

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université D<sup>f</sup>. Tahar Moulay SAIDA  
Faculté de Technologie  
Département de Génie des procédés



جامعة د الطاهر مولاي سعيدة  
كلية التكنولوجيا  
قسم : هندسة الطرائق

## **MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

***Pour l'obtention du diplôme Master***

**En Génie des procédés**

**Option: Génie des Procédés des Matériaux**

Présenté par :

***BOUCHOUICHA OUSSAMA***

# **UTILISATION DE L'ANALYSE DE CYCLE DE VIE APPLIQUEE AUX BOUES D'EPURATION DE LA STEP DE SAIDA**

Soutenu le 17/07/2019

**Devant le jury :**

D <sup>f</sup> . M.BOUDINAR	Maître de Conférences B	Université de Saida	Président
M <sup>f</sup> . Y.AIMER	Maître Assistant A	Université de Saida	Examineur
M <sup>me</sup> .O.BELARBI	Maître Assistante A	Université de Saida	Examinatrice
D <sup>f</sup> .F.Z.CHOUMANE	Maître de Conférences A	Université de Saida	Rapporteur

***Promotion : 2018-2019***



En premier lieu, je remercie le Dieu miséricordieux qui m' a guidé et éclairé mon chemin pour la réalisation de ce mémoire de fin de cycle, Ce travail a été réalisé au laboratoire de chimie de l'université Dr Tahar Moulay- Saida, sous la direction de Dr F. Z .CHOUMANE en collaboration avec le laboratoire de la Station d'épuration des eaux polluées de la wilaya de Saida.

J'exprime mes profonde reconnaissance au Dr CHOUMANE pour la Confiance qu'elle m' a témoigné en dirigeant ce travail, sa rigueur scientifique, ses connaissances. je remercie également pour sa disponibilité, sa patience et ses précieux conseils.

Je tiens à remercier vivement mon Co encadreur Mme BELARBI pour son soutien, son orientation, ses encouragements, ses qualités humaines et ses précieux conseils.

je remercie vivement l'ensemble des membres du jury le président M<sup>r</sup> BOUDINAR et M<sup>R</sup> AIMER et M<sup>me</sup> BELARBI pour l'intérêt qu'ils ont accordé à ce travail en acceptant de l'évaluer. Qu'ils trouvent ici le témoignage de notre respectueuse gratitude.

Mes plus vifs remerciements à Monsieur le directeur de la STEP de Saida, et tous les membres du laboratoire pour leur contributions directe ou indirecte pour leurs aides, leurs disponibilités et les moyens qu'ils nous ont mis à notre disposition pour la réalisation de ce travail, ainsi qu'à Mme Hayet pour leur gentillesse et leur bonne orientation..

Je remercie vivement la directrice Mme Mokhtari et tous les responsables du laboratoire de LCIE de l'université de Tlemcen et les personnes qui ont participé aux analyses SAA en particulier Taeba et Mohammed.

Mes remerciements sont adressés également à monsieur le directeur de la STEP de Ain Sefra wilaya de Naama et la responsable du laboratoire des analyses Mme wahiba Samar et Aicha Boualem pour m'avoir accueilli dans le laboratoire afin que je puisse réaliser les analyses..

## *Dédicace*

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...*

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude,*

*L'amour, le respect, la reconnaissance...*

*Je dédie ce modeste travail*

### *À mes chers parents*

*Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.*

*Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours. Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.*

### *À ma grand-mère et mon grand père*

*Qui m'ont accompagné par leurs prières, leurs douceurs, puisse Dieu leurs prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur dans les deux vies.*

### *À la mémoire de mon grand père et ma grand mère*

*J'aurais tant aimé que vous soyez présents.*

*Que Dieu ait vos âmes dans sa sainte miséricorde*

### *À mes chers et adorables frères*

*zakî, la prunelle de mes yeux, abdelhak, ledoux au coeur, sofiane le généreux, En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que Dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde.*

### *À mes chers oncles et tantes et mes cousins et cousines*

*Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.*

*Bouchouicha oussama*

# *SOMMAIRE*

## **Liste des abréviations**

## **Liste des figures**

## **Liste des tableaux**

## **Introduction générale** 1

## **Chapitre I Généralités sur les eaux usées**

<b>I.1.</b>	Définition des eaux usées	2
<b>I.2.</b>	Origines des eaux usées	2
<b>I.2.1.</b>	Origine des eaux usées domestiques	2
<b>I.2.2.</b>	Origine des eaux usées industrielles	2
<b>I.2.3.</b>	Origine des eaux usées agricoles	3
<b>I.3.</b>	Traitement des eaux usées	3
<b>I.3.1.</b>	Principales filières de traitement des eaux résiduaires	4
<b>I.3.1.1.</b>	Traitement de dégrossissage (prétraitement)	4
<b>I.3.1.2.</b>	Traitement physicochimique	5
<b>I.3.1.3.</b>	Boues activées	7
<b>I.4.</b>	Epuración des eaux usées à Saida	8
<b>I.4.1.</b>	Données techniques fondamentales	9
<b>I.4.1.1.</b>	Débits des eaux usées	9
<b>I.4.1.2.</b>	La charge polluante	9
<b>I.5.</b>	Les boues	11
<b>I.5.1.</b>	Traitement des boues	11
<b>I.5.2.</b>	Propriétés des boues d'épuration	13
<b>I.5.3.</b>	Les métaux dans les boues résiduaires	14
<b>I.5.4.</b>	Sources d'émission des métaux dans les boues résiduaires	14
<b>I.5.5.</b>	Valorisation des boues	16

## **Chapitre II Analyse Cycle de Vie**

<b>II.1.</b>	Introduction	17
<b>II.2.</b>	Historique	19
<b>II.3.</b>	Définition de l'Analyse Cycle de Vie	20
<b>II.4.</b>	Méthodologie de l'ACV	21
<b>II.4.1.</b>	Définition des objectifs	22
<b>II.4.1.1.</b>	Unité fonctionnelle	22
<b>II.4.1.2.</b>	Frontière du système	22

II.4.1.3	Systèmes des produits et processus élémentaires	24
II.4.1.4	Méthodologie d'évaluation de l'impact du cycle de vie et types d'impacts	25
II.4.1.5	Limitations ou coupure du système	25
II.4.1.6	Qualité des données récoltées	26
II.4.2	Réalisation de l'inventaire du cycle de vie (ICV)	26
II.4.3	Evaluation de l'impact du cycle de vie	28
II.4.3.1	La classification	28
II.4.3.2	La caractérisation	29
II.4.3.3	La normalisation	29
II.4.3.4	La pondération	30
II.4.4	Interprétation du cycle de vie	30
II.5	Limites de l'Analyse Cycle de Vie	30
II. 6	Avantages et inconvénients de l'Analyse Cycle de Vie	31

## **Chapitre III Etat de l'art des ACV**

III.1.	Introduction	33
III.2.	Revue bibliographique des ACV des boues urbaines	33
III. 2.1.	Frontières du système et unités fonctionnelles	33
III.2.2.	Caractérisation des impacts utilisée	33
III.3.	Quelques études réalisées	34
III.3.1.	Etude d' Arthur Andersen	34
III.3.2.	Etude de Suh	35
III.3.3.	Etude de Houillon Et Jolliet	35
III.3.4.	Etude Hospido	36
III.4.	Conclusion	41

## **Chapitre IV Caractérisation des boues de la STEP de Saida**

IV.1.	Introduction	42
IV.2.	Echantillonnage	42
IV.3.	Caractérisation des boues prélevées.	43
IV.4.	Méthodes d'analyses physico chimiques	43
IV.4.1.	Mesure de l'acidité	43
IV.4.2.	Opération de lessivage	43
IV.4.3.	Procédure de détermination de la quantité de matière et de sa répartition	44
IV.4.4.	Opération de lixiviation	44
IV.4.5.	Le pH	45
IV.4.6.	Mesure de la conductivité électrique	45
IV.4.7.	Mesure de la Température	46

<b>IV.4.8.</b> Mesure des Matières en suspension (MES)	46
<b>IV.4.9.</b> Dosage des Nitrates NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , nitrites NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> et phosphates PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	47
<b>IV.4.10.</b> Dosage des sulfates	47
<b>IV.4.11.</b> Dosage des Chlorures	48
<b>IV.5.</b> Résultats et interprétations	50
<b>IV.5.1.</b> Etude du comportement de la boue à la lixiviation	50
<b>IV.5.1.1.</b> Température	50
<b>IV.5.1.2.</b> La Conductivité	50
<b>IV.5.1.3.</b> Les Matières En Suspension (MES)	51
<b>IV.5.1.4.</b> pH	51
<b>IV.5.1.5.</b> Nitrates, nitrites et phosphates	52
<b>IV.5.1.6.</b> Analyse des métaux lourds	53
<b>IV.5.1.7.</b> Sulfate	54
<b>IV.5.1.8.</b> Chlorure	56
<b>IV.5.2.</b> Acidité	57
<b>IV.5.3.</b> Lessivage de la boue	57
<b>IV.5.4.</b> la siccité (%S)	58
<b>IV.5.5.</b> la quantité de matière et sa répartition (MVS)	58
<b>IV.5.6.</b> conclusion	59

## **Chapitre V Analyse de cycle de vie des boues urbaine de la commune de Saida**

<b>V.1.</b> Introduction	60
<b>V.2.</b> La réalisation d'une Analyse Cycle de Vie	60
<b>V.2.1.</b> Objectifs et champ d'étude de l'ACV	60
<b>V.2.2.</b> Réalisation de l'inventaire du cycle de vie (ICV)	62
<b>V2.2.1.</b> Caractérisation des eaux usées entrants et traitées au niveau de la STEP	63
<b>V.2.2.2.</b> Caractérisation des boues produites	67
<b>V.2.2.2.a.</b> Détermination de la composition chimique des boues	67
<b>V.2.2.2.b.</b> Analyse des métaux lourds	71
<b>V.2.2.2.c.</b> Lessivage de la boue d'épuration	73
<b>V.2.2.2.d.</b> Caractérisation des boues épaissies	74
<b>V.2.2.3.</b> Consommation électrique de la station	76
<b>V.2.2.4.</b> Évaluation du module transport entre STEP et CET	76

<b>V.2.2.5.conclusion</b>	77
<b>V.2.3. Evaluation de l'impact du cycle de vie</b>	78
<b>V.3.1.Principe d'évaluation</b>	79
<b>V.2.3.2.processus du système étudié</b>	79
<b>V.3.Interprétation de l'ACV des boues</b>	80
<b>V.3.1. Impacts évalués et retenus</b>	81
<b>V.3.1.1Impact relatif à l'espace occupé par les boues</b>	81
<b>V.3.1.2.Estimation de toxicité : impact relatif aux flux entrants et sortant</b>	82
<b>V.3.1.3.Estimation des émissions de gaz à effet de serre lors de l'épaississement et de séchage des boues</b>	83
<b>V.3.1.4.Impact énergétique</b>	84
<b>V.3.1.5.Estimation de l'impact des métaux lourds et des émissions de gaz à effet de serre en cas de valorisation des boues par épandage</b>	85
<b>V.3.1.6.Transfert des polluants contenus dans les boues</b>	86
<b>V.3.1.7.Estimation des émissions de gaz à effet de serre lors du transport des boues vers le CET</b>	86
<b>V.3.1.8.Impact de la mise en décharge</b>	87
<b>Conclusion générale</b>	89
<b>Références bibliographiques</b>	91
<b>Annexex</b>	97

## Liste des Abréviations

---

<b>ACV</b>	Analyse de Cycle de Vie
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demande Biochimique en Oxygène
<b>DCO</b>	Demande Chimique en Oxygène
<b>ETM</b>	Eléments Traces Métalliques
<b>HAP</b>	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
<b>MES</b>	Matières En Suspension
<b>MS</b>	Matière Sèche.
<b>MVS</b>	Matières Volatiles Sèches
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	Nitrites
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Nitrates
<b>STEP</b>	Station d'Épuration d'Eau Polluées
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>SAA</b>	Spectroscopie d'Adsorption Atomique
<b>AFNOR</b>	Association Française de Normalisation <sup>1</sup>
<b>pH</b>	potentiel Hydrogène
<b>Y11</b>	Humidité
<b>MO</b>	Matière organique
<b>CE</b>	Conductivité Electrique
<b>C E T</b>	Centre d'Enfouissement Technique
<b>T</b>	Température
<b>JORAD</b>	Journal Officiel République Algérienne Démocratique
<b>PAF</b>	Perte Au Feu

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b>	Le prédégrilleur à l'entrée de la STEP	5
<b>Figure 2.</b>	Le dégrilleur moyen	5
<b>Figure 3.</b>	Le dégrilleur fin	5
<b>Figure 4.</b>	Photo satellitaire de la Station d'épuration de la ville de SAIDA	8
<b>Figure 5.</b>	Les procédés de traitement des eaux usées de la STEP de Saida	10
<b>Figure 6.</b>	Bassin de décantation	11
<b>Figure 7.</b>	Epaississement des boues	12
<b>Figure 8.</b>	Déshydratation des boues sur lits de séchage	12
<b>Figure 9.</b>	Principe de l'éco-conception	18
<b>Figure 10.</b>	Intégration de l'ACV dans l'éco-conception	18
<b>Figure 11.</b>	Historique de l'Analyse Cycle de Vie	20
<b>Figure 12.</b>	Etapes de l'analyse cycle de vie	21
<b>Figure 13.</b>	Les intrants/extrants dans une séquence de Fabrication (flux)	23
<b>Figure 14.</b>	Frontière du système et prise en compte des principaux paramètres relatifs au cycle de vie du système analysé	24
<b>Figure 15.</b>	Systèmes des produits et processus élémentaires	25
<b>Figure 16.</b>	Flux entrants et flux sortants du système	26
<b>Figure 17.</b>	Méthodes midpoint et endpoint	29
<b>Figure 18.</b>	Approche multicritère	31
<b>Figure 19.</b>	Lit de séchage des boues Résiduaires	42
<b>Figure 20.</b>	Aspect de la boue prélevée	43
<b>Figure 21.</b>	PH mètre	21
<b>Figure 22.</b>	Conductimètre	46
<b>Figure 23.</b>	Filtration pompe sous vide	47
<b>Figure 24.</b>	Reste de la filtration.	47
<b>Figure 25.</b>	La courbe étalonnage	55
<b>Figure 26.</b>	Frontière du système étudié	62
<b>Figure 27.</b>	Composition chimique au cours de la période 2014-2018 de la boue de la STEP d'Erabahia- Saida.	68
<b>Figure 28.</b>	Concentration de la composition chimique de la boue de la STEP D'Erabahia	69-70

<b>Figure 29.</b>	Evolution des teneurs en métaux lourds au cours de la période 2010-2018 dans la boue d'épuration de la STEP d'Erabehia-Saida	
<b>Figure 30.</b>	Démarche d'évaluation des impacts	79
<b>Figure 31.</b>	Arbre de processus utilisé et étudié	80
<b>Figure 32.</b>	Impact des flux d'eau à traitée (année 2018)	82
<b>Figure 33.</b>	Impact des flux d'eau à traitée (année 2017)	82
<b>Figure 34.</b>	Impact du traitement des boues par l'épaississement	83
<b>Figure 35.</b>	Etude de relation entre l'émission des gaz à effet de serre et la sécheresse	84
<b>Figure 36.</b>	Impact de la consommation énergétique d'électricité dans la STEP de	85
<b>Figure 37.</b>	Etude de l'impact des éléments métalliques sur la valorisation agricole	85
<b>Figure 38.</b>	Impacts des polluants contenus dans les boues	86
<b>Figure 39.</b>	Etude de l'impact du transport des boues vers CET	87
<b>Figure 40.</b>	Présentation des quantités des boues acheminées vers CET	88

# Liste des tableaux

---

<b>Tableau 1.</b> montre la Distances utilisées pour le calcul des impacts environnementaux	35
<b>Tableau 2 .</b> Synthèse des études utilisant ACV pour l'évaluation environnementale des filières de traitement des boues	37-40
<b>Tableau3 .</b> synthèse des études utilisant lesACV pour l'évaluation environnementale des filières de traitements des boues (suite)	40
<b>Tableau 4.</b> Résultats de la mesure de la température des boues lixiviées	50
<b>Tableau 5.</b> Résultats de la mesure de la conductivité des boues lixiviées	50
<b>Tableau 6.</b> Résultats des Matières En Suspension (MES) des boues lixiviées	51
<b>Tableau 7.</b> Résultats des pH des boues lixiviées	51
<b>Tableau 8.</b> Résultats des pH des boues lixiviées	52
<b>Tableau 9.</b> Résultats des analyses des métaux lourds de la boue lixiviée	53
<b>Tableau10 :</b> les valeurs limites maximales des paramètres de normes de rejet	10
<b>Tableau 11 .</b> Données expérimentales de la courbe d'étalonnage du sulfate.	54
<b>Tableau12 .</b> Résultats des sulfates des boues lixiviées	55
<b>Tableau 13.</b> Résultats des chlorures des boues lixiviées	56
<b>Tableau 14 .</b> Valeurs limites des paramètres de rejet d'effluents liquides	56-57
<b>Tableau 15.</b> Résultats des pH des boues lessivées	57
<b>Tableau 16.</b> Résultats des de la siccité (%)	58
<b>Tableau 17.</b> Résultats des matières volatiles sèches et des matières minérales	58
<b>Tableau 18:</b> Résultats des paramètres analytiques des eaux usées à l'entrée de la STEP, année 2017	63
<b>Tableau 19 :</b> Résultats des paramètres analytiques des eaux usées à la sortie de la STEP, année 2017	64
<b>Tableau 20;</b> Résultats des paramètres analytiques des eaux usées à l'entrée de la STEP, année 2018	65
<b>Tableau21.</b> Résultats des paramètres analytiques des eaux usées à la sortie de la STEP, année 2018	66
<b>Tableau 22.</b> Normes internationales de rejets [58]	66
<b>Tableau 23.</b> Les normes de rejets des effluents liquides industriels selon le JORAD	67
<b>Tableau 24.</b> Composition chimique de la boue de la STEP d'Erabahia -Saida	68

<b>Tableau 25.</b> Bulletin des analyses des métaux lourds de la boue	71
<b>Tableau 26:</b> pH du lessivage des boues	73
<b>Tableau 27:</b> caractérisation des boues épaissies 2018	74
<b>Tableau 28:</b> Caractérisation des boues épaissies 2017	75
<b>Tableau 29 .</b> Module consommation électrique de la station	76
<b>Tableau30.</b> Module transport du système étudié pour 2017	77
<b>Tableau31.</b> Module transport du système étudié pour 2018	77
<b>Tableau 32.</b> Emission de CH <sub>4</sub> en fonction du stockage de boues employées	81
<b>Tableau 33.</b> Résultats des teneurs en DBO <sub>5</sub> des boues stockées	81
<b>Tableau 34.</b> Quantités des boues acheminées vers CET	87

## **Introduction générale**

Les problèmes environnementaux globaux comme le changement climatique, la destruction de la couche d'ozone, les pluies acides, la diminution de la biodiversité ou encore la désertification sont caractérisés par une dimension mondiale ainsi qu'une incertitude sur leur évolution et leurs conséquences [1]. Avec la prise de conscience grandissante de ces problèmes environnementaux, depuis quelques années, l'intégration d'une gestion de l'environnement des pratiques industrielles devient de plus en plus importante. C'est pourquoi divers outils d'évaluation environnementale se sont développés, tels que l'analyse des risques environnementaux, l'analyse des flux de matière, l'empreinte écologique, etc. Ces outils apportent, aux acteurs du domaine public et privé des réponses nécessaires à la prise de décisions, L'Analyse Cycle de Vie (ACV) fait partie de ces multiples outils et elle est de plus en plus utilisée par l'industrie privée et le secteur public [2].

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer les impacts environnementaux des boues, à l'aide d'un outil, qu'est l'Analyse Cycle de Vie (ACV).

Pour répondre à cet objectif, le mémoire sera divisé en deux parties. Dans un premier temps, une partie théorique englobant une revue bibliographique sur les eaux usées ainsi que les boues issues du traitement de ces eaux, un chapitre expliquant ce qu'est l'outil Analyse Cycle de vie. Puis une revue de littérature sur l'état de l'art de l'ACV sur les différents débouchés des boues urbaines déjà établie.

En ce qui concerne la partie pratique, celle-ci est également scindée en deux parties. Premièrement, une partie sur la caractérisation des boues urbaines résiduaires de la STEP de la commune de Saida, et l'analyse de cycle de vie des boues comprenant, l'inventaire ainsi que les impacts environnementaux dus aux débouchés choisis par la STEP soit l'enfouissement technique de ces boues. Nous avons étudié le lixiviat des boues par diverses analyses ainsi que les impacts environnementaux.

Enfin nous clôturons notre travail par une conclusion générale

*Chapitre I*  
**Chapitre I**

*Généralités sur les eaux usées*  
**Généralités sur les eaux usées**

**1. Définition des eaux usées**

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées de matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique. Les eaux usées, qui sont un mélange de plusieurs types d'eaux et pour éviter la pollution, sont acheminées par un réseau d'assainissement vers une station d'épuration pour y être traitées et si possible réutilisées [3].

**2. Origines des eaux usées**

On peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaine constituées par les eaux ménagères (lavage corporel et du linge, lavage des locaux, eaux de cuisine) et les eaux vannes chargées des matières fécales et d'urines. Toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter suivant les cas des eaux d'origine industrielle et agricole. L'eau, ainsi collectée dans un réseau d'égout, apparaît comme un liquide trouble, généralement grisâtre, contenant des matières en suspension d'origine minérale et organique à des teneurs extrêmement variables [4]. Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue:

**2.1. Les eaux usées domestiques**

Les eaux usées domestiques comprennent les eaux ménagères (eaux de toilette, de lessive, de cuisine) et les eaux vannes (urines et matières fécales), les eaux usées domestiques contiennent des matières minérales (chlorures, phosphates, sulfates, etc.) et des matières organiques constituées de composés ternaires, tels que les sucres et les graisses (formés de carbone, oxygène et hydrogène, mais aussi d'azote et, dans certains cas, d'autres corps tels que soufre, phosphore, fer, etc.).

En Algérie, la pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eau est évaluée: [5]

- De 70 à 90 g de matières en suspension.
- De 60 à 70 g de matières organiques.
- De 15 à 17 g de matières azotées.
- 4 g de phosphores.
- Plusieurs milliards de germes pour 100 ml

**2.2. Les eaux usées industrielles**

Tous les rejets résultant d'une utilisation de l'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels, cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets

d'activités artisanales ou commerciales: blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc.

La variété des eaux usées industrielles est très grande. Certains de ces eaux sont toxiques pour la flore et la faune aquatiques, ou pour l'homme. Il faut bien distinguer les eaux résiduaires et les liquides résiduaires de certaines industries.

Les eaux résiduaires sont celles qui ont été utilisées dans des circuits de réfrigération, qui ont servi à nettoyer ou laver des appareils, des machines, des installations, des matières premières ou des produits d'une usine, ou qui ont servi à retenir des poussières de fumées; elles peuvent contenir des substances chimiques utilisées au cours des fabrications.

Les liquides résiduaires sont des liquides résultant des fabrications; c'est le cas des solutions de produits chimiques, des solutions de sous-produits, c'est le cas des liquides acides provenant de la vidange des cuves de décapage des métaux, les rejets industriels peuvent donc suivre trois voies d'assainissement: [6]

- ils sont directement rejetés dans le réseau domestique;
- ils sont prétraités puis rejetés dans le réseau domestique;
- ils sont entièrement traités sur place et rejetés dans le milieu naturel.

### **2.3. Les eaux usées agricoles**

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses, les eaux agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrés et phosphatés, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphorées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues [7].

### **3. Traitement des eaux usées**

L'objectif du traitement des eaux résiduaires est l'obtention d'une eau épurée qui satisfait aux normes de rejet édictée par la législation, et pouvant par suite être évacuée sans danger dans le milieu naturel ou bien être utilisée dans le cadre des mesures nécessaires à une bonne gestion de l'eau (recyclage), plus particulièrement en milieu industrie.

