

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية..

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed khider –Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie civil et d'Hydraulique
Référence :/2020



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة المدنية والري
المرجع/2020

Mémoire de Master

2^{ème} année

Filière : Hydraulique

Spécialité : Hydraulique urbaine

Thème

**Caractérisation et valorisation des boues de la
station d'épuration de la ville de Boussaâda.**

Etudiante :
CHERGUI Fadoua Nihad

Encadreur :
Pr : SEGHAIRI Nora

Promotion : 2020

Remerciements

Au terme de ce mémoire, je remercie Dieu qui nous a donné le courage et la force pour mener à bien ce modeste travail.

*Je tiens à remercier tous les enseignants du département d'hydraulique de l'Université Mohamed Khaled – Biskra qui ont participé à ma formation au cours de toutes nos années d'études et particulièrement à mon encadreur " **SEGHAIRI Nora** " pour ces conseils et ses consultations qui m'ont tout aidé à la réalisation de mon projet.*

Je tiens à exprimer mon remerciement les plus sincères aux membres du jury qui ont acceptés de juger notre travail.

Sans oublier de remercier intensivement toutes les personnes qui m'ont encouragé et soutenu et supporté de près ou de loin Tout au long de ce cheminement.

Fadoua Nihad.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

*A ceux que j'aime beaucoup, qui ont sacrifiés leurs vies
pour que je réussisse ceux
qu'ils sont toujours de mes côtés, ce que j'ai de plus cher
dans ma vie, à vous mes*

Parents que dieu les garde pour moi.

A ma petite sœur Nour alia

A mes chers frères FARES et SADEK,

A ma chère tante LAMIA

*A ma grande famille et à tous les personnes qui m'ont encouragé et
se sont données la peine de me soutenir durant cette formation.*

A tous mes amies, surtout : Souhila et Insaf.

A Tous mes enseignants qui ont participé à ma formation.

Fadoua Nihad.

Sommaire

Introduction générale.....	01
-----------------------------------	-----------

Première partie : Etude bibliographique

Chapitre I : Station d'épuration des eaux usées urbaines de la ville de Boussaâda

I.1. Introduction.....	03
I.2. Généralités sur le procédé d'épuration des eaux usées.	03
I.2.1. Prétraitement	04
I.2.2. Traitement primaire.....	04
I.2.3. Traitement secondaire	04
I.2.4. Clarification	05
I.3. Organigramme de personnel d'exploitation de la STEP de Bou Saada	05
I.4. Description de la station d'épuration de la ville de Boussaâda.....	06
I.4.1. Description des installations	07
I.4.1.1. Station de relevage.....	07
I.4.1.2. Les prétraitements.....	08
I.4.1.3. Traitement biologique	10
I.4.1.4. Clarification (Décantation secondaire)	11
I.4.1.5. Chloration	12
I.4.1.6. Echantillonnage	13
I.4.2. Boues en excès et leur traitement	14
I.4.2.1. Les boues en excès	14
I.4.2.2. Recirculation des boues	14
I.4.2.3. Traitements des boues	14
I.4.2.3.1. L'épaississement	14
I.4.2.3.2. Lits de séchages	15
I.5. Exemple de production des boues de la station d'épuration de Bou Saada.....	16
I.6. La commande de la station d'épuration	16
I.7. Données de base	17

I.8.Composition globale des boues et production de boues d'une station d'épuration des eaux usées urbaines	18
I.8. 1. Production de boues	18
I.8.2. Composition globale des boues	19
I.9 Destination des boues traitées	19
I.10.Conclusion	20

Chapitre II : Procédés de traitement des boues de STEP

II.1. Introduction	21
II.2. Les différentes opérations de traitement des boues	21
II.2.1. L'épaississement	21
II.2.2. Déshydratation et conditionnement	22
II.2. 2..1. Déshydratation	22
II.2. 2..2. Le conditionnement	23
II.2.3. Le séchage	23
II.2.4. Stabilisation et hygiénisation des boues.	23
II.2. 4..1. La stabilisation	23
II.2. 4..2. Hygiénisation	24
II.3. Synthèse des procédés de traitement sur STEP.....	25
II.4. Filières d'élimination des boues résiduaires urbaines.....	26
II.4.1. L'incinération	26
II.4.2. La mise en décharge	26
II.4.3. L'épandage	26
II.5. Conclusion	26

Deuxième partie : Etude expérimentale

Chapitre III : Méthodes et Matériels

III.1. Introduction	28
III.2. Prélèvement d'échantillon de la boue	28
III.3. Caractérisation des boues traitées	28
III.3.1. La siccité(S)	28
III.3.2. Matières volatiles (MV).....	28
III.3.3. L'humidité (La teneur en eau)	29

III.3.4. Mesure du potentiel d'hydrogène (pH)	29
III.3.5. Mesure de la conductivité	30
III.3.6. Analyse granulométrique	31
III.3.7. Analyse Infra rouge (IR)	31
III.3.8. Diffraction des rayons X (DRX)	32
III.3.9. Microscopie électronique à balayage (MEB)	32
III.4. L'élimination de colorant Rouge de méthyle par adsorption	32
III.4.1. Présentation des colorants	32
III.4.2. Etablissement de la courbe d'étalonnage du Rouge de méthyle	33
III.4. 2..1. Préparation des solutions	33
III.4. 2..2. Description les essais d'adsorption	34
III.4.3. Les rendements d'élimination du Rouge de méthyle	35
III.4.4. Les cinétiques d'adsorption	36
III.4.5. Les isothermes d'adsorption	36
III.5. Conclusion	38

Chapitre IV : Possibilité de valorisation de la boue de la STEP de Boussaâda dans l'adsorption du colorant « Rouge de méthyle »

IV.1. Introduction.....	39
IV.2. Interprétation des résultats des analyses de la boue.....	39
IV.2.1. Analyses physico-chimiques.....	39
IV.2. 1..1. L'humidité.....	39
IV.2. 1..2. La siccité.....	39
IV.2. 1..3. Matières volatiles (MV)	40
IV.2. 1..4. Le potentiel en hydrogène (pH)	40
IV.2. 1..5. Conductivité	40
IV.2.2. Analyse granulométrique.....	40
IV.2.3. Analyse Infra rouge (IR) de la boue brute.....	41
IV.2. 3..1. La boue brute.....	41
IV.2. 3..2. La boue calcinée.....	42
IV.2.4. Diffraction des rayons X (DRX).	43
IV.2.5. Microscopie électronique à balayage (MEB)	44

IV.3. IV.3. L'élimination de colorant « Rouge de méthyle » par adsorption sur les adsorbants testés	45
IV.3.1. Détermination de la dose optimale des adsorbants testés.....	45
IV.3. 1..1. Cas de la boue brute	46
IV.3. 1..2. Cas de la boue calcinée.....	47
IV.3.2. Les cinétiques d'adsorption.....	49
IV.3.3. Détermination des isothermes d'adsorption.....	50
IV.4. Conclusion.....	53
Conclusion générale	54

Références bibliographiques

Annexe

Première partie : Etude bibliographique

Chapitre I : Station d'épuration des eaux usées urbaines de la ville de Boussaâda

Figure I.1: Description schématique de l'installation boues activées.....	4
Figure I.2: Schéma d'organigramme du personnel de la STEP de Boussaâda.....	6
Figure I.3: Situation géographique de STEP de Boussaâda (Google Earth,2019).....	6
Figure I.4: Schéma de conception de STEP de Boussaâda (Google Earth,2019).....	7
Figure I.5: Dégrilleurs de la STEP de Boussaâda.....	9
Figure I.6: Dessableur/Déshuileur de la STEP de Boussaâda.....	10
Figure I.7: Bassin biologique de la STEP de Boussaâda.....	11
Figure I.8:Décanteur secondaire de la STEP de Boussaâda.....	12
Figure I.9: Canal de chloration (chicanes) de la STEP de Boussaâda.....	13
Figure I.10: Evacuation des eaux épurées de la STEP de Boussaâda.....	13
Figure I.11: Echantillonneur automatique.....	14
Figure I.12: Ouvrage d'épaississement de la STEP de Boussaâda.....	15
Figure I.13:Les lits des séchages de la STEP de Boussaâda.....	16
Figure I.14: Logiciel de commande à distance de la STEP de Boussaâda.....	17

Chapitre II : Procédés de traitement des boues de STEP

Figure II. 1 : Ouvrage d'épaississement de la STEP de Boussaâda.....	21
Figure II. 2: Les lits des séchages de la STEP de Boussaâda.....	23

Deuxième partie : Etude expérimentale

Chapitre III : Méthodes et Matériels

Figure III. 1: Four à moufle.....	29
Figure III. 2: Mesure de pH de la boue.	30
Figure III. 3: Mesure de la conductivité de la boue.	30
Figure III. 4: Analyse granulométrique par : Tamisage et sédimentométrie.	31
Figure III. 5: Le spectroscopie infrarouge.....	32
Figure III. 6 : La solution mère et les solutions filles	34
Figure III. 7 : Courbe d'étalonnage du Rouge de méthyle.....	34
Figure III. 8 : Dispositif expérimental des essais d'adsorption	35
Figure III. 9 : Centrifugeuse.....	35
Figure III. 10 : Spectrophotomètre UV-Visible	36

Chapitre IV : Discussions des résultats

Figure IV. 1 : La courbe granulométrique de la boue de la step de Boussaâda.	41
Figure IV. 2 : Spectre infra rouge de la boue brute	42
Figure IV. 3: Spectre infra rouge de la boue calcinée	42
Figure IV. 4 : Diffractogramme de la boue brute.....	43
Figure IV. 5: La micrographie de la boue de Boussaâda.	44
Figure IV. 6: EDS de la boue de la step de la ville de Boussaâda.	45
Figure IV. 7 : Concentrations résiduelles du colorant en fonction de la masse de la boue brute.....	46
Figure IV. 8: Rendements d'élimination du rouge de méthyle en fonction de la masse de la boue brute.....	46
Figure IV. 9: L'effet de la masse de la boue calcinée sur l'adsorption du Rouge de méthyle.	47
Figure IV. 10: Rendements d'élimination du Rouge de méthylène en fonction de la masse ..	48
Figure IV. 11: Rendements d'élimination du rouge de méthyle sur différents adsorbants.....	48
Figure IV. 12: Rendements d'élimination du rouge de méthyle en fonction du temps sur différents adsorbants testés.....	49
Figure IV. 13: Isotherme de Freundlich de rouge de méthyle sur la boue brute.....	50
Figure IV. 14: Isotherme de Langmuir de rouge de méthyle sur la boue brute.	50
Figure IV. 15: Isotherme de Freundlich de rouge de méthyle sur la boue calcinée.....	51
Figure IV. 16: Isotherme de Langmuir de rouge de méthyle sur la boue calcinée.	51

Première partie : Etude bibliographique

Chapitre I : Station d'épuration des eaux usées urbaines de la ville de Boussaâda

Tableau I.1: Caractéristiques de la station de relevage de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	8
Tableau I.2: Caractéristique de dégrillage grossier de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	8
Tableau I.3: Caractéristiques de dégrillage fin de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	8
Tableau I.4: Caractéristique de dessableur - dégraisseur de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	9
Tableau I.5: Dimensions de dessableur - dégraisseur de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	10
Tableau I.6 : Caractéristiques de diffuseurs de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	10
Tableau I.7 : Dimensions du bassin biologique de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	11
Tableau I.8 : Les caractéristiques de fonctionnement des clarificateurs de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	12
Tableau I.9 : Dimensions du canal de chloration de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	12
Tableau I.10 : Les caractéristiques d'épaisseur de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	15
Tableau I.11 : Paramètres de procédé de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	15
Tableau I.12 : Les caractéristiques des lits des séchages de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).	15
Tableau I.13 : La production des boues de la STEP de Boussaâda en 2019 (ONA, 2019).	16
Tableau I.14 : Analyse la teneur en éléments traces (Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) de la boue STEP Boussaâda Laboratoire central ONA (STEP,2019).	18

Chapitre II : Procédés de traitement des boues de STEP

Tableau II. 1: Procédés de traitement des boues sur STEP (avantages et inconvénients).	25
---	----

Deuxième partie : Etude expérimentale

Chapitre III : Méthodes et Matériels

Tableau III. 1: Les principales propriétés physico-chimiques du colorant (Rouge de méthyle).	33
--	----

Chapitre IV : Discussions des résultats

Tableau IV. 1 : Résultats des analyses physico-chimiques de la boue.	39
Tableau IV. 8 Constantes de Freundlich et de Langmuir obtenues pour différents adsorbants.	52

Résumé :

L'épuration des eaux usées génère plusieurs sous-produits constitués principalement par les boues. A l'heure où les conditions d'admission en décharge se renforcent, les quantités de boues résiduelles urbaines et industrielles ne font que croître. La conjugaison de ces deux facteurs pose d'importants défis pour l'avenir, et rend impérative la maîtrise du devenir des boues. La valorisation des boues est souvent aléatoire et leur évacuation constitue presque toujours une charge d'exploitation. Il faut d'une part limiter le coût sur le plan économique tout en protégeant l'environnement par le développement de solutions provoquant le minimum de nuisances. A cet effet, notre travail débute par la caractérisation géotechnique (granulométrie), et physico-chimique et minéralogique (MV, DRX, IR, etc.) de la boue de la station d'épuration de la ville de Boussaâda. Ces premiers résultats donnent une idée globale sur la constitution de notre boue. La valorisation de cette boue est en fonction de son comportement vis-à-vis d'une solution de Rouge de Méthyle. Pour cela on s'est intéressé à l'adsorption de ce colorant sur deux échantillons (boue brute, boue calcinée) en étudiant certains paramètres tels que la cinétique...etc. Les résultats obtenus de l'interaction de ces deux échantillons avec le Rouge de Méthyle indiquent que la cinétique d'adsorption est très rapide avec un rendement de 35.45 %, pour la boue brute et 15 % pour la boue calcinée.

Mots clés : Boue brute, Boue calcinée, Adsorption, valorisation, Rouge de méthyle.

Abstract

The wastewater treatment generates several by-products consisting primarily by sludge. Nowadays, that the conditions of landfilling became stricter and that the quantities of municipal and industrial sludge are continually growing up, the combination of these two factors became significant challenges for the future, and this imposes on us the determination of the sludge future. Recycling or re-using sludge is often done at random and costs a lot. As a result, we should limit the cost at the economic level as we should protect the environment through the development of less damaging. For this purpose, our work begins with the determination of the geotechnical characteristics (size distribution), physico-chemical and mineralogical (MV, XRD, IR, etc. ...) of the sludge of the Boussaada waste water treatment station, in order to determine its composition. The valorization of this sludge is according to its behavior vis-à-vis a solution of Methyl Red. For this we interested in the adsorption of the dye on the samples (raw and calcined) sludge studying certain parameters such as kinetics...etc. The results of the interaction of these two samples with Methyl Red showed that the adsorption kinetics are very rapid with a capacity of 35.45 % for raw sludge and 15% for calcined sludge.

Keys words: raw sludge, calcined sludge, Adsorption, valorization, Methyl Red.

ملخص:

إن معالجة مياه الصرف الصحي يولد العديد من المنتجات تتكون أساسا من الحمأة، وفي وقتنا الراهن أصبحت شروط التفريغ صارمة وفي المقابل كميات الحمأة الحضرية والصناعية في تزايد مستمر، وأصبح الجمع بين العاملين يشكل تحديات كبيرة للمستقبل وهذا ما حثم علينا تحديد مستقبل الحمأة. إن إعادة استغلال الحمأة أو تدويرها يتم في كثير من الأحيان بشكل عشوائي والتخلص منها يشكل دائما كلفة إضافية، لذلك يجب ان نأخذ من جهة التكاليف على الصعيد الاقتصادي وأن نحمي المحيط، وذلك بتطوير حلول تخلف أقل الأضرار. يبدأ عملنا بتحديد الخصائص الجيوتقنية (التحليل الحبيبي) والفيزيائية الكيميائية والمورفولوجيا (الأشعة السينية، الأشعة ما فوق الحمراء والمواد المتطايرة) للحمأة الخاصة بمحطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة بوسعادة. من خلال النتائج المتحصل عليها نكون نظرة شاملة عن تركيب الحمأة الخاصة بنا. إعادة استغلال الحمأة مرتبط بتفاعلها مع أحمر الميثيل، من أجل هذا ندرس امتصاص هذا الصبغ من طرف الحمأة (الخام والمكلسة) كما ندرس بعض العوامل المؤثرة (حركية التفاعل، ... الخ). إن نتائج تفاعل هذين العنيتين مع أحمر الميثيل تظهر ان حركية التفاعل سريعة مع مردود يصل الى 35,45 % بالنسبة للحمأة الخام و 15 % بالنسبة للحمأة المكلسة.

الكلمات المفتاحية: الحمأة الخام، الحمأة المكلسة، الامتصاص، استغلال، أحمر الميثيل.

Listes d'abréviations

AL₂O₃ : Alumine.

CaCO₃ : Calcite.

CE : Conductivité.

Ce : La concentration résiduelle à l'équilibre (mg/l).

Ci : La concentration initiale de la solution de rouge de méthyle (mg/l).

Cr₂O₃ : Oxyde de chrome.

DN : Diamètre nominal.

DRE : Direction des ressources en eau.

DRX : Diffraction des rayons X.

H : Humidité.

IR : Spectroscopie infrarouge.

KBr : Bromure de potassium.

K_f : Constantes de Freundlich.

K_j : Constantes de Langmuir (l/g).

MEB : Microscope électronique à balayage.

MO : Matière organique.

MS : Matière sèche.

MV : Matière volatiles.

n : Paramètre énergétique de Freundlich.

ONA : L'office national de l'assainissement.

Listes d'abréviations

pH: Potentiel d'hydrogène.

qm : Capacité d'adsorption (mg/g).

S : Siccité.

SiO₂ : Quartz.

STEP : Station d'épuration des eaux usées /station de traitement des eaux polluées.

UV-Vis: Spectrophotomètre UV-visible.

λ : La longueur d'onde de la radiation (nm).

