologique des micro-organismes dans la décomposition de la matière organique biodégradable

- La clarification : elle permet la séparation du « floc » bactérien de la phase aqueuse.

L'eau traitée est alors rejetée dans le milieu naturel, tandis que les boues résiduelles sont collectées puis traitées en vue de leur valorisation ou de leur élimination.



Figure 1: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration.

Par ailleurs, d'autres matières plus ou moins chargées, sont également traitées en station : eaux de pluie (en cas de réseau de collecte des eaux usées unitaire), matières de vidange de fosses septiques (lorsque la station y est autorisée), etc.

Les boues produites par les stations d'épuration sont essentiellement des particules solides non retenues par les prétraitements et les procédés de traitement de l'eau (dégradation et séparation des polluants de l'eau).

Ces boues se composent de matières organiques non dégradées, de matières minérales, de micro-organismes et d'eau (environ 99%).

I .3 Classification des boues :

- Les boues primaires: sont obtenues au niveau du décanteur primaire, après séparation Physique des matières en suspension par décantation, de nature fortement organique.
- Les boues mixtes: correspondent au mélange des boues primaires et secondaires.
- Les boues secondaires: proviennent des traitements biologiques des eaux usées.

Les constituants des boues les plus importants sont la matière organique, les pathogènes, les métaux et les composés organiques traces.

I .4 Filières de traitement des boues

À la sortie des filières de traitement des eaux, les boues contiennent environ 95-99% d'eau.

Cette dernière se présente normalement sous deux formes :

- eau libre : faiblement absorbée, peut être éliminée par déshydratation mécanique,
- eau liée : attachée avec des bactéries ou d'autres particules, peut être éliminée par Séchage thermique (>105°C).

Le traitement des boues consiste donc tout d'abord à diminuer leur teneur en eau et à réduire de manière efficace leur charge polluante et fermentescible. Il s'agit de les préparer à une étape ultime de valorisation ou d'élimination.

Il existe quatre principales techniques qui peuvent être complémentaires : l'épaississement, la stabilisation (souvent associée à une hygiénisation), la déshydratation et le séchage.

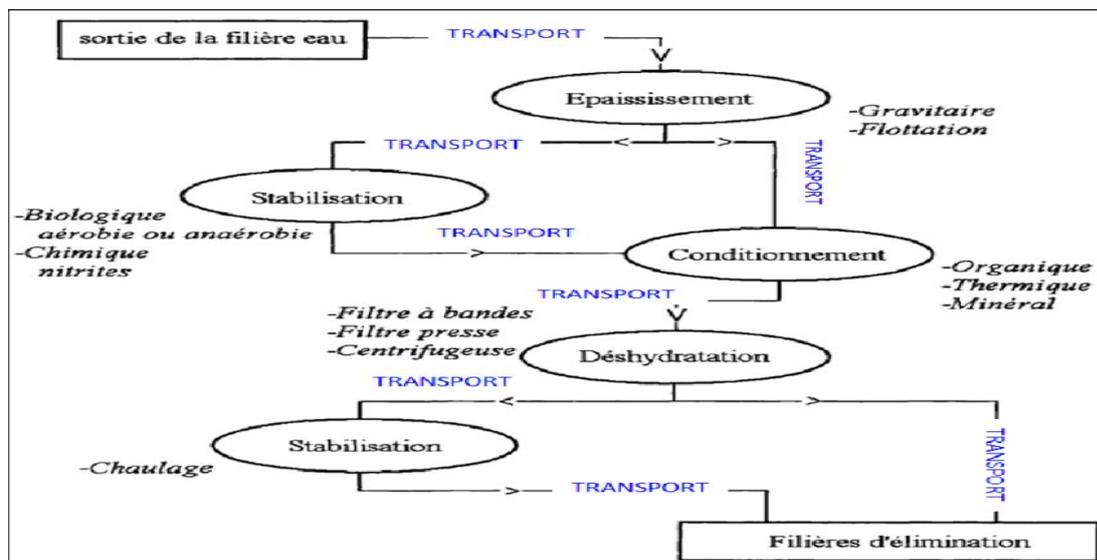


Figure 2: Enchaînement des opérations unitaires des traitements des boues.

I .4.1 Épaississement

Épaississement des boues: l'épaississeur gravitaire

But

- Concentration de matière sèche, épaississement des boues, déshydrations de boues, séchage de boues.

Principe

Le bassin de sédimentation est le moyen le plus facile pour épaissir la boue. Un exemple d'un bassin de sédimentation est le réservoir Dortmund. Ce type d'épaississeur, très similaire à un bassin de clarification, peut être alimenté aussi bien en continu que par lot. L'eau qui coule via le déversoir cranté est recyclée vers l'épuration, tandis que la boue épaissie peut être pompée vers une étape de déshydratation. D'autres possibilités sont le décanteur lamellaire et la flottation.

Un paramètre important pour le dimensionnement d'un épaississeur à boues est la charge de matière sèche par unité de surface, généralement exprimée en kg de matière sèche/m²/jour. La valeur guide de la charge de matière sèche diffère pour le type de boues (boues primaires, boues activées, boues de bio filtre, boues conditionnées, ...). La teneur en matières sèches attendue d'une boue épaissie est influencée par le type de boues et peut varier de 3 à 15% en matières sèches.

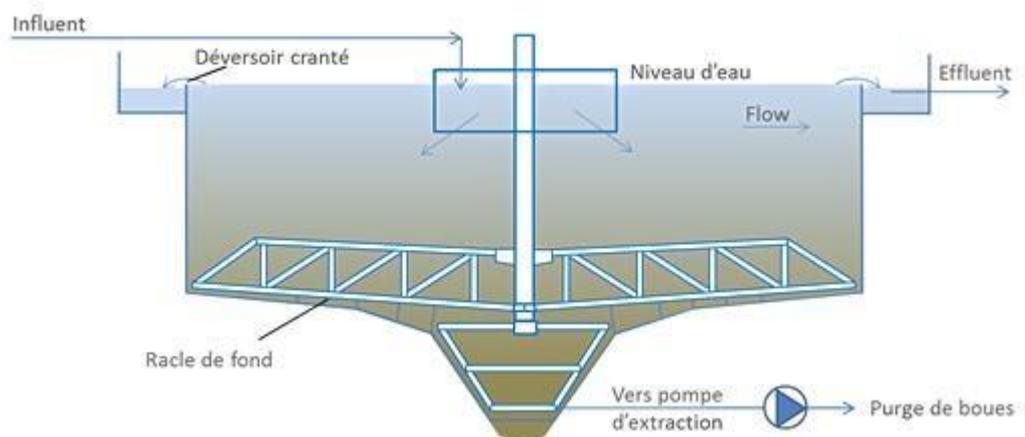


Figure 3: Épaississeur gravitaire

I.4.2 Stabilisation et hygiénisation

Bien que la stabilisation et l'hygiénisation présentent chacune une finalité différente, on peut les regrouper au sein d'une seule étape visant à réduire au maximum toutes les nuisances de natures biologiques que peuvent produire les boues déshydratées. Ces deux traitements sont souvent assurés par un même procédé.

La stabilisation consiste à réduire au maximum l'activité biologique de dégradation des boues et plus particulièrement leur fermentation. Elle réduit fortement la nuisance olfactive, les émissions de méthane, les risques de lixiviation, les populations bactériennes et la Demande

Biologique en Oxygène (DBO5).

L'hygiénisation est, quant à elle, destinée à réduire la présence d'agents pathogènes dans les boues afin d'éviter une contamination éventuelle dans le cas d'une utilisation pour la valorisation d'un écosystème (épandage ou revégétalisation par exemple). Ces deux étapes peuvent être assurées de manière biologique, chimique ou physique.

I.4.3 Déshydratation :

La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues sur les Boues épaissies, stabilisées ou non, afin d'obtenir une siccité des boues plus poussée (en moyenne comprise entre 20 et 30 % selon la nature des boues).

La déshydratation présente plusieurs avantages : elle facilite le stockage et réduit donc le coût du transport, elle améliore la stabilisation (temps de séjour augmenté) et facilite une utilisation en agriculture.