Selon la nature et l'importance de la pollution, différents procédés peuvent être mis en œuvre pour l'épuration des eaux résiduaires urbaines et industrielles en fonction des caractéristiques de celles-ci et du degré d'épuration désiré.

Globalement, le traitement des eaux usées a pour but de les dépolluer suffisamment pour qu'elles n'abîment pas le milieu naturel dans lequel elles seront finalement rejetées [8].

**3.1. Principales filières de traitement des eaux résiduaires**

On peut classer les différents procédés de traitements possibles; selon l'origine, la nature de la pollution (organique ou minérale) et sa forme (soluble, colloïdale et en suspension). En fait, il est rare que l'on trouve un seul type de pollution dans un rejet qui a une composition très hétérogène.

L'élimination de la production polluante conduit toujours en fonction des caractéristiques physicochimiques des rejets et du degré d'épuration souhaité à la conception d'une chaîne du traitement constituée d'une succession d'opérations unitaires ou de stades de traitements entre lesquels il peut, dans la pratique, exister des interactions [8].

**3.1.1. Traitement de dégrossissage (prétraitement)**

Il a pour objet de séparer les matières les plus grossières et les éléments susceptibles de gêner les étapes ultérieures du traitement. Il comprend les opérations de dégrillage, tamisage, dessablage et déshuilage pour les rejets industriels. Il est souvent souhaitable d'assurer leur homogénéisation au niveau d'un bassin tampon de tête, qui permet par ailleurs d'éviter les variations du débit hydraulique et d'assurer si nécessaire une pré neutralisation [8].

**❖ Dégrillage**

Le dégrillage permet de protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation; de séparer et évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute et qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution.

L'opération est plus ou moins efficace, en fonction de l'écartement entre les barreaux des grilles, on peut distinguer (figure 1-3): [9]

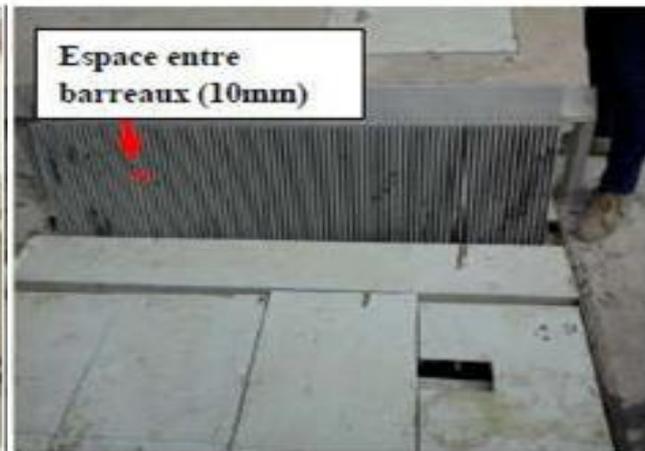
- pré-dégrillage
- Dégrillage fin ; écartement inférieur à 10 mm.
- Dégrillage moyen ; écartement de 10 à 40 mm



**Figure 1.** le prédégrilleur à l'entrée de la STEP



**Figure 2.** le dégrilleur moyen



**Figure 3.** le dégrilleur fin

### ❖ Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes, les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion [9].

Les dessableurs sont installés avant les décanteurs et les pompes, dans les stations qui reçoivent de fortes quantités de sables, d'abrasifs et d'émeris, ces appareils sont placés immédiatement derrière les grilles [10].

### ❖ Tamisage

Le tamisage peut s'accompagner de l'élimination d'une partie significative de la pollution en suspension et éventuellement, de sa revalorisation [9]. Les tamis utilisés dans une installation d'épuration des eaux, peuvent être classés en deux modes :

- Macro tamisage

➤ Micro tamisage

### ❖ **Débourbage**

Le débourbage est une étape de séparation solide – liquide qui précède la clarification des eaux de surface particulièrement chargées, le but de ce pré-décantation est d'éliminer la majorité des matières en suspension de l'eau brute, d'en assurer l'évacuation sous forme de boues concentrées et de fournir à l'étape de décantation principale une eau de qualité acceptable [9].

### ❖ **Peroxydât**

La peroxydation permet d'éliminer une partie des ions présents en quantité trop importante dans l'eau par adjonction d'oxydants puissants. L'objectif est de permettre une meilleure élimination de ces substances. La peroxydation assure également une lutte contre la prolifération d'organismes.

## **3.1.2. Traitement physicochimique**

C'est une séparation physique, liquide-solide, dont l'objectif est de retenir le maximum de matières en suspension présentes dans les eaux usées. Les matières en suspension que l'on peut habituellement éliminer par décantation font l'objet classique du traitement primaire. La clarification globale des rejets nécessite l'élimination complémentaire de la pollution particulaire, colloïdale ou finement dispersée, qui peut être obtenue moyennant l'utilisation de réactifs chimiques lors d'un traitement par voie physico-chimique qui implique la mise en œuvre d'une coagulation – floculation en amont d'une séparation solide – liquide par décantation ou flottation. Certains types de stations ne comportent pas de traitement primaire [8].

### ❖ **Décantation**

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des MES et de colloïdes, elle a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau, ces particules s'accumulent au fond du bassin de décantation qu'on extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration [6].

La multiplicité de situations de traitement d'eau conduit à une très grande variété d'appareils qui sont classés en quatre groupes [9].

- ❖ Décanteurs statiques.
- ❖ Décanteurs à lit de boues.
- ❖ Décanteurs couches minces.

❖ Décanteurs à lamelles.

❖ **Flottation**

Par opposition à la décantation, la flottation est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle de l'eau : [11]

- Si cette différence de masse volumique est naturellement suffisante pour une séparation, cette flottation est dite naturelle;
- La flottation est dite assistée si elle met en œuvre des moyens extérieurs pour améliorer

▪ **Filtration**

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspensions en le faisant passer à travers un milieu poreux.

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation-floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs [6].

Les premiers lits filtrants étaient constitués de sable très fin et ne permettaient que de faibles débits. Il s'agissait d'une filtration directe. On emploie encore ce type de filtration auquel on donne le nom de filtration lente. Plus tard on a mis en œuvre des lits filtrants de plus forte granulométrie, ne jouant plus qu'un rôle d'affinage. Il s'agit des filtres rapides dont l'usage est maintenant presque généralisé [12].

**3.1.3. Boues activées**

Les bactéries servent à nettoyer les eaux usées, elles sont nombreuses dans une station d'épuration ou elles trouvent beaucoup de nourritures. Le mélange constitué par la matière organique et les microorganismes s'appellent boue activée.

Le procédé à boue activée consiste en une intensification du processus d'auto épuration des cours d'eau, il repose sur la constatation suivante: dans des conditions adéquates d'aération, les microorganismes se multiplient au détriment des matières organiques polluantes présentes, formant des floccs bactériens pouvant se déposer lorsque l'on arrête l'aération. Après la vidange de l'eau épurée, on recommence l'épuration avec une nouvelle charge d'eau usée [13].

Le réacteur aux boues activées est un vase de culture bactérienne fonctionnant en continu. Les eaux usées décantées fournissent toutes les matières nutritives nécessaires, y compris l'azote et le phosphate. Le milieu étant suffisamment oxygène (bassin d'aération). [13].

**4. Epuration des eaux usées à Saida**

Les eaux usées de la ville de Saida sont dirigées vers un exutoire qui est la station d'épuration, située en aval de la ville.

La station de traitement des eaux polluées (STEP) de la wilaya de Saida est implantée dans la partie nord-ouest de la ville à proximité de l'oued Saida au niveau de la commune de Rebahia avec une superficie de 11,47 hectare, d'une capacité de 150 000 Equivalent/habitant, elle est conçue pour traiter chaque jour 30 000 m<sup>3</sup> d'eaux usées urbaines et industrielles par voie biologique, la filière de traitement envisagée est l'épuration par boues activées [14]. (Figure 4)

D'après une étude géologique, le choix de ce site a montré que la nature du sol évite tout tassement des ouvrages, ainsi que l'existence des couches argileuse évitent tout contact par infiltration vers la nappe souterraine. (Figure 4)



**Figure 4** .Photo satellitaire de la Station d'épuration de la ville de SAIDA  
Source Google Earth, 2017 [14].

**4.1. Données techniques fondamentales****4.1.1. Débits des eaux usées**

▪ Débit moyen journalier	30000m <sup>3</sup> /j
▪ Débit moyen horaire par temps sec	1250 m <sup>3</sup> /j
▪ Débit de point par temps sec	20300m <sup>3</sup> /j
▪ Coefficient de point	1,63
▪ Débit de point par temps de pluie	2500m <sup>3</sup> /j

**4.1.2. La charge polluante**

La pollution reçue en tête de la station proviendrait des rejets domestiques urbains et quelque rejet industriels. La pollution totale recue serait de :

**DBO<sub>5</sub> :**

- Dotation 60 g /hab. j
- Charge journalière 9000 kg/j
- Concentration 300 mg/L

**MES :**

- Dotation 80 g/hab.j
- Charge journalière 12000 kg/j
- Concentration 400 mg/L

Afin de préserver l'environnement et les ressources en eau, les eaux usées doivent subir des traitements avant de les rejetés dans la nature, ces traitements s'effectuent dans les stations d'épuration des eaux polluées.

Au niveau de la STEP de Rabahia à la wilaya de Saida, Le traitement des eaux usées urbaine de la ville de Saida porte sur les filières : filière eau et filière boues.

Les procédés de traitement des eaux usées de la STEP sont représentés sur la (figure 5)

Le procédé d'épuration des eaux usées de la STEP de Saida est un procédé biologique basé sur le principe des boues activées, où les matières organiques contenues dans les eaux usées sont dégradées par des bactéries mises dans des conditions favorables, qui les transforment en sels minéraux.

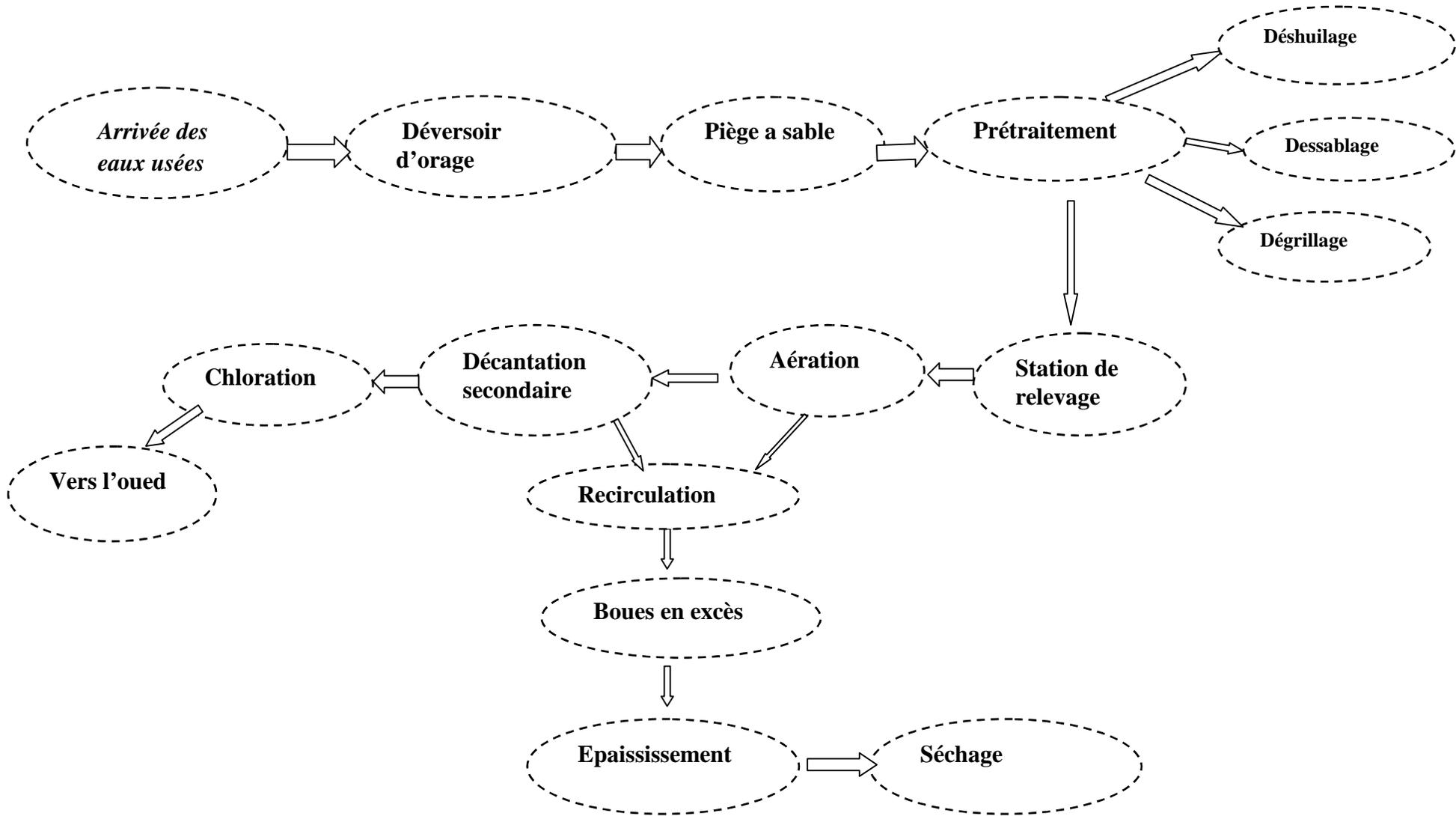


Figure 5. Les procédés de traitement des eaux usées de la STEP de Saida

**5. Les boues**

L'épuration des eaux usées s'effectue en différentes étapes. Il en résulte une eau épurée que l'on rejette dans le milieu naturel et un résidu principal : les boues, ce résidu est constitué de matières minérales inertes, d'azote, de phosphore et de matières organiques.

En fonction du type d'effluents traité (eaux usées domestiques, agro-alimentaires ou industrielles), et des traitements effectués pour les eaux usées et les boues, la composition de ces dernières peut être différente.

Le traitement des eaux usées permet d'éliminer d'une part, la partie la plus facilement dégradable de la matière organique et d'autre part les différents composés dont les eaux sont chargées (débris alimentaires, graisses, fibres textiles et cellulosiques, savon, lessives et détergents) avant leur réintroduction dans le cycle de l'eau. Nous allons dans ce qui suit énumérer les différents procédés d'épuration des eaux usées couramment utilisés et qui engendrent comme résidu ces dites boues d'épuration [15].

**5.1. Traitement des boues**

Le traitement des boues résiduaires au niveau de la station d'épuration d'Errebahia se résume seulement en une réduction du volume des boues résiduaires.

**➤ Epaissement des boues**

Les boues en excès sont refoulées vers l'épaississeur, il s'agit d'un ouvrage de forme circulaire du type raclé (**figure6**) :



**Figure 6.** Bassin de décantation



**Figure 7.** Epaissement des boues.

Cette étape consiste à laisser s'écouler les boues par gravitation à travers un silo placé au-dessus d'une table d'égouttage ou d'une toile semi-perméable. [16]

➤ **Séchage des boues**

Les boues épaissies sont ensuite extraites de l'épaississeur et acheminées vers le lit de séchage (figure 8). Le dimensionnement des lits se fait sur la base d'une durée de séchage de trois semaines en saison hivernale et une hauteur de remplissage de 0,4m et d'une durée de trois jours en saison estivale



**Figure 8 .** Déshydratation des boues sur lits de séchage

Les boues séchées n'ont aucun débouché jusqu'à présent que l'enfouissement dans le centre d'enfouissement technique de Saida.

## **5.2. Propriétés des boues d'épuration**

Les boues se présentent sous forme liquide (95% d'eau en moyenne) avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible ainsi que des matières minérales. Ces caractéristiques sont problématiques quelle que soit la destination des boues, ce qui incite à les déterminer afin de mettre en place une filière de traitement [17].

### **a) Propriétés physiques des boues**

Les boues d'origine primaires ou secondaire se présentent sous forme d'un liquide contenant des particules homogènes en suspension. Leur volume représente de 0,05 à 0,5% du volume d'eau traité pour les boues fraîches [18].

La couleur des boues varie entre le brun et le gris. Leur odeur est souvent très désagréable car ce sont des produits facilement fermentescibles. D'autres propriétés physiques sont énumérées dans ce qui suit :

➤ **Teneur en matière sèche (MS) :** Il s'agit de mesurer le poids des résidus secs après chauffage à 105°C jusqu'au poids constant. [19]

➤ **Teneur en matières volatiles :** On mesure cette teneur par la différence entre le poids des boues sèches (105°C) et celui de cette même boue après chauffage jusqu'au poids constant à 550°C. Cette teneur varie de 60 à 85% en matières sèches. [19]

➤ **Teneur en eau :** L'eau contenue dans les boues se présente sous quatre grandes classes :

- L'eau libre qui s'élimine facilement par filtration ou décantation.

- L'eau interstitielle : Cette fraction est liée à la surface des particules solides par des liaisons hydrogènes fortes.

- L'eau vicinale : celle-ci représente une épaisseur équivalente de molécules d'eau autour des particules. Elle est éliminée à l'air libre.

- L'eau d'hydratation : C'est la fraction d'eau chimiquement liée aux particules, cette fraction d'eau ne peut être éliminée que par des dépenses très importantes d'énergie thermique. [20]

➤ **Viscosité :** On mesure la viscosité des boues expérimentalement par des viscosimètres en fonction de la contrainte de cisaillement. Cette viscosité permet de définir leur caractère thixotropique (aptitude à se prendre en masse au repos et devenir fluide après brassage) nécessaire pour leur transport [21].

➤ **Charge spécifique** : Ce paramètre permet de mesurer l'aptitude à la décantation des boues. il est exprimé en (Kg/m<sup>2</sup>/j). C'est la quantité de matière sèche décantée sur l'unité de surface. Cette charge dépend de la teneur en matière volatile [21].

➤ **Résistance spécifique** : Il s'agit de mesurer l'aptitude à la filtration des boues sous une pression donnée. Cette résistance s'exprime en m<sup>2</sup>/kg [19].

### **b) Propriétés chimiques**

Les boues contiennent certains éléments utiles à la croissance des plantes (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mg). Ce sont des substances d'une très grande importance pour l'utilisation agricole. Par ailleurs, les boues contiennent en faible quantité, de nombreux produits qui peuvent être toxiques pour les plantes (le bore, par exemple), et présentent des inconvénients ou même des dangers pour l'homme. On peut faire appel à d'autres propriétés tels que : la demande chimique en Oxygène (DCO), la demande biologique en Oxygène (DBO), le phosphore total (PT), l'azote total (NTK) et l'alcalinité en CaCO<sub>3</sub> [18].

### **5.3. Les métaux dans les boues résiduaire**

Les eaux usées renferment une charge importante de micropolluants métalliques. En effet, les effluents qui parviennent en tête des stations d'épuration ont un contenu en micropolluants métalliques très supérieur à celui qui caractérise les eaux potables, les eaux de rivière ou l'eau de mer [22]. Cette importante charge métallique va se concentrer après traitement des eaux dans les boues résiduaire.

Elles sont la source de rejets constitués par les fèces, les produits cosmétiques, médicaux et de nettoyage, les déchets liquides ou semi-liquides directement déversés dans l'évier [23]

### **5.4. Sources d'émission des métaux dans les boues résiduaire**

Les différentes sources d'émission des métaux dans les boues d'épuration sont diverses et peuvent être classées comme suit.

#### **➤ Sources anthropiques relatives à l'activité humaine**

Ce sont toutes sources provoquées directement ou indirectement par l'action de l'homme et on distingue diverses activités :

#### **a. Activités domestiques**

- la corrosion des conduites, dans les réseaux intérieurs au niveau des branchements entre le réseau public et le compteur, qui est à l'origine d'une fraction importante de la charge en cuivre et plomb des eaux usées.

- le ruissellement des eaux pluviales sur les toitures, les chaussées et d'une manière générale sur l'ensemble des surfaces imperméables de la cité qui conduit à l'enrichissement en plomb, zinc et nickel de l'effluent, contrairement aux activités industrielles qui ont surtout un impact sur la contamination en cadmium, mercure, chrome et nickel. [24]

**b. Activités commerciales**

Elles ont pour origine le déversement des produits liquides provenant des centres commerciaux, de blanchisseries et teintureries, de laboratoires médicaux, d'ateliers de développement de photos,...etc. [23]

**c. Activités industrielles**

Il s'agit également d'effluents liquides partiellement, voire non traités par des entreprises industrielles et qui sont rejetés dans le réseau collectif. Dans les centres urbains importants et pour certains éléments, ce type d'activité joue un rôle essentiel dans la contamination des eaux usées. [23]

**➤ Sources naturelles**

Bien que les sources naturelles interviennent faiblement dans la dégradation de la qualité des eaux usées, il convient quand même de les citer à titre d'indication.

**a. Fonds géochimique**

Le réseau d'assainissement peut être contaminé par le transport des particules chargées d'éléments métalliques résultant de l'érosion éolienne des sols [21].

**b. Apports atmosphériques**

Les retombées atmosphériques jouent aussi un rôle important dans la contamination des eaux usées. En effet, leurs retombées sur les voiries, les toitures et les sols contribuent ultérieurement à la contamination du ruissellement pluvial. La contamination du réseau d'assainissement est aggravée par les apports particuliers qui résultent de l'érosion éolienne des sols, les fumées et aérosols.

En conclusion, la contamination du système d'assainissement par des polluants métalliques est pour beaucoup liée aux activités industrielles (cadmium, mercure et chrome) et urbaines (le plomb et le zinc provenant principalement du lessivage des chaussées). Les sources naturelles interviennent faiblement dans la dégradation de la qualité des eaux usées [24].

**5.5. Valorisation des boues**

Les boues d'épuration trouvent de nouvelles voies de recyclage. Ces résidus trouvent des applications dans divers domaines tels que le domaine énergétique et agricole. La diversification des modes de valorisation des boues est souhaitable vu le tonnage élevé de production de celles-ci. Nous citons dans ce qui suit les voies les plus utilisées [25].

**➤ Valorisation agricole**

Les boues possèdent une forte valeur agronomique. Elles contiennent en effet des éléments fertilisants naturels comme l'azote et le phosphore, des oligo-éléments comme le zinc et le cuivre, des matières organiques et peuvent jouer un rôle d'amendement lorsqu'elles sont chaulées. Le compostage peut être appliqué sur les boues organiques déshydratées ou sur des mélanges de boues avec d'autres déchets solides [25]. On peut aussi procéder à l'épandage après digestion des boues sur des terrains agricoles [26].

**➤ Valorisation énergétique**

La valorisation énergétique consiste à récupérer de l'énergie des boues après leur incinération ou après la fermentation nommée aussi méthanisation des fractions organiques. Ainsi, l'incinération produit la chaleur des fumées qui peut être récupérée sous la forme de vapeur ou sous la forme d'électricité, et la méthanisation va produire du biogaz en même temps que le compost [26].

*Chapitre II*  
**Chapitre II**  
*Analyse Cycle de Vie*  
**Analyse Cycle de Vie**

## Analyse Cycle de Vie

### 1. Introduction

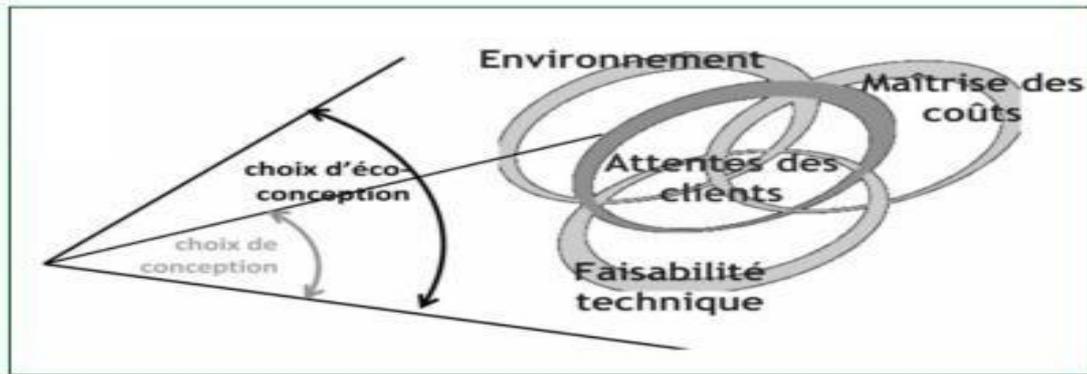
Au fil du temps, le domaine de l'environnement est devenu un facteur de compétitivité auprès des sociétés et son intégration dans les décisions stratégiques au sein des entreprises bénéficierait même d'une dimension à part entière.