Introduction générale

L'eau est un élément vital dans notre vie quotidienne. Après sa consommation à l'échelle domestique ou industrielle génère inévitablement des déchets. Ces eaux usées sont recueillies par les égouts et dirigées vers les stations d'épuration afin d'être purifiées avant leur rejet dans le milieu naturel (BEN SAOUCHA et al., 2019; JARDE, 2005). Quel que soit le procédé adopté pour le traitement des eaux usées on obtient une eau épurée et une quantité non négligeable de matières solides décantables qui sont séparées de l'eau et forment une boue à forte teneur en eau. La boue représente avant tout une matière première composée de différents éléments (DEROUICHE, 2012).

Plusieurs filières existent pour l'élimination de ces boues, mais le choix doit être tributaire du cout d'installation, de l'origine des boues de la valeur ajoutée du produit qui en résulte et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement (BELGHAOUATI, 2013). La contribution importante des boues à la durabilité des ressources en eau est souvent négligée. Cette section vise à résoudre ce problème en mettant l'accent sur les avantages et les utilisations potentiels des boues. Si la confiance du public et des utilisateurs peut être gagnée et maintenue, les principaux avantages peuvent être réalisés. Les boues sont un sous-produit inévitable du cycle de l'eau et représentent une ressource qui peut être utilisée de manière durable.

Notre travail consiste d'une part de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et minéralogiques des boues récupérées à la sortie de la station d'épuration de Boussaâda et d'autre part la possibilité de son utilisation (valorisation) dans le domaine de traitement physiques tel que l'adsorption. Pour tous ces cas, il faut que les boues présentent une qualité compatible avec l'utilisation prévue et qu'ils fassent l'objet d'une gestion avisée et de contrôles efficaces.

Ce mémoire s'articule autour de quatre chapitre :

- Le premier chapitre est consacré à la partie bibliographique dans le quelle décrit dans un premier temps les installations et leur mode de fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Boussaâda. Dans un second temps, il présente les techniques de traitement des boues.
- Le deuxième chapitre est une étude bibliographique, sur la description des boues résiduaires et leurs différents traitements dans la STEP.

Introduction Générale

- Le troisième chapitre traite la partie expérimentale, décrira l'ensemble des méthodes expérimentales et les différentes techniques analytiques ainsi que les matériels utilisés dans cette étude.
- Le quatrième chapitre est consacré aux résultats obtenus ainsi que de leur discussion.

Le mémoire est clôturé par une conclusion.

Partie

Bibliographique

Chapitre I : Station d'épuration des eaux usées urbaines de la ville de Boussaâda

I.1. Introduction

Une station d'épuration est un ensemble d'installations par lesquelles les eaux usées sont acheminées afin d'en réduire la charge polluante. Les eaux usées urbaines qui arrivent à la STEP sont, selon le type de réseau d'assainissement, majoritairement constituées d'eaux usées domestiques dans les cas des réseaux séparatifs, auxquelles viennent s'ajouter les eaux du service public et les eaux pluviales issues du ruissellement sur les ouvrages routiers, toitures, etc. dans le cas de réseaux unitaires. Il existe plusieurs filières de traitement des eaux usées, mais le choix d'un procédé de traitement doit être adéquat du point de vue climatique, des applications attendues et de l'investissement (ADEME, 1996; CEE, 2001; WERTHER & OGADA, 1999).

Ce procédé nécessite un ensemble cohérent de traitements effectués après des prétraitements (traitement primaire, secondaire et biologique). Quel que soit le système d'épuration adopté, le traitement des eaux usées s'accompagne d'une production de quantités de boues non négligeables dont il faut se débarrasser. Plusieurs filières existent pour l'élimination de ces boues, mais le choix doit être tributaire du coût d'installation, de l'origine de boues, de la valeur ajoutée du produit qui en résulte et de l'impact que pourrait avoir la filière retenue sur l'environnement. En effet, la STEP de Boussaâda est en charge de traiter les eaux usées de la ville de Boussaâda. De ce fait, ce chapitre décrit dans un premier temps les installations et leur mode de fonctionnement de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Boussaâda. Dans un second temps, il présente les techniques de traitement des boues.

I.2. Généralités sur le procédé d'épuration des eaux usées

La STEP a pour but la préservation de l'environnement et des nappes phréatiques de la région ainsi la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles. Le procédé épuratoire est de type biologique par boues activées à faible charge. L'eau usée est épurée en passant par une chaîne de traitement composé de (Figure I.1):

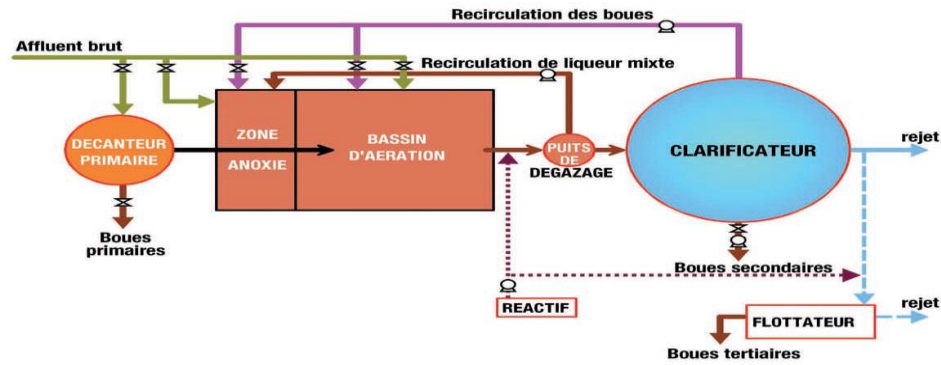


Figure I.1: Description schématique de l'installation boues activées.

I.2.1. Prétraitement

Les eaux usées sont soumises tout d'abord à des traitements de dégrossissage appelés « prétraitement ». Cette étape permet d'extraire la plus grande quantité d'éléments dont la taille des particules (débris), le pouvoir abrasif (sables, argiles) et la masse spécifique (graisses flottantes) risquent de perturber le fonctionnement des différentes unités de traitement ultérieures et d'assurer ainsi un traitement efficace des eaux usées et une protection des ouvrages de la STEP.

Le prétraitement repose essentiellement sur des critères physiques : granulométrie (dégrillage) et densité (dessablage, dégraissage).

I.2.2. Traitement primaire

Cette étape n'est pas présente sur les petites installations et tend à disparaître sur les installations récentes. Elle consiste en une simple décantation des matières en suspension naturellement décantables présentes dans les eaux usées. Les boues récupérées au fond du décanteur sont dites « boues primaires ». Elles ne sont pas stabilisées (forte teneur en matière organique) et sont fortement fermentescibles.

I.2.3. Traitement secondaire

La décantation ne permet pas la séparation des matières finement dispersées et des colloïdes présents dans les eaux usées. C'est pourquoi il est nécessaire de faire appel à des traitements secondaires afin d'éliminer les particules non décantables ainsi que les matières dissoutes. Au niveau des installations urbaines, cette étape est généralement réalisée par des traitements biologiques qui consistent en une dégradation biologique de la pollution contenue dans les eaux usées.

Le traitement biologique le plus répandu est celui par « boues activées » appelé également « digestion aérobie » qui nécessite l'apport de l'oxygène par aération (injection d'air au fond du bassin d'aération) et qui s'opère dans des bassins d'aération. Au cours de ce traitement les eaux usées sont mises en contact avec des microorganismes bactériens en suspension, en condition aérobie (présence d'oxygène).

Ces bactéries dites « épuratrices » vont utiliser la pollution de l'eau (matière organique biodégradable) comme source d'énergie pour leur croissance et leur développement. Il se produit des composés gazeux (CO₂) et de la biomasse qui va s'agglomérer sous forme de floccs bactériens formant ainsi des « boues secondaires » ou « boues activées ». Cette floculation naturelle permet la séparation des eaux épurées de la biomasse par simple décantation lors de l'étape suivante de « clarification ».

I.2.4. Clarification

Le clarificateur appelé également « décanteur secondaire » est un ouvrage dans lequel les floccs bactériens (boues activées) sont séparés des eaux épurées. Il obéit aux mêmes principes qu'un décanteur primaire. Les eaux épurées sont récupérées en surface du clarificateur par surverse et sont réutilisées ou rejetées dans le milieu naturel alors que les boues décantées sont extraites du fond du clarificateur par aspiration. Une partie de cette biomasse (boues de recirculation) est réinjectée dans les bassins d'aération pour maintenir une concentration constante de la population microbienne permettant une activité biologique optimale et assurant ainsi la continuité de l'épuration. La partie en excès, quant à elle, est envoyée vers les ouvrages de la filière de traitement des boues.

I.3. Organigramme de personnel d'exploitation de la STEP de Boussaâda

Initialement l'organigramme de personnel d'exploitation de la STEP de Boussaâda est composé de la manière suivante (Figure I.2). Après le transfert de la gestion et l'exploitation de la STEP en 2018 à l'unité ONA de M'Sila, il a été constaté une réduction dans l'effectif exploitant suite au manque de moyen financier (ONA STEP, 2019).

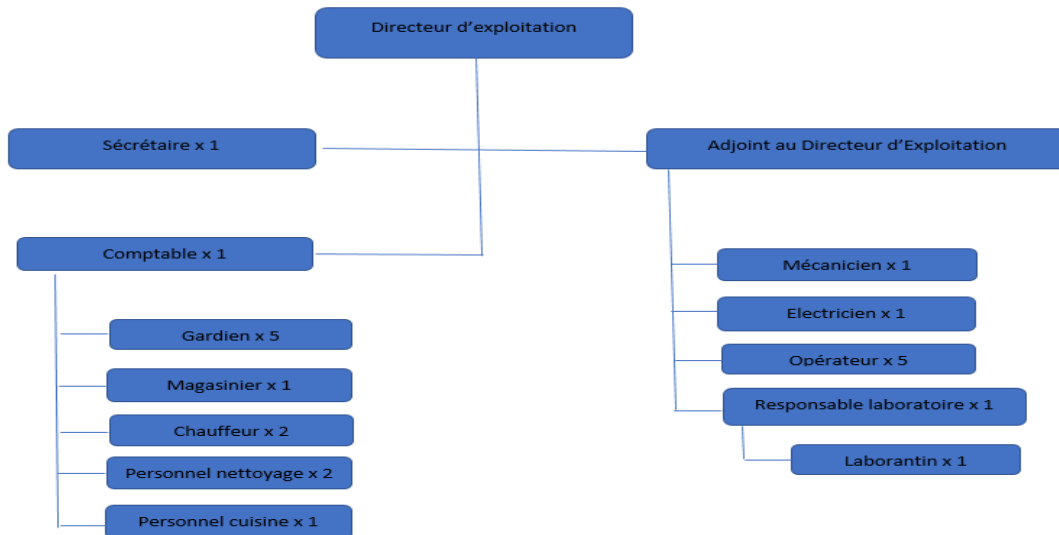


Figure I.2: Schéma d'organigramme du personnel de la STEP de Boussaâda.

I.4. Description de la station d'épuration de la ville de Boussaâda

La station d'épuration des eaux usées de la ville de Boussaâda, d'une capacité de 200 000 EH pour l'horizon 2020, réalisée et mise en service en Mars 2015 par le groupement d'entreprises (COMSA/Espagne et Hydrotraitement/Algérie) pour le compte de la DRE de la wilaya de M'Sila y compris la prise en charge de la gestion et l'exploitation de la STEP pour une durée de 24 mois conformément au contrat. Elle se situe au Nord- Est de la ville de Boussaâda près de la zone d'équipement et s'étend sur une superficie d'environ Huit (8) hectares (Figure I.3).



Figure I.3: Situation géographique de STEP de Boussaâda (Google Earth,2019).

La STEP a pour but la préservation de l'environnement et des nappes phréatiques de la région ainsi la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles. Le procédé épuratoire est de type biologique par boues activées à faible charge. L'eau usée est épurée en passant par une chaîne de traitement composé de (Figure I.4):

Ligne d'eau :

- Station de relevage ;
- Prétraitement :
 - Dégrillage grossier ;
 - Dégrillage fin ;
 - Dessablage / déshuilage ;
- Traitement Biologique :
 - Réacteur biologique par boue activée ;
 - Clarification ;
- Poste de désinfection ;
- Echantillonnage

Ligne boue :

- Recirculation des boues ;
- Epaissement des boues ;
- Séchage des boues ;



1. Bloc Administratif
2. Laboratoire de la STEP
3. Bâtiment d'installation électrique
4. Bâtiment prétraitement
5. Bassin biologique (2)
6. Les clarificateurs (2)
7. Désinfection
8. Bassin épaisseur (2)
9. Stockage des boues
10. Lit de séchage (25 Lits)
11. Logements unifamiliaux

Figure I.4: Schéma de conception de STEP de Boussaâda (Google Earth,2019).

I.4.1. Description des installations

La STEP de Boussaâda est dotée des installations suivantes :

I.4.1.1. Station de relevage

Les eaux usées arrivent gravitairement au niveau du site de la STEP par deux collecteurs de diamètre identique DN 600 mm qui débouchent dans la station de relevage. Le débit maximal

est 8.258 m³/h, et le débit moyen de 1.778 m³/h (Tableau I.1). Comme le réseau d'égout alimentant la station d'épuration est de type unitaire, un déversoir d'orage est prévu pour limiter le débit vers la station de relevage en cas de pluie. La hauteur de lame de débordement est adoptée pour un débit de 5.544 m³/h. La fraction de débit supérieur à ce volume passera sur le déversoir et ne sera donc pas admise au niveau de la STEP (DRE ,2008).

Tableau I.1: Caractéristiques de la station de relevage de la STEP de Boussaâda (DRE, 2008).

Nombre de pompe	3+1 secours
Débit unitaire	1.850 m ³ /h
Hauteur géométrique	13,82 m
Puissance de la pompe	110 Kw
Largeur	12 m
Longueur	8,3 m
Hauteur	1,6 m

I.4.1.2. Les prétraitements

a) Dégrilleurs

Les eaux sont acheminées par pompage vers le poste de dégrillage automatique, grossier et fin, à travers ces postes, aura lieu l'élimination des matières grossières et fines qui peuvent occasionner des colmatages des postes postérieurs. L'opération de dégrillage est effectuée à travers quatre lignes en service et un by-pass pour palier la panne d'un appareil ou son entretien. Composé de quatre grilles de 50 mm et quatre grilles de 20 mm. Chaque canal et ces grilles sont dimensionnées pour un débit de 2.064 m³/h, c'est-à-dire un total de 8.258 m³/h (Tableaux I.2 et I.3) et (Figure I.5) (DRE ,2008).

Tableau I.2: Caractéristique de dégrillage grossier de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).

Nombre de grilles automatiques	4
Largeur de la grille	1.350 mm
Espacement entre barreaux	50 mm
Hauteur grille	2 .000 mm

Tableau I.3: Caractéristiques de dégrillage fin de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).

Nombre de grilles automatiques	4
Largeur de la grille	1.350 mm
Espacement entre barreaux	20 mm
Hauteur grille	2 .830 mm



Figure I.5: Dégrilleurs de la STEP de Boussaâda.

b) Dessableur – Dégraisseur

Dans cette phase de prétraitement, les eaux usées dégrillées sont acheminées vers le poste de dessablage et déshuilage pour l'élimination de sable, graisses et d'huiles pouvant gêner voire freiner le fonctionnement de l'installation. L'opération de dessablage est réalisée dans deux ouvrages en béton de forme rectangulaire de type aéré qui font également office de poste de déshuilage (DRE ,2008).

Chaque bassin est projeté pour travailler avec le régime de débits présentés sur les (Tableaux I.4 et I.5) et (Figure I.6).

Tableau I.4: Caractéristique de dessableur - dégraisseur de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).

Débit maximal par dessableur	4.129 m ³ /h
Débit moyen par dessableur	889 m ³ /h
Paramètres de désignation	
Temps de rétention minimale	6 min
Vitesse transversale	0,15 m/s
Charge hydraulique max	20 m ³ /m ² h
Relation longueur /largeur	De 1 :1 à 5 :1
Profondeur	De 2 à5 m
Puissance d'aération	25-30 W/m ³

Tableau I.5: Dimensions de dessableur - dégraisseur de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).

Largeur totale	8 m
Longueur totale	25 m
Largeur totale zone de déshuilage	2 m
Hauteur prismatique	2,75 M
Hauteur pyramidal	1,20 m
Section	200 m ²
Section transversale	23,8 m ²
Volume tronco-pyramidal	80 m ³
Volume total	630 m ³



Figure I.6: Dessableur/Déshuileur de la STEP de Boussaâda.

c) Besoin d'air de dessableur

Le brassage, pour maintenir en suspension les matières organiques et éviter leur dépôt avec le sable au fond du bassin, est réalisé par insufflation d'air par des diffuseurs. Les besoins d'air pour l'élimination des sables, pour chaque dessableur sont calculés par $0,4 \text{ m}^3/\text{min} \cdot \text{longueur}$. Pour une longueur de 25m, les besoins en air seront de $600 \text{ m}^3/\text{h}$ d'air (Tableau I.6) (DRE ,2008).

Tableau I.6 : Caractéristiques de diffuseurs de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).

Nombre diffuseurs	90 (45 pour bassin)
Nombre supprimeurs	2 unités
Débit unitaire supprimeurs	$630 \text{ m}^3/\text{h}$
Puissance moteur	11 KW

I.4.1.3. Traitement biologique

Le bassin biologique reçoit l'eau prétraité c'est-à-dire dégrillées, dessablée et déshuilée à l'aide d'une conduite d'alimentation de diamètre 400 mm. Dans ce bassin il y a des micro-organismes qui sont mis en contact avec les eaux usées contenant des matières organiques. De l'oxygène

est injecté dans le mélange par des turbines, permettant de fournir aux bactéries cet élément vital à leurs besoins respiratoires (GAID, 1984) (Tableaux I.7 et figure I.7).

Tableau I.7 : Dimensions du bassin biologique de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).

Nombre des bassins	2
Largeur unitaire	36 m
Longueur unitaire	73,50 m
Profondeur total	4,5 m
Hauteur d'eau	4 m
Volume utile unitaire	10 .584 m ³
Volume total	21.168 m ³
Nombres des turbines	16 turbines



Figure I.7: Bassin biologique de la STEP de Boussaâda.