Il existe plusieurs techniques de déshydratation mécanique :

- Filtres presses
- Filtre à plateaux
- Filtre à plateaux membranes
- Filtre à bande
- Presse à vis
 - Centrifugeuse
 - Autres procédés
- Panier rotatif
- Pressoir Fournier
- Sacs filtrants

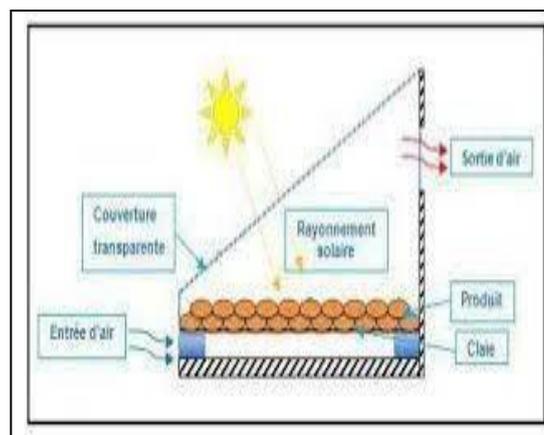


Figure 4: Principe du séchage solaire

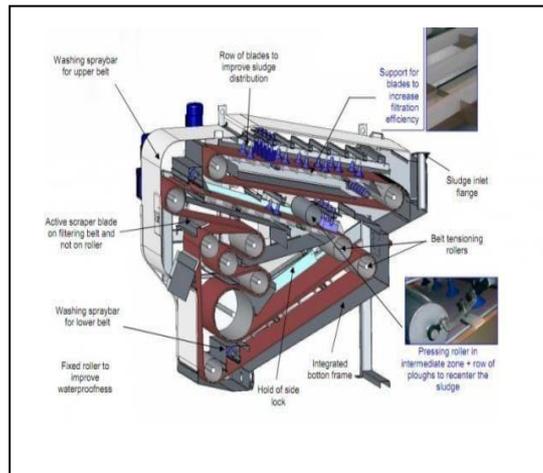


Figure 5: table d'égouttage/filtre combiné



Figure 6: Boues sèches sur lits de séchage

1.5 Destination finale des boues

Il existe 3 différents types d'utilisation pour les boues d'épuration traitées :

- La valorisation en agriculture : cette utilisation représente environ 73 % des boues traitées.
 - Elles peuvent être transformées en engrais ou compost pour l'épandage. Cette décision de transformer les boues en compost relève généralement de la volonté des collectivités locales.
 - Certaines boues peuvent également produire du biogaz, lorsqu'elles sont séchées et placées dans des fours thermiques.
- L'incinération : cette utilisation représente environ 19 % boues. Ce procédé est utilisé lorsque les autres valorisations ne pas possibles (valorisation agricole ou production de biogaz).

- La mise en décharge également appelée « Centre d'Enfouissement Technique » ou « Centre de Stockage des Déchets ». Cette utilisation représente environ 8 % des boues. Il existe en Europe 3 types de décharges :
 - Les décharges de classe 1 dédiées aux déchets dangereux ou « industriels spéciaux »,
 - Les décharges de classe 2 dédiées aux déchets ménagers et assimilés,
- Les décharges de classe 3 dédiées aux déchets inertes.[7]

Chapitre II : Généralité sur l'adsorption

Introduction :

En chimie, l'adsorption est un phénomène de surface par lequel des atomes, des ions ou des molécules (adsorbats) se fixent sur une surface solide (adsorbant) depuis une phase gazeuse, liquide ou une solution solide. Dans le cas d'un atome adsorbé, on parle d'atome. Ce phénomène ne doit pas être confondu avec l'absorption dans lequel un fluide ou le composant d'une solution solide est absorbé dans le volume d'une autre phase liquide ou solide.

Ce processus est donc basé sur l'interaction de l'adsorbat avec une surface, ce qui peut faire intervenir divers processus plus ou moins intenses comme les interactions de van der Waals, les interactions dipolaires, ou les liaisons chimiques covalentes ou ioniques. Le phénomène inverse, par lequel les molécules adsorbées sur une surface s'en détachent, notamment sous l'action de l'élévation de la température, ou de la baisse de pression, se nomme la désorption][8].

II.1.2 Types d'adsorption :

Lors de l'adsorption, les forces mises en jeu sont des interactions de nature physique ou chimique selon la nature de l'adsorbant et du mélange adsorbé. Dans ce cas, on distingue deux types d'adsorption selon les mécanismes mis en jeu.[9]

II.1.2.1 Adsorption physique :

L'adsorption physique (ou physisorption) est attribuable à l'attraction électrostatique d'un soluté par une surface polarisée, afin de maintenir l'électroneutralité. Ce type d'adsorption est caractérisé par une faible énergie de liaison de type Van Der Waals. Dans ce cas, il n'y a pas de modification dans la structure moléculaire (les espèces adsorbées gardent les molécules d'eau qui leur associées). Ces types de liaison permettent la migration du liquide par capillarité au niveau des pores de l'adsorbant et donc la répartition du soluté de son solvant (eau). Généralement, l'adsorption physique est facilement réversible.[10]

II.1.2.2 Adsorption chimique :

Appelée également chimisorption met en jeu des énergies de liaison importantes, du type liaisons covalentes, ionique ou métallique entre les espèces chimique adsorbées et l'adsorbant. Elle s'accompagne d'une profonde modification de la répartition des charges électroniques

des molécules adsorbées. Elle est souvent irréversible (ou difficilement réversible). Comme elle nécessite la formation d'interactions de forte énergie et à courte distance, la chimisorption engendre la formation d'une couche mono moléculaire.[11]

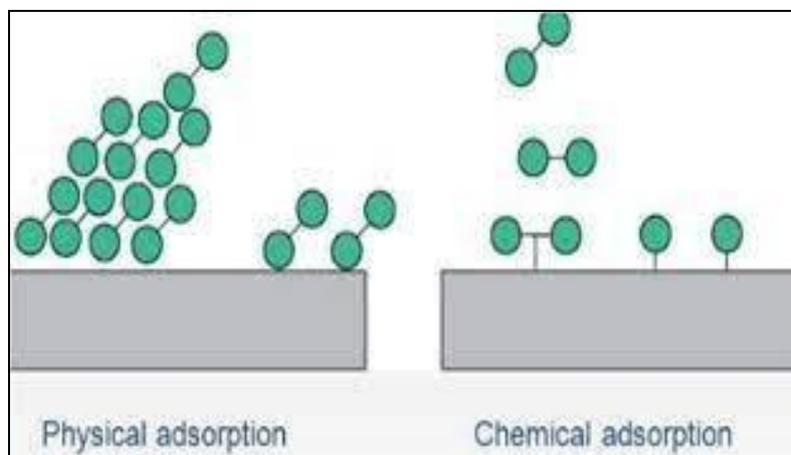


Figure 7: adsorption physique et chimique

Propriété	Adsorption physique	Adsorption chimique
Chaleur d'adsorption	1 à 10 Kcal/mol	15 à 25 Kcal/mol
Température du processus	Relativement basse	Plus élevée
Liaisons	Forces de Van Der Waals	Liaison chimique
Cinétique	Rapide et pratique indépendante de la Température	Lente
Energie d'activation	Aucune énergie d'activation appréciable n'est mise en jeu	Peut être mise en jeu dans la Procède
Formation de couche	Formation des multicouche	Formation d'une Monocouche

Tableau 1: Les facteurs pratiques qui peuvent définir les deux types d'adsorption

III . Les paramètres de l'adsorption :

L'adsorption est un processus de partage de la substance chimique (appelée adsorbant) et le solide, appelé adsorbant (ou biosorbant) le terme biosorbant est (réservé) à des solides issus du monde du vivant comme les bio polymères les algues ou encore la biomasse d'origine fongique. Les trois paramètres de l'adsorption sont l'adsorbant, l'adsorbant, et la solution : c'est un système ternaire à trois composants ou chacun possède ces caractéristique propres. Dans les phénomènes d'adsorption, il faut donc tenir compte des différentes interactions pouvant existes dans le système décrit dans la figure suivante :

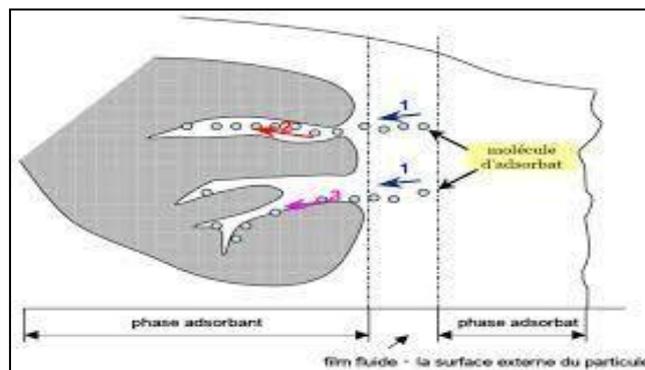


Figure 8:Caractéristique d'adsorption

VI . Importance de l'adsorption :

Le phénomène d'adsorption a une importance capitale dans de nombreuses applications industrielles et environnementales. En effet, il est utilisé pour piéger les molécules indésirables existant dans un fluide ou encore pour récupérer les éléments précieux solubles dans un liquide. Les phénomènes d'adsorption sont présents également en catalyse, en électrochimie et en beaucoup d'autres sciences. L'adsorption joue un rôle très important dans les phénomènes d'adhésion entre surface solides [6].