En effet, la nécessité de la fusion entre la compétitivité et la préservation du patrimoine est désormais largement reconnue par la plupart des acteurs économiques comme les pouvoirs publics, les industriels, les consommateurs, les actionnaires, ainsi que les médecins.

Pour avoir une meilleure vue d'ensemble des problèmes environnementaux, des connaissances plus développées sont nécessaires, notamment sur les impacts liés à la composition, à la fabrication, à l'utilisation et à la fin de vie des produits. Les industries doivent donc intégrer les exigences environnementales aux exigences de la conception des produits comme les coûts, les attentes des clients, la faisabilité technique... Le fait de considérer l'environnement lors de la phase de conception du produit (bien ou service) prenant en compte l'ensemble de son cycle de vie, s'appelle « l'éco-conception » (**Figure 9**) [27].

Selon l'Université Virtuelle Environnement & Développement Durable l'éco-conception est actuellement une démarche en plein essor, effectivement, l'éco-conception représente un véritable levier d'innovation et fait disparaître la frontière entre technologie et écologie [28].

Les différents objectifs de l'éco-conception sont de dématérialiser, c'est-à-dire de ne pas concevoir des produits mais des services (concept de l'économie de la fonctionnalité) ; de réduire au maximum les matériaux pour obtenir la même fonction (minimiser leur diversité et les déchets, utiliser les matériaux recyclés et supprimer les toxiques) ; de réduire la consommation d'énergie, principalement durant la phase d'utilisation ; de concevoir un produit réutilisable, démontable et recyclable (Université Virtuelle Environnement & Développement Durable [28].



**Figure 9:** principe de l'éco-conception[27].

C'est dans cet objectif d'éco-conception, que l'analyse cycle de vie (ACV) a été développée. En effet, l'ACV est devenu un outil précieux pour étudier le profil environnemental d'un produit (**Figure 10**).



**Figure 10:** Intégration de l'ACV dans l'éco-conception[27].

L'obtention de labels dont l'objectif principal est de favoriser les produits qui ont l'impact global jugé le plus faible sur l'environnement à tous les stades de leur vie. Pour les années à venir, l'évolution de l'Analyse Cycle de Vie permettra d'anticiper une démarche environnementale afin de mieux gérer les contraintes. Ces évolutions peuvent être groupées en trois catégories : [28]

1. **Réglementaires** : les normes ISO (cycle 14000), la directive DEEE, la directive sur les emballages, la directive VHU, etc.
2. **Techniques** : l'essor des technologies propres, des outils bases des données, le développement des systèmes de production type chaîne numérique...
3. **Economiques** : la taxation selon l'impact environnemental, l'amélioration de la qualité des produits ou encore la demande des clients et/ou la pression sociétale.

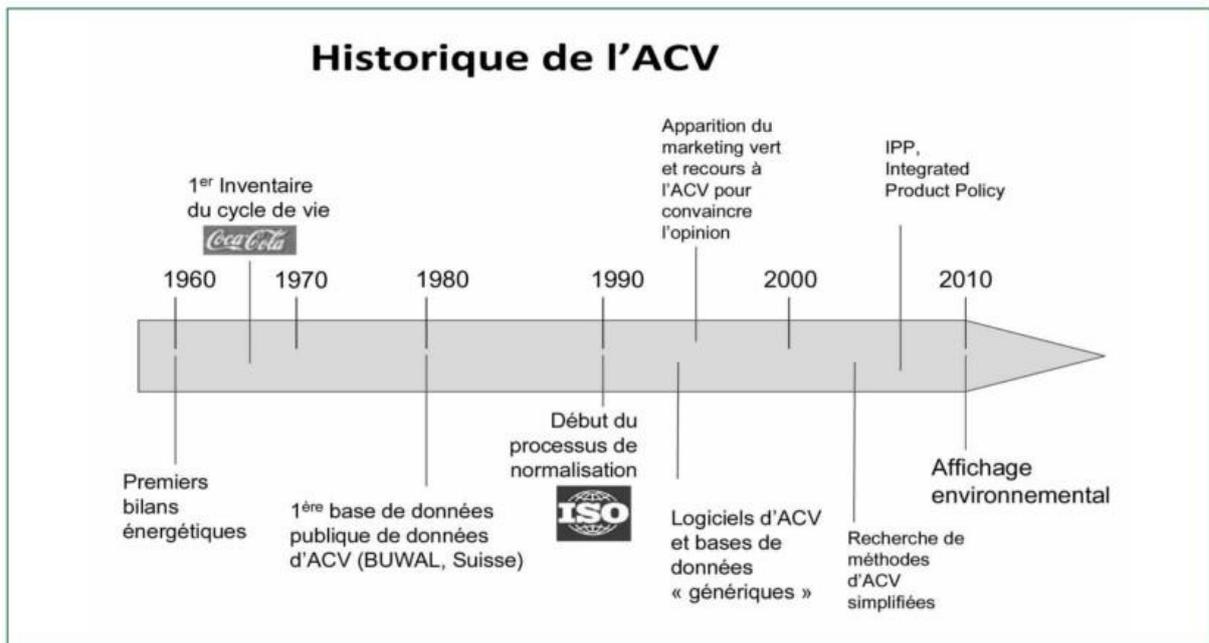
## 2. Historique

À la fin des années 60, en Europe du Nord, que les premiers travaux portant sur l'analyse du cycle de vie (ACV) ont été réalisés, et durant ces années, la compagnie Coca Cola a réalisé une étude d'Analyse Cycle de Vie ayant construit les bases de la méthodologie ACV telle qu'elle est structurée de nos jours, ce qui a permis à cette étude d'être reconnue comme une référence en raison de son caractère multicritère. En effet, cette étude a été réalisée en tenant compte de plusieurs impacts environnementaux de la fabrication du Coca Cola (Université Virtuelle Environnement & Développement Durable, 2012) [29].

Cependant, dans les années 70, les buts de l'Analyse Cycle de Vie sont, d'une part, de réduire les consommations énergétiques. En effet, suite à un choc pétrolier, la consommation d'énergie devient, à cette époque, la plus grande préoccupation des entreprises. D'autre part, il faut aussi de minimiser l'utilisation des matières premières [30]. La principale difficulté était d'obtenir des résultats utilisables d'un pays à l'autre ou d'une région à l'autre car il n'y avait pas d'homogénéité mais bien une grande diversité dans les données et les méthodes utilisées pour réaliser les ACV [30].

Alors que ce n'est que dans les années 90, que le développement d'une méthodologie ainsi qu'une homogénéisation des techniques utilisées a réellement été observé. En soutien à cette homogénéisation des procédés, la norme internationale pour mentionner l'Analyse Cycle de Vie est ISO 1404X ; la publication de ces normes internationales ISO va permettre de rendre les résultats plus robustes et fiables. [30]

En juin 2002, lors de la conférence de Johannesburg, l'ACV a été intégrée dans un rapport rédigé par le World Summit on Sustainable Développement C'est-à-dire que l'environnement est confirmé comme étant l'un des piliers du Développement durable. [25]. Enfin, à la suite des négociations de Cancún (2010), les initiatives liées au changement climatique sont nombreuses (diminution des émissions de gaz à effet de serre de 20 %...), ce qui implique encore plus de prise en considération de l'environnement au sein des entreprises [25]. Afin d'avoir une meilleure vue d'ensemble, la figure suivante (**Figure 11**), reprend les événements plus marquants de l'Analyse Cycle de Vie [29].



**Figure 11:** Historique de l'Analyse Cycle de Vie [27].

### 3. Définition de l'Analyse Cycle de Vie

L'Analyse Cycle de Vie (ACV) évalue l'impact environnemental d'un système en relation à une fonction particulière. L'ACV est la prise en compte des impacts environnementaux de l'extraction des matières premières nécessaires à son élaboration jusqu'à son élimination en fin de vie, dit du « berceau à la tombe » [30]. En effet, il est essentiel de prendre conscience que tout produit interagit avec son environnement à toutes les étapes de sa vie: [31].

- lors de sa conception, par le choix de matières, de procédés, de concepts ;
- lors de sa fabrication par l'énergie, les matières consommées et les rejets émis ;
- lors de sa distribution par les moyens de transport utilisés ;
- lors de son utilisation par l'énergie et les matières consommées ;
- lors de son élimination en fin de vie par les déchets qu'il génère, par l'énergie et les matières consommées pour son traitement et par l'émission de rejets associée à ce traitement

L'ACV constitue une méthode très complète, notamment parce que le produit ou le service pris en compte inclut tous les processus de conception de celui-ci (de l'extraction de la matière première à la fin de vie du produit ou service). Ce qui permet d'étudier une large gamme d'impacts environnementaux liés aux entrants provenant de l'environnement, comme

l'extraction des ressources, et aux sortants émis dans l'environnement, comme les émissions dans l'air, l'eau et le sol [29].

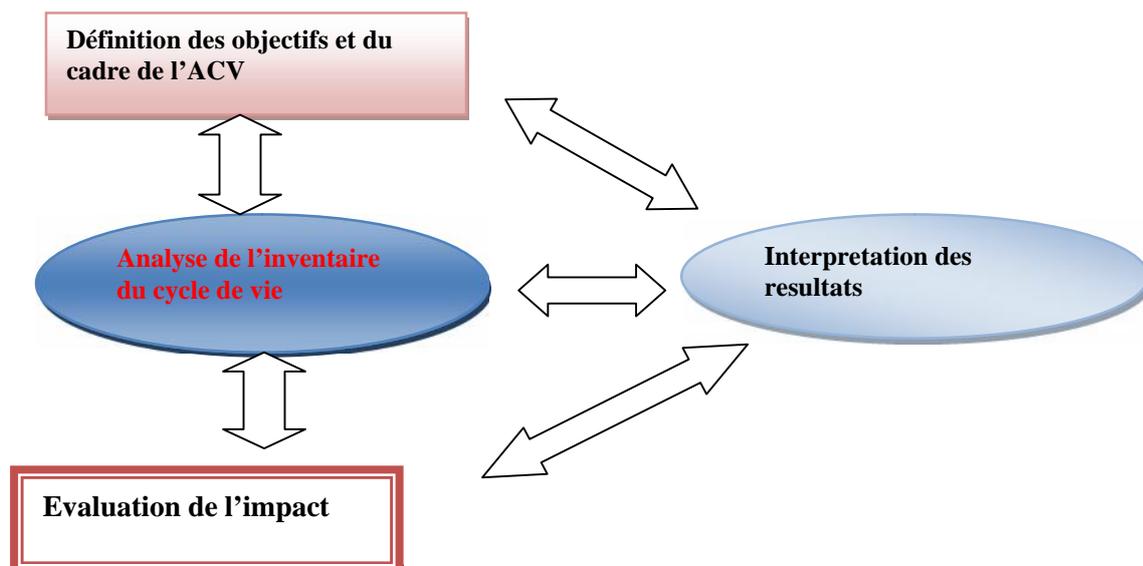
De plus, l'ACV permet de caractériser ou de comparer un système de produits et ses processus unitaires au fil du temps, ainsi que d'indiquer les problèmes environnementaux pour lesquels d'autres techniques peuvent fournir des données et des informations environnementales complémentaires utiles aux décideurs.

L'ACV permet de réaliser les bilans des consommations de ressources naturelles, d'énergie et d'émissions de substances polluantes dans l'environnement (air, eau, sol) du produit ou du service étudié. L'Analyse du Cycle de Vie est donc un outil mis à la disposition des entreprises pour permettre de contribuer activement au développement d'une économie verte [27].

#### 4. Méthodologie de l'ACV

Le cadre méthodologique de l'ACV a été normalisé entre 1997 et 2000 par la série de normes ISO 14040 à 14043. Selon ces normes, la méthodologie de l'Analyse du Cycle de Vie s'articule en quatre grandes étapes que sont [32].:

- la définition des objectifs de l'analyse et du champ d'étude,
- l'inventaire du cycle de vie,
- l'analyse des impacts environnementaux
- l'interprétation comme le montre la figure suivante (**Figure 12**)



**Figure 12:** Etapes de l'analyse cycle de vie [30].

#### 4.1. Définition des objectifs

Selon l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (2018), la définition des objectifs est l'étape primordiale pour l'Analyse Cycle de Vie. Cette étape a pour but de définir la problématique, elle permet, d'une part, de définir quels sont les objectifs de l'ACV, en précisant quelle application il en sera fait : éco conception, comparaison ou déclaration environnementale, d'autre part, elle permet aussi de cerner le problème posé et d'envisager les applications de l'analyse [31].

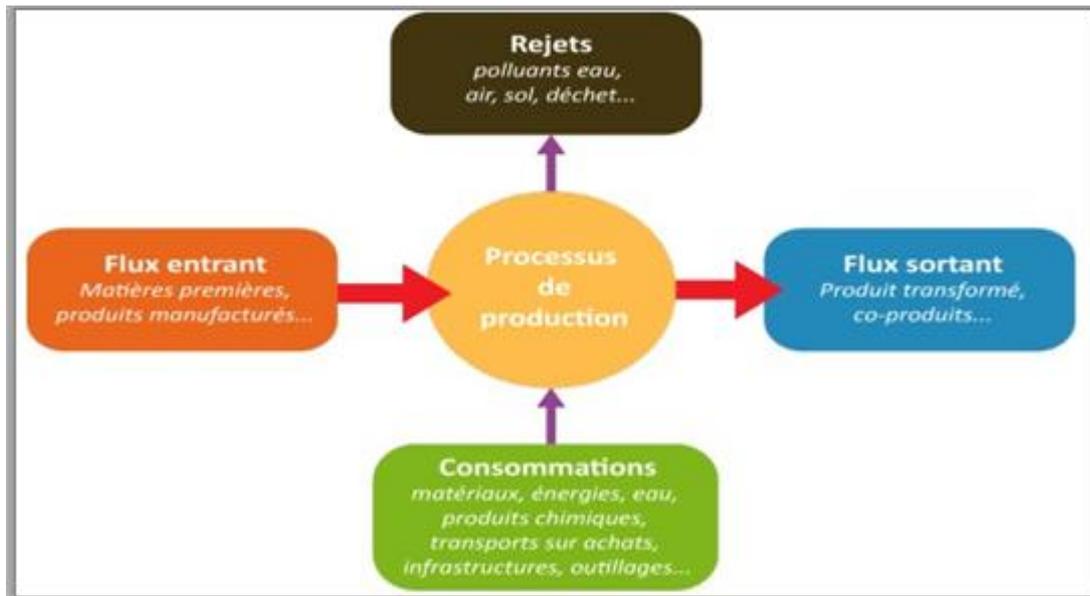
Le champ de l'étude permet de définir l'unité fonctionnelle, les frontières du système et la modélisation de ce dernier, les catégories et types de données à collecter et les hypothèses de départ. Il est également demandé que le domaine d'application soit suffisamment bien défini pour garantir un équilibre entre l'ampleur, la profondeur et le niveau de détail de l'étude par rapport à l'objectif défini. Les éléments suivants seront ainsi inclus dans la première étape de l'ACV [28] :

##### a) Unité fonctionnelle

L'« unité fonctionnelle » est l'unité de référence à laquelle les différents flux matériels et énergétiques seront rapportés ce qui va permettre de comparer des options alternatives sur une même base. En effet, pour comparer par exemple les impacts environnementaux de deux produits, on ramènera les impacts à une unité de mesure commune. D'après l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, une juste définition de l'unité fonctionnelle est indispensable pour rendre les résultats de l'ACV opérationnels et pertinents [33].

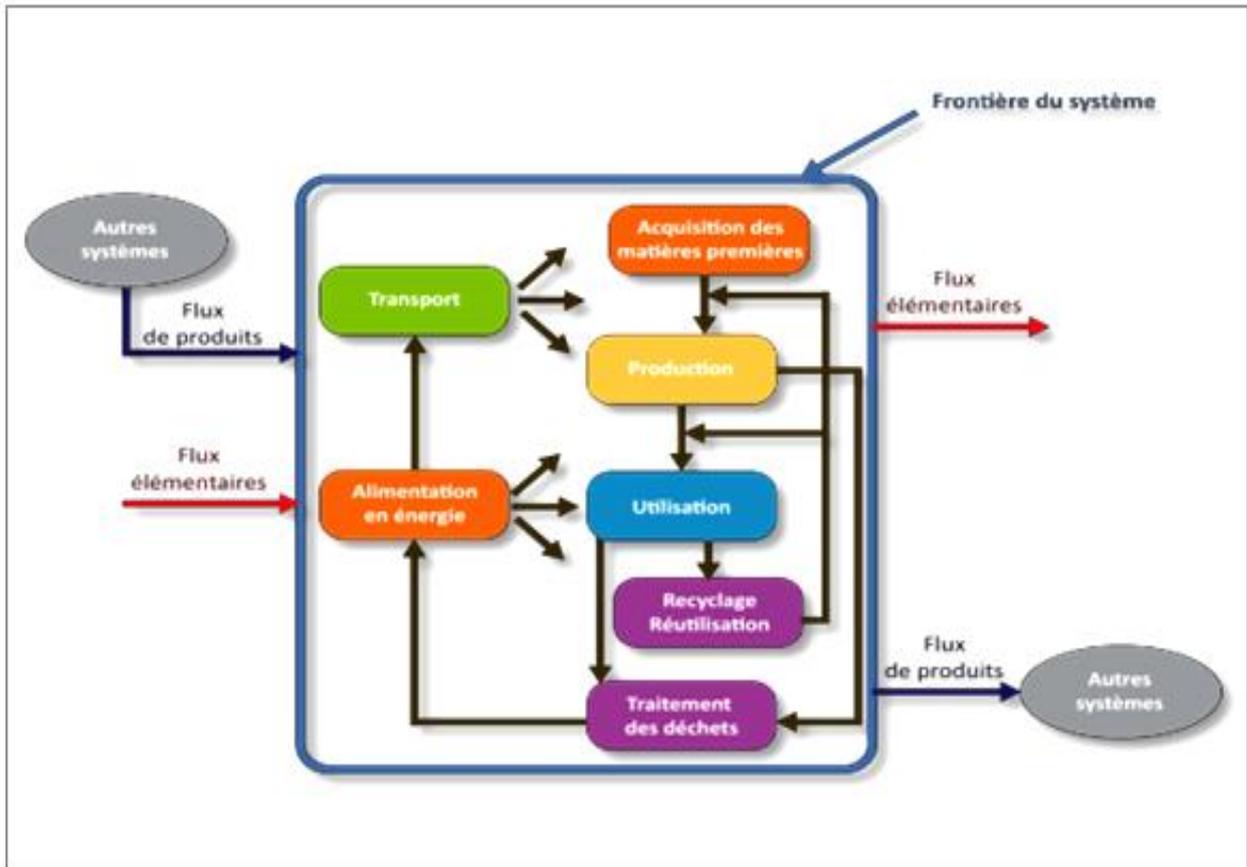
##### b) Frontière du système

Selon l'Université Virtuelle Environnement & Développement Durable pour définir les frontières d'un système, il faut considérer les étapes principales de son cycle de vie que sont les processus élémentaires et les flux pris en compte (**Figure 13**) [28].



**Figure 13:** Les intrants/extrants dans une séquence de Fabrication (flux) [28].

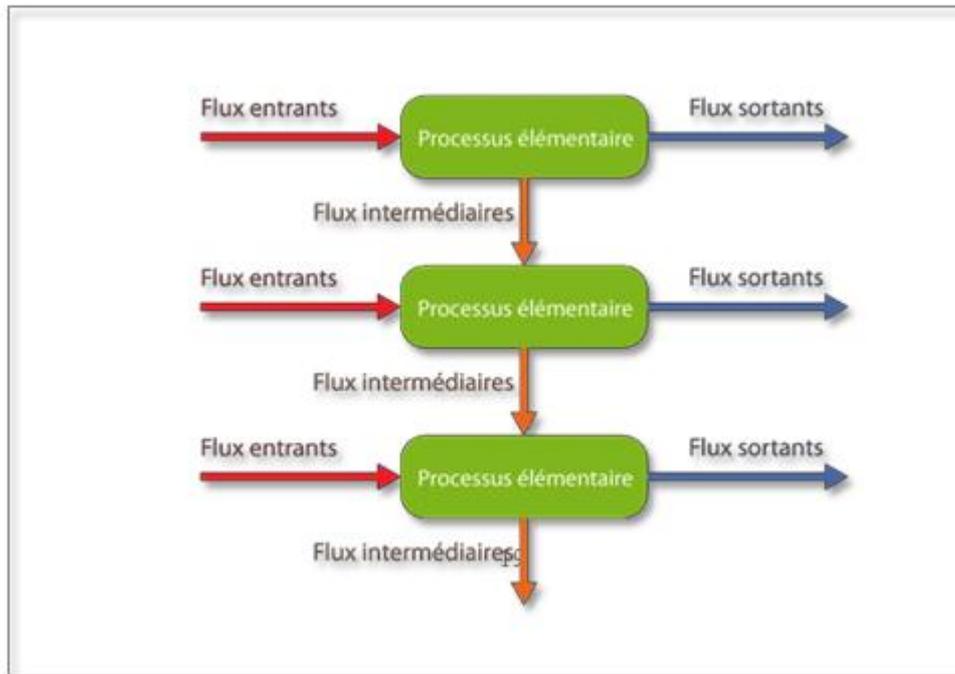
La suppression de certaines étapes du cycle de vie du système étudié, de processus, ou d'intrants et/ou d'extrants est possible (**Figure 14**). Cependant elle est consentie uniquement si les conclusions de l'étude ne changent pas de manière significative. De plus, toute suppression doit être clairement mentionnée et justifiée [28].



**Figure 14:** Frontière du système et prise en compte des principaux paramètres relatifs au cycle de vie du système analysé [28].

### c) Systèmes des produits et processus élémentaires

Dans une étude ACV, le cycle de vie d'un produit est modélisé sous la forme d'un système de produits qui assure une (ou plusieurs) fonctions bien définies. Les systèmes de produits se subdivisent en processus élémentaires. Les flux élémentaires incluent les flux entrants représentés par l'utilisation des ressources (matières premières, énergies) et les flux sortants qui comprennent les émissions dans l'air, l'eau et la terre associées au système. Les flux correspondent donc aux échanges entre, dans un premier temps, le système industriel considéré et les milieux naturels et, dans un second temps, les acteurs au sein du système (Figure 15) [28].



**Figure15** : Systèmes des produits et processus élémentaires

**d) Méthodologie d'évaluation de l'impact du cycle de vie et types d'impacts**

Il existe deux types de méthodes pour l'Analyse Cycle de Vie : l'ACV attributionnelle et l'ACV conséquentielle.

L'ACV par attribution est définie en mettant l'accent sur la description des flux physiques pertinents pour l'environnement vers et à partir d'un cycle de vie et de ses sous-systèmes.

L'Analyse Cycle de Vie attributionnelle est donc une ACV classique, c'est-à-dire que les impacts environnementaux pris en compte pour effectuer l'ACV se focalisent sur le bien ou le service produit [34].

L'Analyse Cycle de Vie conséquentielle est plus pertinente pour la prise de décision. L'ACV conséquentielle a une vision plus large, c'est-à-dire que les impacts environnementaux considérés sont liés à la fabrication du bien (la chaîne de production) et aux conséquences environnementales que ce bien va impacter sur d'autres secteurs [34].