I.4.1.4. Clarification (Décantation secondaire)

La décantation des boues liquides s'effectue dans deux décanteurs secondaires de type circulaire raclé de 59 m de diamètre, sa surface unitaire est de 2.734 m² et son volume est de 13.123 m³, la hauteur d'eau prévue est de 2,4 m (DRE ,2008). La liqueur mixte maintenue en suspension dans les bassins d'aération est dirigée vers deux décanteurs secondaires, pour être clarifiée, l'alimentation se fait au moyen d'une conduite en siphon surmontée au centre du bassin, d'une jupe de réparation (SIBOUKEUR, 2010). Le floc biologique se sépare de l'eau épurée et se dépose sur le radier de l'ouvrage de clarification où elles sont raclées et ramenées au centre vers la poche à boues pour être ensuite transférées par tuyauteries vers le poste de pompage des boues secondaires tandis que l'eau clarifiée est évacuée vers le canal de chloration (Tableau I.8 et figure I.8) (SIBOUKEUR, 2010).

Tableau I.8 : Les caractéristiques de fonctionnement des clarificateurs de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).

Conditions	Conditions d'opération	
	Maximal	Moyenne
Débit (m ³ /h)	2773	889
Vitesse ascensionnelle (m ³ /m ² h)	1	0,33
Temps de séjour (h)	2,6	7,3



Figure I.8:Décanteur secondaire de la STEP de Boussaâda.

I.4.1.5.Chloration

L'eau clarifiée en provenance des décanteurs secondaires alimente un bassin de contact du type à chicanes où elle sera désinfectée. La désinfection est effectuée au moyen d'un agent oxydant (Tableau I.9 et figure I.9) (DRE ,2008).

Tableau I.9 : Dimensions du canal de chloration de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).

Longueur	36 m
Largeur	18,5 m
Hauteur utile	2 m
Hauteur total	3 m
Volume	1,332 m ³



Figure I.9: Canal de chloration (chicanes) de la STEP de Boussaâda.

Après la désinfection, les eaux épurées sortant de la station d'épuration de Boussaâda sont évacuées (Figure I.10) dans un affluent de chott el Hodna dont une petite quantité est utilisées pour l'irrigation des plantes et l'espace vert à l'intérieur et l'extérieur de la station d'épuration.



Figure I.10: Evacuation des eaux épurées de la STEP de Boussaâda.

I.4.1.6. Echantillonnage :

Des prises d'échantillons sont effectuées à la sortie de la station par un dispositif d'échantillonnage (Figure I.11) fonctionnant de manière proportionnelle au débit. Ce préleveur assure pour une période de 24 heures un mélange d'échantillons représentatif à la sortie pour l'eau épurée.



Figure I.11: Echantillonneur automatique.

I.4.2. Boues en excès et leur traitement

I.4.2.1. Les boues en excès

Les boues en excès, d'un volume maximum journalier des boues de 908 m³/j, sont extraites du poste de pompage avec une teneur moyenne en matière sèche de 8 g/l. Le transfert des boues vers l'épaississeur est effectué par deux pompes d'un débit de 80 m³/h (DRE ,2008).

I.4.2.2. Recirculation des boues

L'efficacité du procédé de traitements biologiques par boues activées est basée sur une recirculation importante des boues provenant de la décantation secondaire, la concentration nécessaire en boue activée dans le bassin d'aération est assurée par quatre (3+1) pompes d'un débit de 830 m³ /h (DRE ,2008). Le recyclage des boues permet de maintenir une concentration en micro-organismes nécessaire pour assurer le niveau d'épuration biologique, d'une part et d'autre part d'éviter le colmatage des boues au niveau du bassin de décantation (SIBOUKEUR, 2010).

I.4.2.3. Traitements des boues

I.4.2.3.1. L'épaississement

Les boues en excès sont refoulées vers deux ouvrages d'épaississement. L'ouvrage est de forme circulaire de 15,30 m de diamètre et de 183,7 m² de surface (Tableau I.10 et I.11) et (figure I.12) (DRE ,2008).

Tableau I.10 : Les caractéristiques d'épaisseur de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).

Type de l'ouvrage	Epaississeur circulaire
Production journalière de boues en excès de	7.266 Kg/j
Production des boues à l'entrée	8 g/j
Production des boues à la sortie	30 g/j

Tableau I.11 : Paramètres de procédé de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).

Quantité de boues (Kg/j)	Concentration moyenne à l'extraction (g/l)	Débit d'extraction (m ³ /j)	Débit l'entrée (m ³ /j)	Temps de séjour (j)	Charge (Kg /m ² /j)
7.266	30	242	908	1,04	30,6



Figure I.12: Ouvrage d'épaisseur de la STEP de Boussaâda.

I.4.2.3.2. Lits de séchages

Les boues épaissies sont extraites de l'épaississeur et acheminées par pompage vers les lits de séchage où elles seront épandues pour y être déshydratées naturellement. Il existe 20 lits de séchage de surface unitaire de 420 m² (Tableau I.12 et figure I.13) (DRE ,2008).

Tableau I.12 : Les caractéristiques des lits des séchages de la STEP de Boussaâda (DRE,2008).

Nombre d'équivalent- habitant au m ²	24 éq/hab./m ²
Nombre total de lits	20
Longueur d'un lit	28 m
Largeur d'un lit	15 m
Surface unitaire de chaque lit	420 m ²
Surface total des lits	8.400 m ²
Hauteur du lit de boues	0,6 m
Volume unitaire de chaque lit	252 m ³
Volume total des lits	5 .040 m ³
Durée des séchages des boues	20,81 jours



Figure I.13: Les lits des séchages de la STEP de Boussaâda.

I.5. Exemple de production des boues de la station d'épuration de Boussaâda

Le tableau I.13 présente les données concernant la production des boues de la station d'épuration de Boussaâda.

Tableau I.13 : La production des boues de la STEP de Boussaâda en 2019 (ONA, 2019).

Les mois (2019)	Quantité des boues Produites (m ³)	MVS des boues Produites (mg/l)	Devenir des boues (Kg MS)		
			Agriculture	Décharge	Autres (Incinération,)
Mai	8157,00	5767,00	/	Stockage	/
Juin	3897,00	3333,00	/	Stockage	/
Juillet	3292,00	10750,00	/	Stockage	/
Aout	3897,00	3333,00	/	Stockage	/
Septembre	/	16900,00	/	Stockage	/

I.6. La commande de la station d'épuration

La commande de la station d'épuration se fait à distance à partir de la salle de contrôle, équipée d'un PC muni d'un logiciel de commande à distance avec des paramètres de surveillance et de contrôle, ainsi que des schémas du procédé pour la bonne exploitation de la station d'épuration (figure I.14).



Figure I.14: Logiciel de commande à distance de la STEP de Boussaâda.

I.7. Données de base

La conception d'une station d'épuration des eaux usées urbaines est fixée selon un calcul technique et économique comparatif en tenant compte de tous les aspects : ouvrages, appareils, installations, coûts économiques et procédés (ZERIRI, 2007). Le procédé d'épuration tient compte du fait qu'il y a deux phases dans la réalisation :

- La capacité d'épuration de la première phase est de 32.000 m³/j correspondant à une population équivalente de 200.000 EqH et de 48.000 m³/j.
- La deuxième phase correspondant à une population équivalente de 300.000 EqH, soit une augmentation de 50 % en tenant compte des besoins de l'extension future de la ville (DRE ,2008).

Les données de base correspondant aux deux phases projetées pour l'horizon de 2020 et de 2030 sont :

➤ **Débit des eaux usées (DRE ,2008)**

	Horizon	2020	2030
Désignation			
Débit journalier des eaux usées Qj (m ³ /j)		32000	48000
Débit moyen horaire (18 heures) (m ³ /h)		1777,78	2666 ,67
Coefficient de pointe par temps sec CP		1,56	1,55
Débit de pointe horaire par temps sec QPS (m ³ /h)		2772	4129,1
Débit entrant à la station d'épuration 2x Qps		5544,16	8258,21

➤ **Charges polluantes (DRE ,2008)**

Désignation		Horizon 2020	Horizon 2030
DBO5	Charge journalière en DBO5 (kg/l)	10800	16200
	Concentration de l'effluent (mg/l)	337 ,5	337,5
MES	Charge journalière en MES (kg/l)	12000	18000
	Concentration de l'effluent (mg/l)	375	375

➤ **Garanties de performance : Concentrations des polluants prévues à la sortie (Finalité du traitement) (DRE ,2008)**

a) Qualité de l'effluent rejeté

En moyenne annuelle les concentrations des eaux épurées devront tendre pour les différents paramètres vers les valeurs dans le tableau suivant :

Désignation	Concentration prévue à la sortie (mg/l)
MES	<30(Rendement =93%)
DBO5	<30(24h) (Rendement =92%), <40(2h)
DCO	<90 (24), <120(2h)
NTK	<15

b) Qualité des boues

L'analyse de la boue STEP Boussaâda au laboratoire central ONA montre que la teneur en éléments traces (Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) inférieures aux valeurs de référence de la norme algérienne NA 17671.

Tableau I.14 : Analyse la teneur en éléments traces (Cd, Cr, Cu, Ni, Zn) de la boue STEP Boussaâda Laboratoire central ONA (STEP,2019).

Paramètres mesurés au laboratoire	Résultats (mg/kg)	Valeurs limites (norme NA 17671)
Nickel	27.5	200
Cuivre	99	1000
Cadmium	1.8	20
Plomb	139	800
Mercure	0.7	10

I.8. Composition globale des boues et production de boues d'une station d'épuration des eaux usées urbaines

I.8.1. Production de boues

En fonction des processus de traitement d'épuration des eaux usées, trois grandes catégories de boues peuvent être distinguées :

- Les boues de traitement primaire : Elles sont obtenues au niveau du décanteur primaire, après séparation physique des matières en suspension par décantation. De nature fortement organique, et riche en matières minérales (micro-sables, terre...). Elles contiennent environ (90 à 95) % d'eau les boues primaires et elles sont très fermentescibles et présentent de forts risques de nuisances olfactives (RAMDANI, 2007; SIBOUKEUR, 2010).
- Les boues de traitement biologique : Les boues biologiques (encore appelées boues secondaires) sont les boues issues du traitement biologique que ce soit en culture libre (boues activées) ou en culture fixée (lit bactériens, disque biologique,

etc.)(RAKOTONDRAMIANANA, 2004).Elles sont donc constituées essentiellement de corps bactériens et de leurs sécrétions. Ces bactéries se nourrissent des matières organiques contenues dans les eaux usées et les digèrent. Les boues sont de couleur sombre, très organique (75%) plus homogène que les boues primaires et ont moins d'odeur que les précédentes (LARBI, 2009).

- Les boues de traitement physico-chimique : Les boues de traitement physico-chimique, sont issues de l'agglomération des matières organiques particulaires ou colloïdales contenues dans les eaux par l'addition d'un réactif coagulant dont les plus courants sont les sulfates d'aluminium ou de fer, les chlorures ferreux ou ferriques, etc. Les boues sont ensuite séparées par décantation (BELGHAOUATI, 2013).

I.8.2. Composition globale des boues

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration et elle contient plusieurs éléments :

- La matière organique : Elle est constituée de carbohydrates, de protéines et de graisses. La matière organique dans les boues s'exprime généralement par le pourcentage de matières sèches qui sont volatiles. La plupart des boues fraîches sont constituées de 75 à 85% de matière volatile. La matière volatile est importante puisqu'elle peut générer des odeurs désagréables. Elle peut être valorisée quand les boues sont utilisées comme fertilisant (SIBOUKEUR, 2010).
- Les micro-organismes pathogènes : Les boues résiduaires contiennent une grande quantité de micro-organismes (virus, bactéries et parasites). Ils sont éliminés de l'eau avec les boues qui décantent. Une partie de ces micro-organismes se trouve sous forme pathogène donc dangereuse. La charge de ces micro-organismes pathogènes peut être réduite significativement par les procédés de traitement des boues, comme la digestion anaérobie, aérobie et le compostage (NEKILI, 2015).
- Les nutriments : Les boues urbaines contiennent trois nutriments essentiels pour la croissance des plantes: l'azote, le phosphore et le potassium. Les concentrations typiques dans les boues sont plus faibles que celles d'un fertilisant commercial. Un nutriment peut être présent dans les boues sous des formes chimiques différentes. L'azote est sous formes organique, ammoniacal ou de nitrates et le phosphore sous forme de phosphates ou d'ortho-phosphates(BERNAL-MARTINEZ, 2005).
- Contaminants chimiques inorganiques et organiques : Ces mêmes éléments ou traces métalliques (cuivre, le zinc, le chrome et le nickel), indispensables au développement des végétaux et des animaux, peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses. D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels (AMIR, 2005).

I.9. Destination des boues traitées

Les boues, après séchage, de la station d'épuration de Boussaâda sont Stockés à l'intérieure de la station d'épuration dans un bâtiment aéré. Une convention d'enlèvement de ces boues a été signée avec la Sarl EM Alegria pour une éventuelle utilisation.

I.10. Conclusion

Au cours de ce chapitre nous avons décrit la station d'épuration de Boussaâda. Cette STEP a été dimensionnée pour épurer 32.000 m³/j des eaux usées par le procédé d'épuration, boues activées à faible charge dans le but de protéger le milieu récepteur contre la pollution. Actuellement les eaux épurées sont canalisées vers un affluent du chott Hodna et les boues séchées sont stockées dans un locale aéré.

Chapitre II: Procédés de traitement des boues de STEP

II.1.Introduction

À la sortie des filières de traitement des eaux, les boues contiennent environ (95-99%) d'eau et une forte charge en matière organique. Ces caractéristiques posent des problèmes de nuisances olfactives pour leur transport et leur stockage. Pour réduire ces problèmes on applique plusieurs étapes de traitement des boues dans la STEP pour modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance à l'environnement. L'objet d'une filière spécifique dans une STEP permettant leur élimination à moindre impact économique et environnemental. Divers procédés sont mis en œuvre et ont pour principaux objectifs :

- La réduction du volume des boues afin de faciliter leur transport et leur stockage ;
- La réduction du pouvoir fermentescible ;
- La réduction des risques sanitaires.

Ce chapitre est une étude bibliographique, sur la description des boues résiduaire et leurs différents traitements.

II.2.Les différentes opérations de traitement des boues

II.2.1. L'épaississement (appelé encore concentration) :

L'objectif de cette étape est réduire la quantité d'eau pour diminuer le volume des boues pour les étapes suivantes de traitement. L'épaississement peut être statique gravitaire ou dynamique, selon le type de boue à traiter (SIBOUKEUR, 2010).

a) L'épaississement statique gravitaire

Il s'effectue par décantation dans un ouvrage cylindrique à fond conique appelé épaisseur sous l'action de force de gravité et un temps de séjour élevé (Figure II.1). Cette étape provoque le tassement des boues et leur évacuation se fait par le fond tandis que le liquide surnageant est évacué en surface (KARINE et al., 2007; RAMDANI, 2007).



Figure II. 1 : Ouvrage d'épaississement de la STEP de Boussaâda.

b) L'épaississement dynamique

Il est réalisé sous l'action de forces mécaniques et s'effectue selon différentes méthodes (BELGHAOUATI, 2013; SIBOUKEUR, 2010):

- **Par flottation** : La diffusion de fines bulles d'air dans l'épaississeur permet à la boue de remonter en surface, par captation. Ce procédé est principalement réservé aux boues activées car les particules en suspension sont de faible densité et de gros diamètre.
- **Par égouttage** : La boue est floculée avec le polymère, puis circule sur une toile filtrante où l'eau est éliminée.
- **Par centrifugation** : la boue floculée est épaissie sous l'effet de la force centrifuge.

II.2.2. Déshydratation et conditionnement

II.2.2.1. Déshydratation

La déshydratation est la deuxième étape de la réduction de volume des boues et elle se fait sur les boues épaissies, stabilisées ou non. Elle correspond à une augmentation forte de siccité (30 à 40 % de matière sèche) et modifie l'état physique des boues, en passant de l'état liquide à l'état solide pour faciliter par la suite leur transport et leur stockage. Il existe différents procédés principaux (AMIR, 2005; BELGHAOUATI, 2013; JARDE, 2005; KARONE, 2008; RAMDANI, 2007) :

a) La déshydratation sur décanteur centrifuge

L'eau est séparée de la boue sous l'effet d'une accélération de plusieurs milliers de gramme en termes de siccité, cette technique permet généralement d'obtenir de meilleures performances que le filtre à bandes.

b) La déshydratation par filtration :

Il existe deux techniques :

- **Sur filtre à bande:** les boues sont déversées entre deux bandes continues verticales de toiles synthétiques se déroulant entre deux rouleaux presseurs puis acheminées vers une aire de stockage.
- **Sur filtre à plateau** : la boue conditionnée est déshydratée par compression entre deux plateaux

c) La déshydrations naturelle (lit de séchage)

La technique des lits de séchage naturels se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine l'évaporation naturelle et le drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable ou de graviers. Ce système extensif donne des boues solides à 35 – 40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques.

II.2.2..2. Le conditionnement

Le conditionnement est souvent utilisé en amont pour favoriser la séparation liquide-solide, séparer et libérer l'eau liée à la matière solide, à l'aide de (KARONE, 2008; LACHASSAGNE, 2014):

- Floculants organiques de synthèse appelés poly électrolytes ou polymères de synthèse,
- Minéraux : chaux, sels de fer ou d'aluminium,
- Voie thermique (autoclavage) qui consiste en une cuisson des boues à 180 - 220 °C pendant 30 à 90 minutes pour casser les liaisons colloïdales propres à la rétention d'eau.

II.2.3. Le séchage

Le séchage élimine l'eau en grande partie ou en totalité par évaporation, soit par (JARDE, 2005):

- La technique des lits de séchage se réalise à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers (Figure II.2).
- Le séchage thermique permet une élimination de la quasi-totalité de l'eau, siccité d'environ 95%.



Figure II. 2: Les lits des séchages de la STEP de Boussaâda.