V . Domaine d'application de l'adsorption :

L'adsorption qui s'avère comme un traitement efficace à l'industrie. En pratique, elle es utilisée dans les cas suivants :

a- Séchage :

- Traitement des huiles.

- Traitement des gaz.

- Industrie textile.
- Décoloration et traitement des eaux.

b-Charbon actif :

Le principal adsorbant utilisé en pratique est le charbon actif. Il est obtenu à partir de matières organiques (la boue, bois, tourbe) carbonisées, puis activées (dégagement des cavités remplies de goudron lors de la carbonisation). Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre avec des pores de quelques μm de dimension, soit sous forme de grain. Il peut être régénéré selon trois procédés de désorption : à la vapeur, thermique et chimique.

L'expérience montre que les charbons actifs sont des adsorbants à très large spectre : la plupart des molécules organiques se fixent à leur surface, les moins retenues étant les molécules les plus polaires et celles linéaires, de très faible masse molaire (alcools simple, premiers acides organiques...). En revanche, les molécules peu polaires, génératrices de goût et d'odeur, et les molécules à haute masse molaire sont, pour des raisons différentes, bien adsorbées sur les charbons.

Parmi 100 types de charbons actifs, trois types sont les plus connus :

Charbon actif tissu (CAT)

Charbon actif en poudre (CAP)

Charbon actif en grain (CAG)

b-1-Les charbons actifs en tissu (CAT)

Les tissus de carbone activé parmi les matériaux adsorbants utilisables pour l'élimination des composés organiques volatils.



Figure 9: CA en tissu (CAT)

- Les charbons actifs en poudre (CAP)

Ce charbon est employé dans des applications en phase liquide et pour le traitement des flux gazeux.



Figure 10: CA en poudre (CAP)

-Les charbons actifs en grain (CAG)

Ce sont des particules de formes irrégulières parmi une gamme de tailles allant de 0.2 mm à 5 mm. Ce type de charbon est utilisé pour des applications en phase liquide et gazeuse.



Figure 11: CA en grain (CAG)

VI . Isothermes d'adsorption

On peut décrire un processus d'adsorption à l'aide d'une isotherme d'adsorption. Une telle isotherme est une courbe qui représente la relation entre la quantité de soluté adsorbé par unité de masse d'adsorbant q_e ou X/m et la concentration de soluté en solution C_e [7].

On obtient une telle courbe à partir des résultats d'essais de laboratoire effectués à une température constante. Pour ce faire, on introduit des quantités connues d'adsorbant dans des volumes d'eau à traiter et après un temps de contact donné, on peut mesurer la concentration résiduelle de soluté en solution [7].

La quantité de soluté adsorbé est calculée à l'aide de l'équation

$$q = (C_0 - C) \frac{V}{m}$$

$e \quad 0 \quad e \quad m$

Où :

C_0 : concentration initiale de soluté (mg/L)

C_e : concentration de soluté à l'équilibre (mg/L)

q_e : quantité de soluté adsorbé à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg/g)

X : quantité de soluté adsorbé à l'équilibre (mg);

$$X = (C_0 - C_e).V$$

m : masse d'adsorbant (g)

V : volume de la solution (L)

Certains auteurs ont compilé de nombreuses isothermes de Langmuir et ont constaté qu'elles présentaient 4 types qui ont été reliés assez précisément à divers modes de fixation [7].

VI.1 Classification des isothermes d'adsorption :

Tous les systèmes adsorbant-adsorbât ne se comportent pas de la même manière.

Expérimentalement, on distingue quatre classes principales nommées : S (Sigmoïde), L (Langmuir), H (Haute affinité) et C (partition Constante). La figure (II.6) présente cette classification.

Après cette description nous abordons l'interprétation des différentes classes d'isothermes.

Nous commençons par la plus fréquente : l'isotherme de Langmuir.

a- Classe L

Les isothermes de classe L présentent, aux faibles concentrations de la solution, une concavité tournée vers le bas qui traduit une diminution des sites libres au fur et à mesure de la progression de l'adsorption. Ce phénomène se produit lorsque les forces d'attraction entre les molécules adsorbées sont faibles. Elle est souvent observée quand les molécules sont adsorbées à plat, ce qui minimise leur attraction latérale. Elle peut également apparaître quand les molécules sont adsorbées verticalement et lorsque la compétition d'adsorption entre le solvant et le soluté est faible. Dans ce cas, l'adsorption des molécules isolées est assez forte pour rendre négligeable les interactions latérales.[8]

b- Classe S

Les isothermes de cette classe présentent, à faible concentration, une concavité tournée vers le haut. Les molécules adsorbées favorisent l'adsorption ultérieure d'autres molécules

(Adsorption coopérative), ceci est dû aux molécules qui s'attirent par des forces de Van Der

Waals, et se regroupent en flots dans lesquels elles se tassent les unes contre les autres. Ce comportement est favorisé d'une part, quand les molécules de soluté sont adsorbées verticalement comme c'est le cas des molécules possédant un seul groupe fonctionnel et d'autre part, quand les molécules se trouvent en compétition d'adsorption forte avec le solvant. .[18]

c-Classe H

La partie initiale de l'isotherme est presque verticale, la quantité adsorbée apparaît importante à concentration quasiment nulle du soluté dans la solution. Ce phénomène se produit lorsque les interactions entre les molécules adsorbées et la surface du solide sont très

fortes. L'isotherme de classe H est aussi observée lors de l'adsorption de micelles ou de polymères formées à partir des molécules de soluté.

d-Classe C

Les isothermes de cette classe se caractérisent par une partition constante entre la solution et le substrat jusqu'à un palier. La linéarité montre que le nombre de sites libres reste constant au cours de l'adsorption. Ceci signifie que les sites sont créés au cours de l'adsorption. Ce qui implique que les isothermes de cette classe sont obtenues quand les molécules de soluté sont capables de modifier la texture du substrat en ouvrant des pores qui n'avaient pas été ouverts préalablement par le solvant . .[8]

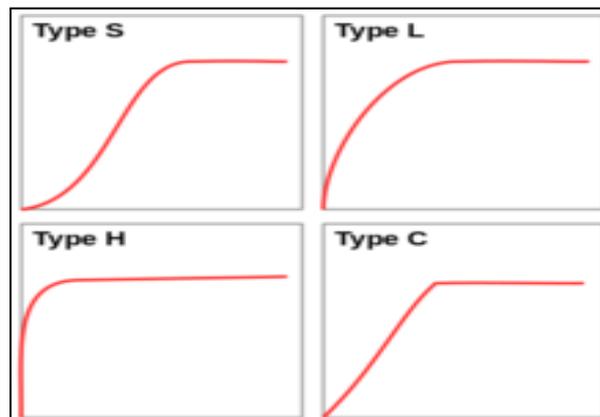


Figure : 12 Classification des isothermes d'adsorption

VI.2 Modèle d'isotherme d'adsorption

D'assez nombreux auteurs ont proposé des modèles théoriques ou empiriques pour d'écrire la relation entre la masse d'adsorbat fixée à l'équilibre et la concentration sous laquelle a lieu. Il s'agit de relation non cinétique que l'on nomme isotherme. En pratique, on observe qu'une

masse d'adsorbant ne peut fixer une quantité illimitée de substance, elle se sature. Ce phénomène de saturation n'est pas expliqué par toutes les formules, dont nous n'exposerons que les plus utilisées [9].

VI.2.1 Modèle de Langmuir

L'équation de Langmuir est donnée par la relation :

$$q_e = \frac{q_m \cdot K_L \cdot C_e}{1 + K_L \cdot C_e}$$

q_e : quantité adsorbée à l'équilibre (mg/g)

q_m : quantité maximale adsorbée à la saturation de la monocouche ou capacité maximale d'adsorption (mg/g)

C_e : concentration à l'équilibre (mg/L)

K_L : constante de Langmuir, dépendant de la température et des conditions expérimentales (l/mg). [9]

La théorie de Langmuir implique en fait :

- L'existence de sites définis d'adsorption.
- Une seule entité adsorbée par site.
- Une énergie d'adsorption constante.

- L'absence d'interaction entre molécules adsorbées.

Ce modèle est compatible avec la saturation.

La favorabilité de l'isotherme est vérifiée par le paramètre RL un facteur constant sans dimensions de Hall, d'après le paramètre d'équilibre RL qui définit comme suit :

$RL = \frac{1}{1+b C_0}$, où RL est un facteur constant sans dimensions de séparation, C_0 la concentration initiale de la solution de colorant (mg/L) et b est la constante de Langmuir (L/g). Le paramètre RL indique la forme de l'isotherme en conséquence.