**e) Limitations ou coupure du système**

Il se peut que, lors de la collecte des données, certains flux peuvent être négligés. Pour limiter cette négligence, on utilise une règle de coupure qui permet de simplifier les calculs en définissant les critères d'inclusion ou d'exclusion. La règle de coupure autorise, en

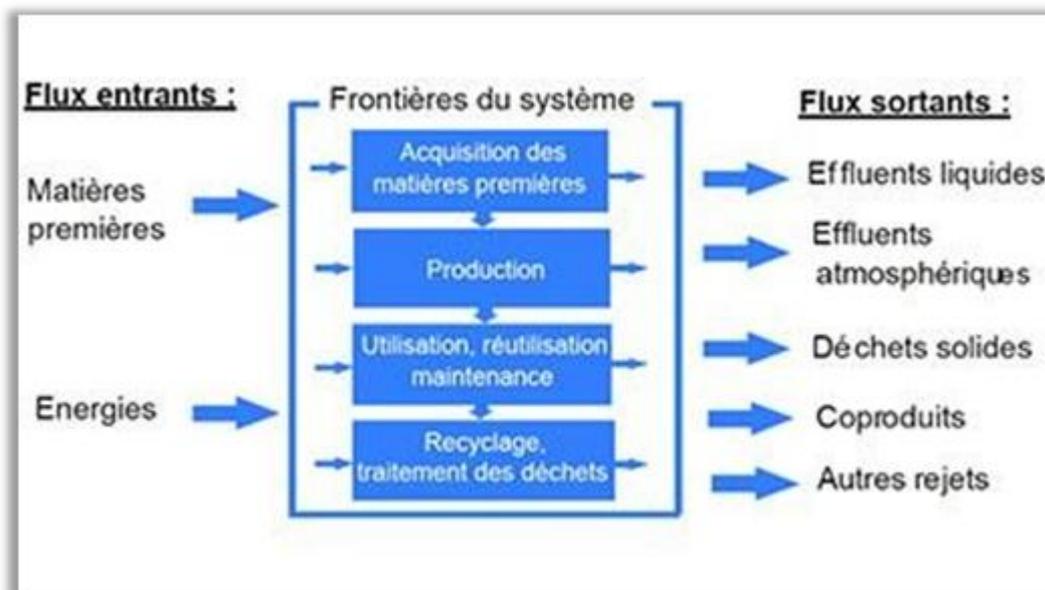
effet, des simplifications dans l'inventaire du cycle de vie et propose comme critères d'exclusion des entrants ou des sortants: la masse, l'énergie ou la pertinence environnementale. Le critère de coupure massique est souvent retenu pour sa facilité de mise en pratique [28].

#### f) Qualité des données récoltées

Notons qu'il est également important de préciser la qualité des données récoltées en détaillant leur origine afin de permettre d'évaluer la pertinence et la fiabilité de l'étude [30].

#### 4.2. Réalisation de l'inventaire du cycle de vie (ICV)

L'inventaire du cycle de vie est un bilan matière-énergie du système de produits tel qu'il a été décrit dans la définition des objectifs, Cette étape représente la compilation et la quantification des flux entrants et sortants du système défini ramenés à l'unité fonctionnelle, Ces flux sont répertoriés et classés en fonction de différents facteurs d'impact : les consommations de matières premières, les besoins en énergie et en eau, les rejets atmosphériques et sonores, les rejets dans l'eau, les déchets solides et liquides ainsi que les co- produits (Figure 16) [31].



**Figure 16:** Flux entrants et flux sortants du système [31].

L'inventaire et son analyse se font en 4 étapes [28] :

- 1) Quantification des flux (économiques et élémentaires) associés à chaque processus élémentaire ;

- 2) Mise à l'échelle de ces flux en fonction d'une valeur (flux) de référence ;
- 3) Quantification des émissions et extractions pour chaque processus élémentaire, le but étant d'identifier tous les éléments qui ont un impact environnemental à chaque étape ;
- 4) Agrégation des flux élémentaires : toutes les données pour une source d'impact sont agrégées pour calculer les impacts à l'étape suivante. Par exemple, toutes les émissions de CO<sub>2</sub> de tous les processus élémentaires sont additionnées en une seule valeur.

Dans le cadre d'une Analyse du Cycle de Vie, des problèmes d'affectation se poseront systématiquement. Les règles d'affectation doivent se baser soit sur les propriétés physiques des produits (par exemple la masse) soit sur la valeur économique (par exemple la valeur économique des produits). L'inventaire de l'ACV comporte deux éléments très importants. Le premier élément est la collecte de données et le second élément est le calcul de l'inventaire [29].

Pour la collecte des données, elles peuvent être obtenues par mesure directe, calcul, estimation, par recherche bibliographique ou bien encore issues des banques de données spécialisées [31]. Selon l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, l'inventaire est donc une comptabilité analytique des flux. Pour cela, deux types de données sont collectées : les facteurs d'activité (kWh consommés, km parcourus, tonnes transportées...) et les facteurs d'émission (g de NO<sub>x</sub> émis dans l'air, g de PO<sub>4</sub> émis dans l'eau...). La crédibilité des résultats d'une ACV repose sur la qualité des données de l'inventaire. Cependant, en raison de la difficulté à obtenir les informations nécessaires, la quantification des données est souvent incomplète, manquante voire inexistante [31].

Après avoir récolté les données, des procédures de calcul sont nécessaires pour quantifier les résultats de l'inventaire. Le principe de calcul d'un inventaire est relativement simple, contrairement à la collecte des données qui est une étape assez longue et compliquée, deux méthodes sont couramment utilisées pour le calcul de l'inventaire [28] :

- l'approche processus, qui consiste à multiplier l'inventaire de production par des facteurs d'émission ou d'extraction. L'inventaire de production regroupe donc les flux intermédiaires correspondant aux processus unitaires du système ainsi que les flux de référence. Les facteurs d'émission et d'extraction sont issus des bases de données et expriment la quantité de chaque substance émise/extraite par unité d'intrant prise en compte.

- l'approche input-output (entrants-sortants) où l'inventaire se calcule en multipliant les dépenses par unité fonctionnelle avec les facteurs d'émission par unité monétaire dépensée [28].

### 4.3. Evaluation de l'impact du cycle de vie

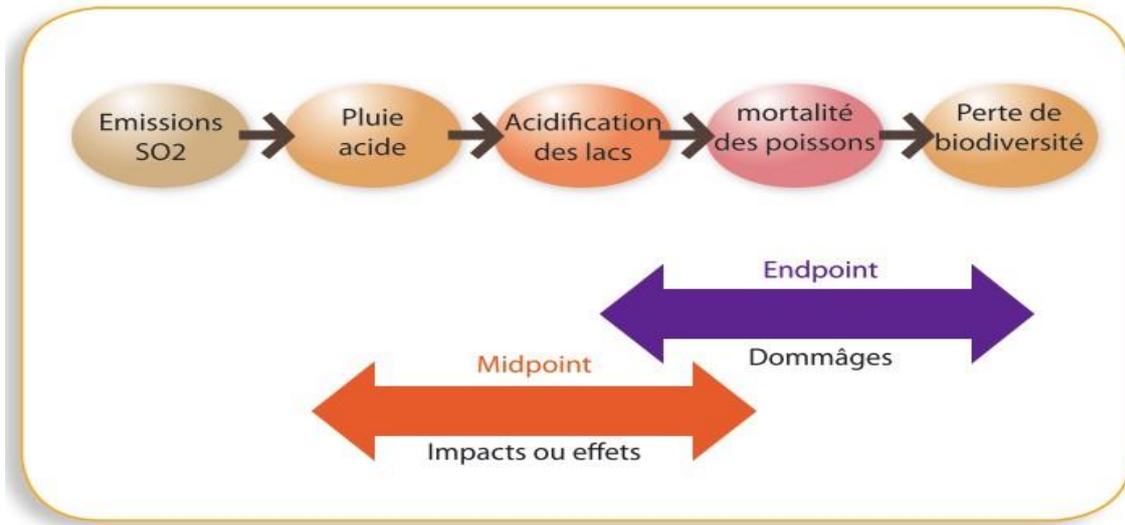
L'évaluation de l'impact du cycle de vie, consiste à transformer l'ensemble des flux recensés durant l'inventaire du cycle de vie en impacts environnementaux via une série d'indicateurs. Selon les normes en vigueur (ISO), les éléments suivants sont obligatoires pour réaliser l'évaluation de l'impact du cycle de vie [30]:

- **La classification**

La classification consiste à répertorier les flux émis et consommés recensés dans différentes catégories d'impacts. Pour ce faire, il existe deux méthodes caractérisant les flux inventoriés en indicateurs d'impact environnemental de différents niveaux [33]:

- 1) La méthode dite mid-point, où les impacts considérés apparaissent au milieu de la chaîne de causalité. Cette méthode est dite « orientée problème ». Les substances émises ou consommées ayant des effets similaires sont regroupées dans des catégories d'impact « intermédiaires » (**Figure 17**)[30],
- 2) Ces indicateurs d'impact sont composés d'environ 10 à 15 catégories telles que l'extraction des ressources abiotiques, l'utilisation des terres, les changements climatiques, l'appauvrissement de la couche d'ozone, l'oxydation photochimique, la toxicité humaine, l'écotoxicité et l'acidification.., Cette méthode est aujourd'hui la méthode la plus reconnue [30].
- 3) La méthode end-point, où les impacts considérés sont à la fin de la chaîne de causalité. Cette méthode est dite « orientée dommage ».

Les résultats de chaque catégorie d'impact peuvent être ensuite regroupés en un nombre plus restreint de catégories telles que la santé humaine, la qualité des écosystèmes ou encore la disponibilité des ressources [29].



**Figure 17:** méthodes midpoint et endpoint [30].

Lors de la modélisation du devenir d'une substance, les méthodes d'évaluation des impacts du cycle de vie (ÉICV) et les catégories d'impact intermédiaires se situent au milieu de la chaîne de causes à effets, tandis que les méthodes d'ÉICV et les catégories d'impact de dommages se trouvent à la fin de cette chaîne.

- **La caractérisation**

La caractérisation consiste à multiplier les différents flux par les facteurs de caractérisation, afin de calculer leur contribution aux diverses catégories d'impacts [30]. Ce calcul implique la conversion des résultats de l'inventaire cycle de vie en unités communes et l'agrégation des résultats convertis au sein de la même catégorie d'impact, à l'aide des facteurs de caractérisation [28].

- **La normalisation**

La normalisation consiste à diviser les résultats de la phase de caractérisation par des facteurs de normalisation, ceux-ci étant calculés pour une situation de référence [30]. La normalisation est donc le calcul de l'importance des résultats d'indicateurs de catégorie par rapport à certaines informations de référence [28].

L'idée de la normalisation est d'analyser la part respective de chaque impact sur le dommage global de la catégorie considérée. Elle facilite l'interprétation des résultats en comparant les différentes catégories sur le même graphique avec les mêmes unités. La normalisation permet également une discussion sur les implications de la pondération. En effet, celle-ci donne une estimation de l'ampleur des facteurs de pondération nécessaires pour discriminer les différentes catégories [32].

**▪ La pondération**

La pondération est l'obtention d'un score unique en fonction de l'importance relative des diverses catégories d'impacts. Les facteurs utilisés pour la pondération étant basés sur des choix personnels ou éthiques, ils rendent cette phase assez subjective, Deux modes opératoires sont possibles [28]:

- Convertir les résultats d'indicateurs ou les résultats normalisés avec des facteurs de pondération sélectionnés ;
- Agréger les résultats d'indicateurs convertis ou normalisés sur l'ensemble des catégories d'impact

**4.4. Interprétation du cycle de vie**

L'interprétation du cycle de vie est la dernière phase de l'Analyse Cycle de Vie, le but de cette dernière étape est d'analyser les résultats obtenus précédemment, de vérifier la cohérence des résultats avec les objectifs et le champ de l'étude ainsi que de tirer des conclusions aux limites de l'étude et fournir des recommandations [29].

Enfin, une revue critique peut être faite afin de compléter l'ACV. La revue critique permet de vérifier si l'Analyse du Cycle de Vie a été bien établie par rapport aux exigences de la méthodologie, des données, d'interprétation et de communication. Une revue critique ne peut être effectuée que par un expert interne/externe ou par un comité des parties intéressées. Les commentaires, les recommandations ainsi que la déclaration de revue de l'expert doivent être intégrés dans le rapport de l'ACV [28].

**5. Limites de l'Analyse Cycle de Vie**

L'ensemble de la problématique environnementale n'est pas compris dans une Analyse de Cycle de Vie, on parle dans ce cas de comptabilité environnementale. En effet, seuls les aspects quantitatifs (mesurables) et extensifs (sommables) sont pris en compte. L'ACV a donc un champ visuel limité, par exemple les ACV ne prennent pas en compte les facteurs sociaux [35].

Selon la méthodologie actuellement en vigueur, les aspects suivants ne sont pas considérés de façon directe dans les ACV malgré qu'ils soient parfois mesurables: l'impact des activités sur les paysages ; le bruit ; les odeurs ; le temps ; la toxicité des produits émis (incertitudes importantes).

Cependant, au moyen d'outils complémentaires ainsi qu'à l'évolution des modèles, il y a actuellement des tentatives de construire des grilles d'analyse des impacts sociaux, qui

peuvent apporter des éclairages, mais il faut se méfier des tentatives visant à tout chiffrer et à tout cadrer, que ce soit en termes de tonnes de CO<sub>2</sub> ou en termes financiers [35].

Outre les limites de conception de l'ACV, des limites pratiques peuvent également apparaître pour la réalisation d'une ACV comme le manque de disponibilité des données ainsi que la difficulté de collecter les données, l'influence des résultats par les choix faits par la personne qui a réalisé l'étude ainsi qu'une mauvaise connaissance de l'importance des impacts [28]. En effet, les réalisateurs d'ACV rencontrent souvent des problèmes liés au manque de données pour l'un des éléments de l'analyse. Il leur revient, dès lors, de faire une estimation pertinente des chiffres manquants, mais l'aspect subjectif de cette estimation rend sa fiabilité douteuse [35].

De nos jours, il n'existe pas de méthode permettant d'envisager de manière satisfaisante les résultats multicritères d'analyses environnementales afin de relativiser ou hiérarchiser l'importance des différents impacts générés [28].

## 6. Avantages et inconvénients de l'Analyse Cycle de Vie

L'avantage principal de l'ACV et qui lui donne tout son intérêt, est que l'ACV permet d'avoir une vision plus globale sur l'ensemble du cycle de vie des produits (biens ou services) Ce qui donne une perspective plus ample des différents impacts plutôt que de se limiter à un seul type d'impact en particulier une analyse cycle de vie est donc une approche multicritère comme le montre la figure suivante [36] :

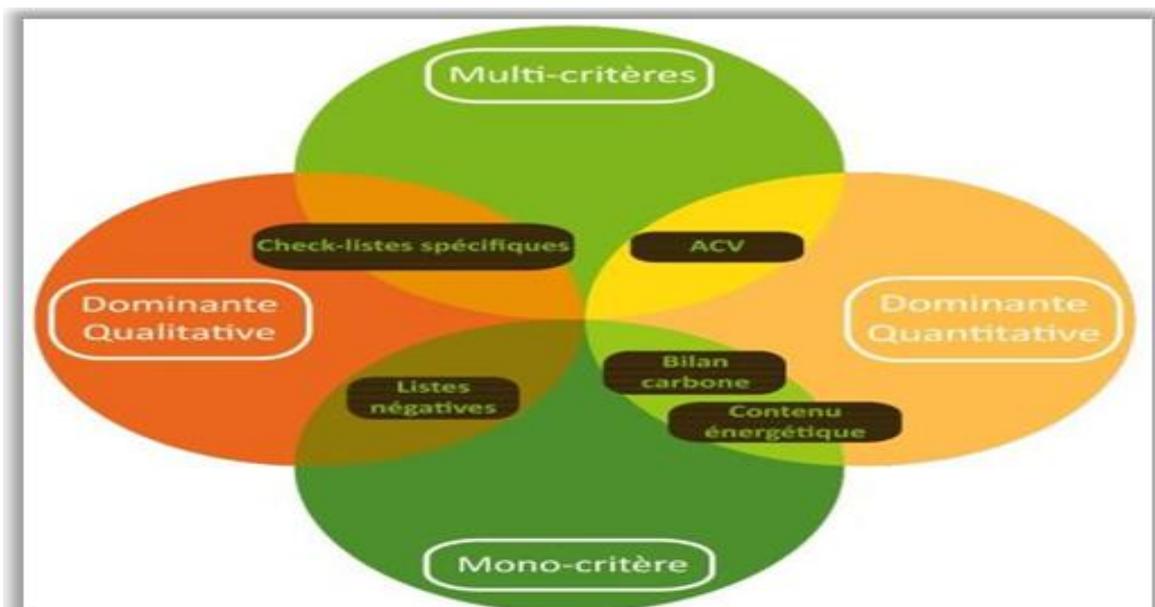


Figure 18 : Approche multicritère [36].

L'Analyse du Cycle de Vie permet également de quantifier les impacts environnementaux potentiels d'un produit grâce à une vision globale sur son cycle de vie. Cette quantification va permettre des comparaisons pertinentes entre des produits, des procédés ou des services. De plus, grâce à la quantification, il est possible également d'identifier les déplacements de pollution, d'évaluer le type d'impact environnemental dominant dans la réalisation d'un produit, ou encore d'identifier certains éléments particuliers dont la contribution est majeure en termes d'impacts environnementaux. L'ACV aide donc à objectiver les impacts connus et quantifiables cumulés tout au long du cycle de vie du fait d'une décision prise (ou à prendre), ce qui fait d'elle un précieux outil d'aide à la décision [36].

Les résultats de l'Analyse Cycle de Vie peuvent aussi être utilisés en tant qu'argument de vente pour des consommateurs de plus en plus soucieux par rapport à l'avenir de notre planète. De plus, l'ACV peut être utilisé pour des besoins de planification stratégique, d'établissement des priorités, de conception de produits ou de procédés mais également comme élément de marketing, pour créer un système d'étiquetage écologique (affichage environnemental) ou faire une déclaration environnementale relative à un produit.

L'Analyse Cycle de Vie a également les défauts de ses qualités. C'est-à-dire que certains paramètres ne peuvent pas être quantifiés en totalité comme l'intégration dans un paysage ou l'importance sociétale ou scientifique de l'existence d'un habitat ou d'une espèce lointaine. En effet, il est quasiment impossible d'obtenir l'intégralité des flux utilisés pour un produit ou de fixer les limites exactes d'un système. De ce fait, il faut parfois faire appel à des données théoriques ou restreindre le périmètre de l'étude en utilisant des données limitées. L'ACV ne pourra pas devenir un outil universel et complet [36].

Le problème de la représentativité géographique est également un inconvénient de l'ACV, en effet l'Analyse Cycle de Vie n'est pas transposable d'une région à une autre ou d'un pays à un autre car les impacts sont différents et parce que c'est un processus long et fastidieux, qui nécessiterait de multiplier les analyses, ce qui est difficilement réalisable [28].

*Chapitre III*

**Chapitre III**

*Etat de l'art des ACV*

**Etat de l'art des ACV**

## 1. Introduction [37]

Cette partie a permis de dresser un état de l'art des ACV appliquées à la gestion des boues. L'ACV a déjà été utilisée par plusieurs auteurs afin de connaître les impacts environnementaux des différentes filières de traitement et de valorisation des boues, la comparaison de ces différentes études est souvent compliquée du fait des divergences entre les différentes méthodologies appliquées ainsi qu'entre la définition des frontières du système et de l'unité fonctionnelle.

L'analyse de ces différentes publications a permis de dresser le constat de plusieurs particularités méthodologiques liées aux ACV « fin de vie » qui nécessitent d'être approfondies.

## 2. Revue bibliographique des ACV des boues urbaines

Une étude bibliographique a été réalisée sur les articles scientifiques publiés au cours des dix dernières années. Nous avons collecté des travaux qui ont été effectués jusqu'à présent.

### 2.1. Frontières du système et unités fonctionnelles [38].

Parmi les études publiées entre 1999 et 2007, la majorité utilise la tonne de matière sèche de boue. L'ensemble des articles délimitait leur système depuis la production de boues mixtes épaissies jusqu'à la voie d'élimination finale.

### 2.2. Caractérisation des impacts utilisée

La méthode de caractérisation des impacts la plus utilisée par les auteurs est la méthode CML [39] : certains auteurs ont également utilisé la méthode Eco-indicator99 [40], EPS2000 [41] ou un modèle spécifique conçu par les auteurs tel que le modèle ORWARE [42].

Les catégories d'impacts les plus étudiées concernent le réchauffement climatique, l'acidification, l'eutrophisation et la consommation des ressources naturelles. Trois à dix scénarios étaient étudiés pour chaque étude et les principales filières d'élimination des boues concernées étaient :

- ✓ l'épandage,
- ✓ l'incinération,

- ✓ la mise en décharge,
- ✓ la pyrolyse,
- ✓ l'oxydation par voie humide

### 3. Quelques études réalisées

Seules quatre études Arthur [43], Suh [44], Houillon [45], Hospido [46] ont donc pu être comparées assez aisément puisqu'elles étudiaient les mêmes systèmes à l'aide des mêmes unités fonctionnelles.

#### 3.1. Etude d'Arthur Andersen [43]

L'étude d'Arthur Andersen Environnement a permis de comparer dix systèmes homogènes représentatifs de filières de traitement des boues urbaines couramment utilisées en France. Pour chaque système, le périmètre étudié couvre l'ensemble des processus de traitement des boues depuis leur sortie du clarificateur jusqu'à leur élimination (épandage, incinération ou mise en décharge). L'étude a abouti à l'évaluation des impacts sur l'environnement du traitement de la quantité de boues produites par une personne pendant environ six mois (sur la base de 20 kg de Matières sèches produite annuellement par équivalent habitant).

Les résultats sont très sensibles aux pollutions engendrées par la consommation d'énergie et par le transport routier. Les filières les moins consommatrices d'énergie et celles qui limitent les distances de transport sont ainsi généralement favorisées. **Tableau 01 [43]**

**Tableau 1.** La Distances utilisées pour le calcul des impacts environnementaux

Distance estimée	Décharge	épandage	Incinération spécifique	Co-incinération
<i>Petite station vers</i>		5 km		
<i>Moyenne station vers</i>	50 km	15 km		50 km
<i>Grande station vers</i>			0 km sur site	50 km
<i>Incinération vers</i>	50 km			

Le transport contribue alors de façon significative aux impacts environnementaux relatifs à l'air, notamment pour l'épandage de boues compostées et la Co-incinération de boues pâteuses. La mise en décharge des boues solides est le scénario d'élimination le plus défavorable pour l'effet de serre, la dispersion de substances toxiques dans l'air et l'acidification.

### 3.2. Etude de Suh [44]

Cette étude vise à évaluer les consommations de ressources, les émissions polluantes et les impacts environnementaux de scénarios de traitement alternatif de boues d'épuration pendant leur période opérationnelle en contexte européen. Les auteurs ont pu connaitre l'unité fonctionnelle (de la tonne Matière sèche).

Cette étude a démontré que les éléments traces métalliques (ETM) contenus dans les boues épandues sur les sols agricoles contribuent significativement à l'écotoxicité des milieux aquatiques et terrestres. Les teneurs en ETM contenus dans les boues sont basées sur les teneurs maximales autorisées par la réglementation française.

### 3.3. Etude de Houillon Et Jolliet [45]

Cette étude consiste à analyser l'impact environnemental de nouveaux procédés de traitement des boues (oxydation par voie humide, incinération en cimenterie, pyrolyse), l'unité fonctionnelle (la tonne Matière sèche boue rejetée). Les résultats ont démontré que

les filières les moins impactant sont l'épandage et l'incinération sur lit fluidisé, ils concluent que l'incinération et l'épandage sont les procédés les plus attractifs énergétiquement.

### **3.4. Etude Hospido [46]**

Ce travail a été centré sur les performances environnementales potentielles de trois systèmes d'élimination des boues impliquant des processus biologiques (digestion anaérobie/épandage agricole) et des processus thermiques (incinération et pyrolyse). D'après les résultats, la digestion anaérobie semble le moins impactant sur l'environnement excepté pour la toxicité humaine et terrestre (présence d'éléments traces métalliques dans les boues).