II.2.4. Stabilisation et hygiénisation des boues

II.2.4..1. La stabilisation

La stabilisation des boues vise à réduire le taux de matières organiques de manière à empêcher ou du moins à limiter les fermentations. Les matières organiques sont transformées en matières

minérales sous l'action des bactéries (RAMDANI, 2007). Les traitements par stabilisation des boues utilisés sont :

a) Stabilisation biologique

Elle réduit la teneur des boues en matières fermentescibles et se fait soit par :

- **Voie aérobie (en présence d'oxygène) :** Les boues sont aérées afin de permettre aux micro-organismes aérobies de dégrader les matières organiques. Le taux de réduction des matières organiques varie entre (20 et 35) % et en fonction de la durée de la stabilisation, de la charge volumique, de la température et de la nature de la boue. La digestion aérobie peut se faire dans le bassin d'aération dans le cas de l'épuration par aération prolongée ou dans un bassin aménagé (PLAGELLAT, 2004).
- **Voie anaérobie (absence d'oxygène) :** La stabilisation par voie anaérobie, appelée digestion anaérobie, est une fermentation bactérienne réalisée dans une cuve appelée digesteur. Les bactéries dégradent la matière organique en dioxyde de carbone et en méthane (AMADOU, 2007).

b) Stabilisation chimique (Le chaulage)

Le chaulage bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %), élevant le pH au-delà de 12. La chaux utilisée peut se présenter sous deux formes différentes : Chaux vive (CaO) ou Chaux éteinte (Ca (OH)₂). Ce traitement apporte un appoint en calcium qui peut être bénéfique lors de la valorisation de la boue. Le chaulage suppose généralement une déshydratation préalable des boues (BELGHAOUATI, 2013).

c) Compostage :

Ce procédé entraîne une diminution de poids, de volume et d'humidité de la boue, il détruit les germes pathogènes grâce à la forte température atteinte. Ce traitement facilite l'évacuation des boues résiduaires organiques car il conduit à la fabrication d'un produit sec qui ne nécessite pas une phase préalable de déshydratation poussée (DRIDER, 2012).

II.2.4..2.Hygiénisation

L'hygiénisation est toujours combinée avec la stabilisation, il existe trois processus sont possibles : pasteurisation à environ 70 °C pendant 30 minutes, déshydratation par séchage thermique partiel ou poussé à une température de 80 à 100 °C et autoclavage à 180-220 °C pendant 30 à 90 minutes (PLAGELLAT, 2004).

Chapitre II : Procédés de traitement des boues de STEP

II.3.Synthèse des procédés de traitement sur STEP

Chaque type de traitement présentées dans ce chapitre a des avantages et des inconvénients qui sont présentées dans le tableau II.1 suivant (AFGANE, 2016; AMORCE, 2012):

Tableau II. 1: Procédés de traitement des boues sur STEP (avantages et inconvénients).

Type de traitement		Avantages	Inconvénients
Épaississement	Gravitaire	-Exploitation simple. -Peu couteuse.	-Faible performance avec les boues biologiques. -Temps de séjour très long. -Nuisances olfactives possibles.
	Égouttage (Drainage)	- simple et efficace. - peu couteux. - performante.	-Main d'œuvre. -Eaux de lavage Polymère indispensable.
	Centrifugation	Rapide et compact	- Consommateur d'énergie. - Très sensible à la qualité des boues. - Maintenance & entretien spécialisés.
	Flottation	- Bien adapté aux boues biologiques. - Rapide. -Simplicité & facilité d'exploitation. -Surface Réduite & nuisances contrôlées.	- Forte demande énergétique. - Investissement élevé. - Fonctionnement délicat.
Déshydratation	Centrifugation	- Fonctionnement en continu. - totalement automatisé et fermé. -Plus compact que filtre presse.	- Coût élevé. - Nécessite un contrôle de la nature des boues. -Maintenance & entretien.
	Filtre presse à bande	- Lavage régulier. - Performante pour boues biologique. - Grande productivité. - Fonctionnement en continu.	-Consommation élevée d'eaux de lavage. -Surveillance nécessaire.
	Filtre presse à plateaux	- Entretien limité. - Tout type de boues(Préalablement épaissies)	- Inadapté pour les boues collantes. - Investissement élevé. - Automatisation possible.
	Lits de séchage	-Siccité élevée. -Facilités d'exploitation, Absence de conditionnement. -Coût d'investissement faible.	-Sensibilité aux variations climatiques. -Coût d'exploitation élevé. -Surface nécessaire importante.
Séchage	Lit de séchage	- Séchage rapide pour une quantité importante. -Forte réduction des volumes à gérer. - Hygiénisation des boues par la chaleur.	- demande en surface importante - nuisance olfactive
	Thermique	- Bonne élimination des micro-organismes. - Pas d'odeur indésirable.	-Coût très élevé. - Consommateur d'énergie. - Difficultés d'exploitation liées à l'entretien (arrêt) du sécheur.
Stabilisation - Hygiénisation	Biologique aérobie digestion	- Siccité atteinte élevée. - pH neutre, produit stable. - Facilite le transport et le stockage des boues.	
	Biologique anaérobie digestion	- Réduction jusqu'à 50% du volume. - Facile à transporter et stocker. - Production de biogaz.	- Pas efficace pour l'élimination des germes pathogènes.
	Chaux	- Augmentation du pH des boues (>12). - réduction de la contamination fécale et des germes d'origine fécale. - Pas d'odeur indésirable. -Augmentation de la siccité et de la valeur agronomique - Facilite le transport et le stockage des boues	- Manipulation délicate (Chaux vive le plus souvent)

II.4. Filières d'élimination des boues résiduaires urbaines

Il existe trois voies principales d'élimination des boues.

II.4.1. L'incinération

Ce traitement fait appel à des réactions de combustion qui mettent en œuvre des phénomènes d'oxydation. Les boues doivent être injectées dans une chambre maintenue à une très haute température (de préférence à 1200°C) avec une fourniture suffisante en oxygène pour oxyder tous les matériaux organiques. Une combustion efficace nécessite un temps de séjour contrôlé, une température optimale et uniforme, ainsi qu'une turbulence élevée, pour être incinérées. Les boues doivent présenter une siccité minimale de 25 à 35% (JARDE, 2005; SIBOUKEUR, 2010).

II.4.2. La mise en décharge

Permet par la mise en place des déchets dans le sol en tenant compte des principes d'hygiène et d'esthétique et de certaines conditions : compactage des résidus, site étanche, récupération et traitement des jus de décharges, équipement et gestion du site. Les boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées (humidité maximale de 70 %). La technique est dite l'avancement : c'est la décharge (feuilletée) ou les dépôts des couches successives sont compactées et nivelées avant couverture par des matériaux intercalaires inertes (appropriés) ou de la terre d'une épaisseur de 10 à 30 cm suivant la cohésion des matériaux et le soin apporté à leurs tassements, de sorte qu'il n'y a aucune pollution des eaux souterraines et de surface (AMIR, 2005; RAMDANI, 2007).

II.4.3. L'épandage

Les boues résiduaires peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux, c'est-à-dire comme produit capable de fournir aux cultures des éléments nutritifs nécessaires à leur croissance et à leur développement (SIBOUKEUR, 2010).

II.5. Conclusion

La synthèse bibliographique montre que les boues d'épuration sont considérées comme des déchets dangereux, qu'il tend à se concentrer les métaux lourds et les composés organiques faiblement biodégradables ainsi que, des organismes pathogènes (virus, bactéries...etc.) présent dans les eaux usées. La plupart des polluants présents dans les boues d'épuration sont adsorbés par les particules du sol. Les modifications de la composition du sol vont essentiellement dépendre des propriétés du sol récepteur (sol de décharge), le substratum de la décharge, de situation géographique dans laquelle s'y trouve, et de climat du milieu. Les jus de décharge constituent le principal contaminant de la nappe phréatique.

Chapitre II : Procédés de traitement des boues de STEP

Un grand nombre d'études présentent des développements analytiques visant à réutiliser ou à valoriser les boues d'épuration dans différents domaines.

Chapitre III :

Matériels et méthodes

III.1. Introduction

Dans ce chapitre on va présenter les principales techniques expérimentales utilisées dans notre étude. En premier temps, nous décrivons les techniques et protocoles d'analyses ce qui concerne la caractérisation des échantillons (la boue brute et calcinée), puis la présentation du polluant à traiter (Le Rouge de méthyle) et les méthodes expérimentales de son élimination par adsorption sur la boue brute et la boue calcinée.

III.2. Prélèvement d'échantillon de la boue

La boue utilisée dans notre expérimentation a été produite par la station d'épuration des eaux usées de la ville de Boussaâda. Il s'agit d'une station de traitement par boues activées faible charge. La boue a été prélevée sur les lits de séchage et elle est d'une couleur grise sans odeur désagréable.

III.3. Caractérisation des boues traitées

III.3.1. La siccité(S)

La siccité est le pourcentage massique de matière sèche (AFGANE et al., 2019). La siccité de la boue est déterminée par pesée d'une certaine quantité de boue avant et après passage à l'étuve à 105°C. La perte du poids par le solide représente le poids d'eau évaporée pendant le séchage. La siccité est calculée par la loi suivante :

$$Siccité = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} * 100 (\%)$$

Avec :

P₀= le poids du creuset vide (en g)

P₁= le poids de la boue avec le creuset (en g)

P₂= le poids de la boue séchée avec le creuset (en g)

III.3.2. Matières volatiles (MV)

La boue sèche est mise dans un four à moufle à 550°C pendant 2 heures (calcination). L'ensemble est pesé avant et après passage dans le four à moufle (Figure III. 1). La MV est exprimée en grammes (%). Les matières sèches volatiles sont déterminées selon la formule suivante :

$$MV = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_0} * 100 (\%)$$

P_0 = le poids du creuset vide (en g)

P_2 : le poids de la boue séchée + le creuset (en g)

P_3 : le poids de la boue calcinée + le creuset (en g)



Figure III. 1: Four à moufle.

III.3.3.L'humidité (La teneur en eau)

La teneur en eau a été calculée après séchage de l'échantillon à 105°C jusqu'à ce que le poids reste constant et selon la formule suivante :

$$\text{Humidité} = \frac{(P1 - P0) - (P2 - P0)}{(P2 - P0)} * 100 (\%)$$

Avec :

P_0 = le poids du creuset vide (en g)

P_1 = le poids de la boue avec le creuset (en g)

P_2 = le poids de la boue séchée avec le creuset (en g)

III.3.4.Mesure du potentiel d'hydrogène (pH)

Par définition, il est l'unité de mesure de la concentration en ions hydrogènes, permettant d'évaluer l'acidité ou la basicité d'un milieu. Il existe plusieurs méthodes de mesure du pH (pH eau, pH KCl) (GUERFI, 2012) . Dans notre étude le protocole appliqué pour la mesure du pH est le suivant :

Peser 20g de boue brute à l'aide d'une balance analytique, verser dans un bécher de 100ml. Ajouter 50ml d'eau distillée et agiter le mélange pendant 30min à l'aide d'un agitateur

magnétique. Laisser décanter 15min. Mesurer le pH de la suspension à l'aide du pH-mètre OHAUS STARTER2100 (Figure III.2).



Figure III. 2: Mesure de pH de la boue.

III.3.5.Mesure de la conductivité

La conductivité électrique constitue une approximation de la concentration des sels solubles présents dans l'échantillon (BENOUDJIT, 2016).

Dans notre étude le protocole appliqué pour la mesure de la conductivité est le suivant :

Peser 20g de boue brute à l'aide d'une balance analytique. Mettre dans un bécher de 100ml, ajouter 50ml d'eau distillée. Agiter le mélange pendant 30 min à l'aide d'un agitateur magnétique. Laisser décanter 15min. Mesurer la conductivité de la suspension à l'aide d'un conductimètre (LF90), en s'appuyant sur la norme NF ISO 11265 (Figure III.3).



Figure III. 3: Mesure de la conductivité de la boue.

III.3.6. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains. Elle comprend deux opérations, le tamisage pour les particules supérieures à 80 μm et la sédimentation pour les particules inférieures à 80 μm (figure III.4) dont les résultats sont présentés dans la courbe granulométrique. La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau.

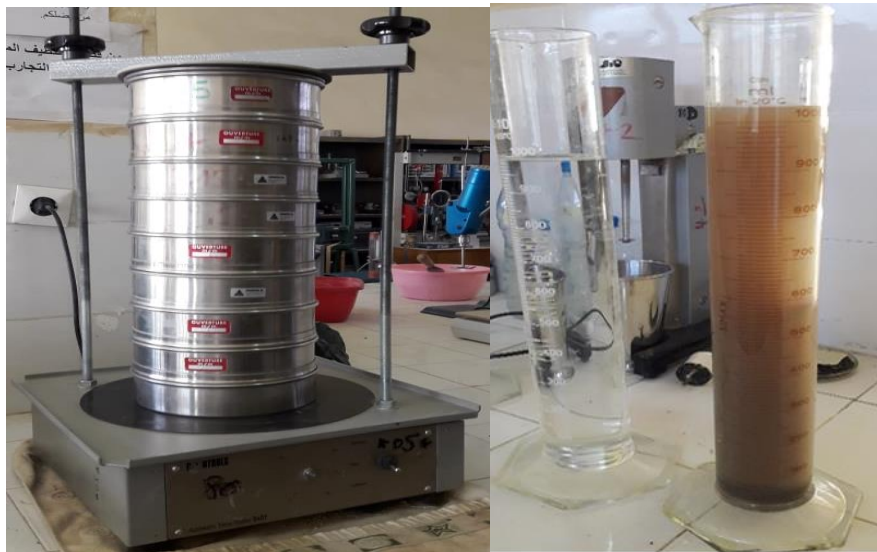


Figure III. 4: Analyse granulométrique par : Tamisage et sédimentométrie.

III.3.7. Analyse Infra rouge (IR)

Cette technique d'analyse qualitative permet d'identifier les fonctions chimiques, principalement organiques et les éléments mal cristallisés. La spectroscopie infrarouge est un moyen d'analyse permettant de déterminer la nature des liaisons chimiques présentes dans une molécule. C'est une méthode de caractérisation permettant d'identifier les groupements moléculaires et obtenir de nombreuses informations sur leur conformation et leurs éventuelles interactions (ZERGUINI & BOULOUFA, 2018).

Dans ce travail, l'analyse Infrarouge a été réalisée comme la suite : Une pastille de 1 cm de diamètre est fabriquée en mélangeant environ 1 mg de la poudre de boues avec 200 mg de bromure de potassium (KBr). Le mélange homogénéisé est mis dans un moule et est soumis à une compression pour former une pastille. Cette dernière est introduite dans l'appareil pour analyse et le résultat de l'analyse est directement lut sur l'ordinateur sous forme d'un spectre (figure III.5).



Figure III. 5: Le spectroscopie infrarouge.

III.3.8. Diffraction des rayons X (DRX)

L'analyse minéralogique par diffraction des rayons X permet l'identification et la mise en évidence des différentes phases solides cristallisées. Les échantillons analysés sont sous forme de poudre (BENOUDJIT, 2016). L'appareil de mesure s'appelle un diffractomètre. Les données collectées forment le diagramme de diffraction ou diffractogramme.

III.3.9. Microscopie électronique à balayage (MEB)

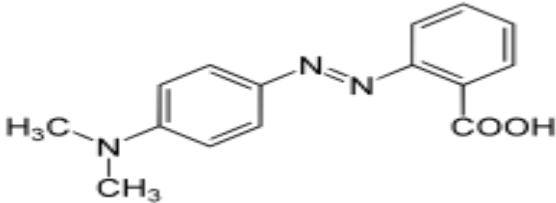
Cette technique constitue une analyse qualitative permettant de visualiser la morphologie, la microstructure et la forme des grains constituant le matériau analysé. Le principe de la microscopie électronique à balayage consiste à effectuer un balayage sur une aire réglable de l'échantillon par un faisceau d'électron permettant de l'explorer point par point. Différents rayonnements sont émis suite à cela dont les électrons secondaires à partir de la détection desquels une image est construite (BENOUDJIT, 2016).

III.4. L'élimination de colorant Rouge de méthyle par adsorption

III.4.1. Présentation des colorants

Le choix du colorant étudié « Rouge de méthyle » répond aux critères suivants : sa solubilité est élevée dans l'eau et son analyse est simple et rapide par spectrophotométrie dans le visible. Le Rouge de méthyle est un réactif organique et un indicateur coloré de pH dont la zone de virage varie entre pH 4,4 et pH 6,2. Le colorant prend la couleur rouge violacé pour un pH de 6,2 et la couleur orange entre les deux. Il se présente sous forme d'une poudre cristalline rouge ou violette. Les principales propriétés physico-chimiques du colorant (Rouge de méthyle) sont les présentées dans le tableau III.1.

Tableau III. 1: Les principales propriétés physico-chimiques du colorant (Rouge de méthyle).

Nom	Rouge de méthyle
Famille	Benzoïque
Formule brute	C ₁₅ H ₁₅ N ₃ O ₂
Appellation chimique	acide diméthylamino-4 phénylazo-2 benzoïque
Masse molaire (g/mol)	269,2985
Point de fusion	178 - 182 °C
Solubilité	Soluble dans l'éthanol, l'acétone, le benzène le chloroforme, l'acide acétique et les bases alcalines diluées. Solubilité dans l'eau à 20°C : 0,1 g. L-1 Solubilité dans l'éthanol à 20°C: 2g. L-1
Structure	

III.4.2. Etablissement de la courbe d'étalonnage du Rouge de méthyle

III.4.2..1. Préparation des solutions

La solution mère du Rouge de méthyle avec une concentration de 100 mg/l a été préparée par dissolution d'une quantité appropriée du Rouge de méthyle dans l'eau distillée et sous agitation magnétique pour faciliter la dissolution. Cette préparation a donné plusieurs solutions filles de différentes concentrations déduites par une dilution successive jusqu'aux concentrations désirés.



Figure III. 6 : La solution mère et les solutions filles.

Pour la détermination des concentrations résiduelles dans les essais d'adsorption sur la boue (brute ou calcinée), on utilise l'équation de la courbe d'étalonnage qui a été introduite par l'analyse par spectrophotométrie UV - visible des solutions filles. Le dosage du colorant a été réalisé sur un spectrophotomètre UV- visible à $\lambda = 490 \text{ nm}$.