VI.2.2 Modèle de Freundlich

L'isotherme de Freundlich est le modèle empirique le plus couramment utilisé. Ils s'appliquent à de nombreux cas, notamment dans le cas de l'adsorption des liquides à la surface d'un solide.

L'expression mathématique du modèle de Freundlich dans le cas de l'adsorption d'un gaz est sous la forme :

D'où

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n}$$

K_F et n : les constantes de Freundlich, dépendant de la nature du soluté et de l'adsorbant utilisé.

C_e : concentration de produit adsorbé à l'équilibre.

q_e : la masse de produit adsorbé par unité de masse adsorbant.

Des valeurs élevées de K_F et n traduisent une forte adsorption dans l'intervalle des concentrations étudiées. Inversement, les faibles valeurs indiquent une faible adsorption pour des faibles concentrations en soluté.

Ce modèle est très valable pour les solutions diluées, mais il est incompatible avec la saturation, car q_e croît sans limite si C_e croît.

Cette équation se différencie de la précédente (Langmuir) par le fait qu'elle ne prévoit pas de limite supérieure à l'adsorption et qu'elle admet la possibilité d'interactions entre particules adsorbées.

La forme linéaire de l'équation de Freundlich est :

$$\log (q_e) = \log K_F + \frac{1}{n} \log (C_e)$$

Si l'équation de Freundlich est vérifiée, nous obtenons une droite de pente $1/n$ et d'ordonnée à l'origine égale à $\log K_F$.

D'après Halsey:

$$K_F = q_m / C_0$$

VI.2.3 Modèle d'Elovich

L'équation définissant le modèle d'Elovich est basée sur une cinétique principale en supposant que les sites d'adsorption augmentent exponentiellement avec l'adsorption, ce qui implique une adsorption multicouche, elle exprimée par la relation suivante :

$$q_e/q_m = \theta = K_E C_e \exp (q_e/q_m)$$

K_E : constante d'équilibre d'Elovich (L/mg) ;

q_m : capacité maximale d'adsorption d'Elovich (mg/g).

Si l'adsorption obéit à l'équation d'Elovich, le tracé de $\ln (q_e/C_e)$ en fonction de q_e permet d'obtenir q_m et K_E selon l'expression suivant :

$$\ln (q_e/C_e) = q_e/q_m + \ln (K_E \cdot q_m)$$

Chapitre III : préparation de charbon à partir des boues sèches de la station et le test de ce charbon dans l'élimination de colorant présent dans les solutions aqueuses

Introduction :

Le charbon joue le rôle d'un absorbant pour traitement des polluants des eaux usées en raison de son excellente capacité d'adsorption.

Dans ce chapitre, la méthode de préparation du charbon à partir des boues de la station d'épuration de Touggourt et les expériences d'élimination du bleu de méthylène sont présentées.

III.1 Préparation du charbon actif à partir des boues :

Le matériau utilisé dans la préparation de charbon a été la boue sèche provenant de la station d'épuration des eaux usées urbaines de la ville de Touggourt. Les échantillons sont collectés en mars 2023 (Figure III.1).



Figure 13: les boues sèches de la station d'épuration de Touggourt

Avant utilisation, nous broyons les boues issues des bassins de séchage de la station d'épuration avec le broyeur présenté dans la figure III.2 puis nous tamisons le broyat pour obtenir une granulométrie de 0.5-0.8 mm (Figure III.3).



Figure 14: Broyeur



Figure 15: les tamis

Ensuite, il a été soumis à une carbonisation de deux manières et dans trois conditions différentes.

Le premier échantillon nommé (ONA) a subi une carbonisation dans un four à moufle au niveau de laboratoire de la station d'épuration de l'office national d'assainissement de Touggourt,

Le deuxième et le troisième échantillons ont subi une carbonisation dans un four industriel de l'usine de briqueterie à Touggourt lors de l'opération de séchage des briques. Le deuxième échantillon nommé UB, est introduite dedans les trous de briques à sécher tandis que le troisième nommé US est introduite dans un seau placé entre les briques à sécher pour éviter la perte de l'échantillon causé par le courant d'air chaud de séchage.

Le tableau III.1 représente la perte de masse et les conditions de carbonisation de trois échantillons.

	Poids (kg)	Température (C°)	Temps (h)	Le poids après la carbonisation (g)	Perte de masse (%)
Echantillon1 (ONA)	00.2	564	2	00.15	25,00
Echantillon2 (UB)	40.0	800	22	35.48	11.30
Echantillon3 (US)	40.0	800	22	37.56	06.10

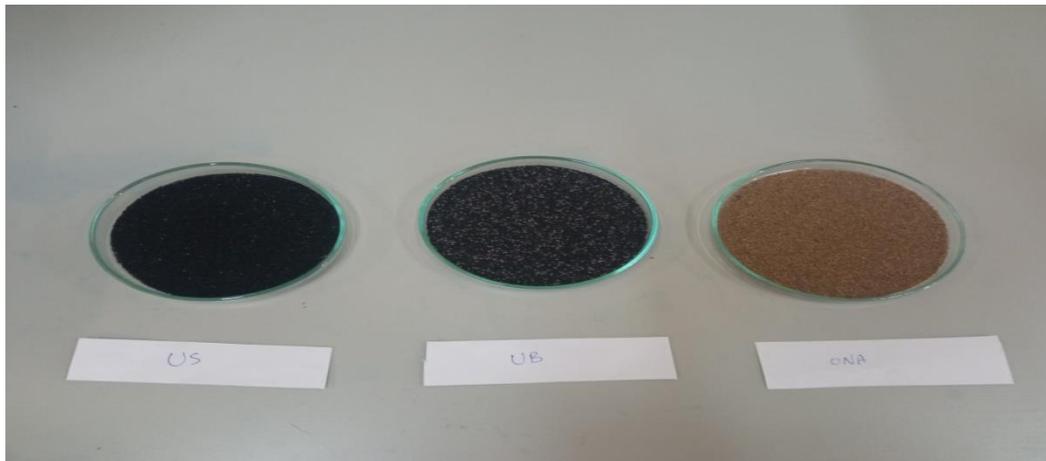
Tableau 2: les conditions de carbonisation.

D'après le tableau ci-avant, on remarque que la perte de masse dans les échantillons 2 et 3 est inférieure à celle rencontrée avec l'échantillon 1 malgré que la température de carbonisation est plus grande ($800 > 564^{\circ}\text{C}$). Ça peut être expliqué par le fait que les deux échantillons ont été exposés indirectement au flux de chaleur.



Tableau 3: four à moufle de la station de Touggourt.

Le carbonisât final est retamisé afin de garder la même granulométrie précédente.



III.2 Préparation la solution de bleu de méthylène :

La solution de bleu de méthylène est préparée en plaçant une quantité de poudre de bleu de

méthylène dans de l'eau distillée.



Figure 16: solution mère de bleu méthylène 5mg/l.

III.3 L'adsorption en Batch

Pour éliminer le bleu de méthylène présent dans la solution à traiter, l'expérience consiste à mettre en contact la boue préparée avec la solution aqueuse qui contient le polluant. A l'aide d'un appareil « JAR-TEST », la solution caractérisée par la suspension du solide, est parfaitement agitée dans un béccher de 500ml. La température est maintenue constante durant les (20°C). Des prélèvements sont effectués en fonction de temps afin de mesurer la diminution de la concentration du polluant en solution au cours du temps.

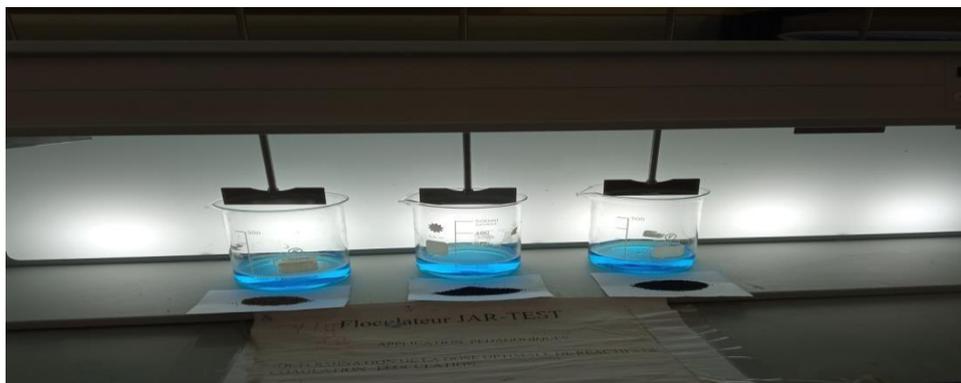


Figure 17: Montage opératoire.