Les tableaux 2, 3 englobent une synthèse des études utilisant les ACV

**Tableau 2** : Synthèse des études utilisant ACV pour l'évaluation environnementale des filières de traitement des boues

<b>Auteurs</b>	Tidaker [47]	Svanstrom [48]	Suh [43]	Hospido [46]
<b>Titre de l'article</b>	Wastewater management integrated with farming –an environmental systems analysis of a Swedish country town	Environmental assessment of supercritical water oxidation of sewage sludge	An LCA of alternative wastewater sludge treatment Scenarios	Environmental evaluation of different treatment processes for sludge from urban waste water treatments anaerobic digestion versus thermal processes
<b>Date de publication</b>	<b>2006</b>	<b>2004</b>	<b>2002</b>	<b>2005</b>
<b>Système étudié</b>	<p><b>système1 :</b> compost d'ordures ménagères (alimentaires) et compost de boue de step, utilisation d'engrais minéraux</p> <p><b>système 2 :</b> boues d'épuration issues de step épandues sur les sols agricoles</p> <p><b>système 3 :</b> boues du système de traitement déchets organiques +eaux noires épandues sur sols agricoles</p>	<p><b>Systeme1 :</b> Oxydation par voie humide</p>	<p><b>Système 1 :</b> boues mixtes (épaississement +déshydratation) -stockage/ incinération /transport /mise en décharge</p> <p><b>Système 2 :</b> Boues mixtes (épaississement +déshydratation) chaulage transport mise en décharge</p> <p><b>Système 3 :</b> Boues mixtes (épaississement +déshydratation) chaulage transport stockage épandage</p> <p><b>Système 4 :</b> Boues mixtes (épaississement +déshydratation) -compostage transport stockage épandage</p> <p><b>système 5 :</b> Boues mixtes (épaississement +déshydratation) Digestion anaérobie Transport Stockage Epandage</p>	<p><b>Système 1 :</b> Boues mixtes épaissie digestion anaérobie Déshydratation Epandage</p> <p><b>Système 2 :</b> Boues mixtes épaissie Déshydratation In Incinération</p> <p><b>Système 3a :</b> Boues mixtes épaissies Déshydratation thermique pyrolyse (réutilisation de gaz de synthèse)</p> <p><b>Système 3b :</b> Boues mixtes épaissies Déshydratation thermique pyrolyse (réutilisation de toutes les fractions produites)</p>

Houillon et joliet [45]	Arthur andersen [43]	Johansson [49]	Lundin [50]
Life cycle assessments of processes for the treatment of waste water urban sludge :energy and global warming analysis	Audit environnementale et économique des filières d'élimination des boues d'épuration Urbaines pré-étude de définition analyse environnementale	Sewage sludge handling for phosphorus utilization life cycle assessment of four alternatives	Environmental and economic assessments of sewage sludge handling options
<b>2005</b>	<b>1999</b>	<b>2007</b>	<b>2004</b>
<p><b>Système1 :</b> Boues mixtes épaissie Déshydratation In chaulage transport/ stockage épandage système 2 : Boues mixtes épaissie Déshydratation In Incinération Transport/stockage résidus</p> <p><b>Système 3 :</b> Boues mixtes épaissies Stockage OVH Transport/stockage résidus</p> <p><b>Système 4 :</b> Boues mixtes épaissies Déshydratation stockage/séchage pyrolyse /transport stockage résidus</p> <p><b>Système 5 :</b> Boues mixtes épaissies</p>	<p><b>Système 1 :</b> Mise en décharge de boues solides (moyenne station)</p> <p><b>Système 2 :</b> Epandage des boues liquides d'une petite station</p> <p><b>Système 3 :</b> Epandage des boues pâteuses Non chaulés d'une moyenne station</p> <p><b>système 4 :</b> Epandage de boues pâteuses chaulées d'une moyenne station</p> <p><b>Système 5 :</b> épandage de boues compostées d'une grande station</p> <p><b>Système 6 :</b> épandage de boues solides d'une grande station</p> <p><b>Système 7 :</b> Epandage de boues sèches d'une grande station</p> <p><b>Système 8 :</b> Incinération spécifique (grande station)</p> <p><b>Système9 :</b> co-incinération de boues</p>	<p><b>Système 1 :</b> Réhabilitation des exploitations minières (boliden)</p> <p><b>Système2 :</b> Compostage ave d'autres biomatériaux et utilisation sur le terrain du golf (econova)</p> <p><b>Système3 :</b> Hygiénisation avant épandage agricole (ragnselles)</p> <p><b>Système4 :</b> <b>OVH avec</b> récupération du phosphore (<b>Aqua reci</b>).</p>	<p><b>Système 1 :</b> Utilisation agricole</p> <p><b>Système 2 :</b> Co-incinération Avec d'autres déchets (principalement des ordures managers)</p> <p><b>Système 3 :</b> Incinération récupération du phosphore (<b>Bio-Con</b>)</p> <p><b>Système4 :</b> Fractionnement par hydrolyse acidification pour récupérer le phosphore (cambi-KREPRO).</p>

Déshydratation stockage séchage Transport incinération En cimenterie Stockage ciments et cendres <b>Système 6 :</b> Boues mixtes épaissies Déshydratation chaulage transport/ stockage Mise en décharge	sèches avec OM(grande station) Système 10 :  incinération de boues pâteuses avec OM (moyenne station)		
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

<b>Auteurs</b>	<b>Tidaker [47]</b>	<b>Svanstrom [48]</b>	<b>Suh [43]</b>	<b>Hospido [46]</b>	<b>Houillon [45]</b>
<b>Impact étudié</b>	Utilisation d'énergie eutrophisation GWP, acidification	GWP, POCP, consommation des ressources	consommation des ressources, GWP,HT, écotoxicité terrestre ,marine ,aquatique, acidification eutrophisation POCP	Eutrophisation, ozone stratosphérique réchauffement globale acidification, formation de photo-oxydant, consommation de ressources abiotiques toxicité humaine, terrestre	Ressources énergétiques changement climatique
<b>Méthode utilisée</b>	Modèle ORWARE	ECOINDICATOR99, EPS 2000	CML	CML	Non précisé
<b>Logiciel utilisé</b>	Modèle ORWARE	LCAIT 4.0	Non précisé	Simapro 5.1	Non précisé
<b>Durée</b>	1an	Non précisé	Non précisé	Non précisé	Non précisé
<b>Unité fonctionnelle</b>	Fournir un traitement des eaux pour 8830 EH produire 2100 tonnes d'avoine sur 486 ha	1000kg de boue liquide	1tonne MS de boue mixte issue d'un traitement de station d'épuration,municipale en france	Gestion de 1 tonne de matière sèche de boue mixte épaissie	Tonne de MS de boue récupérée (recyclé)
<b>Emissions considérées</b>	NO (IPCC) modèle pour compaction des	Ressources émissions ver l'air (CO <sub>2</sub> ,dioxine,PAH,NO <sub>x</sub> ,SO <sub>2</sub> )	NON précisé	VOC, CO <sub>2</sub> , CO ,NO <sub>2</sub> ,N <sub>2</sub> O	Energie non renouvelable CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>

	sols N <sub>2</sub> O, NH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub>	Emission vers l'eau (COD ,solides dissous ,solides suspendus ,huile)déchet.			
--	----------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------	--	--	--

**Tableau 3 :** Synthèse des études utilisant les ACV pour l'évaluation environnementale des filières de traitements des boues (suite)

<b>Arthur [43]</b>	<b>Johansson [49]</b>	<b>Lundin [50]</b>
POCP, dispersion de substances toxiques dans l'air, utilisation des ressources naturelles, GWP, acidification impact des toxiques sur les écosystèmes aquatiques et terrestre	Eutrophisation réchauffement globale acidification consommation de ressources et d'énergie primaire	Acidification, Eutrophisation, réchauffement climatique consommation de ressources
CML	Non précisé	Environnemental thèmes CML (EPS2000)
<b>Non précisé</b>	LCAIT 4.1.7	Non précisé
Non précisé	Non précisé	Non précisé
Eliminer une tonne de boue brute (matière sèche +eau en sortie du clarificateur) par la filière associée	Traitement d'1 tonne MS de boue digérée	Traitement d'1 tonne de boue en MS
Co, CH <sub>4</sub> ,NH <sub>3</sub> ,ETM,H <sub>2</sub> S , COV,HPA	N,O, CH,NH <sub>3</sub> ,NO <sub>3</sub> ,ETM,H <sub>2</sub> S, COY,HPA	Co, N <sub>2</sub> O, NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , CH <sub>4</sub> ,métaux lourds ,SO <sub>x</sub> ,pétrole,gaz naturel, phosphore ,soufre

**Conclusion**

La comparaison des études environnementales basées sur la méthodologie ACV est souvent peu aisée du fait des divergences entre les principales études réalisées (Ademe/Écobilan, 2006). En effet, pour être facilement comparables, les études ACV doivent présenter au minimum le même système étudié ainsi que les mêmes unités fonctionnelles.

La comparaison des études ACV sur le traitement des boues d'épuration s'est donc avérée délicate d'un point de vue méthodologique puisque chaque étude recensée pour la synthèse était très spécifique, la méthode utilisée elle-même différait (règles d'allocation différentes, absence ou présence de processus de substitution...) et chaque résultat d'ACV dépendait fortement des unités fonctionnelles et des limites du système étudié (les études ACV sont des études goal dépendent).

*Chapitre IV*  
**Chapitre IV**  
*Caractérisation des boues de la STEP de saida*  
**Caractérisation des boues de la STEP de saida**

## 1. Introduction

Avant d'entreprendre l'objectif que nous nous sommes assignés, il nous a paru indispensable d'effectuer au préalable une analyse physico chimique des boues de la STEP de Saida afin de les caractériser. Ces analyses ont été réalisées au sein du laboratoire de chimie de l'université de Saida, au niveau du laboratoire de la station d'épuration de la ville Ain Sefra wilaya de Naama, et au niveau du laboratoire de recherche LCIE de l'université de Tlemcen. L'étude expérimentale consiste à détailler les techniques expérimentales qui ont été utilisées au cours de notre travail, elle vise aussi à évaluer les résultats des analyses physico-chimiques des boues de la ville de Saida.

## 2. Echantillonnage

Les boues étudiées proviennent de la station d'épuration des eaux usées El Rebahia, le prélèvement a été effectué le 22/01/2019 à 10H:00, le ciel était nuageux, nous avons pris une quantité de tout point du lit de séchage (**Figure 19**).



**Figure 19.** Lit de séchage des boues Résiduaires

La boue était trop humide, sous forme de pâte de couleur gris foncée à noire (**Figure 20**) dont l'odeur est nauséabonde et insupportable.



**Figure 20 .** Aspect de la boue prélevée

### **3. Caractérisation des boues prélevées.**

Divers types d'analyses peuvent être réalisés sur les boues récoltés, les échantillons sont acheminés au laboratoire de chimie de l'environnement de l'université D<sup>r</sup> Tahar Moulay de Saida, où ils sont l'objet des analyses physico-chimique.

### **4. Méthodes d'analyses physico chimiques**

Les analyses physico chimiques ont porté sur la détermination des paramètres globaux et la quantification des éléments. Les paramètres étudiés sont : le pH, la température, la conductivité électrique, les matières en suspension, les nitrates, les nitrites, les sulfates, les phosphates, les éléments traces métalliques, plus d'autres paramètres comme l'acidité, le lessivage et la siccité.

#### **➤ Mesure de l'acidité**

Le potentiel d'hydrogène pH mesure l'activité chimique des ions hydrogènes en solution. Dans un bécher, on introduit 2g de boue dans 200 ml d'eau distillée que l'on met sous agitation au moyen d'agitateur magnétique. On mesure le pH après 30 mn.

#### **➤ Opération de lessivage**

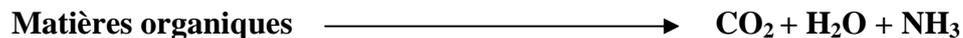
Le lessivage est une opération qui concerne uniquement les particules solides non soluble, il est effectué afin d'étudier le transport possible des espèces d'un matériau mis en suspension dans une solution. Dans un bécher, on introduit 2g de l'échantillon dans 200 ml d'eau distillée que l'on met sous agitation au moyen d'un agitateur magnétique pendant 48 heures. On mesure le pH après 24h et 48h d'agitation au moyen d'un pH-mètre type HANNA.

➤ **Procédure de détermination de la quantité de matière et de sa répartition**

Les matières sèches (MS) sont composées de matières minérales (MM) (calcium, magnésium, chlorures...) et de matières organiques appelées matières volatiles sèches (MVS). (glucides, lipides, protides, acides nucléiques). Il s'agit de molécules complexes constituées majoritairement des éléments C, H, O et N.

La concentration des MVS est généralement exprimée en pourcentage par rapport aux MS : on parle de taux de Matières Volatiles Sèches (MVS), le contrôle de ce paramètre permet de suivre la stabilité de la boue.

Un chauffage puissant au four à 550°C permet la destruction et l'élimination totale des matières organiques qui se trouvent totalement dégradées en matières minérales qui s'échappent du creuset sous forme gazeuse, c'est la minéralisation: Il reste alors dans le creuset les sels minéraux sous forme de cendres.



On place le creuset contenant la matière sèche au four à 550°C pendant 02 heures, une fois le creuset refroidi, on pèse le creuset contenant les cendres. Le taux de matière volatile sèche est donnée par :

$$\%MVS = \frac{P_1 - P_2}{P_0} \times 100$$

Où :  $P_0$  : prise d'essai de l'échantillon (g).

$P_1$  : masse de creuset avec 2g de l'échantillon (g)

$P_2$  : masse de creuset après calcination (g)

Ainsi le taux de matières minérales sera évalué comme suit :

$$\%MM = \%S - \%MVS$$

➤ **Opération de lixiviation**

La lixiviation est une opération qui concerne uniquement les éléments solubles puisqu'ils sont entraînés par l'infiltration des eaux après avoir dissous. Le principe des tests de lixiviation est de déterminer les phénomènes de fixation des contaminants et de comprendre les mécanismes de relargage. Le principal agent susceptible de véhiculer les éléments toxiques vers l'environnement est l'eau, nous mettons en contact les boues avec une solution de volume fixe avec un rapport liquide /solide = 10 ml/g. [51]

Après avoir concassé les échantillons des boues, on effectue leur tamisage par un vibre-tamis à un diamètre inférieur à 9mm. Et afin d'évaluer la concentration des polluants existés dans les boues en mg/l, dans un bécher, on introduit 10 g de l'échantillon dans ...100. ml d'eau distillée que l'on met sous agitation au moyen d'un agitateur magnétique. La durée de lixiviation est fixée jusqu'à 48H des mesures et des dosages ont été effectués après un temps d'agitation de 01h, 24H et 48H.

Les éléments à doser sont : les teneurs en chlorures les phosphates, sulfates, nitrates, nitrites, métaux lourds (selon les moyens disponibles, mesure du pH, la température, la conductivité, et les matières en suspension (MES)).

#### ➤ Le pH

La mesure du pH a été réalisée sur une suspension plus ou moins diluée, dans un bécher, on introduit 10g de l'échantillon dans 100 ml d'eau distillée que l'on met sous agitation au moyen d'un agitateur magnétique pendant 48 heures. On mesure le pH (**Figure 21**) après 01h et 24h et 48h d'agitation au moyen d'un pH-mètre type HANNA.



**Figure 21.** pH mètre

#### ➤ Mesure de la conductivité électrique

La conductivité permet d'évaluer rapidement et approximativement la minéralisation globale. La mesure de conductivité est réalisée en mesurant la conductance d'une solution entre 2 électrodes métalliques, elle est l'inverse de la résistivité électrique. La mesure de la conductivité se fait à l'aide d'un conductimètre de laboratoire, la conductivité est mesurée après agitation de 10g de boue séchée à 105°C dans 100 ml d'eau distillée (**Figure 22**) après 01h et 24h et 48h d'agitation.



Figure 22. Conductimètre

➤ **Mesure de la Température**

La température est un paramètre physique jouant un grand rôle dans la solubilité des gaz dans la solution et sur la vitesse des réactions chimiques et biochimiques. La mesure de la température a été effectuée par l'utilisation d'une sonde thermométrique qui est trempée soigneusement dans la prise d'essai. On mesure la température après 01h et 24h et 48h d'agitation.

➤ **Mesure des Matières en suspension (MES)**

La détermination des matières en suspension dans les eaux usées se fait par filtration, le poids des matières retenues par filtre est déterminé par pesée différentielle. Les matières en suspension sont des matières organiques et des matières minérales, qui ne sont ni solubilisées, ni à l'état colloïdale.

On sèche les papiers filtres dans une étuve à  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  jusqu'à une masse constante, on laisse refroidir dans un dessiccateur, on pèse à 0,1 mg près. On place le filtre dans l'équipement de filtration et on met en marche le dispositif d'aspiration (**Figure 23** et **24**). On verse progressivement l'échantillon sur le filtre jusqu'à ce que le dispositif soit vidé. Le volume vidé doit être d'au moins 100 ml et permettant d'obtenir au moins une masse de 1mg par  $\text{cm}^2$  de surface filtrante. Toute fois dans le cas où celle-ci peut ne pas être satisfaite, le volume de l'échantillon doit être augmenté à au moins 500 ml. Puis on rince le récipient ayant contenu l'échantillon avec 10 ml environ d'eau distillée et faire passer les eaux de lavage sur le filtre. On laisse essorer et sécher le filtre à  $105^\circ\text{C}$ , puis refroidir. On recommence les opérations de séchage, de refroidissement et de pesées jusqu'à ce que la différence entre deux pesées successives n'excède pas 0,1 ou 0,5mg.

### Expression des résultats

$$\text{Le taux de matière en suspension (MES) mg/l} = (M_1 - M_0) * 1000 / V$$

Avec

V : le volume en millilitres d'échantillon mis en jeu.

$M_0$  : la masse en mg du disque filtrant avant utilisation.

$M_1$  : la masse en mg du disque filtrant après utilisation.



**Figure 23.** Filtration pompe sous vide



**Figure 24.** Reste de la filtration.

➤ **Dosage des Nitrates  $\text{NO}_3^-$ , nitrites  $\text{NO}_2^-$  et phosphates  $\text{PO}_4^{3-}$**

Les dosages des nitrites, nitrates et phosphates ont été réalisés par dosage colorimétrique en utilisant la technique avec réactif en sachet (protocole en Annexe 1).

➤ **Dosage des sulfates**

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de Tween. Les suspensions homogènes sont mesurées par spectrophotométrie.

#### Réactifs

-une solution étalon de sulfate de sodium de 100mg/l de  $\text{SO}_4^{-2}$

-une solution chlorhydrique 10%.

-Une solution de BaCl<sub>2</sub> stabilisé avec du Tween 20 ( polyoxyéthylène (20) sorbitan monolaurate ) avec :

- 5 g BaCl<sub>2</sub>
- 2.5g de Tween 20
- 50 ml d'eau

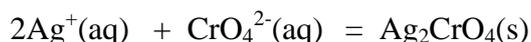
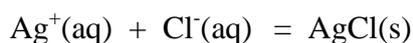
Dans une série de capsules de 50 cm<sup>3</sup> on introduit successivement :

Fiolle	Blanc	1	2	3	4
Solution étalon SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (ml)	0	1	1,4	1,8	2
Eau distillée (ml)	10	9	8,6	8,2	8
Correspondance en mg/l (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	0	15	21	27	30
HCl 1/10 (ml)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
BaCl <sub>2</sub> (ml)stabilisé avec Tween	1	1	1	1	1

Une sixième fiole sera préparée avec notre échantillon à analysée. Agiter pendant une minute ; agiter de nouveau ; Lire au spectrophotomètre à la longueur d'onde 650 nm.

#### ➤ Dosage des Chlorures

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.



#### Réactifs utilisés:

- Solution de Nitrate d'Argent AgNO<sub>3</sub> (0,1 N).
- Solution de chromate de potassium K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub> à 10%;
- Acide nitrique pur HNO<sub>3</sub>;
- Carbonate de Calcium solide pur CaCO<sub>3</sub> .

On introduit dans un erlenmeyer 50 ml de l'échantillon à analyser préalablement filtrée, on ajoute 2 à 3 gouttes d'acide nitrique, ou une pincée de carbonate de calcium 0,2 gr de carbonate de calcium et 3 gouttes de chromate de potassium à 10%. On verse alors au moyen d'une burette la solution de nitrate d'argent jusqu'à l'apparition d'un précipité de teinte

rougeâtre ; cette couleur doit persister. Soit V le nombre de millilitres de nitrates d'argent 0,1 N utilisés pour le titrage.

### Expression des résultats

*La teneur en chlorure* ( en mg de  $\text{Cl}^-$  / litre)

$$[\text{Cl}^-] = V_{\text{eq}} * 10 * 3,55$$

*La teneur en chlorure* (en mg de (  $\text{NaCl}^-$  ) / litre)

$$V_{\text{eq}} * 10 * 3,85$$

$[\text{Cl}^-]$ : concentration de chlorure en (mg/l).

### ➤ Dosage des éléments traces métalliques (ETM)

Les analyses des métaux lourds sont réalisées au niveau du laboratoire de recherche LCIE de l'université de Tlemcen,

Les métaux lourds présents dans l'eau et dans les sédiments sont absorbés par les plantes, l'homme et les animaux, le dépassement d'une quantité donnée dans ces espèces provoque leur accumulation dans les organismes et tout au long de la chaîne alimentaire.

L'analyse des ETM a pour but la surveillance de la qualité du milieu aquatique et de l'environnement

Les mesures ont été effectuées avec un spectrophotomètre d'absorption atomique de type SHIMADZU AA-6501F équipé d'un atomiseur piloté au moyen du logiciel. Le principe de l'absorption est que la solution est aspirée en continu dans un nébuliseur qui la transforme en brouillard fin. Ce brouillard est ensuite aspiré vers le brûleur, où la flamme évapore l'eau et casse les molécules en atomes isolés.

Pour la détermination des teneurs en métaux lourds on a procédé de la manière suivante : après établissement d'une courbe d'étalonnage qui délimitera la fourchette de mesure d'un métal bien spécifique, on prend une petite quantité de l'échantillon dans un bécher préalablement préparé on plonge dedans un tube qui compose notre équipement, la solution est aspirée et la lecture de l'absorbance correspondante se fait directement sur l'écran de la SAA. Les éléments métalliques qu'on a pu les doser selon les moyens disponibles sont le chrome, le nickel, le zinc, le cobalt, et le cadmium.

## 5. Résultats et interprétations

La caractérisation d'une boue est fondamentale pour le choix de la méthode de traitement qui lui est applicable ou la méthode de valorisation, nous exposerons l'ensemble des résultats obtenus au cours de notre étude.

### 5.1. Etude du comportement de la boue à la la lixiviation

Ce test vise à caractériser le comportement des boues au cours du temps, les résultats des paramètres étudiés sont détaillés ci dessous

#### ➤ Température

Les résultats regroupés dans le **tableau 4** révèlent que les valeurs de températures ne dépassent pas 25° C. Cette dernière est due à l'influence de la température extérieure « la température de l'atmosphère» la boue se trouve à ciel ouvert, la température du jus de la boue reste liée aux conditions locales (climat, durée d'ensoleillement, débit). La température des boues ne devrait pas dépasser 30°C cela favorise la croissance des microorganismes, agit sur leur vitesse de croissance, et la vitesse de dégradation de la matière organique.

**Tableau 4.** Résultats de la mesure de la température des boues lixiviées

<b>Durée d'agitation (heure)</b>	1	24	48
<b>T (°C) de Boue lixiviées</b>	20	22	25

#### ➤ La Conductivité

La conductivité électrique d'une solution varie en fonction de la Température et de la concentration des substances dissoutes, les résultats obtenus sont résumés dans le **tableau 5**.

**Tableau 5.** Résultats de la mesure de la conductivité des boues lixiviées

<b>Durée d'agitation (heure)</b>	1	24	48
<b>Conductivité de Boue lixiviées (mS /cm)</b>	1	3,1	3,5

La valeur de la conductivité mesurée est de valeur moyenne de 3, 1 mS/cm et de valeur extrême variant de 1 mS/cm comme valeur minimale à 3,5 mS /cm comme valeur maximale indiquant la présence d'une forte charge ionique. Nous constatons à partir de la valeur de la conductivité électrique déterminée que la boue de la ville da Saïda est caractérisée par une concentration moyenne en sels dissous et elle diminue après l'épuration en raison que la boue

adsorbe les métaux qui trouve dans le milieu, ce qui indique une présence significative des cations (métaux) dans la boue étudiée. En outre la conductivité permet d'évaluer rapidement et approximativement la minéralisation globale de l'eau.