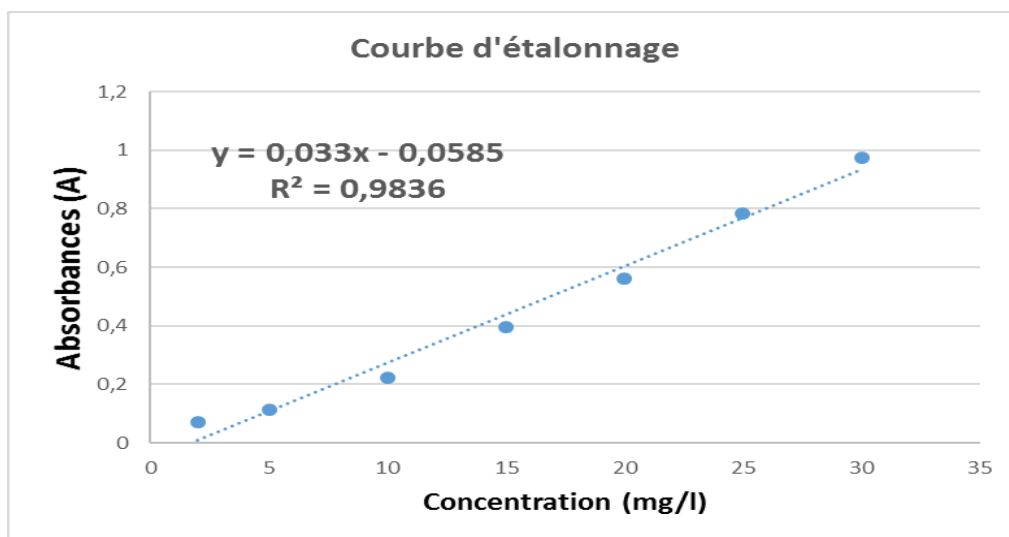


Figure III. 7 : Courbe d'étalonnage du Rouge de méthyle.

III.4.2..2. Description les essais d'adsorption

Les essais d'adsorption sont réalisés en réacteur statique. L'adsorption est effectuée par mise en contact de solutions aqueuses de colorant (Rouge de méthyle) avec des quantités croissantes de boue (brute ou calcinée) dans des béchers d'un litre. Le temps d'agitation nécessaire pour l'équilibre est inférieur ou égal à 1 heure.



Figure III. 8 : Dispositif expérimental des essais d'adsorption.

Les concentrations des solutés sont déterminées sur des échantillons centrifugés dans une centrifugeuse de marque (Hettich Zentrifugen Universal) pendant 15min après nous comparons le pouvoir adsorbant de la boue (brute ou calcinée) sur l'élimination du rouge de méthyle par adsorption.



Figure III. 9 : Centrifugeuse.

III.4.3. Les rendements d'élimination du Rouge de méthyle

L'évolution du rendement d'élimination du Rouge de méthyle à l'équilibre est suivie par le paramètre :

$$R\% = \frac{C_0 - c_r}{c_0} * 100$$

Où :

C_0 : Concentration initiale du composé organique testé (mg/l).

c_r : Concentration résiduelle du composé organique testé à l'équilibre (mg/l).

III.4.4. Les cinétiques d'adsorption

L'étude cinétique a été réalisée pour différentes masses du matériau adsorbant (boue brute et calciné) qui varient dans la gamme de 5 mg jusqu'au 120 mg. Elles sont dispersées dans 100 ml de solution colorée de concentration 5 mg/l de rouge de méthyle. Les échantillons sont mis sous agitation et après prélèvements à différents intervalles de temps de contact (10 à 15 min) à l'aide d'une seringue et centrifugation, les concentrations en colorants sont analysées par spectrophotomètre UV-Visible à 490 nm.



Figure III. 10 : Spectrophotomètre UV-Visible.

La manipulation s'achève lorsqu'un équilibre est atteint. Celui-ci correspond à une concentration constante du colorant en solution, soit à l'échelle de l'essai après une durée d'une heure.

III.4.5. Les isothermes d'adsorption

Tracer une isotherme d'adsorption d'un liquide sur un solide nécessite la détermination de la quantité de soluté adsorbé en fonction de la concentration du soluté dans la solution à l'équilibre à une température donnée. Plusieurs méthodes d'obtention de l'isotherme d'adsorption ont été mises à jour (BEDRA, 2016). L'exploitation des isothermes d'adsorption de chaque cas (boue brute et boue calcinée) sont décrites par les lois de Freundlich et de Langmuir.

a) Isotherme de Freundlich

Il s'agit d'une équation qui est souvent employée dans la représentation pratique de l'équilibre d'adsorption entre le soluté et la surface de l'adsorbant (BEDRA, 2016):

L'équation se présente sous la forme suivant :

$$q_e = k_f \cdot C_e^n$$

Avec :

q_e : quantité du soluté adsorbée par unité de masse de l'adsorbant à l'équilibre.

K_f : constante de Freundlich associée à la capacité d'adsorption.

n : paramètre énergétique de Freundlich, c.-à-d. l'affinité du soluté vis-à-vis de l'adsorbant.

C_e : concentration de l'adsorbat à l'équilibre dans la phase liquide.

b) Isotherme de Langmuir

C'est un modèle simple largement utilisé et repose sur les hypothèses suivantes (TIR & KADRI, 2018) :

- L'adsorption se produit sur des sites localisés d'égale énergie.
- L'adsorption se produit en monocouche.
- Il n'y a pas d'interaction latérale entre les molécules adsorbées à la surface.

Ce modèle est traduit par l'équation suivante :

$$q_e = q_m * \frac{k_L C_e}{1 + k_L C_e}$$

q_e: Quantité de substance adsorbée à l'équilibre par unité de poids de l'adsorbant (mg/g).

C_e: Concentration du substrat en adsorbat à l'équilibre (mg/L).

k_L: constante d'équilibre de Langmuir (L/g).

q_m: Quantité de substance adsorbée au maximum par unité de poids de l'adsorbant « capacité d'adsorption » (mg/g).

III.5. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter, dans un premier temps la caractérisation de notre boue brute et calcinée par les analyses suivant : la siccité, l'humidité, MV, pH, la conductivité, l'analyse granulométrique, l'IR, la DRX et le MEB. Dans un second temps, l'élimination du colorant rouge de méthyle par l'utilisation de la boue brute ou calcinée sous forme de poudre préparée au laboratoire et la description de la préparation des solutions synthétiques de rouge de méthyle en eau distillée et les étapes des essais d'adsorption réalisées.

Chapitre IV :
**Possibilité de valorisation
de la boue de la STEP de
Boussaâda dans l'adsorption
du colorant « Rouge de
méthyle »**

IV.1. Introduction

Ce chapitre présente les résultats d'analyses des paramètres physicochimiques et minéralogiques liées aux boues produites au cours du traitement des eaux usées de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Boussaâda. Les résultats obtenus feront l'objet d'une interprétation qui permettra de connaître les propriétés de la boue. Aussi nous proposons d'examiner le pouvoir de rétention et la cinétique d'adsorption de différents adsorbants (boue brute, boue calcinée) vis-à-vis du rouge de méthyle en vue de son élimination. Ce qui nous amène à évaluer les différents paramètres relatifs aux isothermes de Freundlich et de Langmuir qui décrivent les cinétiques des réactions d'adsorption.

IV.2. Interprétation des résultats des analyses de la boue

IV.2.1. Analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques de la boue de la station d'épuration de la ville de Boussaâda sont regroupés dans le (tableau IV.1).

Eliment	Boue
La siccité (%)	91.35
L' humidité (%)	8.65
MV (%)	30.87
pH	6.96
Conductivité (ms /cm)	3.75

Tableau IV. 1 : Résultats des analyses physico-chimiques de la boue.

IV.2.1.1. L'humidité

Plus la boue est humide plus elle cause des problèmes de transport et de stockage. Le milieu humide favorise le développement de micro-organismes multiples (OUABED.D & OUABED.F, 2015). Pour notre boue le taux d'humidité est faible et égale à 8.65% dû à son système de déshydratation (lit de séchage) qui est variable selon le temps de séjour de la boue dans le lit et les conditions météorologiques.

IV.2.1.2. La siccité

La siccité de la boue est un paramètre qui est considéré comme le plus important. La valeur de la siccité dépend essentiellement des méthodes de séchage et de déshydratation adaptée lors du traitement, des facteurs du temps et climatique (température, précipitation) qui changent l'état physique de la boue en général (pâteuse, liquide, sèche ...). Pour les boues de la STEP de

Boussaâda le pourcentage de la siccité est très élevé et égale à 91.35% grâce au séchage naturel par le rayonnement solaire (lit de séchage).

IV.2.1.3. Matières volatiles (MV)

La teneur en matières volatiles permet d'indiquer le taux de matière organique contenu dans l'échantillon considéré. C'est un paramètre qui peut influencer sur le maintien des polluants et notamment des métaux lourds. En effet, la rétention de ces derniers est favorisée par une teneur élevée en matières volatiles (DURAND, 2003; ZERGUINI & BOULOUFA, 2018). Les procédés de stabilisation assurent un abattement maximum de 45% du taux de MV et produisent ainsi une boue dite stable (TELLI, 2013). Le résultat obtenu de la teneur en matières volatiles de notre boue est de 30.87 % ce qui nous amène à conclure que notre boue est stable, car elle est débarrassée de ses matières organiques.

IV.2.1.4. Le potentiel en hydrogène (pH)

La boue fraîche est caractérisée par un pH acide qui va à la basicité après certain mois de stockage. Généralement le pH des boues est situé dans un intervalle de valeurs bien précis: $6 < \text{pH} < 8$ (ADEME, 2001). Notre boue présente un pH voisin de la neutralité, il est de l'ordre de 6.96.

IV.2.1.5. Conductivité

La conductivité électrique est un bon indicateur de la concentration des sels solubles dans l'échantillon selon leur degré de salinité (BENOUDJIT, 2016). La conductivité électrique relevée de la boue est de l'ordre de 3.75 ms/cm. Le résultat de notre analyse montre que notre boue a une conductivité électrique importante et c'est dans le même rang que les résultats trouvés pour les boues sèches étudiées par (DUSZA et al., 2009) [0,1 - 4,3 ms/cm].

IV.2.2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique décrit les proportions relatives des diverses tailles des particules solides de la boue (argiles, limons et sables), elle comprend deux opérations, le tamisage pour les particules supérieures à 80 μm et la sédimentation pour les particules inférieures à 80 μm . Le résultat obtenu est présenté dans la figure (IV.1) ci-dessous. La figure (IV.1) révèle la variabilité de la boue en particules de tailles différentes. On constate en premier lieu la présence du sable à 70%, du limon à 9% et d'argile à 5%. D'après le triangle de texture, on définit que la texture est sablo-limoneuse.

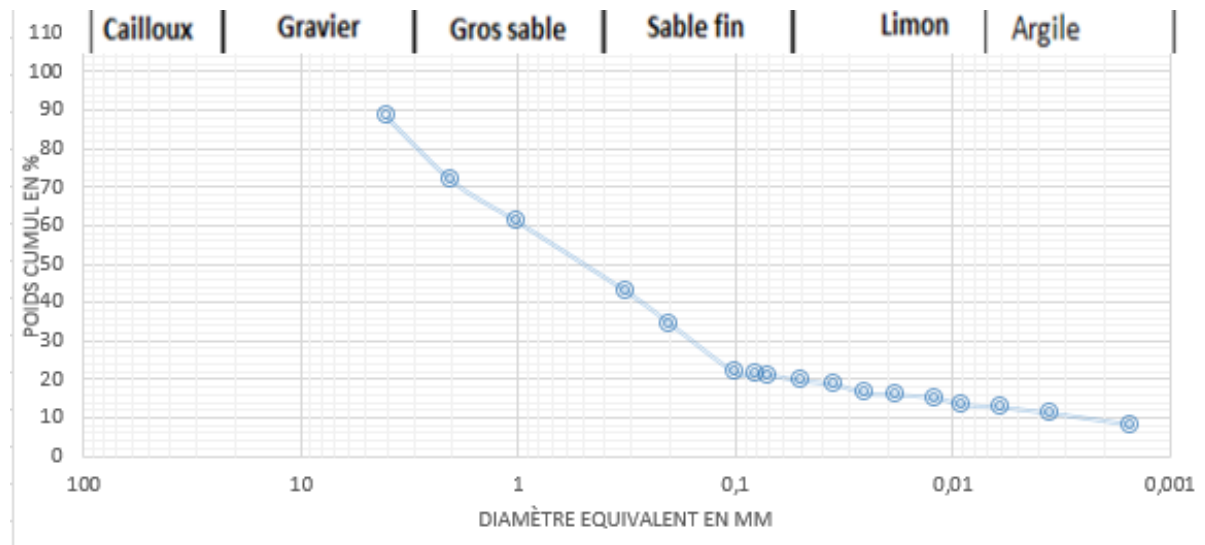


Figure IV. 1 : La courbe granulométrique de la boue de la step de Boussaâda.

IV.2.3. Analyse Infra rouge (IR) de la boue brute

IV.2.3.1. La boue brute

L'examen du spectre IR (plage de nombres d'ondes de 4000 à 450 cm^{-1}) de la boue brute (figure IV.2) montre l'apparition des bandes d'absorption. En se basant sur les données mentionnées au tableau IV. 2 (voir annexe), on peut avancer les résultats suivants :

- La large bande centrée aux alentours de 3400 cm^{-1} correspond aux vibrations d'élongation des liaisons O-H. Ceci peut indiquer la présence des groupements alcools, acides carboxyliques, amines ou amides ou de l'eau absorbée.
- Les bandes à $2918\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ correspondent à la vibration d'étirement symétrique ou asymétrique des groupes -CH_3 et -CH_2 des hydrocarbures aliphatiques.
- Les bandes à $1730\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ correspondent à la vibration d'étirement des groupes carboxyle $\text{C}=\text{O}$ ou $\text{C}=\text{C}$ et $\text{C}=\text{O}$ en anneaux aromatiques.
- Les bandes situées de 1450 à 1650 cm^{-1} (1423 cm^{-1}) sont attribuée aux vibrations d'élongations de liaison $\text{C}=\text{C}$ (les groupements phényle).
- Les pics prononcés aux environs de 1035 cm^{-1} peuvent être attribués aux vibrations d'élongation des liaisons C-O dans les polysaccharides et les éthers aromatiques. Ces pics peuvent également être dus aux vibrations d'élongation des liaisons Si-O dans la silice. Ce qui confirme les résultats obtenus par DRX montrant la présence du quartz.
- Les bandes qui s'étendent entre 875 cm^{-1} et 876 cm^{-1} sont dus à la présence de calcite (CaCO_3). Ce qui est en accords avec les résultats obtenus par DRX.

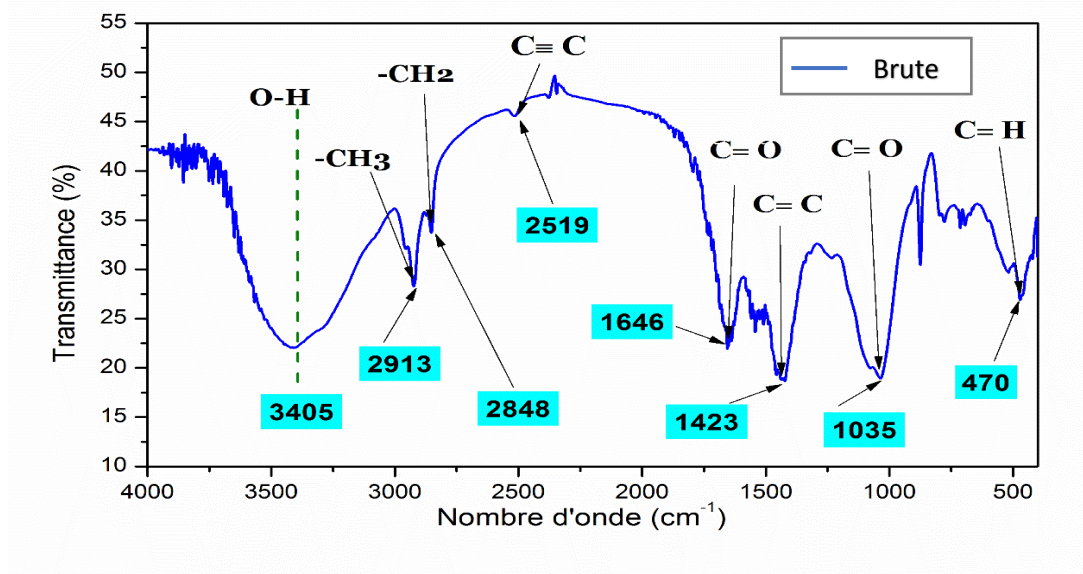


Figure IV. 2 : Spectre infra rouge de la boue brute .

IV.2.3.2. La boue calcinée

L'examen du spectre IR de boue traitées thermiquement montre l'apparition des bandes d'adsorption sous dessous et d'après les données mentionnées au tableau IV. 2 (voir annexe), on peut avancer les résultats suivants :

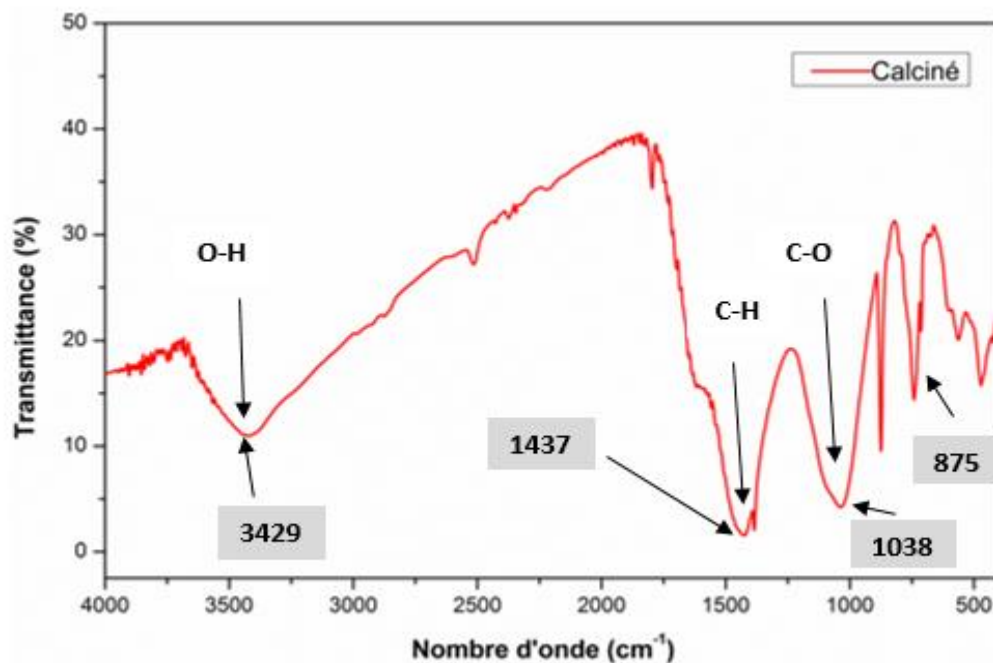


Figure IV. 3: Spectre infra rouge de la boue calcinée .

