



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



Université des Frères Mentouri Constantine 1  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة الاخوة منتوري قسنطينة 1  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

**Département :** Biologie et Ecologie Végétale

**قسم :** بيولوجيا و علم البيئة النباتية

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master**

**Domaine :** Sciences de la Nature et de la Vie

**Filière :** Ecologie et Environnement

**Spécialité :** Ecologie Fondamentale et Appliquée

---

**LA VALORISATION BIOLOGIQUE DES BOUES (la zone industrielle BELLARA  
)**

---

Présenté et soutenu par :

Le : 22 /06/2023.

ROUIBAH NIHAD

**Jury d'évaluation:**

- Présidente du jury: Dr. SAHLI LEILA (Prof - UFM Constantine 1)
- Rapporteur: Dr. ABDELAZIZ O(MCB- UFM Constantine 1)
- Examineur: Dr. BAZRI KED(MCA - UFM Constantine 1)

## RESUME

### En français

Le recyclage des déchets et des sous-produits, issus des activités anthropiques demeure à l'heure actuel un enjeu primordial pour le développement durable dans plusieurs secteurs notamment le secteur industriel. Pour mettre en valeur les sous-produits issus dans les secteurs industriels tels que les boues, le travail a été réalisé au niveau du complexe sidérurgique Bellara (AQS). La valorisation des boues industrielles par un traitement chimique par l'utilisation de l'hydroxyde de sodium (NaOH) (1, 2 et 4, 4M). Pour tester l'efficacité des boues après le traitement, les analyses physico-chimiques de ces derniers ont été effectués au niveau de CRBT Constantine, les résultats montrent que les boues sont riche en matières organiques, en matières minérales (P, N, Mg et CaCo), cette richesse a été approuvé par le test de valorisation agricole et les résultats obtenus montrent que la surface foliaire élevée a été observé chez l'échantillon (2M) entre (6.9 et 7.32) cm<sup>2</sup> et la croissance varié entre (20 et 22.5)cm.

**Les mots clé: valorisation Agricole, boue, fertilisant, blé.**

### Summary in English

**The recycling of waste and by-products resulting from anthropogenic activities currently remains a key issue for sustainable development in several sectors, particularly the industrial sector. To highlight the by-products from industrial sectors such as sludge, work was carried out at the Bellara steel complex (AQS). The recovery of industrial sludge by chemical treatment using sodium hydroxide (NaOH) (1, 2 and 4, 4M). To test the effectiveness of the sludge after the treatment, the physico-chemical analyzes of the latter were carried out at the level of CRBT Constantine, the results show that the sludge is rich in organic matter, in mineral matter (P, N, Mg and CaCo), this richness was approved by the agricultural recovery test and the results obtained show that the high leaf area was observed in the sample (2M) between (6.9 and 7.32) cm<sup>2</sup> and the growth varied between (20 and 22.5)cm.**

**Key words: Agricultural valorization, mud, fertilizer, wheat.**

## ملخص

تظل إعادة تدوير النفايات والمنتجات الثانوية الناتجة عن الأنشطة البشرية حاليًا قضية رئيسية للتنمية المستدامة في العديد من القطاعات ، ولا سيما القطاع الصناعي. لتسليط الضوء على المنتجات الثانوية من القطاعات الصناعية مثل الحمأة ، تم تنفيذ العمل في مجمع بيلارا للصلب (AQS). استرجاع الحمأة الصناعية بالمعالجة الكيميائية باستخدام هيدروكسيد الصوديوم (4 ، 2 ، 1) (NaOH) ، 4 م). لاختبار فعالية الحمأة بعد المعالجة ، أجريت التحليلات الفيزيائية والكيميائية للأخير على مستوى CRBT قسنطينة ، وأظهرت النتائج أن الحمأة غنية بالمواد العضوية ، في المواد المعدنية (P ، N ، Mg و CaCo) ، وقد تمت الموافقة على هذا الثراء من خلال اختبار التقييم الزراعي وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن مساحة الورقة العالية لوحظت في العينة (6.9 و 2 م). الاصطلاحات الرئيسية: التثمين الزراعي ، الطين ، الأسمدة ، القمح.



Avant tout je remercie ALLAH tout puissant qui m'accordé le courage et la volonté d'entamer et de terminer ce travail

Je tiens à témoigner ma sincère gratitude à le chef département, Dr. BAZRI Kamel-Eddine, Université Frères Mentouri, Constantine-1, pour sa disponibilité et pour m'avoir soutenu et supporté ces années. Qu'il trouve ici ma reconnaissance la plus profonde et le témoignage de mon plus profond respect

Avec une rigueur et un intérêt constant, Mme. ABDELAZIZ Ouided, maitre MCB(UFM. Constantine1), a dirigé ce travail avec beaucoup d'enthousiasme en me faisant bénéficier de ses compétences scientifiques.

Je tiens également à remercier les membres du jury qui ont accepté de consacrer leur temps et leur expertise à évaluer ce travail. Leurs commentaires et suggestions constructives ont contribué à améliorer la rigueur et la pertinence de ce mémoire.

Je tiens à adresser mes remerciements les plus chaleureux à mes professeurs (M.TAOUITI, Mm SAHLI) dont les connaissances et les enseignements ont été une source d'inspiration pour moi tout au long de mon parcours académique. Leurs encouragements et leurs conseils ont joué un rôle essentiel dans ma réussite.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à M. Bouanika Walid (Chef service en WTPG à l'AQS) d'avoir accepté de m'accueillir à plusieurs reprises. Ce séjour à AQS été pour moi l'occasion de découvrir un autre laboratoire, d'acquérir de nouvelles techniques, de croiser et discuter avec beaucoup de personnes.

Mes remerciements vont aux employés d'AQS plus particulièrement à M. H-Mohammed et à l'équipe WTP G (M .QASSIM, M. OUTHMANE et ZAKRIE et aussi l'équipe de laboratoire DRI Mme. Nabila, Mme. LINDA, M.WAHIDBRICHE pour leur aides et leurs encouragements.

Enfin, Par crainte d'avoir oublié quelqu'un, que tous ceux et toutes celles dont nous sommes redevables se voient vivement remerciés.

**NIHAD**



## DÉDICACE

*C'est avec un grand gratitude et des mots sincères, que je dédie ce modeste travail de fin d'étude :*

*A mon père pour avoir toujours cru en moi et pour ses nombreux sacrifices,*

*A ma mère pour son soutien et ses encouragements source de vie, d'amour et d'affection, qui est Sacrifié leur vie pour ma réussite,*

*J'espère qu'un jour, je pourrai leurs rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour moi, que dieu leur prête bonheur et Longue vie.*

*Je dédie aussi ce travail à mon frère « AMMAR », mes Sœurs « LINA ET CHIRAZ »*

*Mes professeurs qui m'ont enseigné et à tous ceux qui me sont chers.*

*Et en fin à ma cousine MARWA et mes amies « LINA ABIR, MERIEM IKRAM, AMAL et AMIRA »*

*Sans oublier H.MOHAMMED qui toujours m'encouragé et soutenu durant ces années d'études.*

## NIHAD



## TABLE DES MATIÈRES

RESUME.....	I
REMERCIEMENT .....	II
DÉDICACE.....	IV
TABLE DES MATIÈRES .....	V
LISTE DES TABLEAUX .....	VII
LISTE DES FIGURES .....	VII
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	IX
<b>INTRODUCTION GÉNÉRAL .....</b>	<b>1</b>
<b>PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE .....</b>	<b>4</b>
I. GÉNÉRALITÉ SUR LES BOUES .....	5
1. Définition des boues.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2. Composition des boues.....	5
3. Les sources des boues .....	6
4. Les types de boues : .....	8
5. Les caractéristiques physiques et chimiques des boues .....	8
6. Classification des boues .....	9
7. Valorisation des boues .....	10
8. Les impacts de la boue .....	13
9. Les normes et réglementation algérienne de l'utilisation des boues.....	15
II. L'UTILISATION DES BOUES COMME FERTILISANT .....	16
1. Les avantages de l'utilisation des boues comme fertilisant : .....	16
2. Les inconvénients de l'utilisation des boues comme fertilisant : .....	17
3. Les suggestions de l'utilisation des boues comme fertilisant : .....	17
<b>PARTIE EXPÉRIMENTALE .....</b>	<b>18</b>
III. PRÉSENTATION DE ZONE D'ÉTUDE .....	20
1. Le complexe sidérurgique de Bellara / AQS .....	20
2. Le Produits de l'entreprise .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3. Localisation géographique du complexe : .....	21
4. La description du processus industriel .....	23
5. La Description générale de l'installation de traitement d'eaux.....	25
6. Les déchets de l'usine : .....	29

IV. MATÉRIELS ET MÉTHODES .....	32
1. Échantillonnage des boues .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2. Traitement chimique des boues .....	33
3. Les analyses du sol (Boues) .....	34
4. Test de valorisation agricole de la boue .....	37
<b>RÉSULTATS .....</b>	<b>39</b>
V. LES RÉSULTATS .....	<b>ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.</b>
1. Les résultats des analyses chimiques : .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
2. Les résultats de la valorisation .....	42
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE .....</b>	<b>44</b>
<b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>47</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>51</b>
ANNEXE 01 : ATTESTATION DE STAGE .....	52

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Résumé des définitions des déchets .....	30
Tableau 2: Représente le Ph d'échantillon .....	40
Tableau 3: Représenté les résultats de phosphore des échantillon.....	40
Tableau 4: Représenté le pourcentage de M.O .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau 5: Représenté le pourcentage d'azote .....	41
Tableau 6: Représenté le pourcentage de CaO.....	42
Tableau 7: Représente le pourcentage de MgO .....	42
Tableau 8: Représente la surface foliaire des échantillon .....	43
Tableau 9: Représente la croissance.....	43

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Schéma représenter cycle de traitement des boues produites dans une station .....	8
Figure 2: Schéma représenté La valorisation thermique. (Ladjel et Abbou, 2014). .....	11
Figure 3: Schéma conceptuel d'exposition dans le cas de l'épandage des boues .....	14
Figure 4: La vue aérienne du complexe AQS .....	20
Figure 5: Etapes de la transformation sidérurgique (phase 1).....	20
Figure 6: Site de Bellara Cartes de situation .....	21
Figure 7: Les aires d'implantation du projet (A-Port et Bellara) .....	22
Figure 8: L'aire d'implantation au Port (état initial).....	22
Figure 9: La Composition de l'usine sidérurgique AQS .....	23
Figure 10: Les étapes de la production dans laminoir.....	24
Figure 11: Schéma de la distribution de l'eau de la station de traitement des eaux.....	25
Figure 12: Photo de clarificateur lamellaires (AQS 2023).....	26
Figure 13: Les unités de séchage (AQS, 2023).....	27
Figure 14: Schéma descriptif de WTPG.....	27
Figure 15: Schéma descriptif de XB12 .....	28
Figure 16: Le point de prélèvement WTP (AQS, 2023) .....	33
Figure 17: Photo représenté lavage de la boue (AQS, 2023) .....	34
Figure 18: Photo représenté La filtration de la boue (AQS, 2023) .....	34
Figure 19: Photo représenté le séchage de la boue (AQS, 2023).....	34
Figure 20: Photo représenté le tamissage de la boue (AQS, 2023) .....	34
Figure 21: Photo représenté le séchage sur la plaque de la boue (AQS, 2023).....	34

Figure 22: Photo représenté le séchage après 1 NaOH (AQS, 2023) .....	34
Figure 23: photo représenté la préparation de le sol (aboratoire 05).....	38

## Liste des abréviations

**STEP** : Station d’Epuraton

**pH** : potentiel d’Hydrogène

**MES** : Matière En Suspension (mg/l)

**MVS** : Matière Volatil en suspension (mg/l)

**MMS** : Matière Minérale (mg/l)

**CE** : Conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )

**EH** : L’équivalent habitant

**M.I.D** : Matière Insoluble Décantables

**MO** : Matière Organique

**K** : Constatant de la biodégradabilité

**T** : Température

**MA** : Matière Azotées

**MP** : Matière Phosphorées

**MT** : Million tonne

**NE** : Nord-Es

**S.T** : Sans traitement

**AQS** : Algerian Qatari Steel

**DRI** : Direct Reduced Iron (en anglais)

**SMS** : Steel melt shop (en anglais)

**ASU** : Air separation unite (en anglais) station séparation de l’air

**WTP** : Water traitement plant (en anglais) station de traitement des eaux

## **INTRODUCTION**

## **Introduction**

La gestion des boues est une problématique aux multiples facettes : sous-produits inévitable d'un processus industriel dans tous les cas, les boues peuvent, en fonction de leurs caractéristiques, devenir matières valorisables ou au contraire déchets à éliminer dans des conditions contrôlées.