#### ➤ Les Matières En Suspension (MES)

D'après les résultats, les matières en suspension comportent des matières organiques et des matières minérales, Les résultats obtenus sont résumés dans le **tableau 6**.

**Tableau 6.** Résultats des Matières En Suspension (MES) des boues lixiviées

Durée d'agitation (heure)	1	24	48
MES de Boue lixiviées (mg/l)	12,68	11	10,5

Selon nos résultats, la teneur maximale en MES dans les boues de la SETP est de 12,68 mg/l, les valeurs rencontrées dans cette étude sont du même ordre que les valeurs de la STEP, cependant, les teneurs en MES présentent des variations saisonnières et spatiales certaines. La valeur de MES après l'épuration est entre 12,68et 10,5 mg/l qui justifie une faible charge.

#### ➤ pH

Le pH ou potentiel d'hydrogène constitue une expression de l'acidité ou alcalinité du milieu. Les résultats obtenus sont résumés dans le **tableau 7**

**Tableau 7.** Résultats des pH des boues lixiviées

Durée d'agitation (heure)	1	24	48
pH des Boues lixiviées	7,20	6,81	7,44

Selon ces résultats, le pH de notre échantillon démontre que le milieu de la suspension de boue reste basique dans les premières heures d'agitation, ce milieu devient faiblement acide plutôt neutre à 24heures d'agitation, alors que ce pH commence à augmenter après 48 heures d'agitation et il, devient basique.

On remarque que le pH des boues se situe entre 6 et 8, ce qui explique que le type de la boue étudiée est une boue sèche [52]

➤ **Nitrates, nitrites et phosphates**

Le phosphore et l'azote sont des éléments constitutifs essentiels de la matière organique. Ils se caractérisent par la grande solubilité dans l'eau, les résultats trouvés sont reportés dans le **tableau 8**

**Tableau 8.** Présente les concentrations de nitrates. Nitrites et phosphates des lixiviées

<b>Durée d'agitation (heure)</b>	<b>24</b>	<b>48</b>
<b>Teneur en Nitrates (mg/l)</b>	08	0
<b>Teneur en Nitrites (mg/l)</b>	00	00
<b>Teneur en Phosphates (mg/l)</b>	35	35,9

L'azote pouvant subir différentes transformations au cours d'un traitement biologique (passage de la forme ammoniacale à la forme nitreuse puis nitrique et retour à la forme gazeuse) et chacun des composés formés au cours de ces différentes étapes ayant un poids moléculaire différent, le suivi de son évolution au cours du traitement ne peut être effectué qu'à partir d'une base commune : le nombre de moles d'azote ou les masses d'azote mises en jeu. C'est la raison pour laquelle les charges et les concentrations de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  et  $\text{NO}_3^-$  sont exprimées en unités de Azote N (d'où la formulation N-N...).

**a- Les nitrites**

Les résultats obtenus montrent que la teneur en nitrites est nulle, quelque soit le temps d'agitation, les nitrites proviennent soit d'une oxydation d'ammoniac non finie, soit d'un nitrate incomplet, soit d'une carence en nitrates sous l'influence de l'élimination de l'azote. Les valeurs trouvées sont justifiées par les transformations biologiques, la nitrification consiste à transformer, par oxydation enzymatique, l'ammonium en nitrites, puis en nitrates, sous l'influence de bactéries spécifiques. Une boue contenant du nitrite est une substance suspectée, car ces substances sont souvent associées à une dégradation microbiologique. Cependant, la concentration moyenne en nitrites reste inférieure aux normes internationales de l'OMS (1989) (<1 mg / L). [53]

**b- Les nitrates**

Les résultats montrent qu'il y a une réduction significative des teneurs en nitrates dans les boues étudiées avec le temps d'agitation, ces valeurs obtenues sont de l'ordre de 8 et 0. Cette diminution peut être s'expliquer par le processus de dénaturation, accompagné d'une augmentation de la teneur en ammonium, sous l'effet de l'élimination des bactéries. À la fin

du métabolisme, nous aurons du gaz azote, les nitrates ont une propriété de filtration par perte, et cette perte a un double défaut en créant des problèmes de pollution pour les eaux souterraines et en ne servant pas à la fertilisation du sol.

### c- Phosphates

Les phosphates jouent un rôle régulateur, il favorise tous les phénomènes liés à la fertilité. D'après les résultats présentés dans le tableau, on remarque que le phosphate représente une proportion importante, les concentrations enregistrées après 24h et 48 h d'agitation sont proches, elles sont de l'ordre de 35 et 35,9mg/l.

D'autre part, pour traiter les phosphates, les bactéries doivent d'abord être privées d'oxygène. Certaines d'entre elles (notamment les Acinetobacter) libèrent leurs phosphates intracellulaires dans l'eau sous forme de granulats phosphoriques. Lorsqu'on réoxygène le milieu, ces bactéries réabsorbent et stockent le phosphate présent dans l'eau en quantité supérieure à leurs besoins métaboliques : on dit qu'elles sont déphosphatantes. Le surplus qu'elles stockent leur servira à survivre momentanément dans un milieu privé d'oxygène. Le phosphate se retrouve donc piégé dans les boues activées. [54]

#### ➤ Analyse des métaux lourds

Les résultats des analyses des métaux lourds sont regroupés dans le **tableau 9**

**Tableau 9.** Résultats des analyses des métaux lourds de la boue lixiviée

Métaux	Chrome	Nickel	cuivre	cadmium	Plomb	zinc	Cobalt	mercure
(mg/kg)	76,9	11,81	/	0,07	//	96,97	38,55	//

Les résultats enregistrés dans le tableau 9 montrent que les concentrations moyennes des métaux lourds dangereux à savoir : le zinc le cadmium le chrome ne sont pas importantes car il y'a des faibles concentrations par rapport aux normes **tableau 10**.

**Tableau10** : les valeurs limites maximales des paramètres de normes de rejet

Paramètres mesurée au laboratoire	Norme NFU 44-041 (mg/kg)
<b>Cadmium (Cd)</b>	20
<b>Chrome (Cr)</b>	1000
<b>Cuivre (Cu)</b>	1000
<b>Nickel (Ni)</b>	200
<b>Zinc (Zi)</b>	3000
<b>Mercure (Hg)</b>	10
<b>Plomb (Pb)</b>	800
<b>Chrome+Cuivre+Nickel+Zinc</b>	4000

Mais quand on parle des métaux qui disent que malgré la petite concentration mais ils sont très toxique par exemple le cadmium est le plus redouté car très toxique. Considéré comme assez mobile et assez facilement bio-disponible, il risquerait soit de passer dans la chaîne alimentaire par l'intermédiaire des végétaux, soit de migrer en profondeur pour aller contaminer les nappes phréatiques.

. Le Cd par exemple est stocké dans le foie, les os, mais le rein est l'organe le plus sensible au Cd Sa toxicité est connue depuis les années 50. Très toxique sous toutes ses formes (métal, vapeur, sels, composés organiques). [55]

#### ➤ Sulfate

Les mesures ont été réalisées sur des solutions préparées par dilution d'une solution mère de sulfates. Nous avons établi la courbe d'étalonnage afin de déterminer le domaine de concentrations pour lequel la loi de Beer-Lambert est vérifiée.

**Tableau 11** . Données expérimentales de la courbe d'étalonnage du sulfate.

<b>Abs</b>	0	0,03	0,1	0,16	0,215	0,26
<b>Concentration (mg/l)</b>	0	3	9	15	21	27

Le coefficient de corrélation du tracé de la courbe d'étalonnage (figure25 et tableau 11) Calculé est  $R^2=0,993$  pour un domaine de concentration [0 –27.],

Après modélisation, la courbe d'étalonnage est linéaire. Celle-ci obéit à la loi de Beer et Lambert. Le calcul de régression donne la droite optimale d'équation :  $Y = 0,010 X$

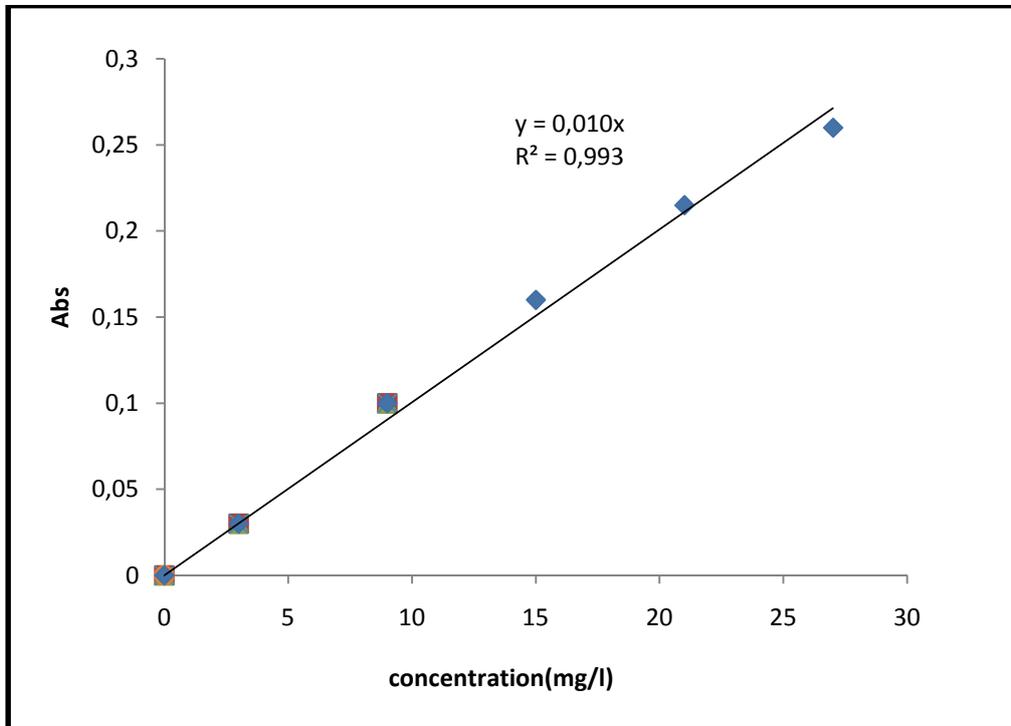


Figure 25 : la courbe étalonnage

Après avoir lu l'absorbance des solutions dilués et par projection sur la courbe d'étalonnage, les résultats obtenus sont résumés dans le **tableau12**

Tableau12. Résultats des sulfates des boues lixiviées

Durée d'agitation (heure)	24	48
Abs	0,24	0,201
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	600	502,5

Les résultats enregistrés dans le tableau montrent que la concentration des sulfates dans la boue pendant 24h et 48h d'agitation sont 600 mg/l, est 502,5 mg/l respectivement ces

valeurs montrent que la boue étudiée riche en sulfates (teneur importante dans la boue de Saida II est bien entendu que cette valeur dépassent les normes 10mg/kg. [56]

### ➤ Chlorure

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les boues, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent considérés comme un indice de pollution des eaux. Les résultats obtenus sont résumés dans le **tableau 13**.

**Tableau 13.** Résultats des chlorures des boues lixiviées

<b>Durée d'agitation (heure)</b>	24	48
<b>Na Cl (mg/l)</b>	731,5	257,95
<b>Cl<sup>-</sup> (mg/l)</b>	674,5	237,85

D'après les résultats enregistrés dans le tableau 8, on remarque que les concentrations en chlorures sont très importantes, elles sont comprises entre (674,5 et 237,85) mg/l ces valeurs représentent une teneur importantes en ions Cl<sup>-</sup> dans la boue, des concentrations dépassent largement la norme de l'OMS et algérienne qui est de 200 mg/l (tableau 14).

**Tableau 14 :** Valeurs limites des paramètres de rejet d'effluents liquides dans un milieu récepteur (Journal officiel de la République Algérienne, 2006)

Paramètres	Unités	Valeurs limites
<b>Température</b>	°C	30
<b>pH</b>	-	6,5 à 8,5
<b>MES</b>		35
<b>Turbidité</b>	mg/l	50
<b>DBO5</b>	UTN	35
<b>DCO</b>	mg/l	120
<b>Azote Kjeldahl</b>	mg/l	30
<b>Phosphates</b>	mg/l	02
<b>Phosphore total</b>	mg/l	10
<b>Cyanures</b>		0,1
<b>Aluminium</b>	mg/l	03
<b>Cadmium</b>	mg/l	0,2
<b>Fer</b>		03
<b>Manganèse</b>	mg/l	01
<b>Mercure total</b>	mg/l	0,01
<b>Nickel total</b>	mg/l	0,5
<b>Plomb total</b>		0,5

<b>Cuivre total</b>	mg/l	0,5
<b>Zinc total</b>	mg/l	03
<b>Huiles et Graisses</b>		20
<b>Hydrocarbures totaux</b>	mg/l	10
<b>Indice Phénols</b>	mg/l	0,3
<b>Fluor et composés</b>		15
<b>Étain total</b>	mg/l	02
<b>Composés organiques chlorés</b>	mg/l	05
<b>Chrome total</b>	mg/l	0,5
<b>(*) Chrome III +</b>		03
<b>(*) Chrome VI +</b>	mg/l	0,1
<b>(*) Solvants organiques</b>	mg/l	20
<b>(*) Chlore actif</b>		1,0
<b>(*) PCB</b>	mg/l	0,001
<b>(*) Détergents</b>	mg/l	2
<b>(*) Tensioactifs anioniques</b>	mg/l	10

### 5.2. Acidité

Le pH mesuré après 30 min de la boue mise en solution est de 7,54, Cette valeur démontre que les boues mises en suspension dans l'eau génèrent un milieu faiblement basique.

### 5.3. Lessivage de la boue

Afin d'étudier le relargage possible des espèces de la boue, nous avons mesuré le pH des boues mises en solution après 24h et 48h. Les résultats obtenus sont résumés dans le **tableau 15**.

**Tableau 15.** Résultats des pH des boues lessivées

<b>Durée d'agitation (heure)</b>	<b>24</b>	<b>48</b>
<b>pH de Boue lessivée</b>	7,10	7,74

Les résultats trouvés montrent que le pH augmente avec le temps de 7,10 à 7,74 alors que la valeur du pH moyen des boues est de l'ordre de 7,42. On constate que le pH varie dans la fourchette des valeurs admises par les normes (6.5-8.5). Il est bien entendu que les valeurs de pH de la boue ne dépassent pas les normes algériennes.

#### 5.4 la siccité (%S)

Les boues sont constituées d'eau et de matières sèches, la siccité représente le pourcentage massique de matière sèche, Les résultats des analyses sont résumés dans le **tableau 16**.

**Tableau 16.** Résultats des de la siccité (%)

Température de séchage (°C)	105°C	
Durée (heure)	24	48
Siccité (%S)	93	91,5

Les résultats obtenus montrent que la siccité diminue légèrement avec le temps, le taux de la matière sèche est de l'ordre de 91,5 et 93% avec un taux d'humidité entre 8,5 et 7%.

Cependant, une boue avec une siccité supérieure à 85%- est une boue sèche. [57], selon ce classement, la boue étudiée est sèches, par contre la présence d'une quantité importante de l'eau signifie que la boue contient une grande majorité des agents pathogènes qui sont jugés représentatifs du risque à estimer: les Entérovirus (virus), Salmonelles (bactéries) et œufs d'Helminthes viables (parasites). [57]

#### 5.5. La quantité de matière et sa répartition (MVS)

Les résultats obtenus sont résumés dans le **tableau 17**

**Tableau 17.** Résultats des matières volatiles sèches et des matières minérales

masse de boue après séchage à 105 °c (P <sub>0</sub> )	La masse creuset vide	La masse des boues + creuset après calcination 550°C (P <sub>2</sub> )	La masse des boues + creuset avant calcination (P <sub>1</sub> )	%S	% MVS	% MM
1,86g	64,68	65,59g	66,45g	93	46,23	46,77

Le résidu de l'analyse de la matière est porté à 550°C pendant 02 heures.

Ceci permet d'évaluer de façon approximative le taux de matière organique de la boue ainsi que la partie minérale qui était présente dans l'échantillon. Selon les résultats, nous notons que cette boue riche en matières minérales et organique avec des teneurs de 46,77% et 46,23% respectivement.

Les boues de purification contiennent des micro-organismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les procédés d'épuration. Seule, une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes,... etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux

### **Conclusion**

D'après l'analyse de tous les paramètres mesurés et contrôlés et le calcul de l'efficacité de la purification de la station d'épuration, il a été montré que les valeurs de qualité physique et chimique du verger d'oued Saida indiquaient que la qualité des boues était affectée par les activités humaines. Cela contribue à la détérioration de la qualité des boues dans les bassins versants par les désinfectants de déchets industriels, en particulier les huiles industrielles, les médicaments, les peintures et les entreprises agricoles ... En plus des engrais, les pesticides utilisés en agriculture ont causé une grande pollution dans les eaux du bassin de oued Saida d'errebehia,

Ce chapitre nous a permis non seulement de faire un point sur les différents protocoles d'analyses, mais il nous a permis aussi de mettre la théorie en pratique, en vue d'une meilleure quantification des différents micropolluants présents dans les boues issues des stations de traitement des eaux usées.

*Chapitre V*

**Chapitre V**

*Analyse de cycle de vie des boues*

**Analyse de cycle de vie des boues**

*urbaine de la commune de Saida*

**urbaine de la commune de Saida**

## **1. Introduction [37]**

Les activités domestiques et industrielles sont à l'origine de la production d'eaux usées. Afin de protéger la santé et la salubrité publique ainsi que l'environnement, lors du traitement des eaux usées en station d'épuration, des déchets sont produits comme les boues d'épuration, les graisses, les sables. Les boues représentent la plus grande part des résidus produits et sont constituées d'un mélange d'eau, de matières organiques, de matières minérales et de microorganismes. Ces boues sont considérées comme étant des déchets, ainsi leur élimination est réglementée. Avant d'être éliminées, ces boues sont traitées sur le site même de la station d'épuration des eaux usées (STEP). Elles peuvent suivre différentes voies de traitement adaptées aux conditions socio-économiques du lieu d'implantation de la STEP.

A l'heure actuelle, l'évaluation de la qualité environnementale d'une STEP se limite à la qualité de l'eau rejetée dans le milieu récepteur. Les transferts de pollutions vers d'autres catégories d'impacts ou vers la gestion de fin de vie des déchets comme les boues ne sont pas pris en compte.

Dans ce cadre, cette étude vise à évaluer les impacts des filières de traitement des eaux usées et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées sur la qualité environnementale des STEP, par l'intermédiaire d'un outil Analyse du Cycle de Vie (ACV) en utilisant le principe des bilans.

## **2. La réalisation d'une Analyse Cycle de Vie**

L'ACV comporte quatre étapes que sont :

- Objectifs et champ d'étude de l'ACV
- Réalisation de l'inventaire du cycle de vie
- Evaluation de l'impact du cycle de vie
- Interprétation de l'Analyse Cycle de Vie.

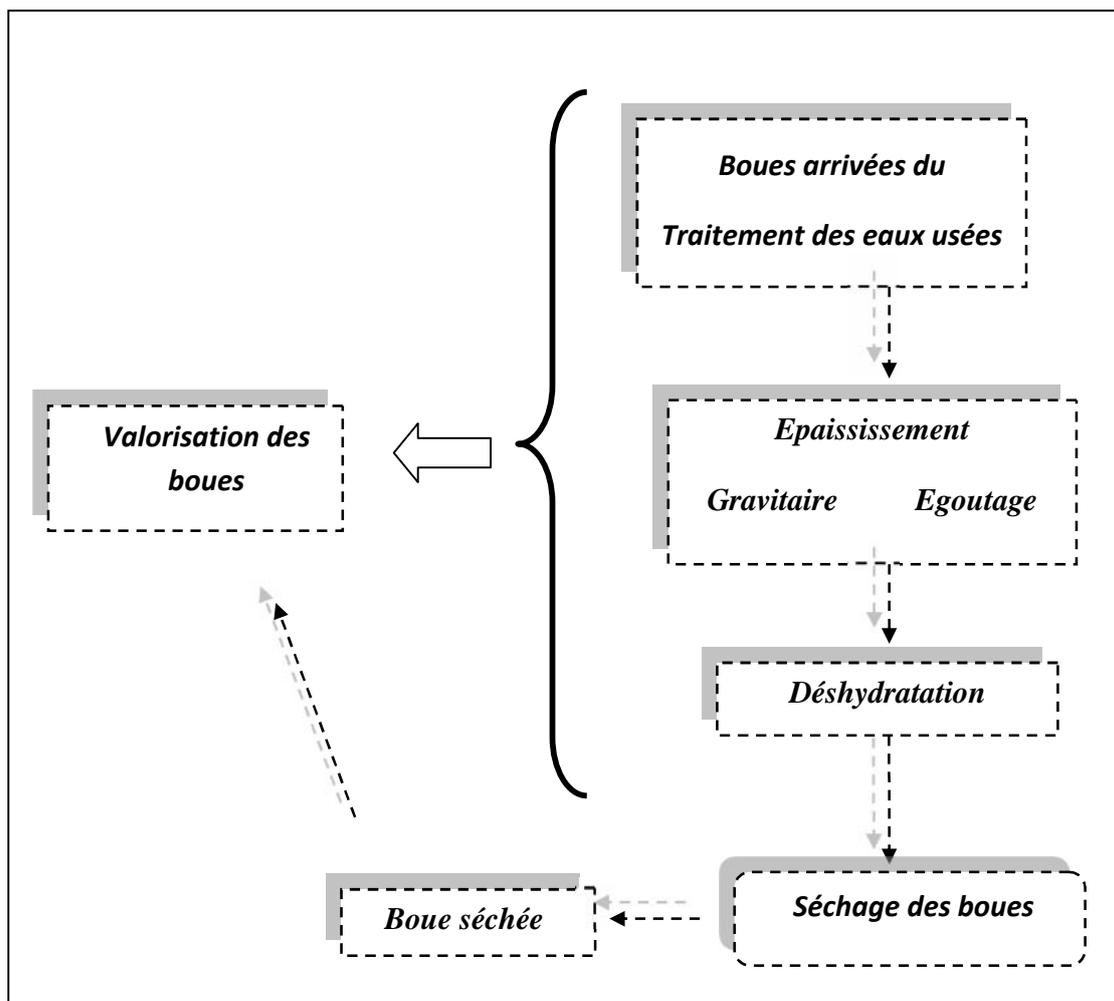
### **2.1. Objectifs et champ d'étude de l'ACV**

La présente étude s'inscrit dans le cadre de l'analyse environnementale de la filière du traitement des eaux usées et production des boues au sein de la station du traitement des eaux usées de Rebahia wilaya de Saida. Elle repose sur une analyse du cycle de vie réalisée sur le système du traitement des eaux usées selon un référentiel considérant les boues comme produit final de la filière du traitement.

- a) *La définition des objectifs* conditionne à la fois l'ensemble des calculs et les hypothèses de départ, cette étape a pour but de définir la problématique et les destinataires de l'étude. Elle vise à estimer globalement l'empreinte environnementale d'une unité du traitement des eaux usées. Elle envisage d'évaluer le « coût environnemental » de l'ensemble des phases du cycle anthropique des boues de manière à mesurer l'impact global induit par la production d'une tonne des boues sur l'environnement, réalisée dans un cadre académique, cette étude répond à des motivations purement scientifiques et informatives, et non à des fins commerciales. ,
- b) *Le champ de l'étude* permet de définir l'unité fonctionnelle, les frontières du système et les données à collecter. La fonction de notre filière boue est de pouvoir traiter et éliminer les boues issues du traitement des eaux usées.

➤ *L'unité fonctionnelle* : principalement utilisée lors de l'étude des filières de traitement et de valorisation des boues correspond à la tonne de matières sèches (MS) [37]. Pour remplir notre fonction, notre choix d'unité fonctionnelle s'est porté sur la tonne de matières sèches (MS) de boue traitée et évacuée vers une filière de valorisation sur une année et pour une STEP d'une capacité de 150 000 Equivalent/habitant.