III.4 Planification des expériences :

III.4.1 Etude de l'adsorption en fonction du temps:

Dans l'adsorption, le temps d'équilibre est le temps qui correspond à l'équilibre d'adsorption ou à un état de saturation de l'adsorbant par l'adsorbat. Des prélèvements à différents temps d'adsorption permettent de connaître les concentrations résiduelles ainsi que le temps d'équilibre.

Conditions opératoires :

V =300 mL ;

m =0.3g ;

L'établissement des isothermes d'adsorption permet de déterminer de la capacité maximale d'adsorption. En effet, un isotherme d'adsorption est une courbe qui représente la variation de la quantité de l'adsorbat éliminée à l'équilibre par unité de masse d'adsorbat Q_e en fonction de la concentration restante en solution à l'équilibre C_e . La quantité éliminée à l'équilibre est donc donnée par la formule :

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m}$$

Où : Q_e : la quantité de l'adsorbat éliminée à l'équilibre

C_0 : concentration initial de l'adsorbat (mg/L)

C_e : concentration de l'adsorbat à l'équilibre (mg/L)

V : volume de la solution (L)

m : masse de l'adsorbant (g)

Le rendement d'élimination par adsorption à été calculé à partir de l'équation suivant :

$$Rdt\% = \frac{(C_0 - C_e) * 100}{C_0}$$

Où : C_0 : concentration initial de l'adsorbant (mg/L)

C_e : concentration équilibre (mg/L)

Rdt% : rendement d'élimination

III.4.2 Détermination de la capacité maximale du charbon :

L'établissement des isothermes d'adsorption permet de déterminer de la capacité maximale

d'adsorption. En effet, un isotherme d'adsorption est une courbe qui représente la variation de la quantité de l'adsorbat éliminée à l'équilibre par unité de masse d'adsorbat Q_e en fonction de la concentration restante en solution à l'équilibre C_e . La quantité éliminée à l'équilibre est donc donnée par la formule :

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m}$$

Où : Q_e : la quantité de l'adsorbat éliminée à l'équilibre

C_0 : concentration initial de l'adsorbat (mg/L)

C_e : concentration de l'adsorbat à l'équilibre (mg/L)

V : volume de la solution (L)

m : masse de l'adsorbant (g)

Conditions opératoire :

Polluant : bleu de méthylène

V : 300 mL

C_0 : 7.5 ; 5 ; 3 ; 2 (mg/l)

m : 0.3g ; 1g

III.5 Méthode d'analytique : Concernant le bleu de méthylène, l'analyse des échantillons



a été faite par spectrophotomètre

Figure 18: spectrophotomètre UV-Visible

UV-Visible au niveau de base technique pour analyse physique et chimique(CRAPC)

La courbe d'étalonnage utilisée pour la détermination des concentrations de Bleu de méthylène dans les solutions est présentée sur la figure ci-dessous, la longueur d'onde .

utilisée est de 660nm

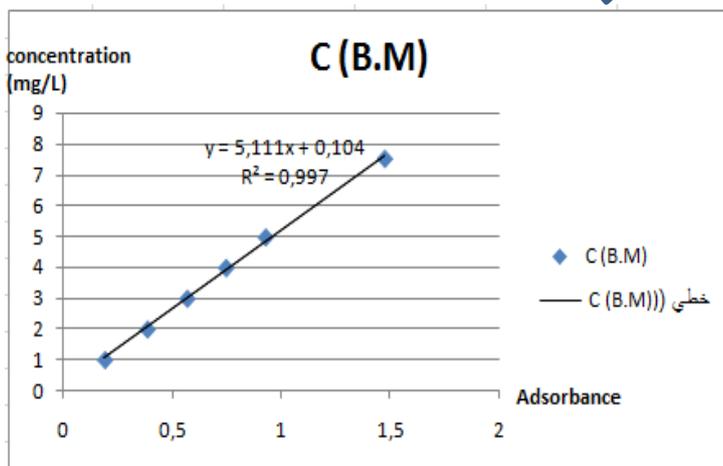


Figure 19: courbe d'étalonnage de bleu de méthylène

III. 6 Effet de concentration initiale :

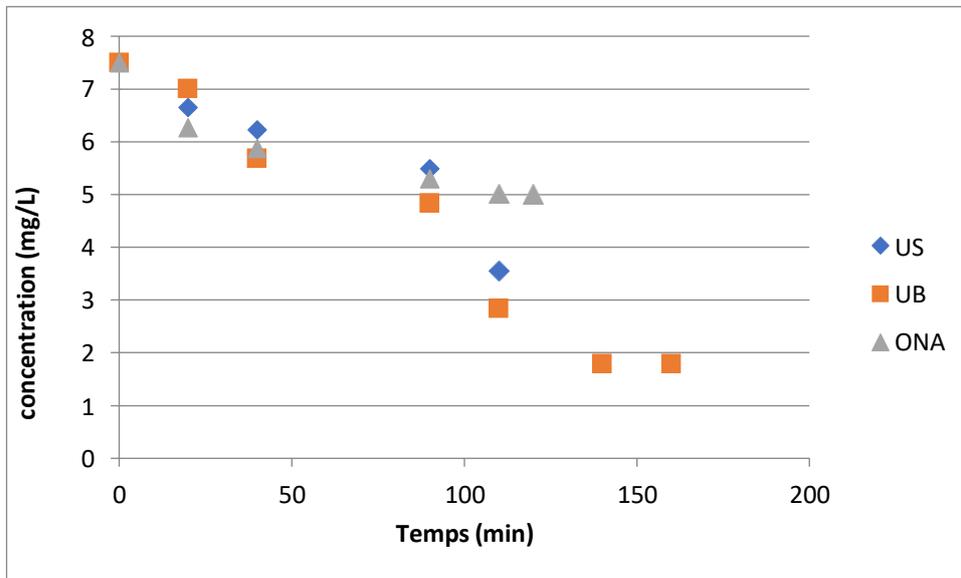


Figure 20: Variation de concentration en fonction de temps (pour $C_0=7.5\text{mg/L}$)

Les résultats obtenus et représentés sur le graphique n°(20) ont montré que la concentration des trois échantillons(US ,UB,ONA) diminuait à la même vitesse en 90 minutes, puis on remarque que la concentration de l'échantillon ONA est stable à 120 minutes de temps, de sorte que les échantillons US et UB restent décroissantes de sorte que la concentration de l'échantillon est constante après 110 minutes de temps Et l'échantillon UB est resté focalisé après 160 minutes et a donné le meilleur résultat.



Figure 21 : changement de couleur à l'équilibre (pour $C_0=7.5\text{mg/L}$)

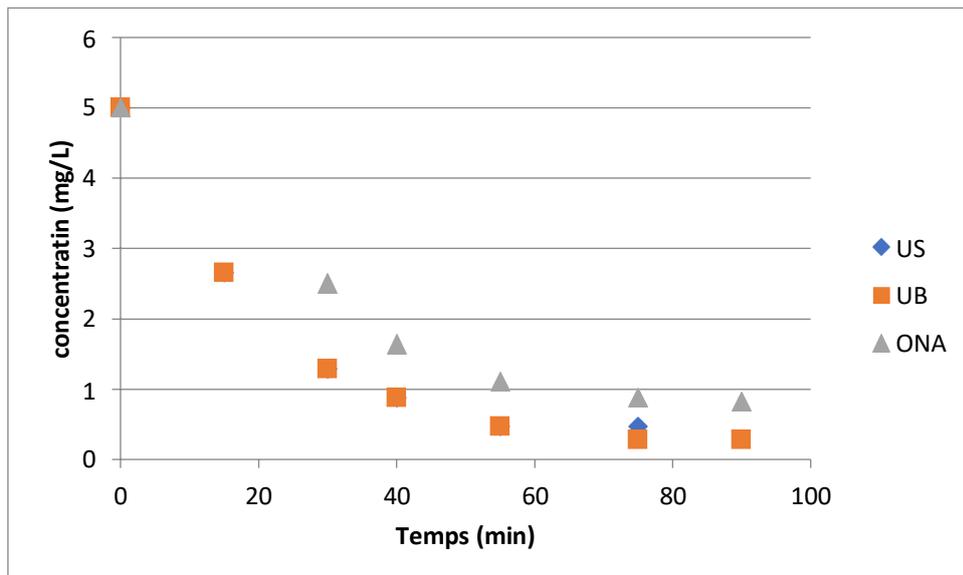


Figure 22: Variation de concentration en fonction de temps (pour $C_0=5\text{mg/L}$; $m=1\text{g}$)

Les résultats obtenus indiqués dans la courbe graphique n °(22) ont montré que la concentration des trois échantillons(US ,UB ,ONA) diminuait au même rythme en 55 minutes, puis nous remarquons que la concentration des échantillons(US,UB,ONA) est restée constante à 90 minutes de temps, de sorte que les échantillons US et UB avaient des concentrations presque identiques.