Les boues industrielles sont des résidus solides issus des processus de traitement des eaux usées dans les industries. Ces boues contiennent généralement des matières organiques et des éléments nutritifs qui peuvent être bénéfiques pour les sols agricoles.

La valorisation des boues industrielles en tant que fertilisant présente plusieurs avantages. Tout d'abord, cela permet de réduire la quantité de déchets envoyés dans les sites d'enfouissement, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement. De plus, les boues industrielles peuvent contenir des nutriments tels que l'azote, le phosphore et le potassium, qui sont essentiels pour la croissance des plantes. En utilisant ces boues comme fertilisant, on peut enrichir les sols en éléments nutritifs et favoriser ainsi une agriculture plus durable (**Journal of Environmental Management 2020**).

La valorisation des boues industrielles comme fertilisant présente des avantages potentiels en termes de gestion des déchets et d'agriculture durable. Cependant, une évaluation rigoureuse de leur composition et de leur sécurité est essentielle pour garantir une utilisation sûre et bénéfique. Les études scientifiques menées dans ce domaine fournissent des informations précieuses pour orienter les pratiques de valorisation des boues industrielles.

Cependant, la valorisation nécessite une évaluation approfondie de leur composition et de leur innocuité. Il est essentiel de s'assurer que les boues ne contiennent pas de substances toxiques ou de contaminants qui pourraient avoir des effets néfastes sur les sols, les plantes ou la santé humaine. Des normes et des réglementations strictes doivent être mises en place pour garantir une utilisation sûre des boues industrielles.

Plusieurs études ont été menées sur la valorisation des boues industrielles comme fertilisant. Par exemple, une recherche publiée dans le journal "Environmental Science and Pollution Research" en 2019 a examiné l'effet de l'application de boues industrielles sur les propriétés du sol et la croissance des cultures. Les résultats ont montré que l'utilisation de boues industrielles comme fertilisant avait des effets positifs sur la fertilité du sol et la production des cultures.(Environmental Science and Pollution 2019).

Une autre étude, publiée dans le "Journal of Environmental Management" en 2020, a évalué l'impact environnemental de l'utilisation des boues industrielles comme fertilisant. Les chercheurs ont conclu que l'utilisation appropriée de ces boues dans l'agriculture pouvait réduire la dépendance aux engrais chimiques et contribuer à la conservation des ressources naturelles.(Journal of Environmental Management 2020)

Dans ce contexte, notre travail s'articule sur :

1. Traitement chimiques des boues par NaOH ( 1,2 et 4M) ;
2. Analyses physico-chimiques des boues ;
3. Valorisation agricole des boues.

## **PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE**

## **I. Généralité sur les boues**

- Selon l'article L.541-1 et suivant du Code de l'Environnement et inscrites dans la nomenclature définie dans le décret n°540-2002. Classifier les boues de station d'épuration comme des « déchets ».
- Selon la norme Algérienne 17731-2010 les boues sont définies comme « les sédiments résiduels des ouvrages de traitement des eaux usées ».
- On regroupe sous le vocable « boues industrielles » un ensemble de déchets liquides, pâteux ou solides sortant du site de production (auteur(s) : Éric GUIBELIN  
Date de publication : 10 avr. 2014 Relu et validé le 09 déc. 2019)

## **2. Composition des boues**

Les boues résiduelles issues du traitement des eaux usées sont principalement composées de matières biologiques issues du traitement des eaux et d'éléments minéraux présents dans le milieu. Leur composition est caractérisée par la présence d'eau, de matière sèche, y compris de matière organique et de minéraux riches en nutriments tels que l'azote, le phosphore et le soufre. Les micro-organismes présents dans les boues sont divers, mais certains peuvent être pathogènes. Les boues peuvent également contenir des éléments traces métalliques provenant de sources industrielles ou domestiques ou des eaux pluviales, ainsi que des composés traces organiques plus ou moins dégradés par les activités biologiques (**SPDE, 2006**).

### **2.1. Eléments fertilisants et amendements**

En fonction de la quantité utilisée, l'application de boues peut fournir à une culture une partie ou l'ensemble des nutriments nécessaires tels que l'azote, le phosphore, le magnésium, le calcium et le soufre, tout en corrigeant d'éventuelles carences, à l'exception du potassium (**Zebarth et al., 2000 ; Su et al., 2004 ; Warman et al., 2005**).

### **2.2. La Matière organique**

Le pourcentage de matière organique dans les boues peut varier de 30 à 80%. La matière organique des boues se compose de matières particulières éliminées par gravité dans les boues primaires, de lipides (représentant de 6 à 19% de la matière organique), de polysaccharides, de protéines et d'acides aminés (jusqu'à 33% de la matière organique), de lignine, ainsi que de produits métaboliques et de corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation) (**Metahri, 2012**).

### **2.3. Les éléments traces métalliques**

Les éléments traces métalliques (ETM) représentent un risque écotoxique en raison de leur nature non biodégradable. Parmi les ETM étudiés, certains, comme le zinc, le cuivre et le chrome, sont des oligo-éléments essentiels aux processus biologiques. Toutefois, leur concentration et leur spéciation (forme chimique) peuvent les rendre toxiques. D'autres ETM, tels que le cadmium, le plomb et le mercure, sont des éléments toxiques exclusivement et sont largement utilisés par les industries pour leurs propriétés physico-chimiques (**Agence de l'eau, 2016**).

### **2.4. Microorganismes**

Les boues résiduaires urbaines provenant du traitement biologique contiennent une grande quantité de microorganismes, parmi lesquels se trouvent les corps microbiens épurateurs ainsi que des germes pathogènes tels que des bactéries, des parasites, des champignons et des virus. Ces microorganismes ont principalement pour origine les excréments humains ou animaux. (**Sahlström et al., 2004**).

## **3. Les sources des boues (Metahri, 2012).**

Le processus d'épuration des eaux résiduaires est fondé sur la séparation des éléments qui risquent de polluer l'environnement naturel de l'eau véhiculant les polluants, (Juven et al. (2014)). Les boues produites par la station de traitement des eaux usées sont des boues résiduaires qui résultent du traitement des eaux usées en aval. Elles ont des caractéristiques différentes qui dépendent de leur origine. On peut distinguer trois types de boues selon leur provenance, à savoir :

### **3.1. Les boues primaires**

Les boues primaires sont générées lors du processus de traitement initial des eaux usées. Elles sont constituées des matières solides lourdes qui se déposent naturellement au fond des bassins de décantation pendant le processus de clarification de l'eau usée. Les boues primaires sont riches en matières organiques et peuvent contenir des substances polluantes telles que des métaux lourds et des produits chimiques .

Les boues primaires sont principalement constituées de particules en suspension facilement décantables, qui sont soit grosses, soit denses. Elles ont une faible teneur en solides volatils, généralement d'environ 55% à 60%. En raison de cette faible teneur en matières organiques, leur capacité de déshydratation est excellente, ce qui facilite leur traitement ultérieur

### **3.2. Les boues secondaires (Boues biologiques)**

Les boues biologiques proviennent du traitement biologique des eaux usées. Il est fait d'un mélange de micro-organismes. Ces micro-organismes, principalement des bactéries, fusionnent en floccs bactériens grâce à la synthèse d'exo-polymères. Une simple décantation dans le clarificateur séparera facilement les floccs bactériens de l'eau traitée .

Seule une partie de ces boues décantées est envoyée en déshydratation : les boues biologiques en excès ; une partie de celui-ci est recirculé pour maintenir la population bactérienne dans le réacteur

Pour simplifier, nous ne différencierons pas les différentes qualités de boues biologiques (pro-aération longue durée, faible charge, forte charge...) ; leurs principales propriétés sont :

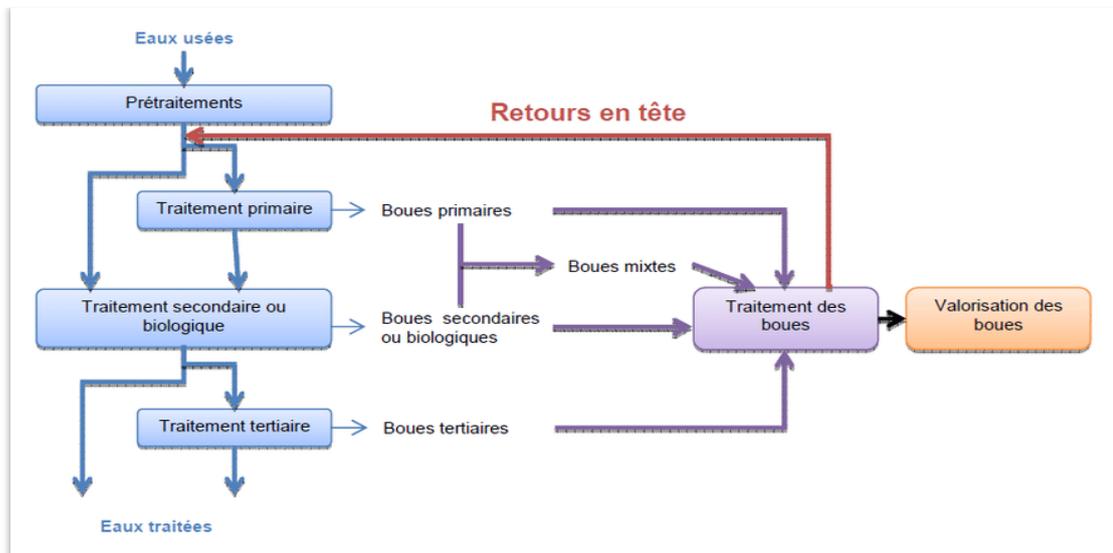
- Une forte teneur en Solides Volatils : VS autour de 70% à 80%.
- Une faible siccité : 7 g/l à 10 g/l. Il est souvent nécessaire d'introduire une dynamique étape d'épaississement par flottation ou tapis gravitaire.
- La capacité de déshydratation est moyenne. Cela dépend en partie du VS. Plus le VS est élevé, plus il est plus difficile d'extraire l'eau des boues .

### **3.3. Les boues mixtes**

C'est un mélange des boues primaires et biologiques. Le rapport de mélange est souvent comme suit :

- 35% à 45% de boues primaires.
- 65% à 55% de boues biologiques.

Ce mélange permettra une déshydratation plus aisée car les propriétés intrinsèques de ces boues sont entre les deux autres types (figure 1 ) .



**Figure 1:** Le cycle de traitement des boues produites dans une station

#### 4. Les types des boues

On distingue, selon l'origine il y a deux types de boues :

- les boues de procédé : déchets généralement pâteux issus de la chaîne de fabrication, non rejetés avec les eaux industrielles compte tenu de leurs propriétés (concentration élevée, toxicité pour le traitement biologique des eaux, etc.) : Éric GUIBELIN Date de publication : 10 avr. 2014 Relu et validé le 09 déc. 2019
- Les boues d'épuration : qui désignent l'ensemble des phases concentrées particulières issues des opérations de séparation de phase (décantations, filtrations...) du traitement des eaux industrielles. Elles feront l'objet de cette étude (**Guibelin, 2014**)

#### 5. Les caractéristiques physiques et chimiques des boues

##### 5.1. Siccité

Les boues sont constituées d'eau et de matière sèche. La siccité est le pourcentage de matière sèche et est un paramètre qui fournit des informations sur la consistance et la concentration des solides dans les boues. On distingue :

- Boues liquides : siccité de 0 à 10%
- Boue pâteuse : 10 à 25% de siccité
- Boues solides : siccité de 25% à 80%
- Boue sèche : siccité supérieure à 80 % (**Vecteur Environnement, 2007**).

## 5.2. Matières en suspension MES

Si la MES est facilement déterminée sur la phase concentrée, ce n'est pas le cas sur la phase claire, où une procédure de mesure de la MES par filtration membranaire est plus appropriée. Pour programmer un bilan matière strict en MS ou MES pour les opérations de séparation de phase (séparation MES uniquement on reliera les deux paramètres par la relation expérimentale suivante :

$$\text{MES} = \text{MS} - [\text{substances organiques et minérales dissoutes}] \text{ (Jarde, 2002).}$$

## 5.3. Matières volatiles (MV)

Selon la méthode normalisée (NF EN 12879, 2000). La quantité de matière volatile a été déterminée en calcinant le résidu résiduel obtenu précédemment lors de la mesure de la matière sèche à 550°C pendant deux heures. Le calcul du pourcentage massique de substances volatiles par rapport à la matière sèche est rendu possible par la connaissance des masses avant et après traitement calorifique (référence)

## 5.4. Fraction volatile FV (en % des MS)

C'est le rapport des matières volatiles MV (en g/L) sur les matières sèches MS (en g/L). Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue, et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...) (Dudkowski, 2000).