➤ *Les frontières du système* : Les frontières du système permettent de définir le périmètre de notre étude, les procédés mis en œuvre et qui seront pris en compte lors de l'inventaire du cycle de vie. Le périmètre du système « boue » étudié commence dès le traitement des eaux usées et la sortie de la filière « eau » depuis l'épaississement des boues jusqu'à sa valorisation finale. Les frontières du système de l'étude sont présentées dans la **Figure 26**.



**Figure 26:** Frontière du système étudié

## 2.2. Réalisation de l'inventaire du cycle de vie (ICV)

L'analyse de l'inventaire est l'étape la plus longue d'une étude ACV des boues, impliquant la compilation et la quantification des entrants et des sortants pour un système donné au cours de son cycle de vie, c'est un recensement des flux, la qualité des résultats de l'ACV est assurée par la qualité des données de l'inventaire. Cette phase consiste à réaliser les bilans des flux entrant et sortant du système étudié. Nous avons collecté les données au niveau de la STEP de Saida pour les années 2017-2018, bien que de perforer les caractérisations des boues de la commune de Saida ces cinq dernières années.

Le scénario étudié a été découpé en quatre modules :

- Caractérisation des eaux usées entrants et traitées au niveau de la station d'épuration,
- Caractérisation des boues produites,
- Consommation électrique,
- Transports des boues vers le centre de stockage

**2.2.1. Caractérisation des eaux usées entrants et traitées au niveau de la STEP**

Les paramètres analytiques considérés dans cette étude sont le volume d'eau à traiter, les matières en suspension, la demande biologique en oxygène et la demande chimique en oxygène. Les résultats des différentes analyses avant et après traitement sont présentés dans les **tableaux 18 - 21** sur la période 2017 à 2018.

**Tableau 18. Résultats des paramètres analytiques des eaux usées à l'entrée de la STEP, année 2017**

MOIS	Volume m <sup>3</sup> /mois	MES		DBO <sub>5</sub>		DCO	
		mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg
Janvier	7578	168,58	1277,4993	249,50	1890,711	439,6	3331,288
Février	6858	197,75	1356,1695	319,5	2191,131	536,60	3680002,8
Mars	7645	236,42	1807,4309	295,50	2259,0975	504,80	3859,196
Avril	8550	250,67	2143,2285	362,25	3097,2375	515,2	4404,96
Mai	10486	236,66	2481,6167	291	3051,426	559,75	5869,5385
Juin	10944	149,15	1632,2976	216,67	2371,2364	423,25	4632,048
Juillet	11037	168	1854,216	257,83	2845,6697	310	3421,47
Aout	11076	212,50	2353,65	231	2558,556	403	4463,628
Septembre	9661	231,22	2233,816	344,56	3328,7941	433,75	4190,4587
Octobre	9758	215,97	2107,4352	314,75	3071,3305	905,8	8838,796
Novembre	9550	327,51	3127,772	257	2454,35	582,25	5560,4875
Décembre	9150	250	2287,5	253	2314,95	575,81	5268,6615
<b>Totale</b>	<b>78421m<sup>3</sup>/an</b>	<b>2644,43</b>	<b>21535,1965</b>	<b>3392,56</b>	<b>31434,67</b>	<b>6189,1</b>	<b>3733843,32</b>

**Tableau 19 : Résultats des paramètres analytiques des eaux usées à la sortie de la STEP, année 2017**

MOIS	Volume m <sup>3</sup> /mois	MES		DBO <sub>5</sub>		DCO	
		mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg
Janvier	5225	13,17	68,81325	16,88	88,198	15,9	83,0775
Février	4662	19,42	90,53604	18,38	85,68756	30,20	140,7924
Mars	5282	15,88	83,87816	16,72	88,31504	21,72	114,7250
Avril	6219	10,86	67,53834	15,75	97,94925	22,38	139,1812
Mai	8510	16,12	137,1812	16,36	139,2236	24,25	206,3675
Juin	8939	14,25	127,38075	19,67	175,83013	34,98	312,6862
Juillet	8678	19	164,882	24,83	215,4747	24,50	212,611
Aout	8962	15,6	139,8072	21,6	193,5792	23,45	210,1589
Septembre	7807	11,29	88,14103	22,56	176,1259	16,35	127,6444
Octobre	7849	16,85	132,25565	25,08	196,8529	20	156,98
Novembre	7865	21,29	167,44585	12,33	96,97545	11,50	90,4475
Décembre	8113	17,24	139,9492	14,38	116,6649	12	97,356
<b>Totale</b>	<b>88111m<sup>3</sup>/an</b>	<b>180,97</b>	<b>1407,809</b>	<b>224,54</b>	<b>1474,024</b>	<b>257,23</b>	<b>1468,73</b>

Afin de déterminer le degré de pollution des rejets, il faut connaître la qualité des effluents à traiter. Pour pouvoir apprécier cette qualité, il faut suivre l'évolution des paramètres physico chimiques. Les valeurs considérées sont obtenues à partir des données fournies par la STEP de la ville de Saida,

D'après les résultats des paramètres étudiés période (2017-2018), les effluents traités ont une charge polluante très élevée. On constate que l'eau à traiter à l'entrée est une eau turbide, ceci est justifié par l'augmentation des teneurs en MES, Ces teneurs diminuent après traitement, elles se situent entre 280 et 583 mg/l à l'entrée et entre 4 à 30 mg/L, à la sortie avec un bon rendement pour les eaux traitées.

D'après les tableaux, on constate que l'hiver est le plus chargé en pollution carbonée (DCO, DBO<sub>5</sub>, MES) ce qui confirme que les eaux pluviales sont à l'origine de cette pollution. Le rendement épuratoire de la station en MES dépasse les 90%, ceci est du à un bon prétraitement et une bonne décantation.

**Tableau 20: Résultats des paramètres analytiques des eaux usées à l'entrée de la STEP, année 2018**

MOIS	Volume m <sup>3</sup> /mois	MES		DBO <sub>5</sub>		DCO	
		mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg
Janvier	9814	244	2394,616	387	3798,018	688	6752,032
Février	8614	272	2343,008	307	2644,498	409	3523,126
Mars	6495	188	1221,436	337	2188,815	382	2481,090
Avril	7128	393	2801,304	311	2216,808	466	3321,648
Mai	4817	163	785,171	228	1098,276	348	1676,316
Juin	5236	243	1272,348	241	1261,876	326	1706,936
Juillet	6875	266	1828,750	241	1656,875	380	2612,500
Aout	6861	230	1578,030	278	1907,358	200	1372,200
Septembre	10012	235	2352,820	290	2903,480	535	5356,420
Octobre	10542	220	2319,240	311	3278,562	523	5513,466
Novembre	8722	169	1474,018	263	2293,886	468	4081,896
Décembre	9814	244	239,616	387	3798,018	688	6752,032
<b>Total</b>	<b>94930 m<sup>3</sup>/an</b>	<b>2852</b>	<b>270740,360</b>	<b>3581</b>	<b>339944,330</b>	<b>5413</b>	<b>513856,090</b>

L'un des paramètres globaux qui caractérise la pollution d'une eau est la demande chimique en oxygène DCO, qui est une indication sur les quantités de substances organiques chimiquement oxydables, présentes dans l'eau. Les valeurs enregistrées au cours de cette étude révèlent une réduction importante des DCO au cours du traitement. Pour la STEP de saida elrebehia, elles se situent entre 310 et 905,8mg/l à l'entrée et entre 12 à 34,98 mg/L, à la sortie avec un bon rendement pour les eaux traitées

On remarque aussi que les valeurs de la DCO sont toujours plus élevées que celle de la DBO<sub>5</sub>, car de nombreuses substances organiques peuvent être oxydées chimiquement mais ne peuvent s'oxyder biologiquement. La DCO est utilisée pour tester la force des eaux usées qui ne sont pas biodégradables, ou qui renferment des composants qui freinent l'activité des microorganismes

Le rapport DCO / DBO<sub>5</sub> témoigne le caractère biodégradable de la pollution carbonée, il donne une indication sur l'origine de la pollution organique, plus il se rapproche de 1, plus le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> indique la biodégradabilité d'un rejet d'eaux usées, la pollution carbonée diminue (entrée/sortie), ceci est principalement du à la nature des rejets domestiques biodégradables et

## Chapitre V      Analyse de cycle de vie des boues urbaine de la commune de Saida

à la capacité de la station à éliminer cette pollution, ce qui prouve le bon fonctionnement des systèmes d'aération.

**Tableau21.** Résultats des paramètres analytiques des eaux usées à la sortie de la STEP, année 2018

MOIS	Volume m <sup>3</sup> /mois	MES		DBO5		DCO	
		mg/l	Kg	mg/l	Kg	mg/l	Kg
Janvier	8771	15	131,565	21	184,191	43	377,153
Février	7588	26	197,288	27	204,876	60	455,280
Mars	7873	21	165,543	20	157,450	29	228,317
Avril	5933	21	124,593	19	112,727	18	106,794
Mai	4170	22	91,740	10	41,700	15	62,550
Juin	2535	26	65,910	18	45,630	15	38,025
Juillet	5078	26	132,028	19	96,482	23	116,794
Aout	4840	26	125,840	18	87,120	25	121,000
Septembre	6421	26	166,946	19	121,999	25	160,525
Octobre	8787	09	79,083	21	184,527	14	123,018
Novembre	7654	12	91,848	26	199,004	23	176,042
Décembre	8771	15	131,565	21	184191	43	377,153
<b>Total</b>	<b>78421m<sup>3</sup>/an</b>	<b>245</b>	<b>19213,145</b>	<b>239</b>	<b>18742,619</b>	<b>333</b>	<b>26114,193</b>

D'autre part, les résultats des analyses effectuées sur les eaux avant traitement période 2017- 2018, montrent que la charge polluante est très élevée en hiver par rapport l'été, cela est du probablement à la pollution charriée par les eaux pluviales.

**Tableau 22.** Normes internationales de rejets [58]

Caractéristiques	Normes utilisées (OMS)
pH	6,5-8,5
DBO <sub>5</sub>	<30 mg/l
DCO	<90 mg/l
MES	<30 mg/l
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<0,5 mg/l
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	1 mg/l
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<1 mg/l
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<2 mg/l
Température	<30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

Les valeurs constatées dans les tableaux restent inférieures aux normes Algérienne et OMS relatives aux rejets. La variation des valeurs constatées est influencée par la variation des propriétés des effluents entrants dans la station du traitement.

**Tableau 23.** Les normes de rejets des effluents liquides industriels selon le JORAD [58].

Paramètres	Unités	Valeurs limites
Température	°C	30
PH	-	6.5-8.5
DBO5	mg/l	30
DCO	mg/l	120
MES	mg/l	35
Azote total	mg/l	30
Phosphor total	mg/l	10
Furfural	mg/l	50
Hydrocarbures	mg/l	10
Plomb	mg/l	0.5
Fer	mg/l	3
Mercuré	mg/l	0.01
Cuivre	mg/l	0.5
Plomb	mg/l	0.5
Zinc	mg/l	3

Lorsque les eaux usées sont épurées, elles forment ce qu'on appelle des boues, c'est-à-dire les déchets présents dans les eaux usées, que nous examinerons.

### **2.2.2. Caractérisation des boues produites**

La gestion des boues est orientée de plus en plus vers la valorisation en respectant les critères techniques, environnementaux et économiques. En fonction des caractéristiques des boues, la valorisation peut intéresser plusieurs domaines.

#### **a) Détermination de la composition chimique des boues**

La composition chimique de la boue utilisée dans notre travail est donnée dans le **tableau 24**, depuis l'année 2014 jusqu'à l'année 2018.

Tableau 24. Composition chimique de la boue de la STEP d’Erabahia -Saida

Année \ Composant (%)	2014 [59]	2015 [60]	2016 [61]	2017 [62]	2018
SiO <sub>2</sub>	16,01	31,63	34,26	8,51	15,48
Na <sub>2</sub> O	0,475			0,49	0,314
MgO	4,68	1,24	1,52	1,27	1,965
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,00	6,35	5,88	3,51	4,839
SO <sub>3</sub>				6,31	4,069
Cl				0,18	0,113
K <sub>2</sub> O	2,188	1,64	1,61	0,91	1,026
CaO	21,00	23,67	24,05	14,67	11,449
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,55	6,12	4,36	3,68	2,234
PAF	43,10	28,35	54,31	67,72	58,510

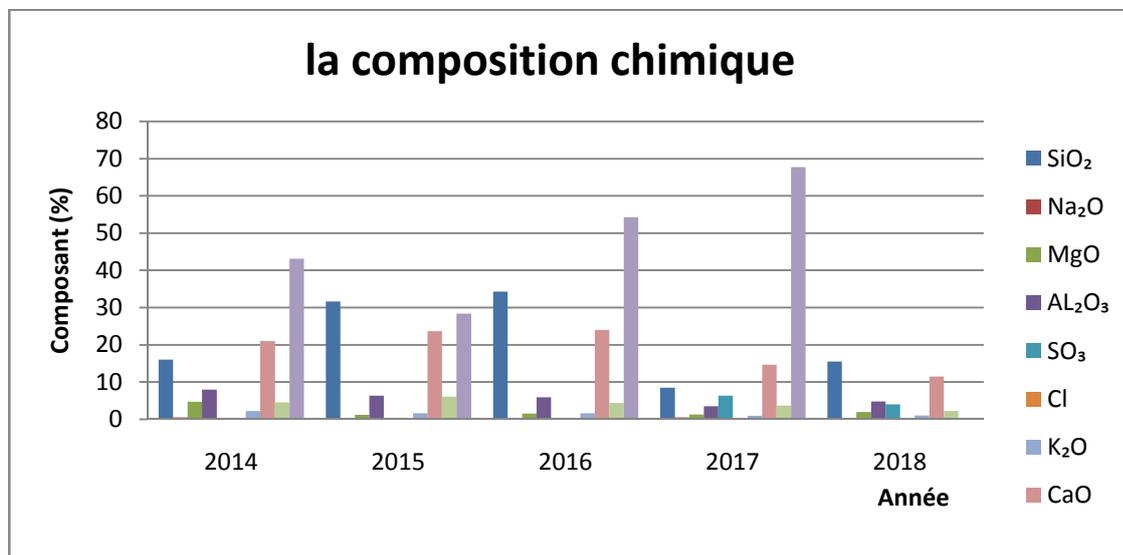
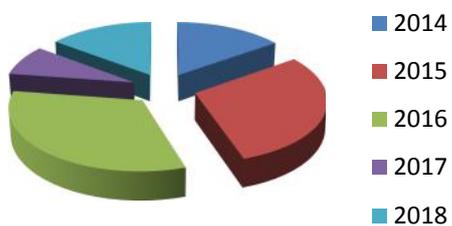
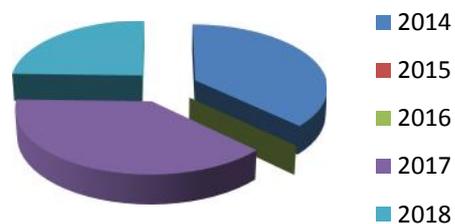


Figure 27. Composition chimique au cours de la période 2014-2018 de la boue de la STEP d’Erabahia- Saida.

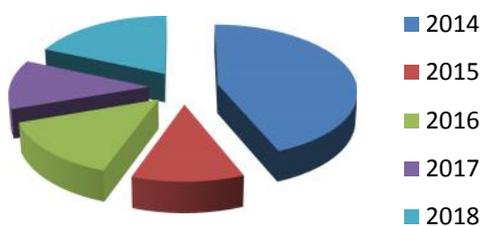
**SiO<sub>2</sub>**



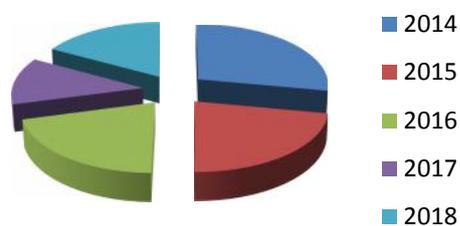
**Na<sub>2</sub>O**



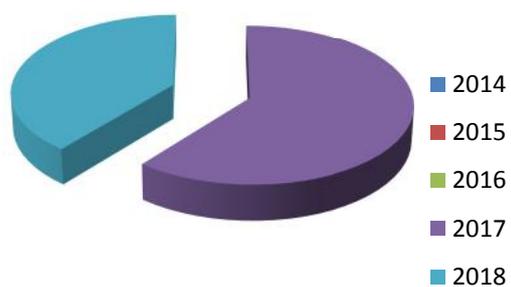
**MgO**



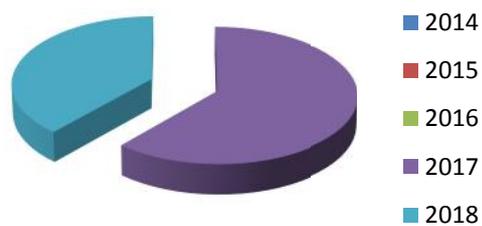
**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

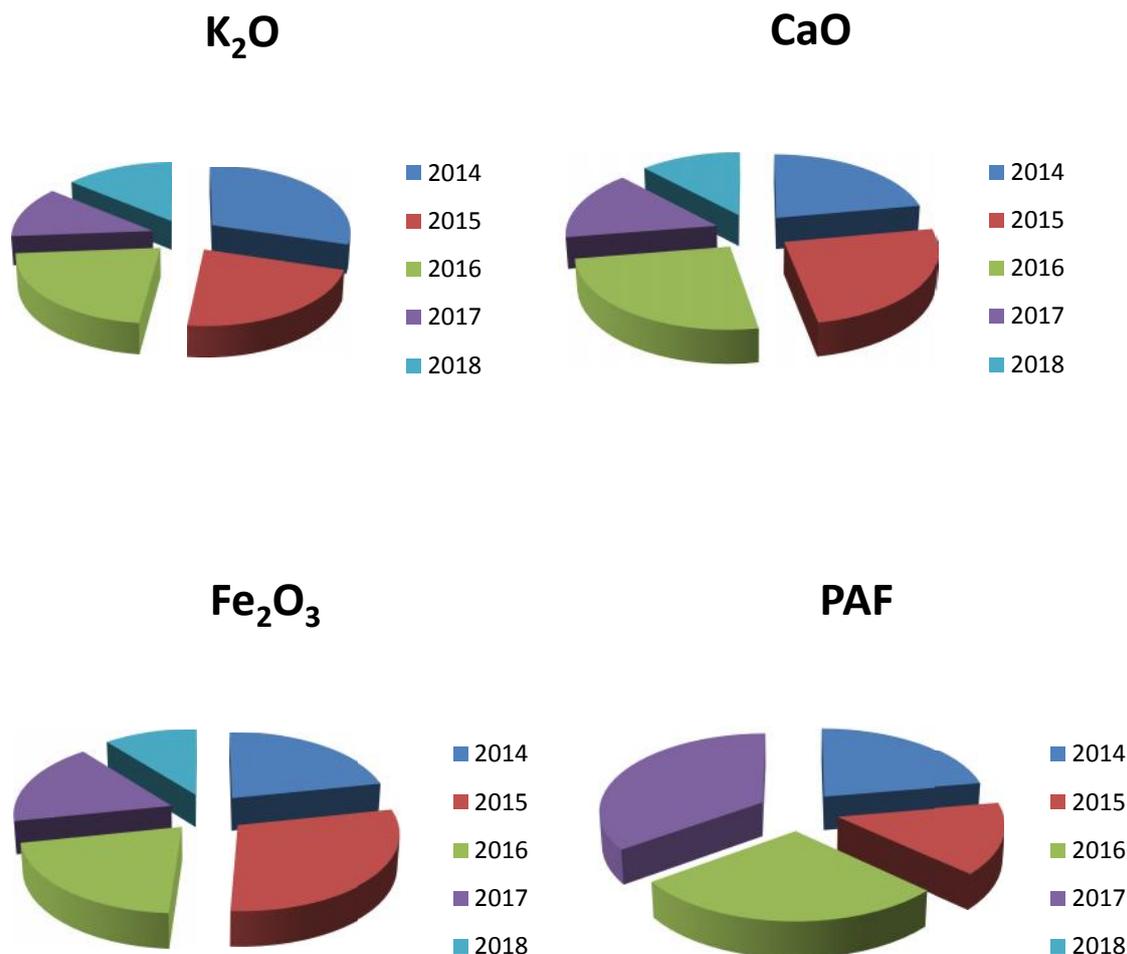


**SO<sub>3</sub>**



**Cl**





**Figure 28.** Concentration de la composition chimique de la boue de la STEP d'Erabahia

D'après les figures 27 et 28, nous remarquons que les boues présentent une teneur élevée en perte au feu (PAF), ce qui prouve que c'est la nature organique de la boue qui prédomine. La quantité de la chaux  $CaO$  est plus importante par rapport aux autres oxydes. Cette chaux peut être sous forme de carbonates vue le taux de perte au feu.

Nous constatons que la boue contient de la silice  $SiO_2$ , du trioxyde de soufre  $SO_3$ , de l'alumine  $Al_2O_3$  ainsi que l'oxyde ferrique  $Fe_2O_3$ ,

D'autre part, nous notons aussi la présence des alcalis mais avec des quantités négligeables, même constatation est faite pour les halogènes. Nous pouvons signaler aussi que la boue possède une fraction minérale intéressante.

**b) Analyse des métaux lourds**

Le bulletin des analyses des métaux lourds nous a été procuré par le laboratoire de contrôle de la qualité de la STEP d’Errebahia [63], sauf que pour l’année 2018, nous avons effectuée les analyses au niveau du laboratoire de recherche LCIE de l’université de Tlemcen, les différentes concentrations des métaux lourds présents dans la boue sont représentées dans le **Tableau25**.