Figure 23: changement de couleur à l'équilibre (pour $C_0=5\text{mg/L}$; $m=1\text{g}$)

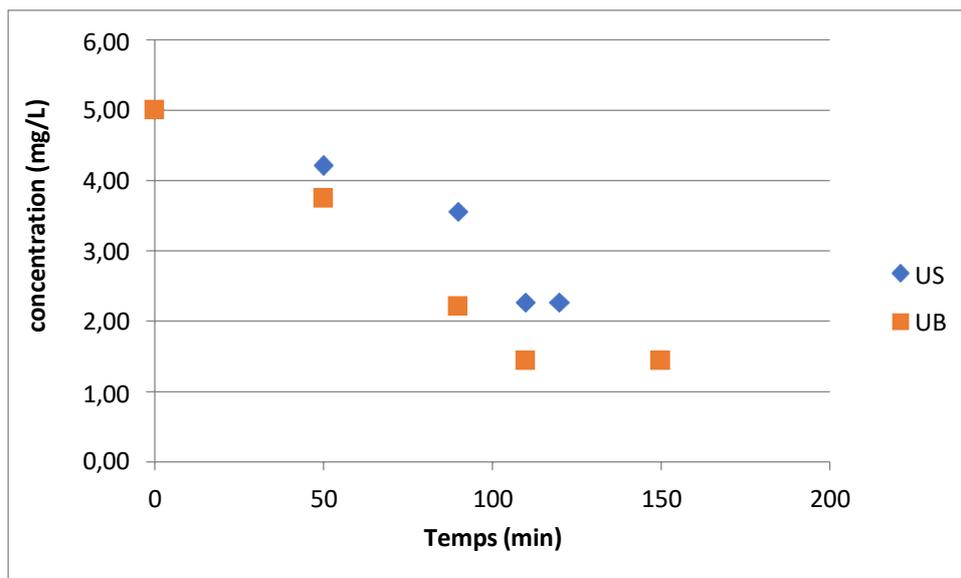


Figure 24: Variation de concentration en fonction de temps (pour $C_0=5\text{mg/L}$; $m=0.3\text{g}$)

Les résultats obtenus présentés dans le graphique n°(24) ont montré que la concentration des deux échantillons (US, UB) diminuait pendant 90 minutes de temps, puis la concentration de l'échantillon US restait stable après 120 minutes de temps, et la concentration de l'échanti



Figure 25 : changement de couleur à l'équilibre (pour $C_0=5\text{mg/L}$; $m=0.3\text{g}$)

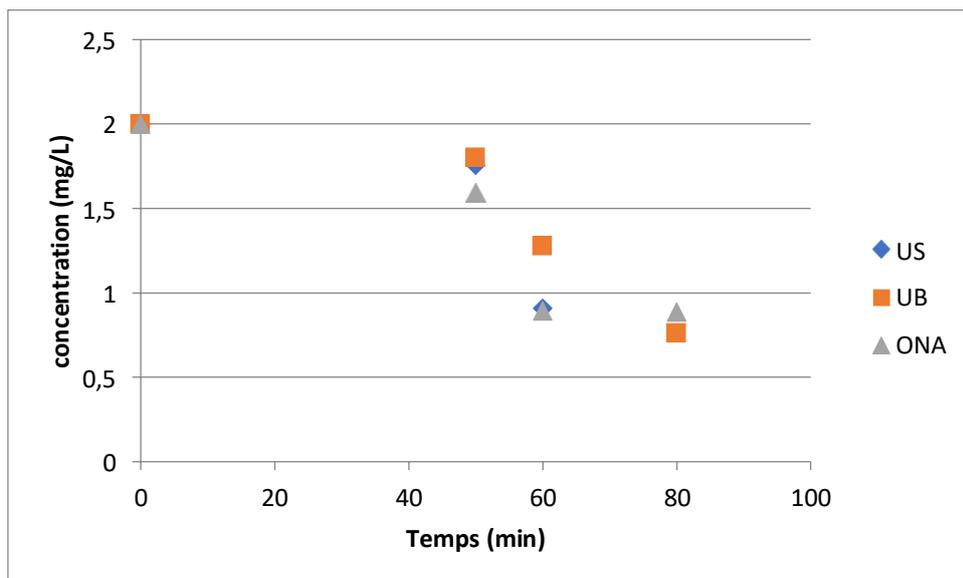


Figure 26: Variation de concentration en fonction de temps (pour $C_0=2\text{mg/L}$; $m=0.3\text{g}$)

Les résultats obtenus et représentés dans la courbe graphique n°(26) ont montré que la concentration des trois échantillons(US, UB,ONA) diminuait au même rythme en 80 minutes, puis on remarque que la concentration de l'échantillon ONA restait constante à 110 minutes de temps, et les concentrations des échantillons US et UB est resté décroissant après 120 minutes de temps.

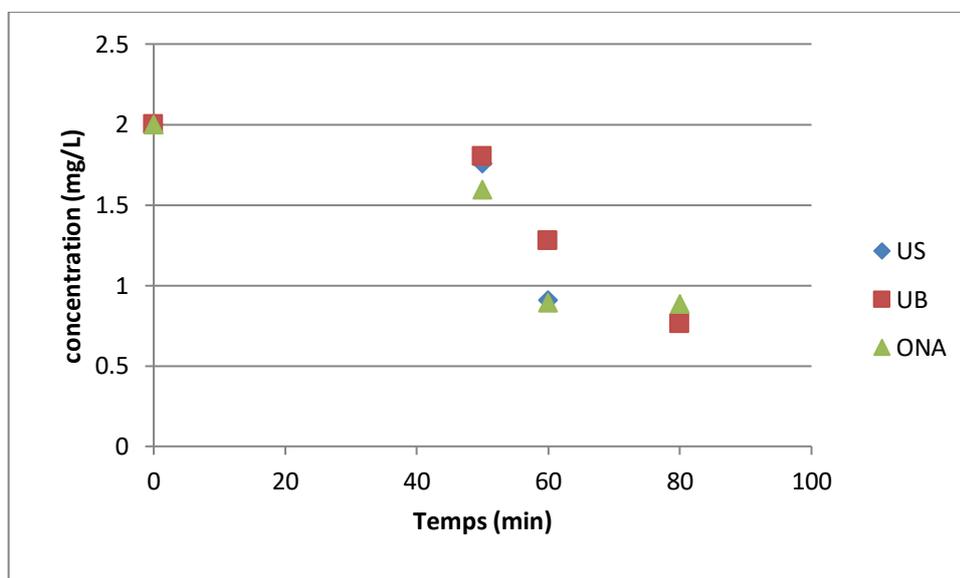


Figure 27: Variation de concentration en fonction de temps (pour $C_0=2\text{mg/L}$; $m=0.3\text{g}$)

Les résultats obtenus représentés dans le graphique n°(27) ont montré que la concentration des trois échantillons (US, UB et ONA) diminue à la même vitesse pendant 60 minutes de temps, tandis que la concentration des échantillons continue de diminuer jusqu'à 80 minutes de temps.