## 5.5. Viscosité

Les boues fraîches, dont la concentration dépasse rarement 10 à 15 g/L, ont un comportement newtonien. Leur viscosité est alors de l'ordre de quelques mPas. Quand la teneur en MS prend des valeurs plus importantes, la boue adopte un comportement généralement rhé fluidifiant, modélisable (Sedki, 1995).

## 6. Classification des boues

Les boues industrielles peuvent être classées Selon leur origine industrielle ((Guibelin , 2014); ou Selon les types de traitement et dosage chimique effectués, qui sont en principe :

- L'oxydation de Fe et Mn par permanganate de potassium
- Coagulation par  $\text{FeCl}_3$  pour déstabilisée les charges de matière en suspension(MES) (neutralisation)
- Flocculation et l'injection de la chaux (CaO) ; cette étape a pour but de diminuer l'alcalinité et au même temps la décantation des  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  Décantation de MES et  $\text{CaCO}_3$  ( $\text{MgCO}_3$ )

- L'injection de l'acide sulfurique pour la neutralisation de l'eau
- Filtre à sable pour la filtration de FeO et MnO o Installation de charbon active pour élimination des biomasses
- Désinfections le l'eau par l'eau de javel
- L'injection une quantité de la boue pour la décarbonatation total de Ca<sup>++</sup> et Mg<sup>++</sup>
- Selon leurs propriétés physico-chimiques

### 6.1. Les paramètres de la boue

#### a. Les paramètres physiques, sont par ordre de séchage :

- Séparation (avec quartannier méthode),
- Concassage,
- Brulage (à l'aide de la fraiseuse),
- Tamisage et étiquetage (la taille de l'échantillon doit inférieure de 80 mailles (16µm)).

#### b. Les paramètres chimiques

- Détermination le teneur de fer total (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, FeO, Fe<sub>2</sub>Fe<sup>+</sup>),
- détermination le teneur de CaCO<sub>3</sub>,
- détermination le teneur de Al,
- détermination de teneur de silice,
- détermination de teneur de soufre et carbone,
- détermination de teneur de phosphore.

## 7. Valorisation des boues

La valorisation est un terme générique recouvrant le recyclage matière organique, la valorisation énergétique des déchets, ainsi que la réutilisation et la régénération. (Dictionnaire environnement) .

### 7.1. Valorisation énergétique

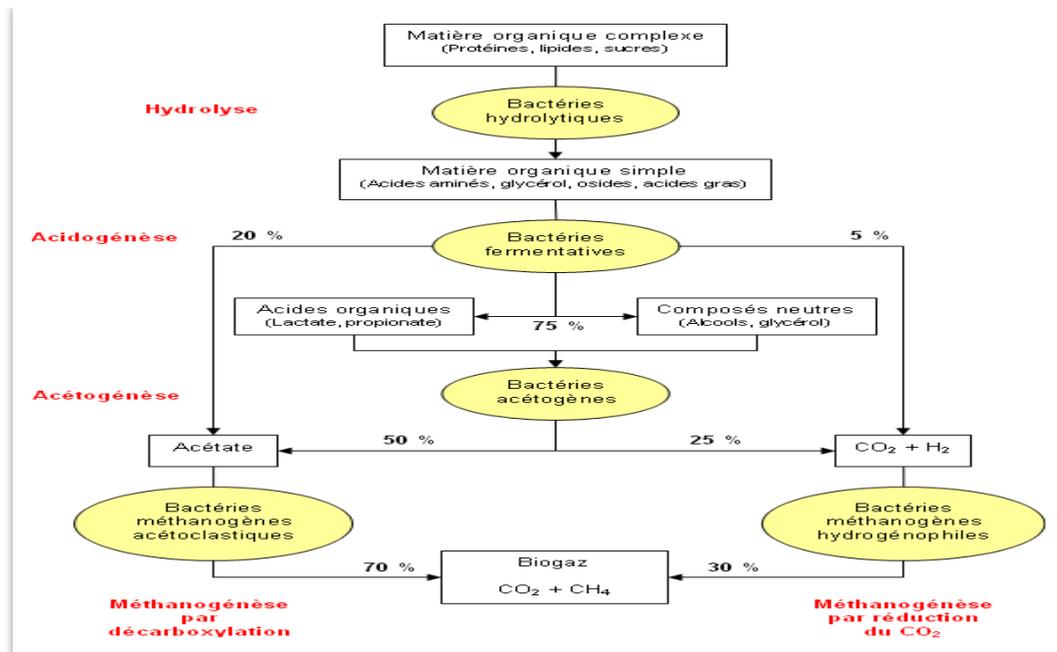
A) L'incinération : Consiste en l'oxydation de la matière organique contenue dans les boues d'épuration, Elle est réalisée, à une température de 850°C, dans des installations spécifiques (Lozac'h, 2004). Pour obtenues certain niveau de siccité dépendant du type d'incinération (35 % minimum pour combustion dans incinérateur à boues, 65 % pour Co-incinération avec les ordures ménagères) .

B) La Co-incinération : Les boues sont incinérées en mélange avec les déchets ménagers, quelle que soit leur siccité. Les cendres issues de la combustion des boues se répartissent entre les mâchefers (80-90 %) et les REFOM (10-20 %) (Segal et al., 2001). Les mâchefers issus

de la Co-incinération représentent 250 à 300 kilogrammes par tonne incinérée (**Bouallegue, 2010**).

## 7.2. Valorisation thermique

Les différentes principales phases du processus de méthanisation représenté dans le schéma suivant ( figure 2 ) :



**Figure 2:** Schéma représenté Lavalorisationthermique. (LadjeletAbbou, 2014).

- Le biogaz : est un gaz sensiblement plus léger que l'air, il produit deux fois moins de calories par combustion à volume égal que le gaz naturel. Cette énergie renouvelable peut être utilisée sous différentes formes : combustion pour la production d'électricité et de chaleur, production d'un carburant (**Ladjel et Abbou, 2014**).

## 7.3. Valorisation industrielle

- Valorisation des boues dans les produits céramiques : La céramique peut être produite à partir des cendres de boue seules ou en mélange avec des additifs auxquelles on applique un traitement thermique (**Merino et al., 2007**).
- Fabrication de tuiles et de briques : les cendres issues d'incinération des boues d'épuration peuvent être ajoutées à l'argile pour fabriquer des tuiles et/ou briques (**Chen et Lin, 2009**).

- Fabrication de matériaux légers à base de cendres : Les cendres de boues d'épuration peuvent être utilisées dans des matériaux d'isolation thermique. En effet, elles présentent une structure poreuse et des particules irrégulières, ce qui permet d'obtenir des matériaux à faible conductivité thermique. **(Wang et al., 2005).**

#### **7.4. Valorisation agricole des boues**

Les boues peuvent être utilisées comme amendement organique dans l'agriculture pour améliorer la fertilité des sols. Elles peuvent apporter des éléments nutritifs et améliorer la rétention d'eau dans les sols. Cependant, il est important de veiller à la qualité des boues et à leur impact sur l'environnement **(Bernal et al. 2010).**

##### **a. La restriction d'usage en agriculture**

La restriction d'usage en agriculture : Selon (NA, 2017) les boues ne peuvent être utilisées sur /ou dans les sols que lorsque les conditions suivantes sont remplies à savoir :

- Lorsque les boues présentent des concentrations inférieures aux valeurs limites en éléments traces métalliques et ont un pH supérieur à 6.
- Elles ne doivent pas être utilisées sur les terres en pente supérieure à 7 %.
- L'accès aux terres agricoles où les boues non enfouies ont été épandues est restreint pendant 30 jours.
- La dose d'utilisation des boues doit être calculée selon les besoins des cultures en éléments nutritifs, les teneurs du sol et des boues en éléments minéraux.
- Les eaux usées épurées et les boues industrielles ne peuvent être utilisées simultanément sur la même parcelle la même année
- Tout dérivé de boues destiné à être utilisé sur /ou dans les sols, doit respecter les mêmes impositions que celles prévues pour l'utilisation que celles prévues l'utilisation des boues sur/ou dans les sols

##### **b. L'épandage**

Le règlement prévoit deux périodes d'expansion importantes sont le printemps, de mars à avril, et la fin de l'été, d'août à octobre.

En dehors de ces périodes, l'expansion est interdite, mais la production des boues continue, nécessitant des besoins d'approvisionnement (Courrier de l'Environnement de l'IBRA, 2000). Et le stockage adéquat des boues des stations d'épuration est un facteur crucial pour déterminer si le stockage prolongé des boues est efficace pour réduire la quantité d'agents biologiques pathogènes qu'ils accumulent. Le stockage doit avoir lieu à terre pendant une période extrêmement longue (12 à 18 mois) (Wart, 2010).

La quantité d'application de boues, sur les sols, doit respecter les trois conditions suivantes (Courrier de l'environnement de l'INRA, 2001) :

- Elle est calculée sur une période appropriée par rapport au niveau de fertilité des sols et aux besoins nutritionnels des plantes en éléments fertilisants, notamment le phosphore et l'azote, en tenant compte des autres substances épandues ;
- Elle est compatible avec les mesures prises en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole en zone vulnérable ;
- Elle est en tout état de cause, au plus égale à 30 tonnes en matière sèche par hectare sur une période de dix ans.

## **8. Les impacts de la boue**

La présence de métaux dans les boues pose de gros problèmes :

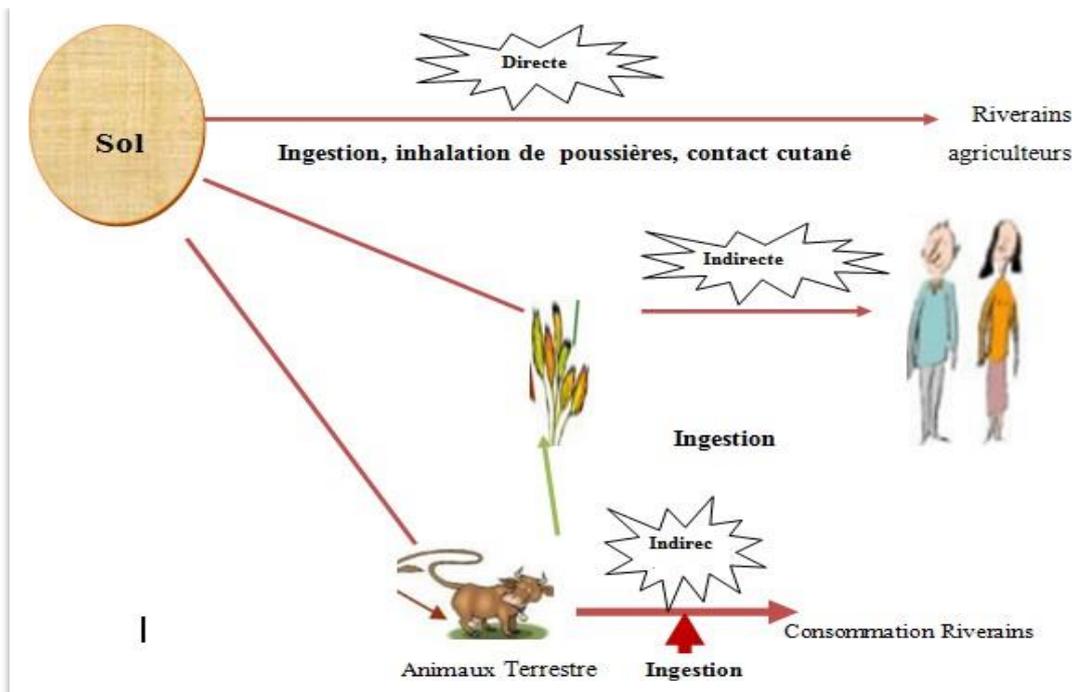
### **8.1. Sur l'environnement / Contamination atmosphérique**

Il existe à l'heure actuelle peu d'études concernant les risques de contamination atmosphériques suite à la production des boues, le compartiment aérien étant celui qui reste encore le moins étudié. Des métaux comme le mercure ou l'arsenic peuvent se volatiliser directement dans l'atmosphère, mais comme ce sont des éléments peu bio-disponibles avec des facteurs de transfert faibles, les risques de contamination directe de l'atmosphère sont faibles. (Comité Sécurité Alimentaire d'aprifel, 2001). Les émissions de gaz à l'effet de serre (GES) lors du transport et traitement de la boue telle que (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>). (Reverdy et Pradel, 2012)

## 8.2. Sur la santé humaine :

A l'issue des différentes phases de traitement des eaux usées, la grande partie des micropolluants métalliques s'accumule dans les boues résiduaire. En effet, en moyenne, 70 à 90% des microéléments sont retenus par les boues (**Bouallégué, 2010**), telle que les Bactéries, les champignons, les virus et les parasites (figure 3) (**Blais et Sasseville, 1996**).