Chapitre IV : Possibilité de valorisation de la boue de la STEP de Boussaâda dans l'adsorption du colorant « Rouge de méthyle »

- La moyenne bande centrée aux alentours de 3400 cm^{-1} correspond aux vibrations d'élongation des liaisons O-H. Ceci peut indiquer la présence des groupements alcools, acides carboxyliques, amines ou amides ou de l'eau absorbée.
- La bande d'absorption située à 1437 cm^{-1} correspond à C-H aliphatique.
- Les pics prononcés aux environs de 1037 cm^{-1} peuvent être attribués aux vibrations d'élongation des liaisons C-O dans les polysaccharides et les éthers aromatiques. Ces pics peuvent également être dus aux vibrations d'élongation des liaisons Si-O dans la silice.
- Les bandes qui s'étendent entre 875 cm^{-1} et 876 cm^{-1} sont dus à la présence de calcite (CaCO_3). D'après les spectres infrarouge précédent nous pouvons dire que l'augmentation de la température conduit à la rupture des liaisons chimiques dans le composé, déformant ainsi la structure chimique et faisant disparaître les fonctions.

IV.2.4. Diffraction des rayons X (DRX)

Le diffractogramme de la boue brute du step de la ville de Boussaâda est représenté dans la figure (IV.3) révèle la présence de raies fines montrant qu'il s'agit d'un matériau bien cristallisé. On peut ainsi identifier les phases minéralogiques présentent dans la boue.

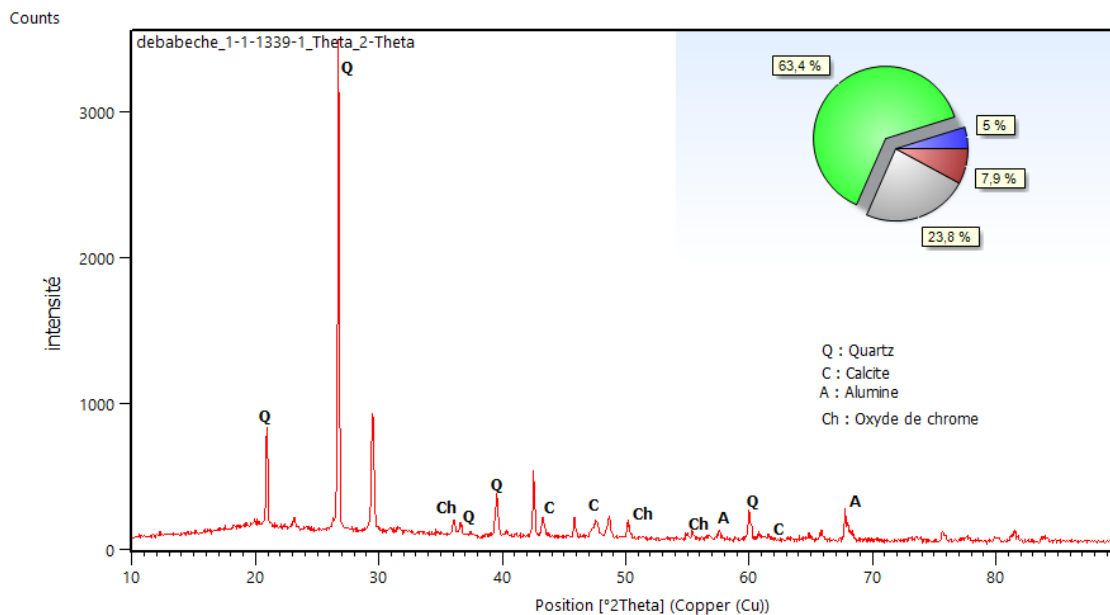


Figure IV. 4 : Diffractogramme de la boue brute.

D'après l'analyse de la boue par DRX, nous constatons que notre boue est composée principalement de Quartz (SiO_2) avec un pourcentage de 63.4%, la calcite (CaCO_3) est présente

Chapitre IV : Possibilité de valorisation de la boue de la STEP de Boussaâda dans l'adsorption du colorant « Rouge de méthyle »

comme second composé avec 23.8 %. Toutefois, nous avons enregistré la présence d'un faible pourcentage d'alumine (Al_2O_3) égale à 7.9% et suivis d'oxyde de chrome (Cr_2O_3) égale à 5 %. Nous pouvons conclure que l'autre constituant important de notre boue est la calcite, or les carbonates sont connus par leurs sensibilités aux solutions aqueuses, par conséquent, les interactions entre la calcite et le rouge de méthyle sont fortes ce qui favorise la fixation (BELGHAOUATI, 2013) et l'alumine qui ont une forte capacité d'adsorption(LAFONT, 2005) .

IV.2.5. Microscopie électronique à balayage (MEB)

La Figure IV.4 présente la micrographie de notre échantillon de boue séchée et broyée est obtenue à l'aide du microscope électronique à balayage (MEB) dont le but est de donner une idée sur la forme des grains dans notre échantillon. Cette micrographie montre que la poudre de la boue étudiée a une structure poreuse et se compose de grains de différentes tailles et de formes irrégulières.

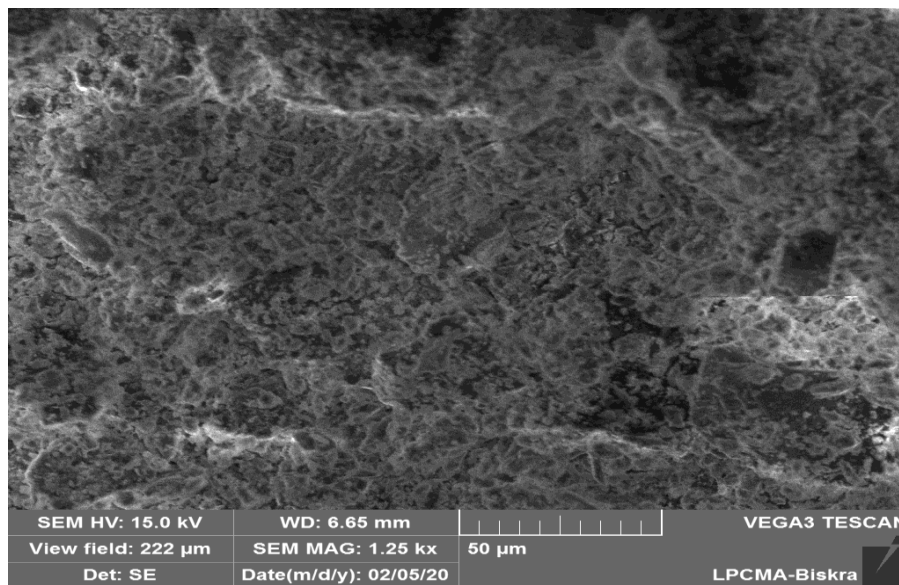


Figure IV. 5: La micrographie de la boue de Boussaâda.

Chapitre IV : Possibilité de valorisation de la boue de la STEP de Boussaâda dans l'adsorption du colorant « Rouge de méthyle »

Les résultats d'analyse EDS présentent dans la figure suivant :

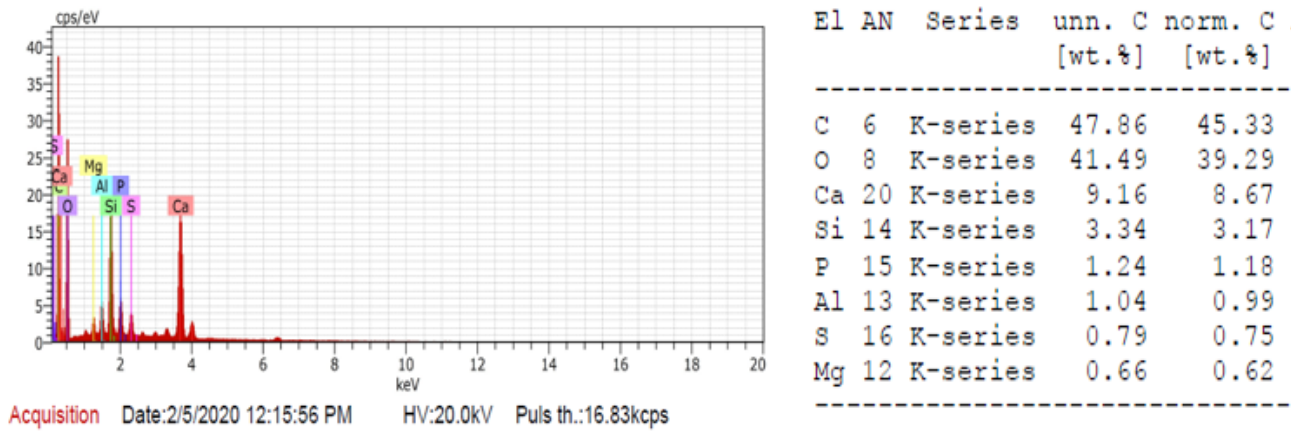


Figure IV. 6: EDS de la boue de la step de la ville de Boussaâda.

Les résultats d'analyse par EDS ont montré que l'adsorbant (boue brute) contient principalement du carbone et de l'oxygène mais des niveaux plus faibles de Calcium, de Silicium et d'autres éléments (Figure IV.5). Cette analyse reste préliminaire car d'une façon générale, les boues des stations d'épuration sont des matériaux très complexes constitués par des phases minérales, organiques et biologiques (bactéries). Alors il est très difficile de donner une composition chimique d'une boue à l'état brute.

IV.3. L'élimination de colorant « Rouge de méthyle » par adsorption sur les adsorbants testés

IV.3.1. Détermination de la dose optimale des adsorbants testés

Dans nos essais, une solution de concentration initiale du rouge de méthyle à 5 mg/l et pH de la solution est mise en contact avec différentes masses des adsorbants (boues brute et calcinée) variant de 5 à 100 mg. Les figures (IV.7, IV.9) représente la variation de la concentration adsorbée en rouge de méthyle en fonction de la masse de l'adsorbant en suspension dans la solution du colorant.

D'après les tableaux (IV. 3, IV. 4) en annexe et les figures (IV.8, IV. 10), qui montrent les résultats obtenus pour chaque prélèvement et la variation du rendement d'élimination du rouge de méthyle en fonction de la masse des adsorbants, nous remarquons que :

IV.3.1.1. Cas de la boue brute

D'après les figures (IV.7, IV. 8), le maximum d'efficacité est obtenu par la boue brute qui est de 35.45 % pour une masse de 20 mg de boue, alors qu'il diminue à 28 % pour une masse de 100 mg.

Le rendement d'élimination du rouge de méthyle augmente jusqu'au maximum qui correspond à la dose optimale. En réalité ce rendement doit rester constant mais il diminue avec l'augmentation de la dose, cela revient au phénomène de désorption.

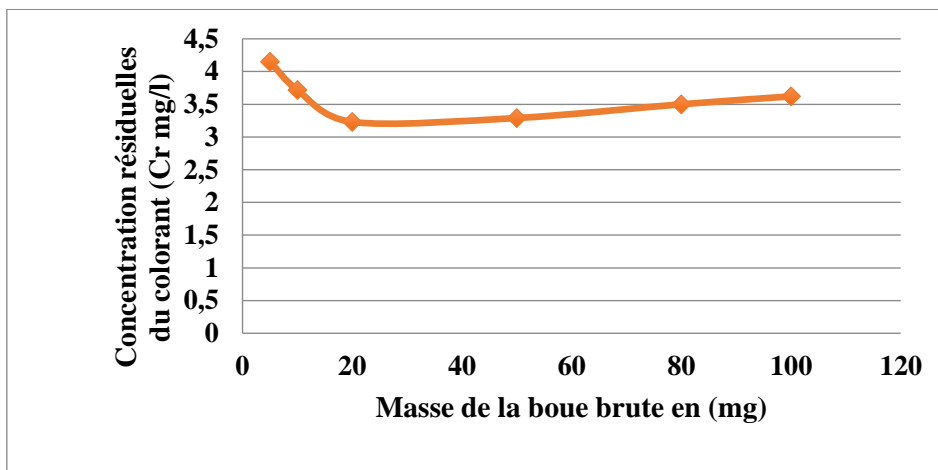


Figure IV. 7 : Concentrations résiduelles du colorant en fonction de la masse de la boue brute.

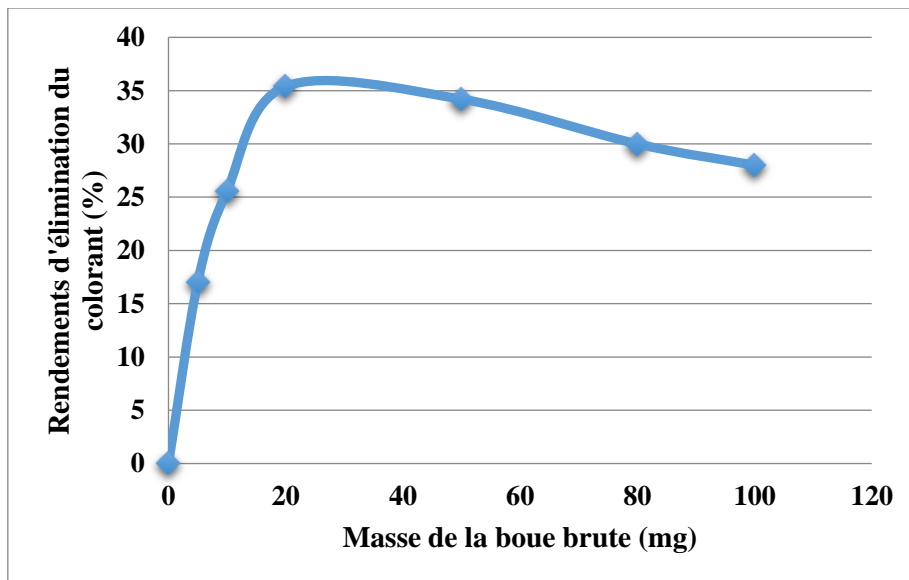


Figure IV. 8: Rendements d'élimination du rouge de méthyle en fonction de la masse de la boue brute.

Chapitre IV : Possibilité de valorisation de la boue de la STEP de Boussaâda dans l'adsorption du colorant « Rouge de méthyle »

A partir de 20 mg de boue brute, la quantité adsorbée du colorant presque n'évolue plus. Ce comportement peut être due au nombre de sites d'adsorption qui augmente avec la quantité d'adsorbant jusqu'à la masse de 20 mg à partir de laquelle le nombre de sites devient stable (tous les sites d'adsorption sont occupés) (BEDRA, 2016).

En réalité, L'augmentation de la dose de l'adsorbant fait croire le nombre des sites disponibles pour la fixation des molécules du colorant (rouge de méthyle) sur la surface du boue brute, ce qui favorise par conséquent le phénomène de décoloration (MAKHLOUF et al., 2013).

IV.3.1..2. Cas de la boue calcinée

Après calcination de la boue dans un moufle à 550 C° pendant 2h pour l'utilisation comme adsorbant et d'après les figures (IV.9, IV.10) le rendement d'élimination de rouge de méthyle augmente avec l'augmentation de la dose de la boue calcinée jusqu'à un maximum de 15 % qui correspond à une dose de 20 mg qui représente la dose optimale.

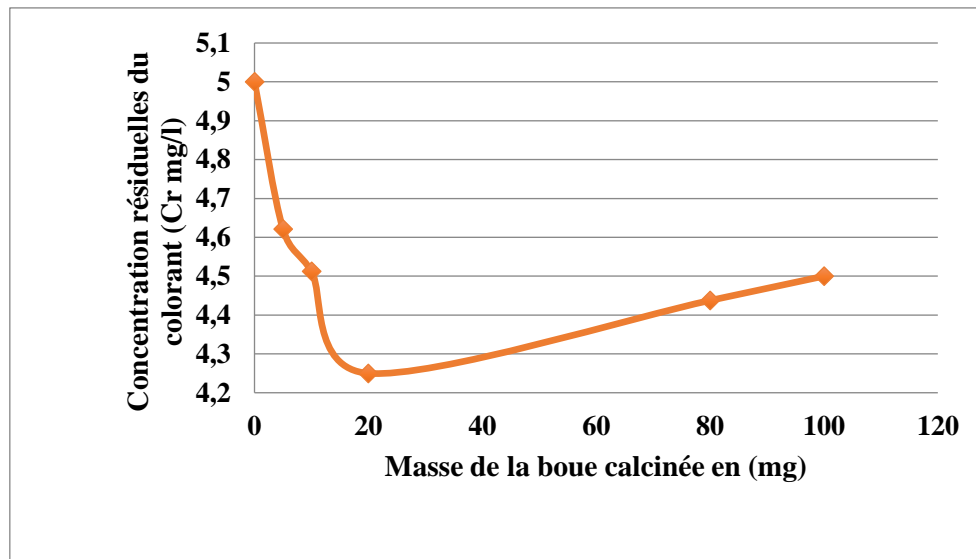


Figure IV. 9: L'effet de la masse de la boue calcinée sur l'adsorption du Rouge de méthyle.