III.7 Rendement d'élimination de bleu de méthylène :

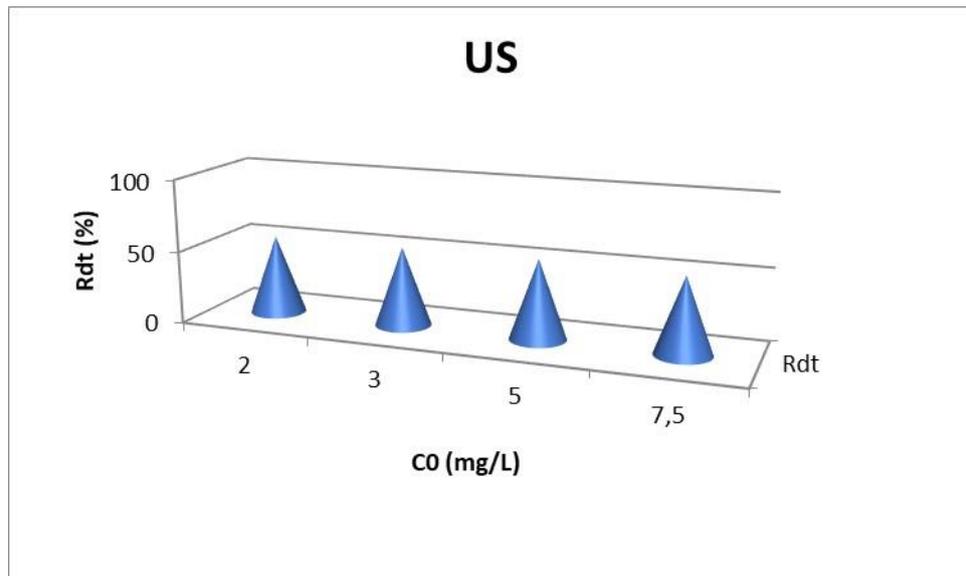
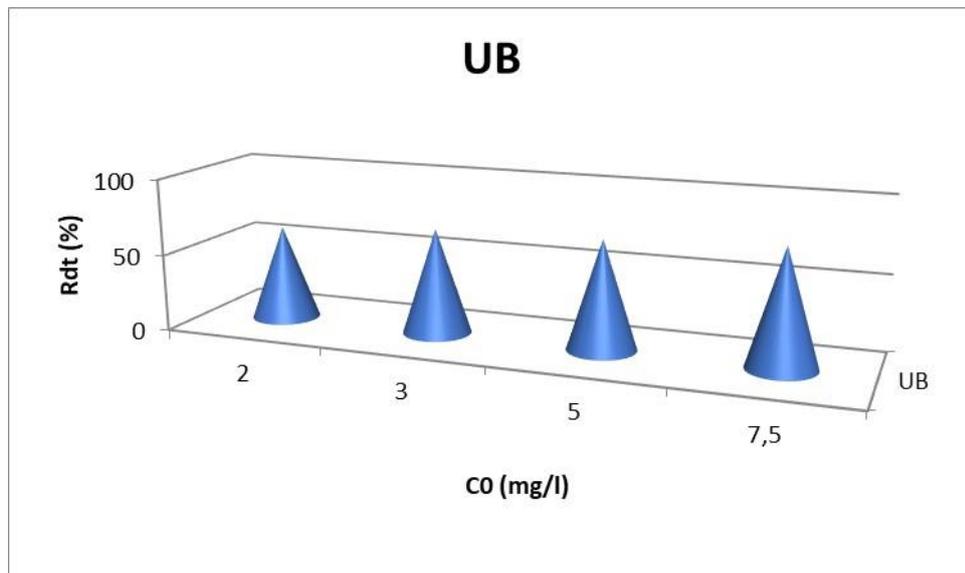


Figure 28: Rendement élimination de bleu de méthylène par l'échantillon



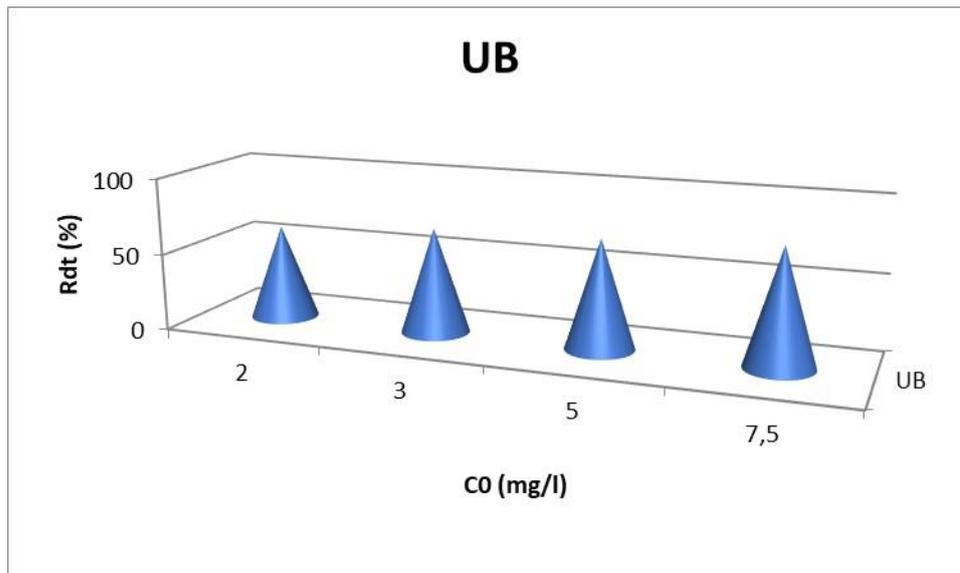


Figure 29: Rendement élimination de bleu de méthylène

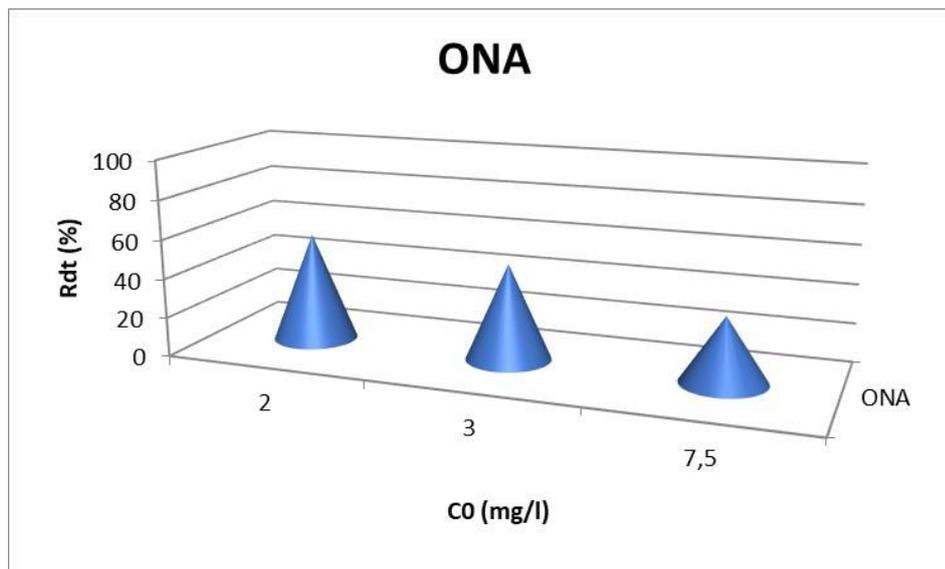


Figure 30: Rendement élimination de bleu de méthylène par l'échantillon ONA (CO=2mg/L,3mg/L,7.5mg/L)

A travers les résultats présentés, on constate que l'échantillon UB a donné le meilleur rendement en élimination du bleu de méthylène

III.8 Effet de la masse de charbon :

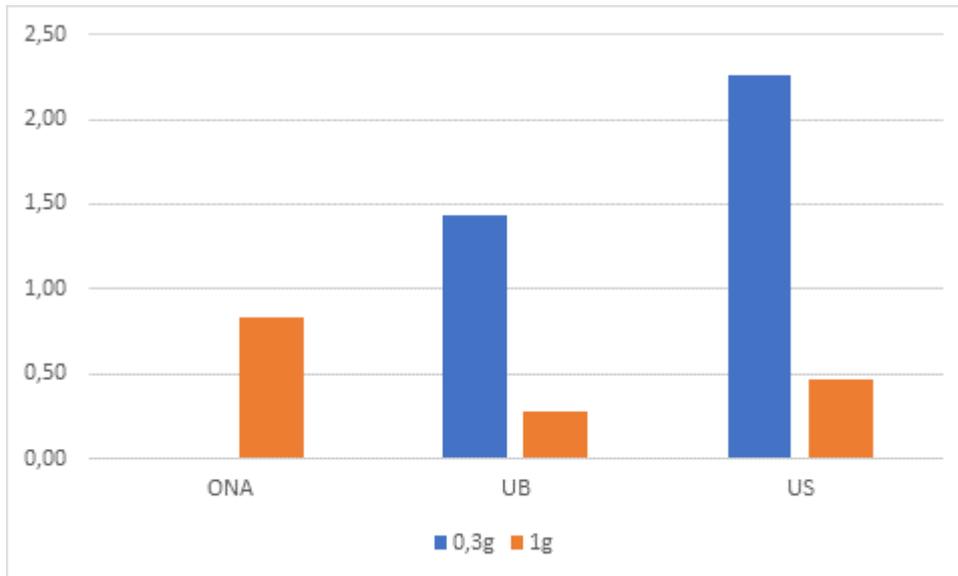


Figure 31: L'effet de la quantité de charbon de bois sur l'élimination du bleu de méthylène de l'eau

En représentant les données, on remarque que la quantité de bleu de méthylène restant dans l'eau était moindre lorsqu'on utilisait 1 g de charbon et en utilisant l'échantillon UB.