- Soit par contact direct avec les boues.
- Soit indirecte par consommation d'aliments ayant été contaminés par contact avec les boues (figure 3) (**Blais et Sasseville, 1996**).



**Figure 3:** Schéma conceptuel d'exposition dans le cas de l'épandage des boues (Morin, 2006)

## 8.3. Risque sanitaire de la mise en décharge

La connaissance de l'exposition et des risques sanitaires associés à la mise en décharge est aujourd'hui faible. Cependant, des troubles liés au stockage de déchets peuvent affecter la vie des riverains (nuisances odorantes et/ou émissions d'hydrogène sulfuré qui peuvent entraîner des effets irritatifs au niveau des muqueuses) (**Boullégué, 2010**).

## **9. Les normes et réglementation algérienne de l'utilisation des boues**

En Algérie, la réglementation concernant l'utilisation des boues d'épuration est régie par la législation environnementale et sanitaire en vigueur. Voici quelques éléments importants de la réglementation algérienne relatifs à l'utilisation des boues :

- Arrêté interministériel n° 49 du 28 décembre 2009 relatif aux modalités de gestion des boues d'épuration des eaux usées domestiques : Cet arrêté établit les procédures de gestion des boues d'épuration en Algérie. Il définit les critères de qualité des boues, les procédures d'échantillonnage et d'analyse, ainsi que les mesures de suivi et de contrôle à mettre en place.
- Norme algérienne NA 1100 : 2004 - Eaux usées - Épuration - Réutilisation des boues : Cette norme algérienne spécifie les critères de qualité des boues d'épuration destinées à la réutilisation agricole ou au réaménagement des sites en Algérie. Elle établit des limites pour les contaminants, notamment les métaux lourds et les agents pathogènes, afin de protéger la santé humaine et l'environnement.
- Norme algérienne NA 116 : 2004 - Épandage des boues d'épuration des eaux usées domestiques : Cette norme algérienne fournit des lignes directrices sur les pratiques d'épandage des boues d'épuration en agriculture. Elle définit les distances d'épandage par rapport aux zones habitées, les méthodes d'application, les fréquences d'épandage et les recommandations pour minimiser les impacts sur le sol et les eaux souterraines.

## 10. L'utilisation des boues comme fertilisant

Les boues peuvent être utilisées comme fertilisant pour améliorer la qualité du sol et favoriser la croissance des plantes. Les boues contiennent des nutriments tels que l'azote, le phosphore, le potassium et d'autres éléments essentiels à la croissance des plantes.

Cependant, l'utilisation des boues comme fertilisant doit être effectuée avec prudence et en respectant certaines normes de sécurité. Les boues peuvent contenir des contaminants tels que des métaux lourds et des produits chimiques, ainsi que des agents pathogènes tels que des bactéries, des virus et des parasites (Zheng, et al., 2018). Ces nutriments sont disponibles sous une forme organique et sont libérés lentement dans le sol, ce qui permet de nourrir les plantes pendant une longue période. De plus, l'utilisation des boues comme fertilisant peut améliorer la qualité du sol en augmentant sa teneur en matière organique, en améliorant sa structure et en favorisant la rétention d'eau (Nair et al., 2019).

Il est donc important de traiter les boues avant leur utilisation pour éliminer ces contaminants et réduire les risques de contamination du sol et de l'eau. De plus, l'utilisation des boues comme fertilisant doit être réglementée et contrôlée pour assurer une utilisation responsable et protéger l'environnement et la santé publique.(Sun et al.,2020).

## 11. Les avantages de l'utilisation des boues comme fertilisant

L'utilisation des boues comme fertilisant présente plusieurs avantages ( **Journal of Environmental Management** - 2020

:

- Réduction des déchets : L'utilisation des boues comme fertilisant permet de réduire la quantité de déchets générés par les stations d'épuration, ce qui contribue à préserver l'environnement
- Source de nutriments : Les boues contiennent des nutriments essentiels pour la croissance des plantes, tels que l'azote, le phosphore et le potassium, ce qui en fait une source de fertilisation organique pour les cultures
- Amélioration de la qualité du sol : L'utilisation des boues comme fertilisant peut améliorer la qualité du sol en augmentant sa teneur en matière organique, en améliorant sa structure et en favorisant la rétention d'eau. . Réduction des coûts de production : L'utilisation des boues comme fertilisant peut réduire les coûts de production des cultures en évitant l'achat d'engrais chimiques.

- Réduction des émissions de gaz à effet de serre : L'utilisation des boues comme fertilisant peut contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, car elle permet de diminuer l'utilisation d'engrais chimiques qui ont une empreinte carbone importante.
- Amélioration de la biodiversité : L'utilisation des boues comme fertilisant peut contribuer à la conservation de la biodiversité en favorisant la croissance des plantes et en encourageant la présence d'une variété d'espèces
- Réduction des coûts de production pour les agriculteurs.

## **12. Les inconvénients de l'utilisation des boues comme fertilisant**

- Risque de contamination : Les boues peuvent contenir des contaminants tels que des métaux lourds, des produits chimiques et des agents pathogènes, ce qui peut potentiellement contaminer le sol, les plantes et l'eau
- Contraintes réglementaires : L'utilisation des boues comme fertilisant est réglementée par les autorités locales et nationales en raison des risques de contamination. Des tests de qualité et des contrôles doivent être effectués avant de pouvoir utiliser les boues comme fertilisant, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires pour les agriculteurs.
- Coûts de transport : Les boues doivent être transportées depuis les stations d'épuration jusqu'aux zones agricoles, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires pour les agriculteurs.
- Impact sur l'odeur : L'utilisation des boues peut dégager des odeurs désagréables qui peuvent affecter les zones environnantes.
- Nécessité de respecter les doses : L'utilisation des boues doit être effectuée avec prudence et en respectant les doses recommandées pour éviter une saturation des sols et des problèmes de croissance des plantes.
- Les suggestions de l'utilisation des boues comme fertilisant :
- Effectuer des tests de qualité : Avant d'utiliser des boues comme fertilisant, il est important d'effectuer des tests de qualité pour déterminer leur composition en nutriments et en contaminants. Ces tests peuvent être effectués par des laboratoires spécialisés dans l'analyse des sols et des boues. Les résultats des tests peuvent aider

à déterminer si les boues sont sûres à utiliser comme fertilisant, et dans quelle mesure.

- Respecter les doses recommandées : L'utilisation des boues comme fertilisant doit être effectuée avec prudence et en respectant les doses recommandées pour éviter une saturation des sols et des problèmes de croissance des plantes. Les doses recommandées varient en fonction des cultures et des types de sols. Des guides de référence sont disponibles pour aider à déterminer les doses appropriées pour chaque utilisation.
- Suivre les réglementations : L'utilisation des boues comme fertilisant est réglementée par les autorités locales et nationales. Il est important de suivre les réglementations en vigueur pour éviter les risques de contamination et les problèmes de santé publique. Des guides et des directives sont disponibles pour aider les agriculteurs à comprendre les réglementations et les exigences en matière d'utilisation des boues comme fertilisant.
- Éviter les zones sensibles : Les boues ne doivent pas être utilisées dans des zones sensibles telles que les zones à risque de contamination des eaux souterraines, les zones proches des habitations et les zones à risque d'érosion du sol. Les agriculteurs doivent être conscients des risques potentiels et prendre des précautions pour éviter

# **Partie 1 :**

# **Stage**

## 1. Présentation de la zone d'étude

ALGERIAN QATARI STEEL (AQS) est une nouvelle Entreprise Publique Économique qui a été créée en décembre 2013. Les activités d'exploitation et de commercialisation débutant en 2017. La Société envisage la construction d'un Complexe Sidérurgique dans la région de Jijel, dans les environs de la ville d'El Milia, au pôle sidérurgique de Bellara.



Figure 4: La vue aérienne du complexe AQS

## 2. Le complexe sidérurgique de Bellara / AQS

Le projet consiste en la construction d'un complexe sidérurgique intégral d'une capacité de 4 millions de tonnes de produit sidérurgique en deux phases :

- Phase 01 : d'une capacité de 2 millions de tonnes (1,5 million de tonnes de rond à béton et 0,5 million de tonnes de fil machine) Démarrage prévu en 2017 ( figure 5)



Figure 5: Etapes de la transformation sidérurgique (phase 1) (Étude d'impact sur l'environnement mémoire édition3, Décembre2014)

- Phase 02 : d'une capacité de 2 millions de tonnes Démarrage prévu en 2019

Il sera développé sur la base de la technologie de réduction directe. Cette technique est la plus propre et la plus moderne pour la production d'acier au monde.

### 3. Localisation géographique du complexe

Le nouveau complexe sidérurgique de Bellara est situé dans la ville d'El-Milia et s'étend sur une superficie de 216 hectares, le complexe est situé à environ 50 Km du centre administratif de Jijel ; à 40 Km du port de Djen-Djen et à 45 Km de l'aéroport de Ferhat Abbas (figure 6) . Le site est délimité par :

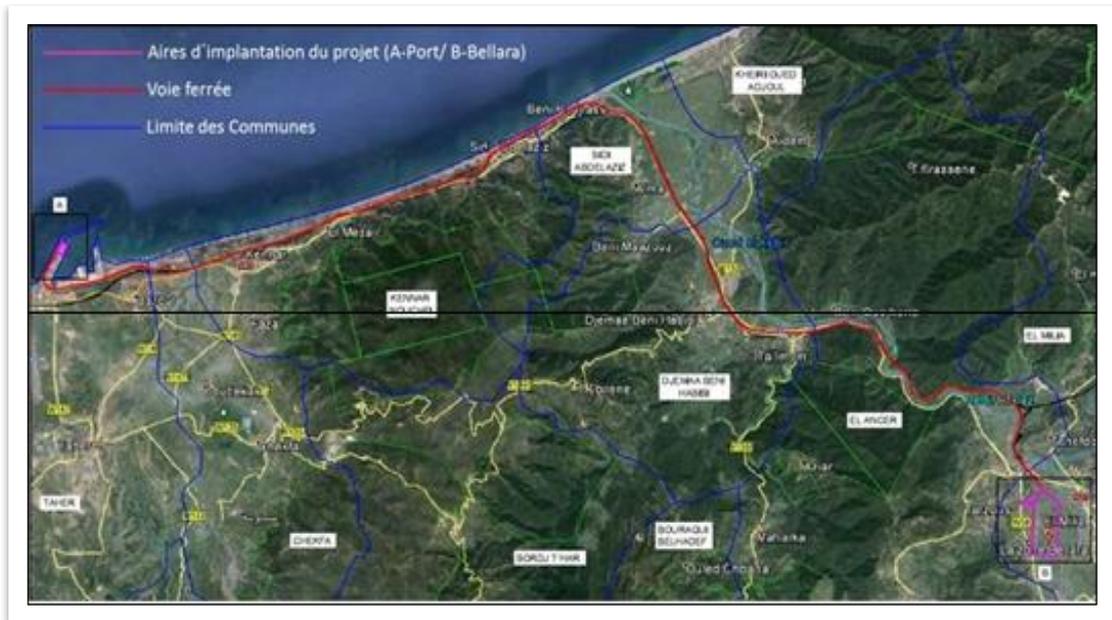
- Nord : La colline Beni Zebanne
- Sud : La future centrale de Sonelgaz de 1500MW
- Est : Oued El kebir avec une digue de protection de 3 mètres de hauteur
- Ouest : Route Nationale.



**Figure 6:** la zone de Bellara .

- Implantation du projet à deux zones :

Site de Bellara (Commune de El Milia), une parcelle de 216 hectares, de forme quasi rectangulaire, pour abriter le Complexe Sidérurgique.



**Figure 7:** Les aires d'implantation du projet (A-Portet Bellara)

Au Port de Djendjen (Commune de Taher), une parcelle de 10 ha que sera exploitée par AQS en régime de concession, dotée des installations de réception et de transit des importations de pellets d'oxyde de fer.