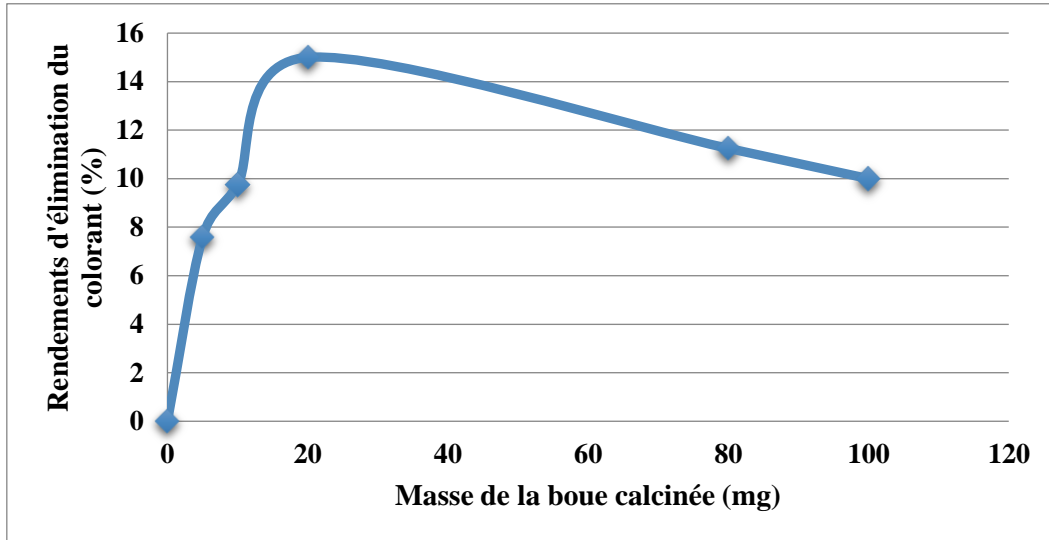


Figure IV. 10: Rendements d'élimination du Rouge de méthylène en fonction de la masse de la boue calcinée.

L'ensemble des résultats obtenus sont matérialisés sur la figure (IV. 11) montrant les adsorbants utilisés présentent des comportements très différents vis-à-vis de l'élimination du rouge de méthyle. L'examen de la courbe présentée sur la figure (IV. 11), met en relief l'affinité de ce composé organique vis-à-vis de la boue brute. En augmentant la dose de la boue brute, le rendement d'élimination du colorant augmente jusqu'au maximum qui correspond à la dose optimale d'adsorbant avec le maximum d'efficacité de 35,45 % pour une masse de 20 mg de boue brute.

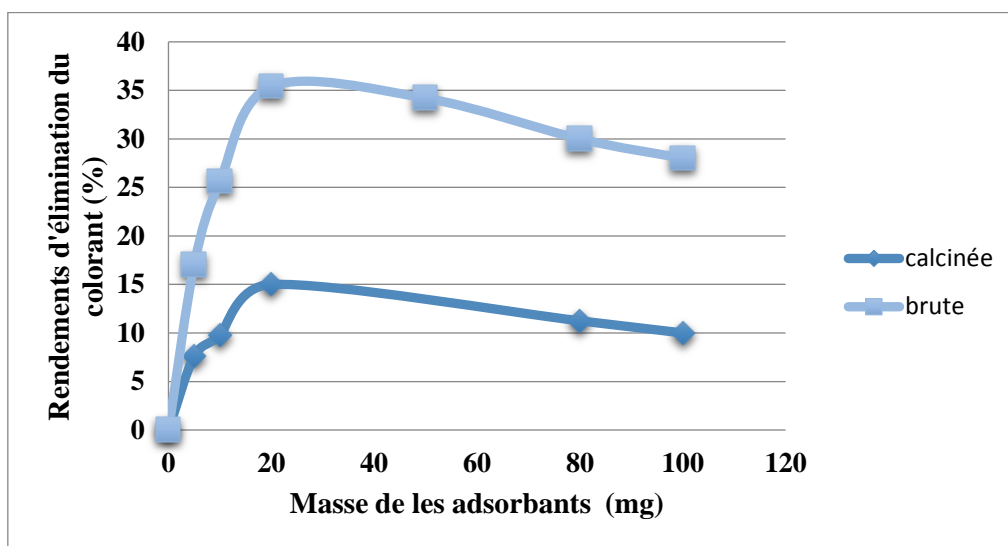


Figure IV. 11: Rendements d'élimination du rouge de méthyle sur différents adsorbants.

Les rendements d'élimination du rouge de méthyle sur la boue brute sont en général nettement supérieurs à ceux obtenus avec l'autre adsorbant (boue calcinée). Ceci peut être due à la montée de température diminue légèrement le rendement de l'adsorption.

IV.3.2. Les cinétiques d'adsorption

Dans un bécher disposé sur un agitateur magnétique on introduit un litre d'eau distillée contenant le rouge de méthyle à étudier à une concentration connue de 5 mg/l puis on ajoute une dose de l'adsorbants fixée à 80 mg. Les prélèvements effectués au cours du temps permettent de suivre l'évolution du composé organique (Rouge de méthyle) restant en solution et d'autre part de déterminer le temps d'équilibre de la réaction d'adsorption pour chaque adsorbant. Les résultats sont donnés dans le Tableau IV. 5 en annexe et présentés sur la figure IV. 12 montrent que :

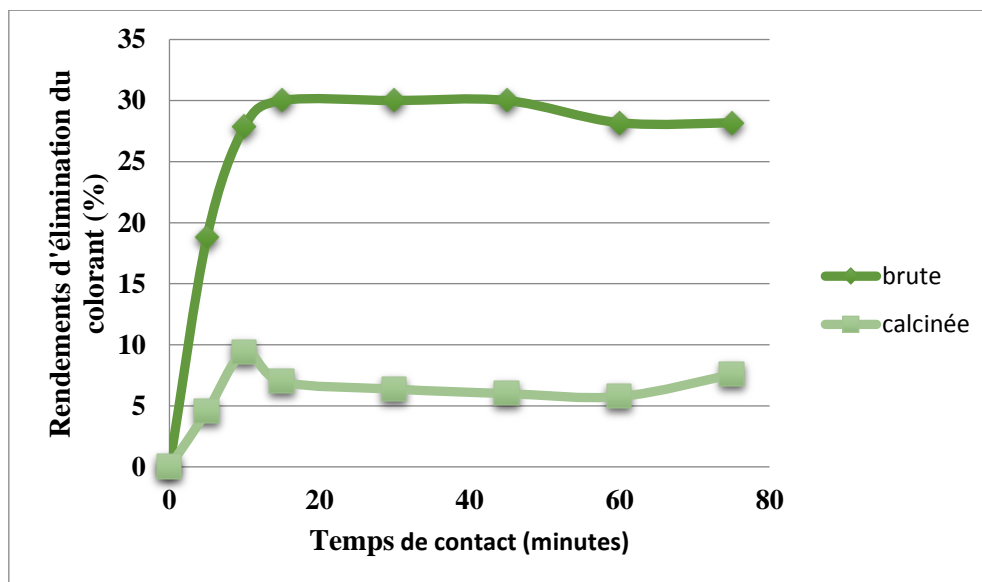


Figure IV. 12: Rendements d'élimination du rouge de méthyle en fonction du temps sur différents adsorbants testés.

Nous pouvons constater qu'il y a :

- Une augmentation rapide du rendement d'élimination du rouge de méthyle pendant les premières minutes de réaction, ce qui correspond au maximum d'efficacité de l'adsorption du rouge de méthyle et donc au minimum des teneurs en rouge de méthyle résiduel avec un temps d'équilibre est égal à 15 min pour les deux adsorbants (ACHOUR & YUCEF, 2003);
- Ce point peut être interprétée par le fait qu'en début d'adsorption le nombre des sites actifs disponibles à la surface du matériau adsorbant est beaucoup plus important que celui des sites restant après un certain temps (MAKHLOUF et al., 2013) ;

- Pour la diminution de la quantité de rouge de méthyle adsorbé après le temps d'équilibre pourrait être expliqué par la saturation des sites d'adsorption de l'adsorbant (AMIMEUR, 2018).

IV.3.3. Détermination des isothermes d'adsorption

Nous avons suivi l'élimination du rouge de méthyle en fonction de la masse des adsorbants. Nous avons pu ainsi tracer les isothermes correspondantes, celles de Freundlich et de Langmuir qui déjà définies dans le chapitre précédent.

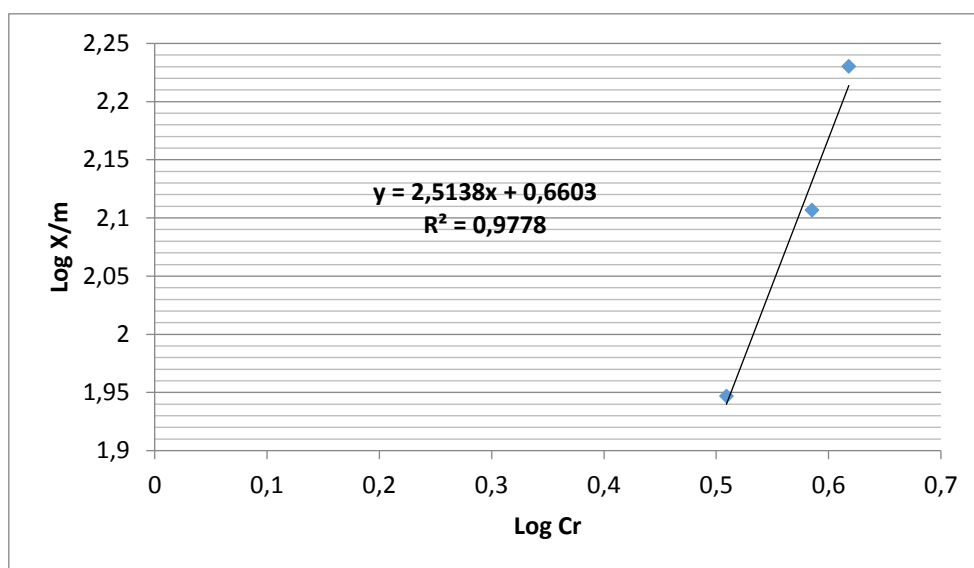


Figure IV. 13: Isotherme de Freundlich de rouge de méthyle sur la boue brute.

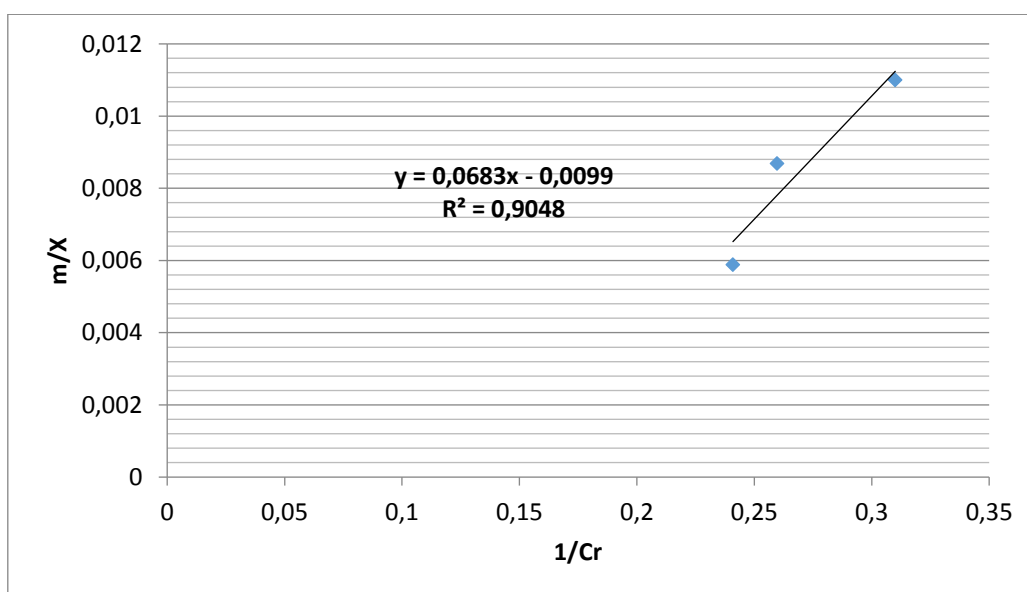


Figure IV. 14: Isotherme de Langmuir de rouge de méthyle sur la boue brute.

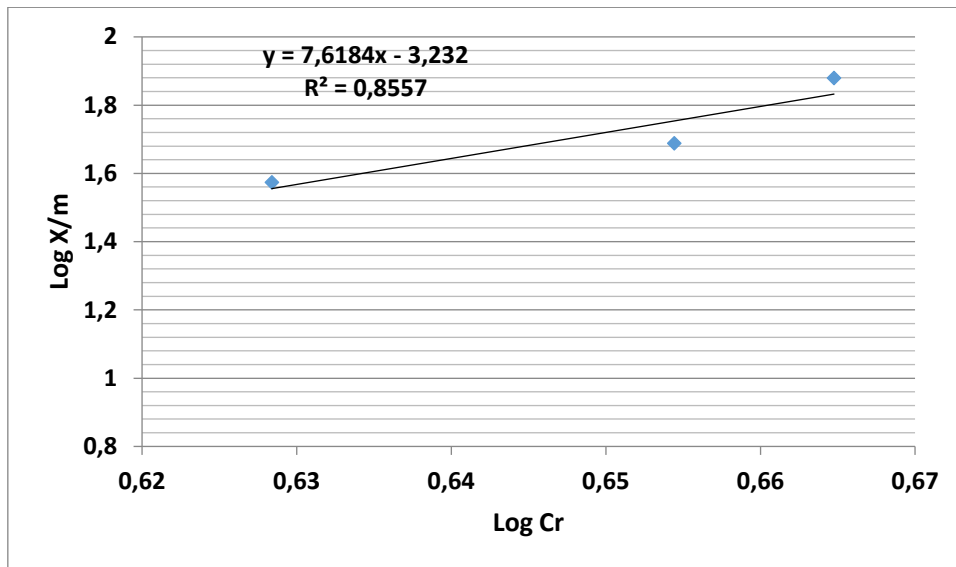


Figure IV. 15: Isotherme de Freundlich de rouge de méthyle sur la boue calcinée.

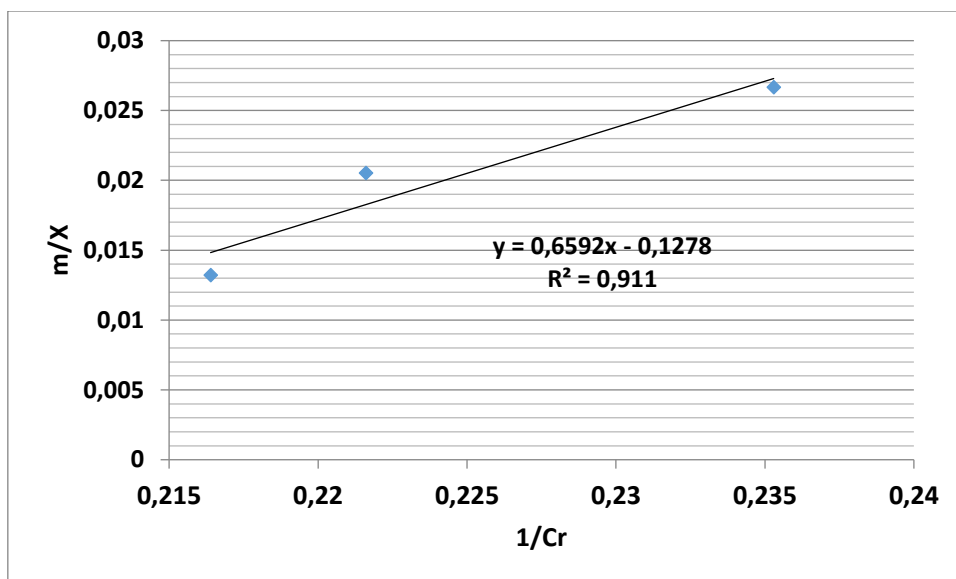


Figure IV. 16: Isotherme de Langmuir de rouge de méthyle sur la boue calcinée.

Les résultats regroupés dans les tableaux (IV. 6 et IV.7) en annexe et présentés sur les figures (IV. 13, IV. 14, IV. 15 et IV. 16) montrent que ces isothermes obéissent à la loi de Freundlich ($n < 1$) et de Langmuir. Les courbes tracées présentent une bonne linéarité dans le cas de l'adsorption sur adsorbant boue brute et la boue calcinée. Par ailleurs, nous rappelons que les équations servant au tracé des isothermes sont les suivantes :

Chapitre IV : Possibilité de valorisation de la boue de la STEP de Boussaâda dans l'adsorption du colorant « Rouge de méthyle »

a) Isothermes de Freundlich :

- L'équation de Freundlich pour la boue brute

$$Y=2,5138+0.6603 \quad R^2=0.9778$$

- L'équation de Freundlich pour la boue calcinée

$$Y=-7,6184 x-3.232 \quad R^2=0.8557$$

b) Isothermes Langmuir :

- L'équation de Langmuir pour la boue brute

$$Y=0.0683x-0.0099 \quad R^2= 0.9048$$

- L'équation de Langmuir pour la boue calcinée

$$Y=0,6592x-0,1278 \quad R^2=0,911$$

A partir de ces équations mentionnées sur les courbes, nous pouvons déduire les paramètres relatifs à la loi de Freundlich (n, k) et à la loi de Langmuir ((b, q_m). Les constantes de ces deux lois sont présentées sur le tableau IV.2.

Tableau IV. 8 Constantes de Freundlich et de Langmuir obtenues pour différents adsorbants.

Adsorbants	Freundlich			Langmuir		
	n	k	Coefficient de corrélation	q _m (mg/g)	b(mg/)	Coefficient de corrélation
Boue brute	0,398	1,935	0,978	101,01	0,144	0,905
Boue calcinée	0,131	25,330	0.856	7,825	0,194	0,911

La capacité d'adsorption, exprimée en mg de rouge de méthyle adsorbée par unité de masse d'adsorbant (g), est donnée par le paramètre q_m (mg/g). Les résultats obtenus pour q_m font apparaitre une meilleure capacité d'adsorption sur la boue brute qui est de l'ordre de 101,01 mg/g alors qu'elle se situe à 7.825 mg/g pour la boue calcinée. Ceci rejoint les résultats

Chapitre IV : Possibilité de valorisation de la boue de la STEP de Boussaâda dans l'adsorption du colorant « Rouge de méthyle »

(BOUTARENE & DJELLOULI, 2016) se rapportant aux rendements obtenus et montrent l'efficacité de la boue brute par rapport à la boue calcinée.