III.9 Modélisation des isothermes d'adsorption

Dessinez un changement

$$1/Q_e = f(1/C_e)$$

Le point d'intersection avec l'axe de disposition nous donne Q_{max}

Langmuir

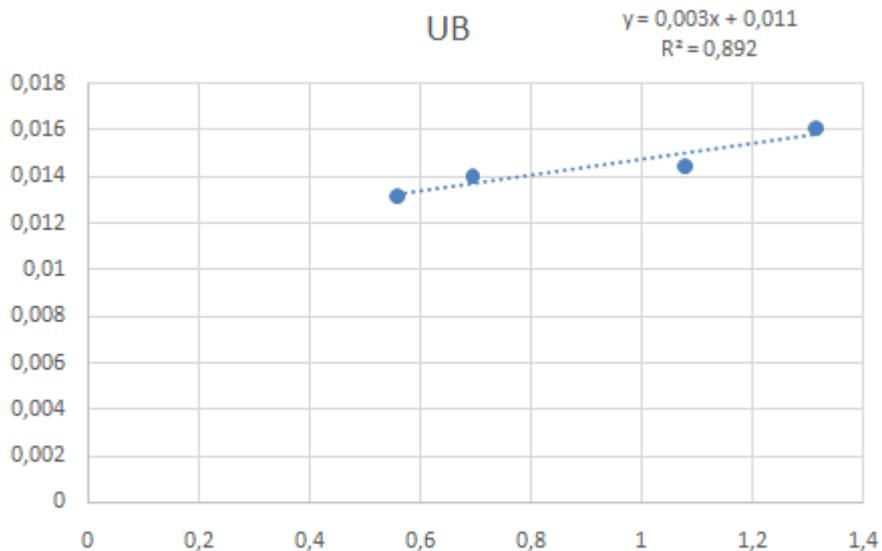


Figure 32 : Isotherme de Langmuir par l'échantillon UB

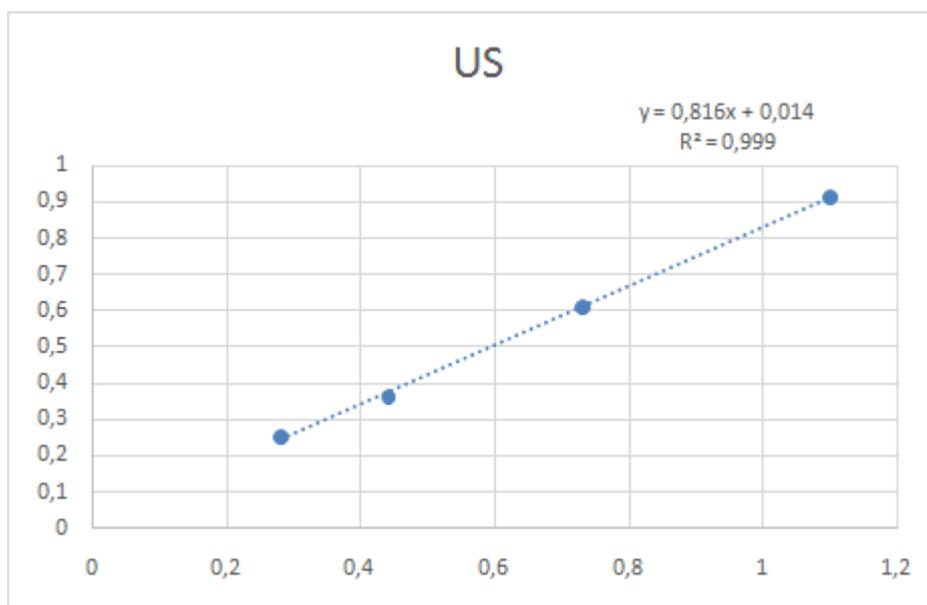


Figure 33: Isotherme de Langmuir par l'échantillon US

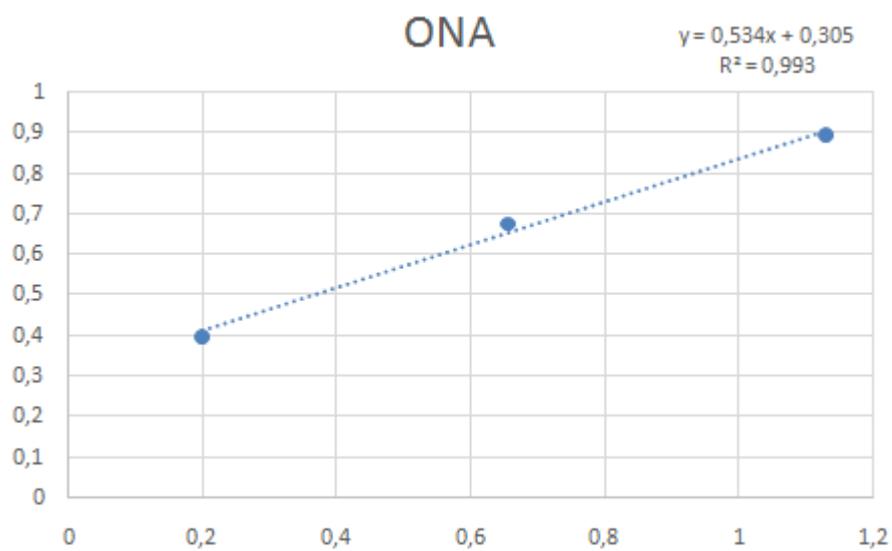


Figure 34 Isotherme de Langmuir par l'échantillon ONA

D'après la figure précédente, La quantité maximale éliminée par l'échantillon ONA= $1/0.3052=3.28$ mg/g de charbon.

10. Surface spécifique

La surface d'un gramme d'adsorbant peut être calculée à l'aide de la méthode Langmuir SL comme suit :

$$S_L \left(\frac{m^2}{g} \right) = Q_{max} \times N_A \times S_{BM}$$

\downarrow
 Nombre d'Avogadro ($6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

\rightarrow Un espace de molécule pour le bleu de méthylène $= 175 \cdot 10^{-20} \text{ m}^2$

		ONA	UB	US
Q max	(mg/g)	3,2	88	67
SL	(m ² /g)	10,54	289,94	220,75

Tableau 4: calculée SL des trios échantillon

Conclusion

D'après les résultats expérimentaux, on a trouvé que la boue de la station de Touggourt peut être un bon adsorbant pour l'élimination du bleu de méthylène grâce à sa surface de contact très grande se qui accélère la fixation rapide d'une grande quantité de bleu de méthylène sur la boue carbonisée. Les expériences d'élimination du bleu de méthylène sur les trois échantillons de boues montrent que l'échantillon UB est le plus efficace (Les conditions optimales de carbonisation sont : 800°C, 22h).

Conclusion Générale

Notre travail a pour objectif de préparer des échantillons de charbon à partir de la boue de la station d'épuration avec trois méthodes différentes.

Le bleu de méthylène est le polluant modèle choisi dans ce travail.

La variation de concentration résiduelle de polluant en fonction de temps a été déterminer pour les trois échantillons et pour des concentrations initiales différente.

L'effet de la masse de l'adsorbant montre que si on ajoute plus d'adsorbant, la quantité de polluant éliminé augmente.

La modélisation des isothermes d'adsorption montre que le modèle de Langmuir pour les trois échantillons est très convenable avec les expériences effectuées.

D'après les capacités maximales obtenues à partir des isothermes de Langmuir, on conclut que la méthode de préparation du charbon de l'échantillon UB est la plus efficace.

Références

- [1] Jean-Marc BERLAND, Traitement des boues d'épuration, Techniques de l'Ingénieur, 2014.
- [2] Favreau G., Traitement et valorisation des boues de station d'épuration, 2011, p 15
- [3] AFNOR, La Filière des Boues, 1999
- [4] Jean-Marc BERLAND, Traitement des boues d'épuration, C 5 221v2, Techniques de l'Ingénieur, 2014
- [5] BOUCHELKIA. N. Etude de l'élimination du Plomb, du Zinc et du cadmium par adsorption sur un charbon actif préparé à base des noyaux de jujube. 2015.p(17-18-19)
- [7] Les boues d'épuration : comment les traiter pour mieux les réduire ou les valoriser ?
- [9] :S.Khirani.2007, Procédés hybrides associant la filtration membranaire et l'adsorption /échange ionique pour le traitement des eaux usées en vue de leur réutilisation. Thèse de doctorat de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
- [10] :Manceau et All, « Mécanismes de rétention des métaux lourds en phase solide2002
- [11] :L.Sigg, P. Behra, W.Stumm, 2000, Chimie des milieux aquatique (3ème ed.). Dunod.France, 567p.