**Figure 8:** L'aire d'implantation au Port (état initial)

Les deux zones, à une distance de 40 km l'une de l'autre, sont reliées par la voie ferrée sur laquelle le minerai sera transporté et par le couloir de transport routier formé par la route

nationale 43 (RN43), l'axe routier le plus important à l'échelle régionale, à deux voies dans les deux sens de la circulation.

#### 4. La description du processus industriel

Le processus technologique industriel pour la fabrication de produits sidérurgiques se développe en 3 étapes (voir schéma ci-dessus) :

##### 4.1. La première étape (Réduction Directe/DRI)

Il y a une transformation chimique intense de la matière première (le Fer combiné avec l'oxygène et en état d'oxydation III passe à fer métallique en état d'oxydation).

###### ➤ Laboratoire de l'unité DRI

Les tests de contrôle qualité qui sont effectués au niveau de laboratoire de l'unité de réduction directe sont :

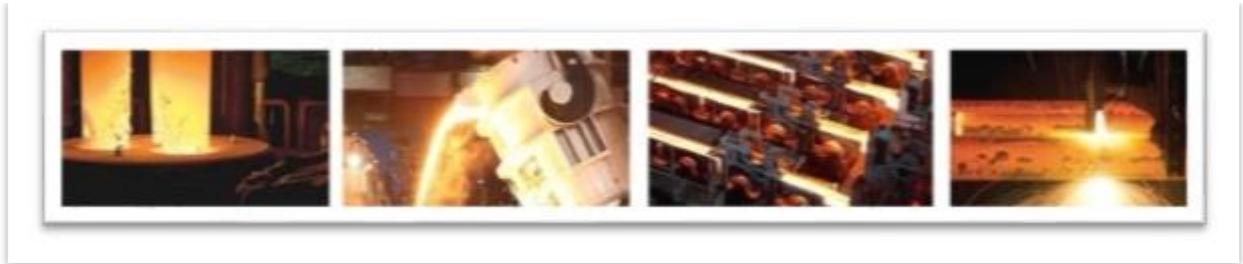
- Un test pour contrôler le teneur en carbone dans la(HDRI&CDRI).
- Un test pour contrôler la métallisation de fer.
- Un test pour analyser les gaz de processus.
- Un test pour contrôler la totale de fer.
- Les analyses de la qualité d'eau dans les circuits
- La caractérisation de la boue de complexe

##### 4.2. La 2ème étape (l'aciérie électrique / SMS) :

le fer métallique est transformé en acier en le chauffant au point de fusion et l'ajoute de l'élément d'addition (figure 9 et 10)) .



**Figure 9:** La Composition de l'usine sidérurgique AQS



**Figure 10:** Les étapes de la production dans laminoir (Étude d’impact sur l’environnement mémoire édition3, Décembre2014)

#### **4.3. Laboratoire de l'unité SMS**

Analyse chimique pour chaque coulée La détermination des éléments d'addition pour chaque coulée Au niveau de 3 zones (four à arc électrique- four à poche et la coulée continue). Une inspection visuelle de un coupe transversal le de la billette pour contrôler les défauts superficiels de la coupe.

#### **4.4. La 3ème étape (laminoirs)**

L’acier subit une transformation principalement physique. Il y a 3 laminoirs :

- RM1 : produit rond à béton de diamètre : 16, 20, 25, 32, 36, 40mm.
- RM2 : produits fil machine de diamètre : 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16mm.
- RM1 : produit rond à béton de diamètre : 8, 12, 14, 16mm (voir annexe 03)

#### **4.5. Laboratoire de l'unité RM**

- Essai de traction pour déterminer les caractéristiques mécaniques des matériaux.
- Essaie de pliage pour Examiner lafragilité du matériau dans le cas de la présence des fissures.
- Faire une étude métallographique pour déterminer la microstructure du matériau.
- Faire un test de dureté et prend en considération la méthode utilisée est l'état de matériau à tester.
- Effectuant Un contrôle de la géométrie de produit fini.

#### 4.6. Unités auxiliaires

Il existe d'autres unités auxiliaires pour assurer le bon fonctionnement des unités principales :

- ASU (unités séparation de l'air)
- MRSS (sous-station électrique)
- Lime plant (unité de la chaux)
- WTP water traitement plant (unité traitement d'eaux)

#### 5. La Description générale de l'installation de traitement d'eaux

La station de traitement a comme finalité la réception le stockage et le traitement des eaux. Le traitement s'effectue en amont (eaux de barrage) et en aval rejets des trois systèmes de refroidissement de chacune des trois stations principales DRI XB11 et XB12 ( figure 11) .

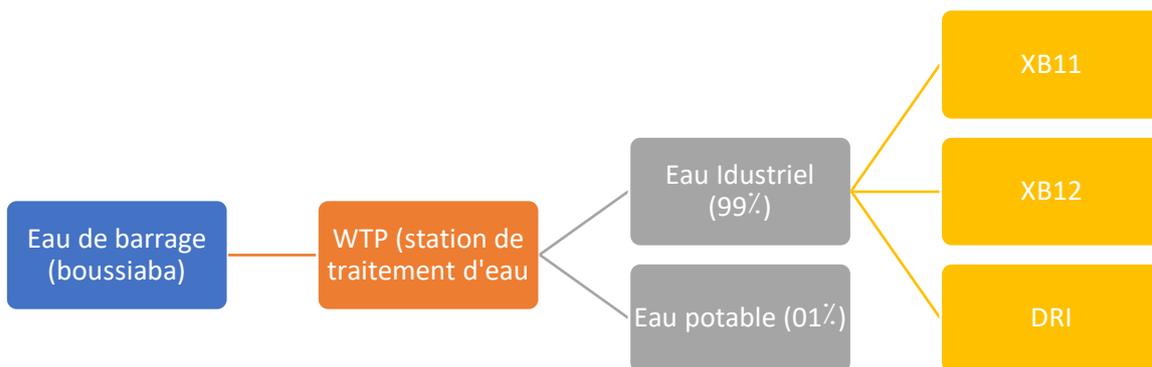


Figure 11: Schéma descriptif de la distribution de l'eau de la station de traitement des eaux

#### 5.1. Station de traitement des eaux

La Station de traitement des eaux (WTP générale) est une auxiliaire de l'usine sidérurgique AQS. C'est où la production, le traitement, la distribution et le recyclage des eaux industrielles s'effectuent. L'unité de WTP est considérée comme une unité primordiale. Les eaux industrielles sont destinés à refroidir les processus de l'industrie ; échangeurs de chaleur, tours de refroidissement, system HVAC et autres systèmes. Alors, ça qualité doit répondre aux exigences des constructeurs des équipements à refroidir. L'objectif des traitements est de réduire l'impact des eaux industrielles sur les circuits et protéger les installations industrielles contre les risques (Tartre , Corrosion ,Encrassement Organique ,Dépôts Microbiologique ,Mousse.

La station WTP de AQS se compose des unités principales suivantes :

- Station d'épuration d'eau d'appoint (Eau industrielle), capacité nette de : 1320 m<sup>3</sup>/h.
- Usine de traitement d'eau potable, capacité nette de : 5m<sup>3</sup>/h.
- Station d'épuration, capacité de : 540 m<sup>3</sup>/h.
- Usine des eaux usées, capacité de : 100m<sup>3</sup>/h.

## 5.2. Fonctionnement de la WTP

Le but de la station est de traiter l'eau provenant de barrage à fournir aux tours de refroidissement DRI, SMS et RM en respectant leurs exigences de qualités. Ainsi que pour produire l'eau potable Le but de la station d'eau est traiter l'eau provenant du barrage à fournir aux courts de refroidissement DRI SMS et RM en respectant leurs exigences de qualité et quantité Ligne de traitement :

- Désinfection-coagulation : l'hypochlorite est dosé pour oxyder la matière organique et le fer dans l'eau brute et le chlorure ferrique est ajouté pour un meilleur règlement des solides. Cette opération se fera dans une chambre de mélange avec des caractéristiques ( figure 12) .
- Flocculation : après le mélange des réactifs , l'eau arrivera dans la chambre de flocculation, là, l'eau est agitée lentement afin que les solides peuvent se rassembler , devenir plus lourds et se déposer plus facilement .
- Décarbonatation à froid : afin de réduire TAC (alcalinité totale) et TH (dureté totale ) de l'eau brute un lait de chaux sera dosé dans la chambre de flocculation.
- Clarification l'eau flocculée sera envoyée vers des clarificateurs lamellaires avec recirculation des boues pour éliminer les solides en suspension.

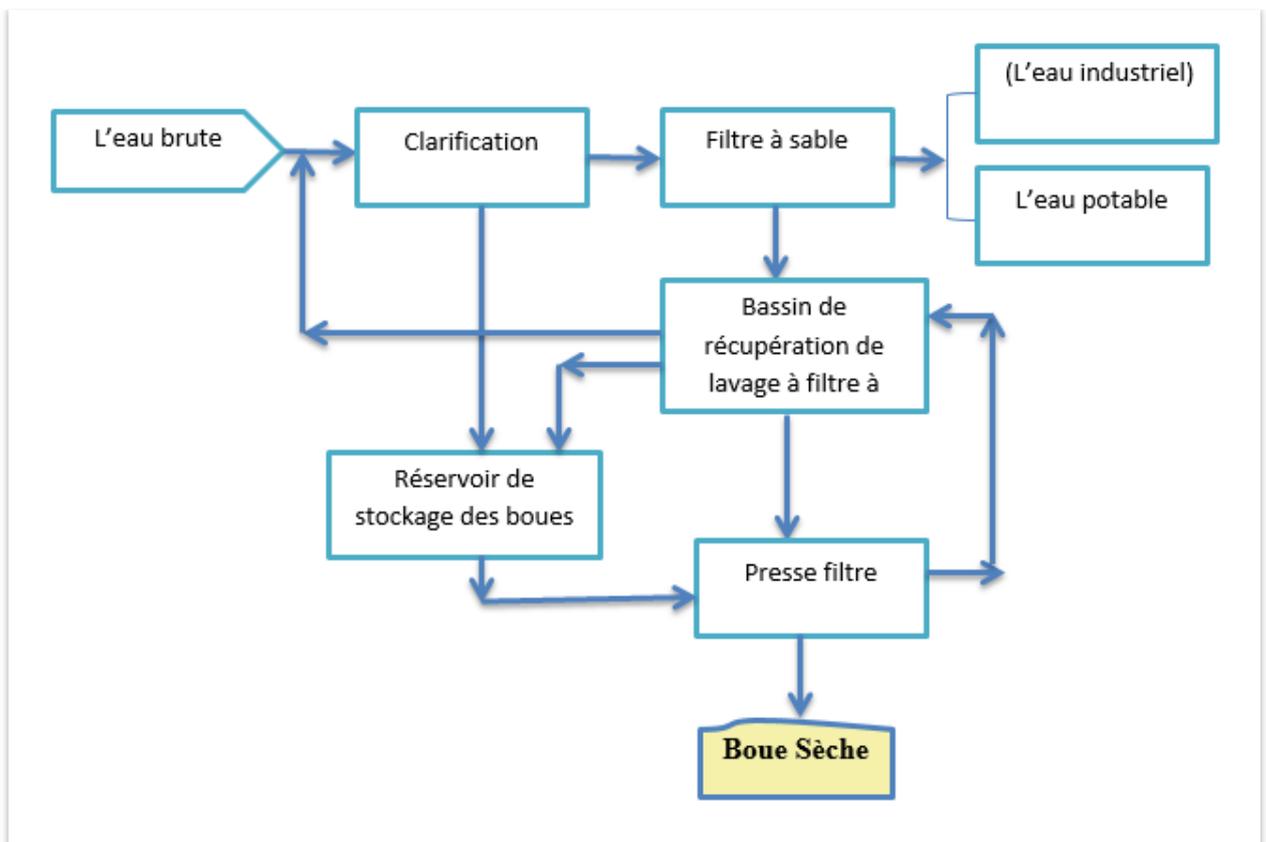


**Figure 12:** Photo de clarificateur lamellaires(AQS 2023)

- Système d'ajustement pH : l'eau clarifiée est stockée dans un autre réservoir ou la fosse est ajoutée l'acide sulfurique.
- Filtration au sable l'eau clarifiée est filtrée dans des filtres à sable de type horizontal pour élimination des particules.
- Système de déshydrations des boues : les boues créées lors du processus sont finalement acheminées vers un monte de presse pour être déshydratées afin de réduire la quantité (poids de matière à retirer de la station) ( figure 13 et 14) .