IV.4. Conclusion

D'après les résultats obtenus des analyses de différents échantillons de boue (brute et calcinée), on peut conclure que :

- Les propriétés physico-chimiques et géotechnique mettent que les échantillons analysés sont d'une structure des argiles sablo-limoneuses.
- La boue brute a une structure poreuse et se compose de grains de différentes tailles et de formes irrégulières.
- Les analyses minéralogiques telles que la diffraction des RX, la spectroscopie IR, la composition chimique ont montrés que notre matériau est composé de quartz (silice) et d'alumine qui a une forte capacité d'adsorption.
- L'autre constituant important de notre boue est la calcite, or les carbonates sont connus par leurs sensibilités aux solutions aqueuses, par conséquent, les interactions entre la calcite et le rouge de méthyle sont fortes ce qui favorise la fixation.

Il apparait donc que ces boues ont une composition globale stable qui procure un bénéfice permettant d'effectuer la deuxième partie du travail.

Les résultats expérimentaux de cette étude ont permis de montrer que :

- La rouge de méthyle est bon éliminée par la boue brute (le rendement maximal est de 35,45%) et moyennement par la boue calcinée (R= 15%) avec une dose optimale de 20 mg pour les deux cas.
- L'étude cinétique a révélé qu'un temps de 15 minutes est suffisant pour atteindre l'équilibre pour les deux boues.
- L'adsorption du colorant sur ces adsorbants obéit aux lois de Freundlich ($n < 1$) et de Langmuir avec une capacité maximale de 101,01 mg/g pour la boue brute alors qu'elle est de 7.825 mg/g pour la boue calcinée.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les eaux usées résiduaires urbaines chargées en colorants ont été largement étudiées en vue de les traiter avant leur rejet dans le milieu naturel. L'élimination des colorants dans les solutions aqueuses par adsorption sur différents matériaux solides, charbon actif, la bentonite a fait l'objet de beaucoup de travaux. Dans les stations d'épuration, le traitement des eaux usées urbaines génère des quantités considérables de boues, qui sont ensuite éliminés en décharge.

Nos travaux de recherche s'inscrivent dans une contribution à l'étude physico-chimique et minéralogique des boues résiduaires produites dans la station d'épuration des eaux usées de la ville de Boussaâda en vue d'une valorisation comme adsorbant dans le domaine de l'adsorption des colorants et particulièrement le « rouge de méthyle ». Le gain économique de ce scénario est indéniable. Il permet d'éviter la mise en décharge du résidu d'une part et le transformer en matière bénéfique d'autre part.

D'après les résultats obtenus de l'analyse de différents échantillons de boue (brute et calcinée), on peut conclure un certain nombre de points qu'en peut citer comme suit :

➤ **La caractérisation de la boue de la station d'épuration de Boussaâda**

- Les propriétés physico-chimiques et géotechniques montrent que l'échantillon analysé est des argiles sablo-limoneuses ;
- La boue brute a une structure poreuse et se compose de grains de différentes tailles et de formes irrégulières ;
- Leur caractérisation par spectrométrie infrarouge démontre que l'intensité des groupements chimiques organiques diminue au fur et à mesure que la température augmente ;
- Les analyses minéralogiques telles que la diffraction des RX, la spectroscopie IR, la composition chimique ont montré que notre matériau est composé de quartz (silice) et d'alumine qui a une forte capacité d'adsorption ;
- L'autre constituant important de notre boue est la calcite, or les carbonates sont connus par leurs sensibilités aux solutions aqueuses, par conséquent, les interactions entre la calcite et le rouge de méthyle sont fortes ce qui favorise la fixation.

Il apparaît donc que ces boues ont une composition globale stable qui procure un bénéfice permettant d'effectuer la deuxième partie du travail.

➤ **L'élimination du rouge de méthyle :**

Les résultats expérimentaux de cette étude ont permis de montrer que :

Conclusion générale

- La rouge de méthyle est moyennement éliminée par la boue brute (le rendement maximal est de 35,45%) et faiblement par la boue calcinée (R= 15%) ;
- Les doses optimales d'adsorbants sont le même selon que ce soit pour la boue brute ou pour la boue calcinée et sont abouti à une dose 20 mg;
- L'étude cinétique a révélé qu'une agitation de 30 min est suffisante pour atteindre l'équilibre pour la boue brute et 15 min pour la boue calcinée ;
- La boue brute présente une surface susceptible d'adsorber de polluant plus que la boue calcinée, Son taux d'absorption est de capacité maximale de 101,01 mg/g.
- L'adsorption du colorant sur ces adsorbants obéit aux lois de Freundlich ($n < 1$) et de Langmuir avec une capacité maximale de 101,01 mg/g pour la boue brute.
- Ceci rejoint les résultats se rapportant aux rendements obtenus et montrent l'efficacité de la boue brute par rapport à la boue calcinée.

En conclusion, nous pouvons dire que cette étude nous a portée de nombreuses informations en ce qui concerne :

- La caractérisation des boues résiduaire ;
- L'adsorption du Rouge de méthyle.

Références bibliographique

Références bibliographiques

ACHOUR, S., & YUCEF, L. (2003). Elimination du Cadmium par Adsorption sur Bentonites sodique et calcique. Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°.02, pp 68–81.

ADEME. (1996). La valeur azotée des boues résiduelles des stations d'épuration urbaines.

ADEME. (2001). Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture. Ademe édition, Paris, pp. 59.

AFGANE, R. (2016). Valorisation des boues de la station d'épuration des eaux usées Fès (STEP-Fès). Diplôme de Master Sciences et Techniques. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah.

AFGANE, R., JMILI, M., BENJELLOUN, F., EL HASSANI, F., & LAHRACH, A. (2019). Valorisation des boues de la station d'épuration des eaux usées Fès. American Journal of Innovative Research and Applied Sciences. ISSN 2429-5396I. 8(4), 113–119. www.american-jiras.com

AMADOU, H. (2007). Modélisation du séchage solaire des boues de station d'épuration urbaines. Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur-Strasbourg I, France.

AMIMEUR, D. (2018). Contribution à l'étude de l'élimination du plomb par coagulation floculation et par adsorption sur charbon actif. Effet de la minéralisation et des paramètres réactionnels. Diplôme de Doctorat en Sciences Hydrauliques. Université Mohamed Khider – Biskra.

AMIR, S. (2005). Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : Devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Le titre de Docteur en Sciences Agronomiques. Institut National Polytechnique de Toulouse.

AMORCE. (2012). Boues de Station d'Épuration : Techniques de traitement, Valorisation et Élimination. DT 51. France. P 36.

BEDRA, B. baha eddine. (2016). Elimination du colorant (rouge de méthyle) par adsorption sur la bentonite. Diplôme de Master. Université Mohamed khider Biskra, Algérie.

BELGHAOUATI, T. (2013). Caractérisation physico-chimique et valorisation d'une boue de station d'épuration. Diplôme de Magister. Université de sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, Algérie.

BEN SAOUCHA, A., TEBANI, S., & MAROUF, S. (2019). Caractérisation physico-chimique et valorisation d'une boue de station d'épuration de M'Sila. Diplôme de Master en Chimie de l'environnement. Université Mohamed Boudiaf - M'Sila.

BENOUDJIT, F. (2016). Caractérisation et Valorisation des Boues Issues d'un Office d'assainissement. Cas ONA Boumerdès (STEP Boumerdès). Thèse de Doctorat en Chimie de la Matière et Environnement. Université M'Hamed Bougara-Boumerdès.

Références bibliographiques

- BERNAL-MARTINEZ, A. (2005).** Elimination des hydrocarbures aromatiques polycycliques présents dans les boues d'épuration par couplage ozonation-digestion anaérobie. Thèse de doctorat. Université Montpellier 2 (Sciences et Techniques). France.
- BOUTARENE, H., & DJELLOULI, S. (2016).** Caractérisation et propriétés d'un adsorbant obtenu à partir de l'activation des boues d'épuration. Diplôme de Master, Université Dr Moulay Tahar. SAIDA.
- CEE. (2001).** Disposal and recycling routes for sewage sludge. Scientific and Technical Report., Part 3. <http://europa.eu.int>
- DEROUICHE, F. (2012).** Contribution à l'étude des boues résiduares comme amendement organiques pour les cultures maraichères. Diplôme de Magister en Biodiversité végétale méditerranéenne de l'Algérie occidentale. Université d'Oran.
- DRE. (2008).** Direction des ressources en eau de la wilaya de M'Sila.
- DRIDER, Y. (2012).** Fluidification des vases par l'ajout des boues de station d'épuration Etudes du cas critique. Diplôme de magister en Construction et aménagement de l'espace. Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf.
- DURAND, C. (2003).** Caractérisation physico-chimique des produits de l'assainissement pluvial origine et devenir des métaux traces et des polluants organiques. Thèse de Doctorat. Université de Poitiers.
- DUSZA, E., ZABLOCKI, Z., & MIESZCZERYKOWSKA-WOJCIKOWSKA, B. (2009).** Content of magnesium and other fertilizer compounds in stabilized and dewatered sewage sludge from the municipal sewage treatment plant in recz. *Journal of Elementology*, 14(1), 63–70. <https://doi.org/10.5601/jelem.2009.14.1.07>
- GAID, A. (1984).** Epuration biologique des eaux usées urbaines. Tome I. Ed OPU. Alger. 261p.
- GUERFI, Z. (2012).** Impact de l'utilisation des boues résiduares sur les propriétés physico-chimique des sols de la haute vallée de la Medjerda wilaya de Souk Ahras. Diplôme de Magistère, Université Badji-Mokhtar Annaba.
- HABIBI, A., & HAMIDI, Z. (2018).** Elaboration de charbons actifs modifiés par des liquides ioniques, Etude des propriétés structurales, spectroscopiques et thermiques. Diplôme de Master en Chimie Inorganique. Université de Saida- Dr Moulaya Tahar.
- JARDE, E. (2005).** Composition organique des boues résiduares des stations d'épuration lorraines ; caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré, Nancy I en sciences de l'univers.
- JIA, Y., SHI, S., LIU, J., SU, S., LIANG, Q., ZENG, X., & LI, T. (2018).** Study of the effect of pyrolysis temperature on the Cd²⁺ adsorption characteristics of biochar. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(7), 1019. <https://doi.org/10.3390/app8071019>.

Références bibliographiques

KARINE, MARIE, & BEATRICE, P. (2007). Actualisation des connaissances sur les éléments biologiques et minéraux persistants dans les boues des station d'épuration. Impact sur la santé publique. Thèse de Doctorat vétérinaire. École nationale vétérinaire d'Alfort.

KARONE, S. (2008). Effets des boues résiduelles sur le développement des semis du chêne liège (*Quercus suber* L.). Diplôme de magistère en Ecologie Végétale. Université Mentouri Constantine.

LACHASSAGNE, D. (2014). Devenir de micropolluants présents dans les boues d'épuration, du traitement à l'épandage agricole: Application aux micropolluants métalliques (Cd, Cu) et organiques (médicaments) issus du traitement biologique conventionnel d'effluents urbains ou hospitaliers. Thèse de doctorat. Université de Limoges. France.

LAFONT, R. (2005). Méthode physique de séparation et d'analyse et méthodes de dosage des biomolécules. Sorbonne Université - UFR Des Sciences de La Vie Mesurez Votre Audience. <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/lafont/chromato/A62.html>

LARBI, K. (2009). Méthanisation des boues de la station d'épuration urbaine de Hassi R'mel. Diplôme de magister en chimie appliqué et développement durable. Université de Mostaganem.

MAKHLOUF, M., HAMACHA, R., VILLIERAS, F., & BENGUEDDACH, A. (2013). Etude cinétique et thermodynamique d'adsorption de Composés phénoliques sur un matériau mesoporeux hybride organique-inorganique [Kinetics and thermodynamics adsorption of phenolic compounds on organic-inorganic hybrid mesoporous material]. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, ISSN 2028-9324, Vol. 3, N°. 4, pp. 1116-1124.

NEKILI, A. (2015). Digestion anaérobie mésophile des boues liquide de premier bassin de la station de lagunage de la ville d'Adrar (sud-ouest de l'Algérie): optimisation de la concentration du substrat. Diplôme de master en Chimie d'environnement. Université colonel Ahmed draia d'Adrar.

ONA. (2019). Office nationale d'assainissement de la wilaya de M'Sila.

OUABED, D., & OUABED, F. (2015). Valorisation des boues de la station d'épuration de Sour el ghozlane comme amendement au sol. Diplôme de Master en chimie. Université Akli Mohanad Oulhadj Bouira.

PLAGELLAT, C. (2004). Origines et flux de biocides et de filtres UV dans les stations d'épuration des eaux usées. Thèse de doctorat. Ecole poly technique fédérale de Lausanne.

RAKOTONDRAMARANA, H. T (2004). Etude théorique du séchage thermique et de la digestion anaérobie des boues des stations d'épuration – Mise au point des dispositifs pilotes de laboratoire pour la caractérisation expérimentale liée au séchage et à la méthanisation des boues. Thèse de doctorat. Université d'Antananarivo. France.

RAMDANI, N. (2007). Contribution à l'étude des boues urbaines de la station d'épuration des eaux usées résiduelles. Effet sur la fertilité d'un sol sableux. Diplôme de Magister en Science de l'Environnement et Climatologie. Université d'Oran.

Références bibliographiques

SIBOUKEUR, H. (2010). Contribution à la production du biogaz à partir des boues de la station d'épuration de la ville de Hassi R'mel. Diplôme de magister en Génie de l'Environnement. Ecole Nationale Polytechnique.

TELLI, S. Mohamed. (2013). Etude sur la valorisation par séchage solaire des boues d'épuration des Eaux urbaines – cas de la station d'Office Nationale d'Assainissement (ONA)-Tlemcen. Diplôme de Master en Génie thermique et énergies renouvelables. Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.

TIR, M., & KADRI, S. (2018). Elimination du colorant (Méthyl orange) Par les hydroxydes doubles lamellaires (HDLs). Diplôme de Master en Génie chimique. Université de Eloued.

TRAN, H. N., YOU, S. J., & CHAO, H. P. (2017). Fast and efficient adsorption of methylene green 5 on activated carbon prepared from new chemical activation method. *Journal of Environmental Management*, 188(2017), 322–336.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.003>

WERTHER, J., & OGADA, T. (1999). Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion Science*, 25: 55–116.

ZERGUINI, S., & BOULOUDA, K. (2018). Analyse des boues de la station d'épuration de Souk El Tenine en vue d'une valorisation agricole. Mémoire de Master en Chimie Analytique. Université A. MIRA – Bejaïa.

ZERIRI, D. (2007). " réutilisation des eaux usées traitées de la station d'épuration de Hassi R'mel ", diplôme de post graduation spécialité en traitement des eaux industrielles et dépollution. Université de Mostaganem. Algérie.

Annexe

Annexe

Tableau IV. 2: Principales bandes caractéristiques des acides humiques des boues d'épuration.

Abondance des bandes (cm ⁻¹)	Boue brute	Boue calcinée	Groupements	Reference
3400	3405	3429	O-H des acides carboxyliques, des phénols, des alcools, ou de l'eau absorbée	(TRAN et al., 2017)
2918–2850	2918 et 2850		CH ₂ et CH ₃ Aliphatiques	(JIA et al., 2018)
1730–1600	1646		groupes carboxyle C = O ou C = C et C = O en anneaux aromatiques	(JIA et al., 2018)
1450 à 1650	1423		C=C les groupements phényle	(HABIBI & HAMIDI, 2018)
1400-1500		1438	présence de la liaison C-H de groupement méthylène	(HABIBI & HAMIDI, 2018)
1000-1300	1035	1037	vibrations d'élongation des liaisons C–O dans les polysaccharides et les éthers aromatiques	(BENOUDJIT, 2016; RAKOTONDRAMARANA, 2004)
875-876	875	875	dus à la présence de calcite (CaCO ₃)	(BENOUDJIT, 2016)

Annexe

Tableau IV. 3: Détermination de la dose optimale de la boue brute

N° de bécher	masse de boue brute (mg)	C0 (mg/l)	Absorbance (A)	Concentration résiduelle Cr (mg/l)	Rendement (%)
0	0	5	0,112	5	0
1	5	5	0,079	4,15	17
2	10	5	0,065	3,72	25,6
3	20	5	0,048	3,23	35,4
4	50	5	0,051	3,29	34,2
5	80	5	0,057	3,50	30
6	100	5	0,061	3,62	28

Tableau IV. 4: Détermination de la dose optimale de la boue calciné

N° de bécher	masse de boue calciné (mg)	C0 (mg/l)	Absorbance (A)	Concentration résiduelle Cr (mg/l)	Rendement (%)
0	0	5		5,00	0
1	5	5	0,112	4,62	7,58
2	10	5	0,224	4,51	9,75
3	20	5	0,098	4,25	15,00
4	80	5	0,095	4,44	11,25
5	100	5	0,102	4,50	10,00

Tableau IV. 5: Rendements d'élimination rouge de méthyle en fonction du temps sur différents adsorbants testés.

temps (mn)	0	5	10	15	30	45	60	75
Rendement de boue brute (%)	0	18,80	27,85	30,00	30,00	30,00	28,18	28,18
Rendement de boue calciné (%)	0	4,55	9,39	6,97	6,36	6,00	5,76	7,58

Annexe

Tableau IV. 6: Résultats pour le tracé des isothermes pour la boue brute.

N° de bécher	C0 (mg/l)	masse de boue brute (mg)	A	Cr (mg/l)	X (mg/l)	x/m (mg/g)	log C	log X/m	m/x (g/mg)	1/Cr (l/mg)
1	5	5	0,079	4,15	0,85	170	0,618	2,2304	0,00588	0,2409
2	5	10	0,069	3,85	1,15	115	0,585	2,0606	0,00869	0,2597
3	5	20	0,048	3,23	1,773	88,636	0,509	1,947	0,011	0,310

Tableau IV. 7 : Résultats pour le tracé des isothermes pour la boue calcinée.

N° de bécher	C0 (mg/l)	masse de boue calcinée (mg)	A	Cr (mg/l)	X (mg/l)	x/m (mg/g)	log C	log X/m	m/x (g/mg)	1/Cr (l/mg)
1	5	5	0,079	4,621	0,379	75,758	0,665	1,879	0,013	0,216
2	5	10	0,069	4,513	0,488	48,750	0,654	1,688	0,021	0,222
3	5	20	0,098	4,250	0,750	37,500	0,628	1,574	0,027	0,235