**Figure 13:** Les unités de séchage (AQS, 2023)



**Figure 14:** Schéma descriptif de WTPG

### 5.3. Description de XB12

En amont la WTPG à alimenter l' XB12 par l'eau industriel pour distribuer laminoir (les trois (03) RMs par 3 circuits (figure 15) :

- KW : circuit ouvert avec contact (décalamineuse et QTB de trempage)
- CW : circuit ouvert sans contact pour le refroidissement des HVAC+ compresseur
- QW : circuit fermé sans contact pour refroidir les trois (03) fours

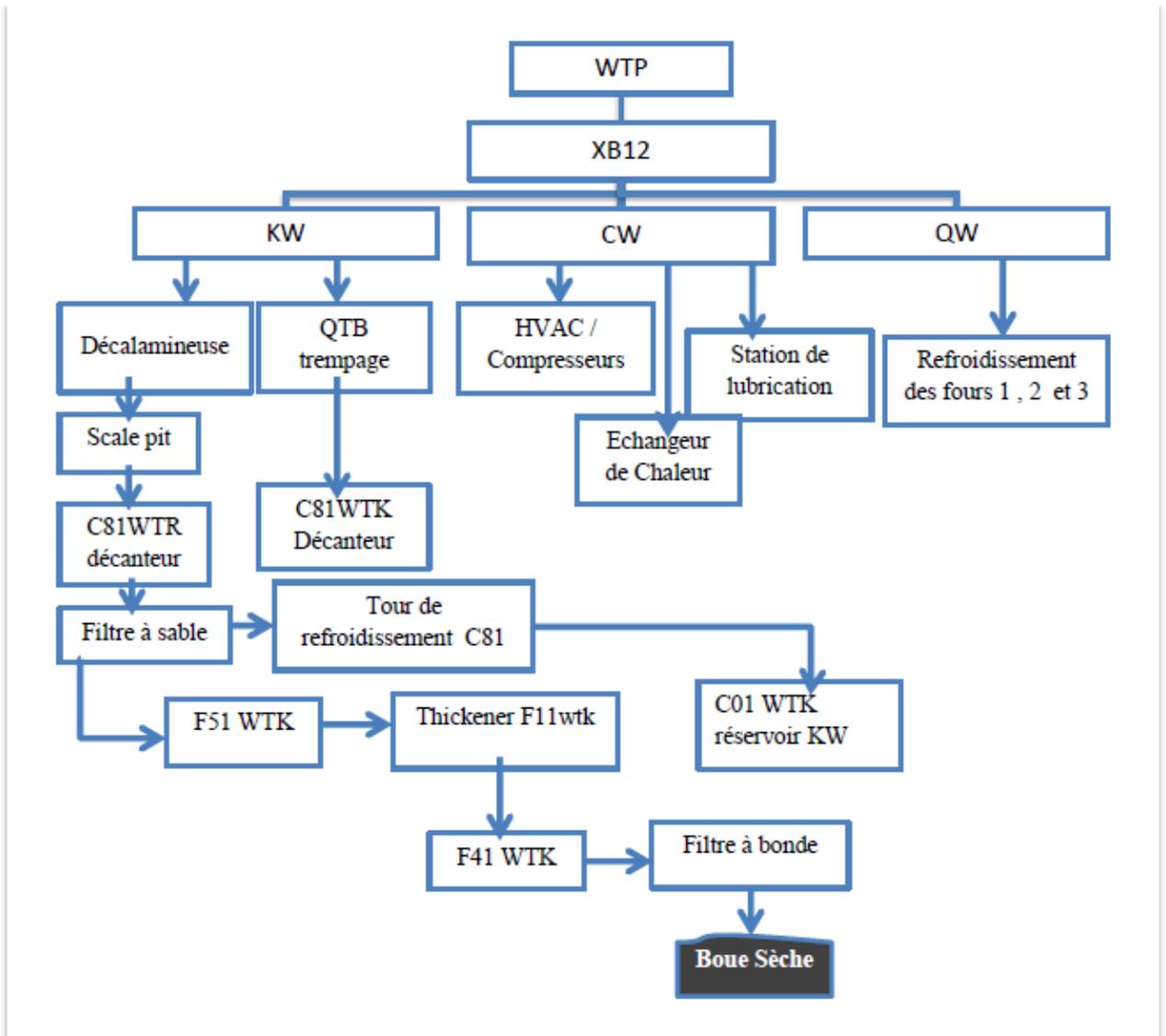


Figure 15: Schéma descriptif de XB12

### **5.3.1. Origine de la calamine :**

Les calamines sont des oxydes de fer, tels que le FeO et le Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, qui se forment à la surface de l'acier chaud qui se refroidit, dans différentes étapes du processus : coulée continue, lits de refroidissement, fours de réchauffage et laminage. Les calamines sont retirées de la surface de l'acier mécaniquement ou par jets d'eau. Puis elles sont récupérées dans des puits et au fond des bassins de décantation des eaux.

### **5.3.2. Composition chimique**

La composition exacte des calamines varie selon la qualité de l'acier laminé et le processus de laminage, mais la teneur en fer est généralement de 70 % (sur une base sans huile, ni humidité). L'analyse chimique des calamines de laminage fait état d'une teneur moyenne en hydrocarbures de 4,6 %. Une teneur élevée en hydrocarbure peut limiter le recyclage. Les compositions typiques pour la calamine de laminage indiquent des plages de 25 à 65 % pour les matières solides, de 30 à 60 % pour l'eau et de 2 à 15 % pour l'huile.

En raison de l'utilisation d'huile de lubrification et de graisse pendant le laminage, la calamine de laminage est contaminée. La teneur en huile dépend du procédé, de l'équipement technique et, en particulier, de la qualité de la maintenance. La teneur en huile de la calamine de laminage peut être également influencée par la taille des particules. La partie de la calamine de laminage constituée de très fines particules (également appelée boue de laminage) contient des particules de taille inférieure à 63 µm, qui ont tendance à absorber l'huile.

## **6. Les déchets de l'usine**

Le complexe sidérurgique AQS produira divers effluents de déchets qui, selon la réglementation algérienne, appartiennent à l'une de ces quatre catégories:

- Déchets spéciaux
- Déchets spéciaux dangereux
- Déchets inertes
- Déchets ménagers et assimilés.

Le Tableau ci-après présente un résumé des définitions de ces déchets et les principales responsabilités concernant leur gestion selon la réglementation algérienne (Loi n°

01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets) (tableau1) .

Tableau 1:Résumé des définitions des déchets

Type	Définition	Responsabilité
Déchets spéciaux	Tous déchets issus des activités industrielles, agricoles, de soins, de services et toutes autres activités qui, en raison de leur nature et de la composition des matières qu'ils contiennent, ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes	Les générateurs et/ou les détenteurs des déchets spéciaux sont tenus d'assurer ou de faire assurer, à leur charge, la gestion de leurs déchets.
Déchets spéciaux dangereux	Tous déchets spéciaux qui, par leurs constituants ou par les caractéristiques des matières nocives qu'ils contiennent, sont susceptibles de nuire à la santé publique et/ou à l'environnement	Il est interdit à tout générateur et/ou détenteur de déchets spéciaux dangereux de les remettre ou de les faire remettre à toute autre personne que l'exploitant d'une installation autorisée pour le traitement de cette catégorie de déchets. Le mélange de déchets spéciaux dangereux avec d'autres déchets est interdit.
Déchets inertes	Tous déchets provenant notamment de l'exploitation des carrières, des mines, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation, qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge, et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances, susceptibles	La collecte, le tri, le transport et la mise en décharge des déchets inertes sont à la charge de leurs générateurs. Dans le cadre de son plan d'aménagement et de développement et conformément au schéma de gestion approuvé, la commune initie toute action et mesure visant l'implantation, l'aménagement et la gestion des sites des décharges

Type	Définition	Responsabilité
	de nuire à la santé et/ou à l'environnement	désignés pour recevoir les déchets inertes. Les déchets inertes non valorisables ne peuvent être déposés que dans des sites aménagés à cet effet
Déchets ménagers et assimilés	Tous déchets issus des ménages ainsi que les déchets similaires provenant des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres qui, par leur nature et leur composition, sont assimilables aux déchets ménagers	La gestion des déchets ménagers et assimilés relève de la responsabilité de la commune conformément à la législation régissant les collectivités locales. La commune organise, sur son territoire, un service public en vue de satisfaire les besoins collectifs des habitants en matière de collecte, de transport et, le cas échéant, de traitement des déchets ménagers et assimilés. La collecte, le transport et le traitement des déchets ménagers et assimilés issus des activités industrielles constituent des prestations rémunérées.

# **Partie 2 :**

# **Matériel et Méthodes**

Ce travail porte sur la méthode de caractérisation et valorisation des boues Industrielle (WTPG et XB12) de l'usine AQS de BELLARA, El Milia, et nous conduit à nous intéresser particulièrement à leur contenu organique, métallique ainsi que la valorisation biologique.

### 1. Site de prélèvement

Les prélèvements ont été effectués le 16 Mars 2023 au niveau du décanteur à lit'' du bassin de la presse à filtre, ces boues résultat du traitement des eaux brutes (eau de barrage de Boussiaba ) à eaux industrielle dans la station de traitement de l'eau(WTPG) puis distribuer à différent unités de fabrication (DRI , SMS et RM).

Les échantillons des boues collectés ont été transférés au laboratoire de qualité de l'AQS (figure 16) sachant que l'échantillon étudiée a été produit depuis 15 jours



**Figure 16:** Le point de prélèvement WTP (AQS, 2023)

### 2. Traitement chimique des boues

les échantillons ont été traités selon le protocole suivant (figure 17,18,19,20,21 et 22 ) :

- Laver 200g de la boue avec 400 ml d'eau distillé.
- Filtrer le mélange à l'aide d'un papier filtre.
- Sécher le filtrat dans une étuve à 105°C pendant 12h.
- Tamiser la poudre à l'aide d'un tamis de 200µm.
- Mélanger avec 1,2 et 4M de NaOH.
- Mettre le mélange sur la plaque chauffante à 70°C avec agitation.
- Sécher le mélange dans une étuve à 120°C pendant 5h.
- Ajuster le pH avec vinaigre jusqu'à 5,6-6,2.



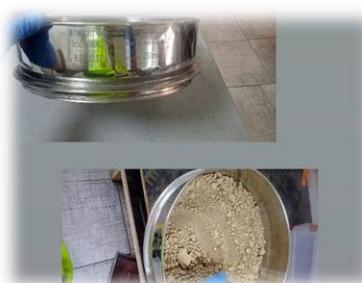
**Figure 17:** Photo représenté lavage de la boue (AQS,2023)



**Figure 18:** Photo représenté La filtration de la boue (AQS,2023)



**Figure 19:** Photo représenté le séchage de la boue (AQS,2023)



**Figure 20:** Photo représenté le tamissage de la boue (AQS,2023)



**Figure 21:** Photo représenté le séchage sur la plaque de la boue (AQS,2023)



**Figure 22:** Photo représenté le séchage après l NaOH (AQS,2023)

### 3. Les analyses physico-chimique des Boues

les analyses ont été réalisés au niveau de Centre de Recherche de Biotechnologie (CRBT), Constantine

### 3.1. Les analyses physiques de sol

#### 3.1.1. Détermination de pH selon la méthode (NF ISO10390/X31-117, AFNOR, Mai 2005)

- Peser 10g
- Mise en suspension dans 50ml d'eau distillé ou de chlorure de potassium KCL (1mol/l)
- Agiter pendant 1heure
- Laisser au repos pendant 2h
- Le pH est ensuite mesuré à l'aide d'un pH-mètre

### 3.2. Les analyses chimiques

#### 3.2.1. La détermination de phosphore selon méthode OLSEN NF ISO 11263.

- Peser 0,5g de sol et ajouter une quantité de charbon actif.
- Ajouter 20ml de la solution d'extraction (12,6g bicarbonate de sodium dans 300ml d'eau distillé et ajuster pH à 8.5 par une solution de NaOH goutte à goutte).
- Agiter mécaniquement pendant 30minute.
- Filtrer au papier Wattman jusqu'à l'obtention d'une solution claire.
- Prélever 10ml du filtrat dans une fiole de 50ml et rajouter 5ml d'acide sulfurique.
- Laisser reposer une nuit.
- Ajouter 20ml d'eau distillée et 5ml de molybdate d'ammonium.
- Ajouter 0,25ml de la solution chlorure stanneux et ajuster à 50 ml.
- Agiter pour homogénéiser le mélange et dose au spectrophotomètre UV-vis à 660nm.

##### ➤ La courbe d'étalonnage :

- SM1 à 500ppm : Dissoudre 2.197g de phosphate monopotassique (ou 2.873g de phosphate dissodique di hydraté) dans 1L d'eau.
- SM2 à 100ppm : Diluer 50 ml de la SM1 dans 250 ml d'eau.
- Diluer respectivement 5 ; 10 ; 15 ; 20 et 25 ml de la SM2 dans 500 ml d'eau distillée.

##### ➤ Calcul :

Les résultats obtenus sur UV-VIS sont des concentrations massique C en ppm (g /l).

Masse de phosphore en mg/g du sol :  $M = (C \times 20) \div 10$

### **3.2.2. Détermination de la matière organique par dosage du carbone organique selon Walkey-Black (Québec)**

- Peser 0,5g de la boue dans un erlenmeyer 250ml et y ajouter 10ml de dichromate de potassium 1N.
- Ajouter 20ml d'acide sulfurique concentré.
- Agiter vigoureusement pendant 1minute et laisser reposer pendant 30 minutes.
- Ajouter 100ml d'eau distillée ,10ml d'acide orthophosphorique et 2ml de la solution indicatrice diphénylamine.
- Titrer l'excès de dichromate de potassium avec le sulfate ferreux 0,5N .
- Lors de l'apparition de la coloration violette ou bleue ,titrer lentement jusqu'à la coloration finale verte.

#### ➤ **Calcul :**

- Considérant que 1ml de dichromate de potassium 1N =4mg de carbone.
- Considérant que la matière organique :  $M.O = c \times 1,724$

### **3.2.3. Détermination de la teneur d'azote selon la méthode KJELDAHL**

- Peser 0,5g de la boue dans un matras et ajouter 3g de mélange catalyseur (80g sulfate de potassium ,20g sulfate de cuivre et 3g sélénium en poudre)
- Ajouter 20ml d'acide sulfurique
- Laisser la digestion s'effectuée à froid pendant quelque minutes
- Ajouter 10ml d'eau distillé.

### **3.2.3. Détermination de la teneur de magnésium (Mgo) et la chaux (CaO) selon AQS-DQC-DR-P-0001 :Iron Ore Sample Collection for chemical and physical testing**

#### ➤ **Préparation de l'aliquote :**

- Peser 0,5g de la boue.
- Ajouter 25ml Hcl37%.
- Laisser le mélange sur la plaque chauffante jusqu'à Dissolution.
- Ajouter 10 ml d'acide nitrique ades fumes orange).
- Ajouter 10ml de perchlorique HClO<sub>4</sub> (jusqu'à L'apparition d'un précipité blanc).
- Ajouter 10 ml eau distillée et filtrer le mélange.
- Ajuster par l'eau distillée dans une fiole de 250 ml.

### 3.2.4. La teneur de CaO :

- Prendre 25ml d'aliquote
- Ajouter 2g ammonium chloride.
- 10ml acide ammoniacque.
- Mettre sur la plaque chauffante.
- Filtrer la solution.
- Mettre sur la plaque chauffante jusqu'à pertes l'odeur.
- Ajouter 2 gouttes d'indicateur pnR + des gouttes de NaOH 20%.
- Titrer avec l'EDTA jusqu'à donner une couleur bleue ciel.

➤ **Calcul :**

$$C_{CaO} = \frac{(V(EDTA) \times [EDTA]) \times 10 \times \text{la masse molaire CaO}}{\text{la masse d'échantillon}}$$

### 3.2.5. La teneur de MgO :

- Prendre 25ml d'aliquote
- Ajouter 2g ammonium chloride.
- 10ml acide ammoniacque.
- Mettre sur la plaque chauffante.
- Filtrer la solution .
- Mettre sur la plaque chauffante jusqu'à pertes l'odeur.
- Ajouter 2ml d'indicateur EBT + 2ml acide tampon (73,5g ammonium chloride + 143ml acide ammoniacque + 500ml eau distillé).
- Titrer avec l'EDTA jusqu'à donner une couleur bleue foncé.

➤ **Calcul:**

$$C_{MgO} = \frac{[(V(EDTA_{MgO}) - V(EDTA_{CaO})) \times [EDTA] \times 10 \times (\text{la masse molaire} \div 1000)]}{\text{la masse molaire d'échantillon}} \times 100$$

## 4. Test de valorisation agricole de la boue

Dans cette partie, nous avons fait un test de la valorisation agricole des boues de l'AQS. A cet effet, nous avons pris deux échantillons à pourcentage différent comme suivant: (50 % de boue + 50 % de sol), (25 % de boue + 75% de sol), Le matériel végétal utilisé dans cette expérience est le blé dur (variété WAHA) (figure 23)



Figure 23: photo représenté la préparation de le sol(aboratoire 05)

## **RÉSULTATS**

## 1. Les analyses physico-chimiques des boues

### 1.1.les physiques

#### 1.1.1. pH

Le pH est un facteur représente la mesure de l'acidité ou de l'alcalinité en chimie d'un milieu. D'après les résultats obtenus dans le tableau 2 montrent que le pH des échantillons sans traitement est alcalin de l'ordre de 9.67, par contre les pH après traitement est acide et varie entre 5.8 et 6.2 .

**Tableau 2:** Représente le Ph d'échantillon

Echantillon	Sans traitement	1M	2M	4M
pH	9.67	5.8	6.2	6.3

### 1.2. les analyses chimiques

#### 1.2.1.Détermination de la teneur en phosphore

le phosphore est l'un des éléments indispensables à la croissance végétale .il donc utilisé comme engrais, soit à l'état naturel soit à l'état chimique il favorise la croissance racinaire des plantes.

Les résultats obtenus dans le tableau 03 montrent que la teneur élevée en phosphore a été observé chez l'échantillon WTP 4M avec un pourcentage de 10.34%, suivie par WTP 2M (NaOH) avec un pourcentage 7.49 %, puis l'échantillon WTP S.T avec un pourcentage 5.94%, et enfin l'échantillon 1M avec un pourcentage de 1.95% ( tableau 3) .

**Tableau 3:** les résultats de phosphore des échantillon

Echantillon	Abs	Concentration mg/l	A filtrat	Prise d'essai	P enug/g
WTP ST 1	0,074	1,09	10	0,5	4,34414669
WTP ST 2	0,1023	1,49	10	0,5	5,94076164
WTP 1M 1	0,0316	0,49	10	0,5	1,95204513
WTP 1M 2	0,0289	0,45	10	0,5	1,79971791
WTP 2M 1	0,1298	1,87	10	0,5	7,4922426
WTP 2M 2	0,1238	1,79	10	0,5	7,15373766
WTP 4M 1	0,1803	2,59	10	0,5	10,3413258
WTP 4M2	0,1683	2,42	10	0,5	9,66431594

Le phosphore est l'un des éléments indispensables à la croissance végétale .il donc utilisé comme engrais, soit à l'état naturel soit à l'état chimique il favorise la croissance racinaire des plantes.

Les résultats obtenus dans le tableau 03 montrent que la teneur en phosphore élevé a été observé chez l'échantillon WTP 4M avec un pourcentage de 10.34%, suivie par WTP 2M (NaOH) avec un pourcentage 7.49 %, puis l'échantillon WTP S.T avec un pourcentage 5.94%, et enfin l'échantillon 1M avec un pourcentage de 1.95%.

### 1.2.2.Détermination de la teneur en matière organique

La matière organique du sol représente un réservoir important dans le cycle ducarbone. D'après les résultats présentés dans le tableau (4) indiquent que les taux de la matière organique exprimés en pourcentage sont plus élevés dans l'échantillonWTP 2M (12%) puis l'échantillon sans traitement (11.92%), puis W TP 4M01 avec un pourcentage de 9,6% .

**Tableau 4:** le pourcentage de M.O

Echantillon	WTP S.t 01	WTP S.t 02	WTP 1M 01	WTP 1M 02	WTP 2M 01	WTP 2M.02	WTP 4M 01	WTP 4M02
<b>M.O %</b>	11.92	11.6	8.8	8.4	10.4	12	9.6	10

### 1.2.3. Azote

L'azote est un élément nécessaire pendant la croissance et le développement de la plante.

les résultats obtunues dans le tableau 5,on observe que l'échantillon WTP 2M à une forte teneur en azote avec une pourcentage 0,84 % ( tableau 5) .

**Tableau 5:** le pourcentage d'azote

Echantillon	V hcl en ml	N en mg/g de la boue	N en %	Prise d'essai
<b>wtp st</b>	0,3	4,2	0,42	0,5
<b>wtp 1m</b>	0	0	0	0,5
<b>wtp 2m</b>	0,2	2,8	0,84	0,5
<b>wtp 4m</b>	0,6	8,4	0,28	0,5

### 1.2.4.CaO

les résultats obtenues dans le tableau 6 montrent que l'échantillon WTP 2M présente une forte teneur en CaO avec un pourcentage de 48.80 % ET l'échantillon WTP 4M indique la faible teneur en CaO avec un pourcentage de 47 % ( tableau 6)

**Tableau 6:** le pourcentage de CaO

Echantillon	WT P S.t 01	WTP S.t 02	WTP 1M 01	WTP 1M 02	WTP 2M 01	WTP 2M.02	WTP 4M 01	WTP 4M02
CaO %	48.4 6	48.45	48.56	48.54	48.80	48.82	47	47.10

### 1.2.5.MgO

Les résultats obtenus dans le tableau 07 montrent que la teneur en MgO élevée a été observée chez l'échantillon WTP ST 02 avec un pourcentage de 4%, suivie par WTP ST 01 avec un pourcentage de 4.03 %, puis l'échantillon WTP 1M01 avec un pourcentage de 5.94%, et enfin l'échantillon WTP 4M 02 avec un pourcentage de 2.45%

**Tableau 7:** le pourcentage de MgO

Echantillon	WTP St 01	WTP St 02	WTP 1M01	WTP 1M 02	WTP 2M01	WTP 2M02	WTP 4M 01	WTP 4M02
MgO%	4.03	4.04	4	3.99	3.60	3.62	2.55	2.45

## 2.La valorisation agricole des boues

Les résultats des boues industrielles traitées par différentes molarités de NaOH démontrent qu'une amélioration significative de la germination des graines et la résistance à la sécheresse par rapport au sol témoin non traité.

Cela indique que les nutriments libérés par les boues industrielles traitées sont bénéfiques pour la croissance du blé où nous avons trouvé que le maximum de la surface foliaire chez l'échantillon traité par 2M est entre (6.9 et 7.32 ) cm<sup>2</sup> ( tableau 8 ) et la croissance varie entre (20 et 22.5)cm (tableau 9).

Tableau 8: la surface foliaire des échantillon

Échantillon	Surface foliaire 50%				Surface foliaire 75%			
	ST	1M	2M	4M	ST	1M	2M	4M
<b>Feuille 01</b>	5.3	4.82	7.1	0	5.02	3.04	7.20	0
<b>Feuille 02</b>	5.2	4.83	6.9	0	4.24	3.06	7.32	0
<b>Feuille 03</b>	5.4	4.92	7	0	4.56	3.05	6.66	0

2.

3. Tableau 9: la croissance

	50%					75%				
	Témoin	s.T	1M	2M	4M	témoin	s.T	1M	2M	4M
<b>Après 5j</b>	Témoin	s.T	1M	2M	4M	témoin	s.T	1M	2M	4M
<b>Éch 01</b>	1.2	0.4	0.9	1	0	1.2	0.3	0.7	1.1	0
<b>Éch 02</b>	0.8	0.5	1.3	1.2	0	0.8	0.2	0.9	1	0
<b>Éch03</b>	0	0.3	1.2	1.4	0	0	0	1	1.2	0
<b>Après 15j</b>	Témoin	s.T	1M	2M	4M	témoin	s.T	1M	2M	4M
<b>Éch01</b>	15.9	16	12.3	16.2	0	15.9	15.8	12	15.9	0
<b>Éch02</b>	14.8	15.2	14.9	16.9	0	14.8	14.3	13.8	16.1	0
<b>Éch03</b>	4.9	6	9.8	16.4	0	4.9	4.9	9.2	16.3	0
<b>Après 21j</b>	Témoin	s.T	1M	2M	4M	témoin	s.T	1M	2M	4M
<b>Éch01</b>	13	22	20	22.5	0	14	17.9	18	20	0
<b>Éch02</b>	14	18	13	17.4	0	13	17	11	14	0
<b>Éch03</b>	9	13	10	14.5	0	9	12	8	13.6	0

## **Conclusion générale**

## Conclusion générale

L'utilisation des boues industrielles, qui sont des sous-produits de divers processus industriels, tel que le complexe sidérurgique BELLARA (AQS) en tant que fertilisant permet de réduire leur impact environnemental tout en fournissant des nutriments essentiels aux plantes. Cependant, avant de les utiliser directement, un traitement chimique est souvent nécessaire pour éliminer les contaminants potentiels et améliorer leur composition chimique.

Le traitement chimique à l'aide de NaOH (hydroxyde de sodium) est une méthode couramment utilisée pour traiter les boues industrielles. Cette substance alcaline aide à neutraliser les contaminants acides et à solubiliser les éléments nutritifs présents dans les boues, les rendant ainsi plus accessibles aux plantes.

Les résultats obtenus à partir de l'utilisation des boues industrielles traitées avec NaOH démontrent une amélioration significative de la germination des graines, du rendement des cultures et de la floraison des plantes par rapport à un sol témoin non traité. Cela indique que les nutriments libérés par les boues industrielles traitées sont bénéfiques pour la croissance des plantes.

Cette approche permet de réduire l'impact environnemental des déchets industriels tout en fournissant des nutriments essentiels aux cultures, favorisant ainsi une gestion plus durable des ressources agricoles.

Les perspectives de la valorisation des boues industrielles comme fertilisant par un traitement chimique utilisant du NaOH sont encourageantes et prometteuses

1. Gestion durable des déchets : La valorisation des boues industrielles permet de réduire la quantité de déchets générés par les industries. En les transformant en fertilisant, on évite leur élimination dans des décharges ou leur incinération, ce qui contribue à une gestion plus durable des ressources.
2. Amélioration de la fertilité des sols : Les boues industrielles traitées avec NaOH peuvent contenir des nutriments essentiels tels que l'azote, le phosphore ainsi que d'autres éléments bénéfiques pour la croissance des plantes. L'utilisation de ces boues comme fertilisant contribue à améliorer la fertilité des sols en fournissant des éléments nutritifs nécessaires.
3. Réduction de l'utilisation de fertilisants chimiques : En utilisant les boues industrielles traitées comme source de nutriments, on peut réduire la dépendance à

l'égard des fertilisants chimiques conventionnels. Cela peut avoir des avantages environnementaux en réduisant les impacts négatifs associés à leur production, à leur utilisation excessive et à leur lixiviation dans les cours d'eau.

4. Réduction des coûts pour les agriculteurs : L'utilisation de boues industrielles comme fertilisant peut être une alternative économique pour les agriculteurs, car elles peuvent être moins coûteuses que les fertilisants commerciaux. Cela peut contribuer à améliorer la rentabilité des exploitations agricoles.

En conclusion la valorisation des boues industrielles comme fertilisant par un traitement chimique utilisant du NaOH offre des perspectives positives en termes de gestion durable des déchets, d'amélioration de la fertilité des sols, de réduction des coûts et de promotion d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement...

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Agence de l'eau, 2016 Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse 2-4 allée de Lodz 69363 Lyon cedex 07** - Qualité des boues recyclées des stations d'épuration urbaines bassins rhône méditerranée et corse évolution de 2000 à 2014 [en ligne]. 2016, Disponible sur : [www.eaurmc.fr](http://www.eaurmc.fr) (Consulté le 02/02/2018)
2. **Bouallegue M. M.** - Synthèse technique des métaux dans les boues de stations d'épuration? Conséquences, origines et prévention [en ligne]. 2010. Disponible sur : [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref\\_métaux\\_dans\\_les\\_boues\\_de\\_stations\\_d'épuration\\_conséquences\\_origines\\_et\\_prevention\\_2010.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref_métaux_dans_les_boues_de_stations_d'épuration_conséquences_origines_et_prevention_2010.pdf) (Consulté le 30/03/2018)
3. **Blais J. F. et Sasseville J. L.** - Etat de l'art du traitement et de la disposition ou valorisation des boues d'usines d'épuration municipales [en ligne].1996, ISBN 2- 89146-425-7
4. **Courrier de l'Environnement de l'IBRA, 2000** - L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaine. [En ligne]. n°41. 2000, 134-125 p. Disponible sur : [www7.inra.fr/lecourrier/assets/C41Dudkowski.pdf](http://www7.inra.fr/lecourrier/assets/C41Dudkowski.pdf) (consulté le : 20/04/2018)
5. **Courrier de l'environnement de l'INRA** - L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaine. [En ligne]. n°41. 2000, 134-125 p. - Disponible sur : [www7.inra.fr/lecourrier/assets/C41Dudkowski.pdf](http://www7.inra.fr/lecourrier/assets/C41Dudkowski.pdf) (consulté le : 20/04/2018)
6. **Comité Sécurité Alimentaire d'aprifel, 2001** - Les boues d'épuration document de synthèse[en ligne]. 2001 - Disponible sur: [www.aprifel.com/userfiles/file/boues\\_epuration.pdf](http://www.aprifel.com/userfiles/file/boues_epuration.pdf) (Consulté le 21/04/2018).
7. **Chen et Lin, 2009** - Eaux pluviales urbaines et rejets urbains par temps de pluie [en ligne] - Disponible sur : [https://www.techniques-ingenieur.fr/.../impacts\\_des\\_rutp\\_sur\\_les\\_milieux\\_aquatiques\\_w](https://www.techniques-ingenieur.fr/.../impacts_des_rutp_sur_les_milieux_aquatiques_w). (Consulté le : 30/03/2018).
8. **Dudkowski, A. 2000** - L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines. Courrier de l'Environnement de l'INRA. 2000, 134-135 p. (in Mémoire de Magistère, Guerfi Z. 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 [en ligne]. Annaba : Université Badji-Mokhtar Annaba, 2012, 97 p.)
9. **Dictionnaire environnement - Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés** - Eaux usées : normes de rejet [en ligne]. L'Institut sénégalais de Normalisation (ISN) ; Avenue Georges Pompidou – BP 4037 6. Dakar (Sénégal) : 2001, 27 p. -

Disponible sur : [faolex.fao.org/docs/pdf/sen54265.pdf](http://faolex.fao.org/docs/pdf/sen54265.pdf) (Consulté le : 30/03/2018). NS 05-061

10. **Environmental Science and Pollution 2019**

11. **Éric GUIBELIN** - Date de publication : 10 avr. 2014 Relu et validé le 09 déc. 2019) - J. Gibelin. « États résonants de noyaux loin de la stabilité » - Habilitation à diriger des recherches. Université de Caen Normandie 10 avr. 2014 Relu et validé le 09 déc. 2019
12. **AQS / Étude d'impact sur l'environnement mémoire** (édition 3, Décembre 2014)
13. **Guibelin, 2014** - Les boues d'épuration et leurs perspectives de gestion en Île-de-France [en ligne]. France, 2014, 128 p. - Disponible sur : [www.ceseriledefrance.fr/.../files/.../rapport-boues-epuration-ile-france-perspectives-g...](http://www.ceseriledefrance.fr/.../files/.../rapport-boues-epuration-ile-france-perspectives-g...) (Consulté le 20/03/2018)
14. **Jarde, 2002** - Jarde E. composition organique de boues résiduelles de stations d'épuration lorraines : caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation [en ligne]. 2002
15. **Journal of Environmental Management** - 2020
16. **Ladjel et Abbou, 2014** - Ladjel F. et Abbou S. Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues des STEP en Algérie [en ligne]. 2014, (Consulté le : 21/03/2018).
17. **Merino et al., 2007 More, T.T., Yan, S., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y.** – 2007 - Applications of Membrane Processes for Concentrated Industrial Wastewater Treatment, in : Membrane Technology and Environmental Applications. American Society of Civil Engineers, pp. 217–238
18. **NF EN 12879** : Caractérisation des boues - Détermination de la perte au feu de la matière sèche. 2000
19. **Norme Algérienne (NA) 17671** : MATIELES FERTILISATION, Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines, Dénominations et spécifications, 2010 - Disponible sur: <http://www.ainor.org>
20. **Reverdy et Pradel, 2012 Reverdy A. L., Pradel M. GESTA Boues** - Un outil d'aide à la décision pour évaluer les émissions de GES des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées [en ligne]. 2012, 11 p. - Disponible sur : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00781690/document> (Consulté le 21/04/2018)
21. **Segal et al., 2001 Segal S., Carré J., Gabarda-Oliva D.** - In Synthèse Technique Bouallegue M. M. Des métaux dans les boues de stations d'épuration ? Conséquences, origines et prévention [en ligne]. 2010, 17 p. Disponible sur :

- [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref des métaux dans les boues de station d'épuration conséquences origines et prévention 2010.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref_des_métaux_dans_les_boues_de_station_d'épuration_conséquences_origines_et_prévention_2010.pdf) (Consulté le : 24/04/2018).
22. **Sedki, .A.** - Étude écotoxicologique de la contamination de deux chaînes alimentaires terrestres dans la palmeraie périurbaine de la zone d'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech. Thèse Doct. État, Université. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, Maroc. 1995, 140 p. (In Mémoire de Magistère, Guerfi Z. Impact de l'utilisation des boues résiduelles sur les propriétés physico--chimique des sols de la haute Vallée de la Medjerda wilaya de Souk Ahras [en ligne]. Annaba : Université Badji-Mokhtar Annaba, 2012, 97 p.)
  23. **Vecteur Environnement, 2007**- Caractérisation des boues d'épuration municipales Partie I : Paramètres agronomiques [en ligne]. Article technique. 2007, 52 p. - Disponible sur : [www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/articles/caract\\_boues1.pd](http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/articles/caract_boues1.pd) (consulté le 21/02/2018)
  24. **Wang et al., 2005 Wang Q. R., Cui Y. S., Liu X. M., Dong Y. T., Christie P.** Soil-Contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China. *J. Environ. Sci. Health Part A Toxic/Hazard. Subst. Environ. Eng.* 2003, 38, 823-838 p.
  25. **Wart, 2010 et de l'INRA, 2001**, Courrier de l'environnement de l'INRA. L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaine. [En ligne]. n°41. 2000, 134-125 p. Disponible sur : [www7.inra.fr/lecourrier/assets/C41Dudkowski.pdf](http://www7.inra.fr/lecourrier/assets/C41Dudkowski.pdf) (consulté le : 20/04/2018).
  26. **Zheng, W., GuoZheng, X., Zhang, Z., Yu, D., Chen, X., Cheng, R., Min, S., Wang, J., Xiao, Q., Wang, J., 2015**, Overview of membrane technology applications for industrial wastewater treatment in China to increase water supply. *Resour. Conserv. Recycl.* 105, Part A, 1–10. doi : 10.1016/j.resconrec.2015.09.012

## **ANNEXES**

## **Annexe 01 : Attestation de stage**

....

Intitulé : LA VALORISATION BIOLOGIQUE DES BOUES DANS LA ZONE INDUSTRIELLE BELLARA

Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie Fondamentale et appliquée

**Résumé:** Le recyclage des déchets et des sous-produits, issus des activités anthropiques demeure à l'heure actuelle un enjeu primordial pour le développement durable dans plusieurs secteurs notamment le secteur industriel. Pour mettre en valeur les sous-produits issus dans les secteurs industriels tels que les boues, le travail a été réalisé au niveau du complexe sidérurgique Bellara (AQS). La valorisation des boues industrielles par un traitement chimique par l'utilisation de l'hydroxyde de sodium (NaOH) (1, 2 et 4, 4M). Pour tester l'efficacité des boues après le traitement, les analyses physico-chimiques de ces derniers ont été effectuées au niveau de CRBT Constantine, les résultats montrent que les boues sont riches en matières organiques, en matières minérales (P, N, Mg et CaCo), cette richesse a été approuvée par le test de valorisation agricole et les résultats obtenus montrent que la surface foliaire élevée a été observée chez l'échantillon (2M) entre (6.9 et 7.32) cm<sup>2</sup> et la croissance variée entre (20 et 22.5) cm

**Mots clés :** La valorisation Agricole, La boue, le fertilisant, le blé.

**Laboratoire de recherche :** Biologie et Environnement

**Jury d'évaluation:**

- Présidente du jury: Dr. SAHLI LEILA (Prof - UFM Constantine 1)
- Rapporteur: Dr. ABDELAZIZ O (MCB- UFM Constantine 1)
- Examineur: Dr. BAZRI KED (MCA - UFM Constantine 1)

**Date de soutenance :** 22/06/2023