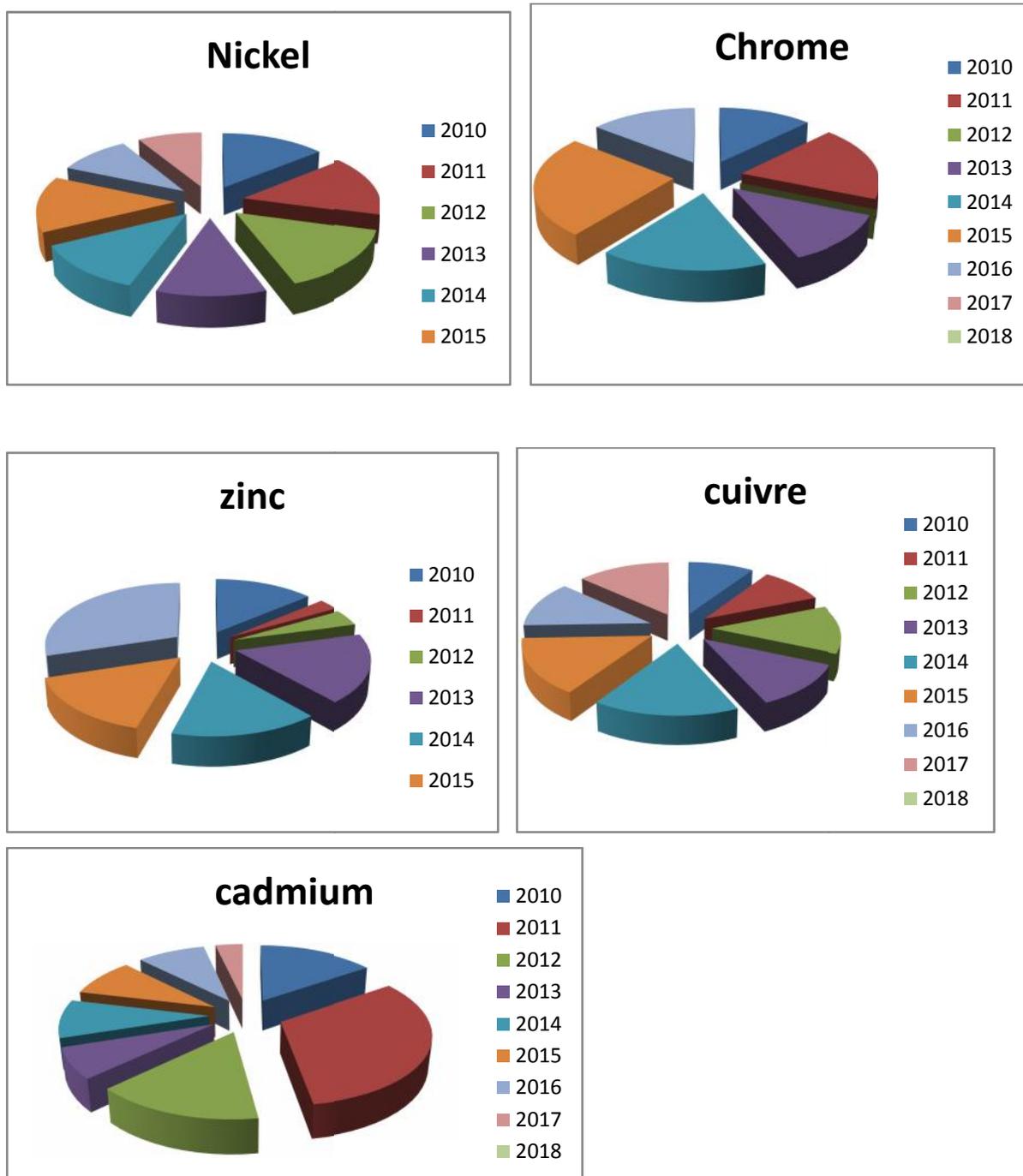
**Tableau 25.** Bulletin des analyses des métaux lourds de la boue  
De la STEP d’Erabahia de Saida. [63]

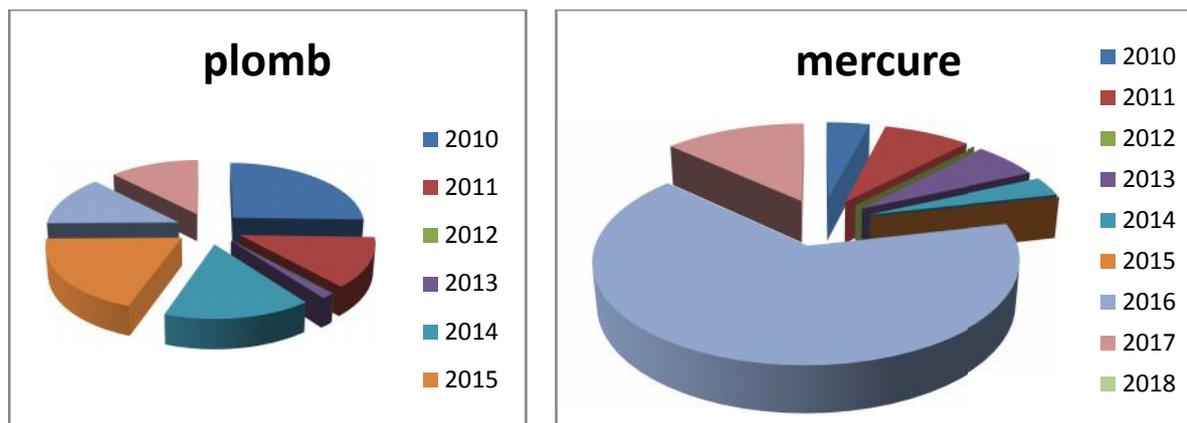
<b>Année</b> <b>Métaux</b> <b>(mg/kg)</b>	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
<b>Chrome</b>	18,43	27,66		18	25	37	21		76,9
<b>Nickel</b>	24,33	26,33	25,93	19,3	21	24	17	15	11,81
<b>cuivre</b>	82,56	83	109,46	103	142	131	107	117	
<b>cadmium</b>	1,73	3,66	1,73	0,8	01	01	01	0,4	0,07
<b>plomb</b>	180	90		10,1	111	137	91	87	
<b>zinc</b>	494,23	101,66	150,46	637	565	568	1074		96,97
<b>Cobalt</b>									38,55
<b>mercure</b>	0,182	0,37		0,281	0,1496		03	0,6	

Nous avons effectué une enquête au niveau de la station d’épuration de la ville de Saida où nous avons collecté quelques valeurs disponibles sur le taux des métaux lourds dans les boues résiduaire de cette station de l’année 2010 jusqu’à l’année 2018, d’autres valeurs ont été regroupées de différentes études effectuées à l’université de Saida [63]. Ces résultats sont exposés dans la figure 29.

En comparant les résultats de 2018 avec ceux années précédentes, nous remarquons que cette année, les concentrations de chrome étaient plus élevées que les concentrations précédentes, tout comme le Zinc et Cadmium et de Nickel plus faibles que les précédentes pour que Les concentrations en métaux lourds illustrées dans la figure 29 montrent que les boues sont relativement hétérogènes dans le temps mais conformément aux normes algériennes de rejet. Selon les résultats représentés dans la figure ci dessus, les valeurs dans les années 2010-2018 n’ont jamais dépassé les normes (.Tableau 10)

Nous remarquons que le taux du Zinc est le plus élevé quelque soit l'année de prélèvement. Cependant, nous constatons un taux plus bas de cadmium qui serait probablement associé aux oxydes amorphes tels que ceux du fer mais dont l'adsorption sur la boue est régie par la présence du calcium avec lequel il est en compétition [64] le fer est présent sous forme oxyde dans les boues vu la composition chimique effectuée sur la boue prélevée et d'autres travaux ultérieurs [62, 65].





**Figure 29.** Concentration des métaux lourds de la boue de la STEP d'Erabahia

Dans la figure 29, nous exposons le taux des métaux lourds prédominants dans la boue séparément et selon les données disponibles. Les résultats des analyses de la boue sont conformes suivant le tableau des normes.

Les boues contiennent généralement des concentrations en plomb assez significatives. Dans le sol, le plomb est adsorbé sous forme d'hydroxydes et de carbonates [66].

### c) Lessivage de la boue d'épuration

Afin d'étudier le relargage possible d'éléments dans le milieu des boues, nous avons mesuré le pH des boues mises en solution. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant

**Tableau 26.** pH du lessivage des boues

Année	pH de la Boue lessivées		
	½(heurs)	24(heurs)	48(heurs)
2014 [59]	7,64	7,58	7,5
2015 [60]	7,06	7,68	7,85
2016 [61]	7,58	7,5	7,68
2017 [62]	7	6,2	6,5
2018	7,54	7.10	7.74

Selon ces résultats, le pH de notre échantillon démontre que la suspension de boue reste basique dans les années 2014, 2015, 2016 et 2018 pour toutes les heures d'agitation, pour l'année 2017, Il devient neutre dans les premières heures d'agitation. Ce pH commence à diminuer après une durée de 24 heures. Le pH diminue est devient faiblement acide.

## d) Caractérisation des boues épaissies

La plupart des circuits de traitement des boues commencent par une étape d'épaississement, qui permet d'améliorer le rendement de la digestion (si elle est prévue), en plus de réduire les coûts d'investissement, de stabilisation et de déshydratation, de diminuer le volume des boues à disposer, ainsi que de favoriser l'économie des systèmes de déshydratation. Différentes techniques sont employées : la décantation ou l'épaississement gravitaire. Les **tableaux 27 et 28** ci-dessous représentent les caractéristiques des boues épaissies durant l'année 2017 et 2018.

**Tableau 27.** caractérisation des boues épaissies 2018

	2018			
Mois	Volume(M <sup>3</sup> )[63]	Siccité moyenne(%)	Siccité moyenne ( g/l)	Masse (Tonne/Ms)
Janvier	10,50	69	690	7,245
Février	11,20	90	900	10,08
Mars	9,5	51	510	63,722
Avril	15	73	730	10,95
Mai	32	75	750	24
Juin	40	77	770	30,8
Juillet	38	96	960	36,48
Aout	48	94	940	45,120
Septembre	40	82	820	32,8
Octobre	57	91	910	51,87
Novembre	22,5	66	660	14,85
Décembre	31.5	61	610	19,215
<b>Total</b>	355,2	925	9250	347,132
<b>Moyenne</b>	29,6	77,083	770,83	28,921

Le bulletin des analyses de caractérisation des boues épaissies nous a été procuré par le laboratoire de contrôle de la qualité de la STEP d'Errebahia depuis l'année 2017 et 2018. D'après les résultats du **tableau 27**, nous notons que la valeur de la siccité moyenne mesurée est de valeur moyenne de 96% ( en mois de Juillet) et de valeur extrême variant de 51 % (en mois de mars) comme valeur minimale et 96% comme valeur maximale, on constate que la

## Chapitre V      Analyse de cycle de vie des boues urbaine de la commune de Saida

siccité pendant l'hiver est inférieurs par rapports aux autres saisons, c'est-à-dire que les boues / sont mouillées par la pluie et l'eau froide .

Contrairement à l'été, la valeur de la siccité est importante et maximale ceci est expliqué par la température élevée et l'absence d'eau de pluie, ce qui a une incidence négative sur la valeur.

**Tableau 28.** Caractérisation des boues épaissies 2017[63]

	<b>2017</b>			
<b>Mois</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>) [64]</b>	<b>Siccité moyenne(%)</b>	<b>Siccité moyenne ( g/l)</b>	<b>Masse (Tonne/Ms)</b>
<b>Janvier</b>	21	49	490	10,290
<b>Février</b>	53	69	690	36 ,570
<b>Mars</b>	127	66	660	83,820
<b>Avril</b>	72	47	470	33,840
<b>Mai</b>	66	92	920	60,720
<b>Juin</b>	62	94	940	58,280
<b>Juillet</b>	50	69	690	34,5
<b>Aout</b>	58	95	950	55,1
<b>Septembre</b>	35	94	940	32,9
<b>Octobre</b>	43	79	790	33,970
<b>Novembre</b>	46	85	850	39,1
<b>Décembre</b>	10	92,81	982,1	63
<b>Total</b>	643	931,81	9250	542,02
<b>Moyenne</b>	53,58	77,65	770,65	45,174

D'après les résultats de l'année 2017, le volume de boue produite est nettement plus élevée en mois de Mars, on remarque qu'il ya une différence entre les valeurs enregistrées pendant le mois de décembre (valeur minimale 10m<sup>3</sup>/mois) et le mois de Mars (valeur maximale 127m<sup>3</sup> /mois), nous concluons donc que le volume élevé de boues résultait d'une pollution élevée de l'eau entrée dans la STEP

En comparant les deux tableaux, nous concluons que la valeur moyenne de ces deux tableaux est convergente pour que la plupart des circuits de traitement des boues commencent par une étape d'épaississement, qui permet d'améliorer le rendement de la digestion (si elle

est prévue), en plus de réduire les coûts d'investissement, de stabilisation et de déshydratation, et diminuer le volume des boues à disposer, ainsi que de favoriser l'économie des systèmes de déshydratation. Les résultats des bulletins indiquent que l'installation possède un traitement efficace dans le domaine de l'élimination de la pollution avec un très bon rendement d'épuration

**2.2.3. Consommation électrique de la station (selon les factures SONEGAZ) :[63]**

Le tableau ci-dessous présente les données de la consommation électrique de la station d'épuration des eaux usées de Rebehia- Saida, pour les années 2017-2018.

**Tableau 29.** Module consommation électrique de la station

<b>Année</b>	<b>Consommation Kwh/an</b>
2017	1628097
2018	1442263

À titre de comparaison, on notera que durant l'année 2017, il y avait une consommation importante d'électricité par rapport à l'année suivante 2018.

**2.2.4. Évaluation du module transport entre STEP et CET**

Afin d'évaluer l'impact du transport des boues sur le suivi du système étudié, la distance du transport est évaluée à partir de la localisation de la STEP jusqu'à le centre d'enfouissement technique (CET), cette distance est d'environ 12 km, Il est à noter que la masse transportée est considérée constante durant l'année 2017 et 2018, alors que le nombre du transport est réduit en 2018 par rapport à l'année 2017.

**Tableau30.** Module transport du système étudié pour 2017[63]

Produit transporté	Type de véhicule	De	A	Distance	Quantité Tonne/an	Quantité des boues séchée livrée par transport en tonne	Nombre de transport par an	Calcul en Tonne. Km
<b>Boues séchées</b>	camion Renault avec benne	STEP d'Erebahia	CET ben adouane	12Km	300	20	15	240

**Tableau31.** Module transport du système étudié pour 2018

Produit transporté	Type de véhicule	De	A	Distance	Quantité Tonne/an	Quantité des boues séchée livrée par transport en tonne	Nombre de transport par an	Calcul en Tonne. Km
<b>Boues séchées</b>	camion Renault avec benne	STEP d'Erebahia	CET ben Adouane	12Km	100	20	5	240

Les deux **tableaux30,31** montrent que la quantité de boues entrant dans le centre en 2017 est trois fois supérieure qu'en 2018, nous remarquons que la distance estimée 12km est très proche comparée à celle l'étude de Arthur Andersen [43].

Le transport contribue alors de façon significative aux impacts environnementaux relatifs à l'air, la dispersion de substances toxiques dans l'air et l'acidification.

### **Conclusion**

On conclut que les boues d'épuration ont une composition minéralogique intéressante. La présence de matières organiques en quantité importante, mais aussi nous devons noter la présence de métaux lourds, ce qui peut annoncer la présence de sites de complexations de ces métaux du type acide fulvique ou humique.

Parmi les métaux lourds les plus nocifs pour l'homme, on trouve le cadmium, le plomb et le mercure, ces éléments traces métalliques sont mal éliminés par l'organisme.

Les boues issues de la station d'épuration Erabahia -Saida- sont loin d'être contaminées par le cadmium et c'est aussi le cas pour les autres métaux (Cu, Zn et Pb), ce qui les rend valorisables en milieu forestier.

A travers ces résultats, nous constatons que les boues issues de la station d'épuration urbaine Erabahia ne sont pas toxiques, riches en matière organique, peuvent être utilisées dans l'enrichissement des sols pauvres en matière organique.

### **2.3. Evaluation de l'impact du cycle de vie [67, 68]**

Les méthodes d'évaluation des impacts potentiels dans les ACV sont traditionnellement réalisées en trois phases :

- **la classification des impacts** : cette phase consiste d'abord à choisir une liste pertinente de catégories d'impacts à prendre en compte. Puis, pour chaque catégorie, l'ensemble des flux de l'inventaire est identifié qualitativement ;
- **la caractérisation des impacts** : elle consiste à définir l'indicateur d'impact qui permettra de quantifier la contribution spécifique de chaque flux appartenant à la classe d'impact considérée, de calculer pour chaque classe la contribution de chaque flux et d'agréger au sein de chaque classe les contributions calculées pour les différents flux ;
- **l'évaluation globale des impacts** : l'objectif de l'ACV est de comparer les impacts potentiels de systèmes. Cette comparaison porte :
  - soit sur le cycle de vie de différents systèmes rendant le même service ; l'objectif est alors d'identifier quel est le (ou les) système(s) le(s) plus respectueux de l'environnement sur l'ensemble des classes d'impacts étudiées ;
  - soit sur les différentes étapes du cycle de vie d'un système donné : l'objectif est ici de connaître les points faibles et les points forts d'un système sur l'ensemble de son cycle de vie et au regard des classes d'impacts étudiées.

L'impact implique l'action d'un système source sur un système cible. Le système source considéré ici est la boue. Le système cible est une composante de l'environnement (homme, faune, flore et écosystème).

Le problème consiste ensuite à suivre les changements d'état de la cible. Les changements constatés constituent l'impact. Soulignons enfin que les impacts directs sur la cible génèrent en général une succession d'impacts secondaires.

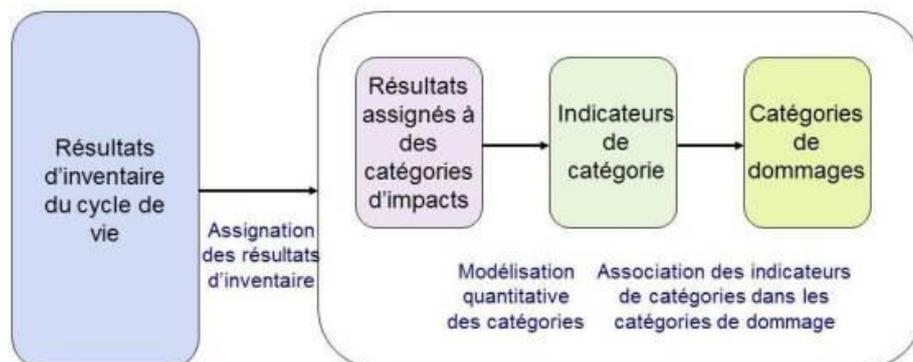
Les catégories d'impacts relatives aux flux entrants :

- o Occupation de l'espace
- Catégories d'impacts relatives aux flux sortants :
  - o Valorisation et élimination des boues
  - o impacts sur les milieux ( air, l'eau, le sol,
  - o Effet de serre
  - o Toxicité
  - o Acidification
  - o Eutrophisation
  - o Nuisances (odeurs)

La première restitution de la démarche ACV est l'inventaire présentant les divers flux unitaires consommés ou émis par chacune des étapes constituant le scénario étudié. Sur la base de cet inventaire, les divers flux sont classés et répartis dans les diverses catégories d'impacts auxquelles ils participent par exemple CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O.....). ces ensembles des flux sont caractérisés à partir des indicateurs d'impacts.

### 2.3.1. Principe d'évaluation

L'objectif de la démarche générale de l'évaluation des impacts environnementaux est de relier les données de l'inventaire aux dommages environnementaux causés par les substances.(figure 30).



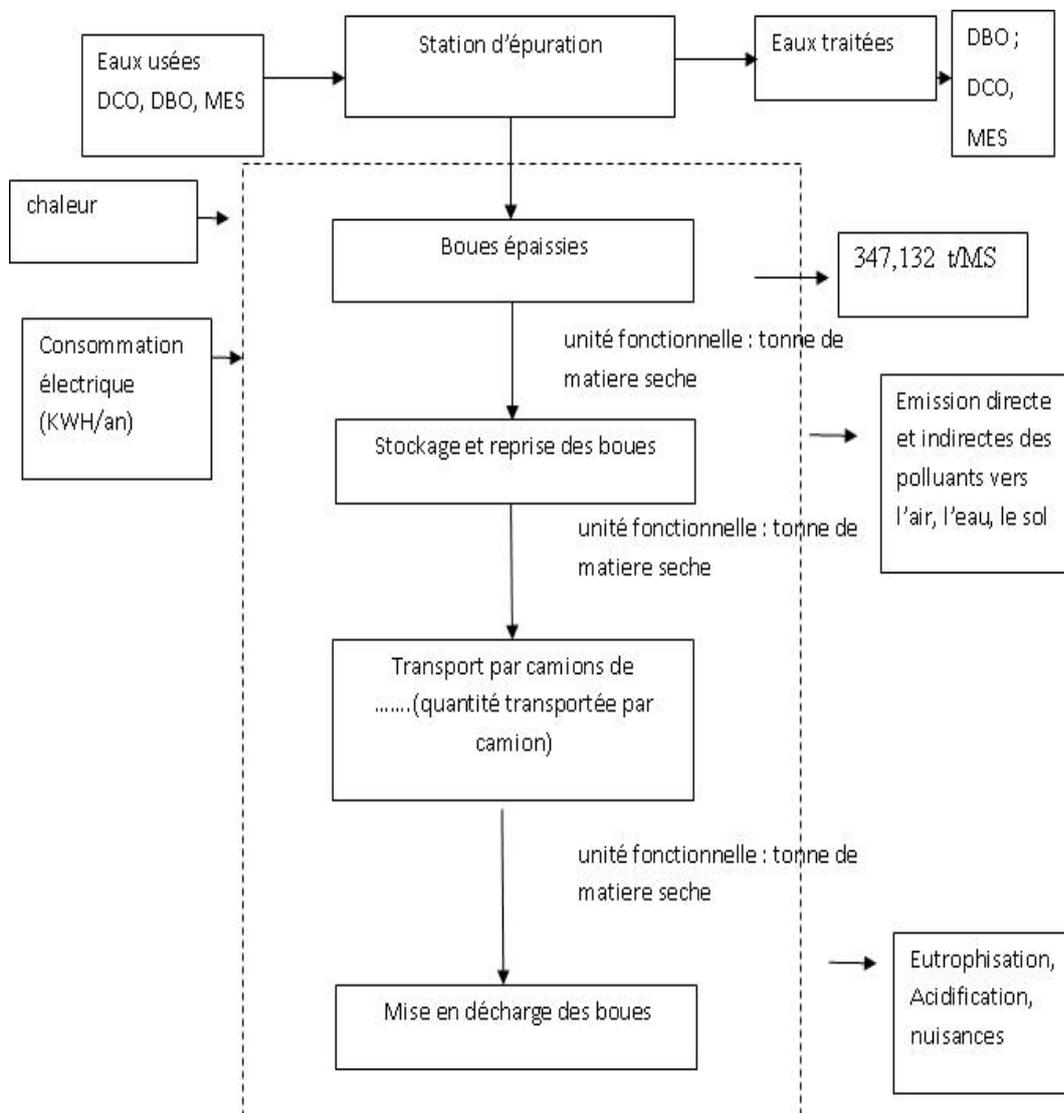
**Figure 30.** Démarche d'évaluation des impacts

### 2.3.2. processus du système étudié

Les filières de traitement des boues résiduaires urbaines sont constituées d'un grand nombre de processus unitaires. On peut cependant regrouper ces processus par fonction sur la chaîne de traitement de ces boues (figure 31) :

- La première réduction de volume (épaississement),

- Stockage des boues séchées dans la STEP
- Transport des boues vers CET
- Valorisation des boues (stockage en CET).



**Figure 31.** Arbre de processus utilisé et étudié

### 3. Interprétation de l'ACV des boues

L'interprétation a pour objectif d'analyser les résultats de l'analyse de l'inventaire et de l'évaluation de l'impact, d'établir des conclusions, d'expliquer les limites et de fournir des recommandations, tout cela au regard des objectifs et du champ de l'étude.

**3.1. Impacts évalués et retenus**

D’après l’analyse de l’inventaire et les données collectées, on peut résumer les hypothèses retenues comme suit :

➤ **Impact relatif à l’espace occupé par les boues [69]**

Avant d’être envoyées dans la filière de traitement des boues (dans le cas ou la station est équipée d’une filière), ou en épandage, les boues liquides sont en général stockées dans des silos. Lors de ce stockage, des émissions gazeuses peuvent avoir lieu. Il s'agit principalement de méthane résultant de réactions de fermentation dans des poches anaérobies. Selon SYLVIS, ces émissions seraient dépendantes du type de stockage employé (Tableau 32).

**Tableau 32.** Emission de CH<sub>4</sub> en fonction du stockage de boues employées

Type de stockage	Emission de CH <sub>4</sub>
Silo aéré	0 kgCH <sub>4</sub> /kgDBO <sub>5</sub>
Silo anaérobie 2	0,12 kgCH <sub>4</sub> /kgDBO <sub>5</sub>
Silo anaérobie 2	0,4 kgCH <sub>4</sub> /kgDBO <sub>5</sub>

Afin de déterminer les émissions directes en gaz à effet de serre, il sera nécessaire de savoir si les silos sont aérés ou non, et quelle DBO<sub>5</sub> de la boue stockée. La DBO<sub>5</sub> de la boue stockée avant traitement peut être calculée à partir de la DBO<sub>5</sub> des eaux brutes en entrée en considérant un taux d’abattement moyen de la DBO<sub>5</sub> de 90%. La formule suivante peut être appliquée :

<b>DBO<sub>5</sub> boues stockées = DBO<sub>5</sub> eaux brutes en entrée * 0,10</b>
--------------------------------------------------------------------------------------

Selon les résultats de l’inventaire, on peut calculer les DBO<sub>5</sub> des boues stockées, les résultats sont regroupés dans le tableau 33.

**Tableau 33.** Résultats des teneurs en DBO<sub>5</sub> des boues stockées

L’année	DBO <sub>5</sub> eaux brutes en entrée	DBO <sub>5</sub> boues stockées
2017	3392,56	339,256
2018	3581	358,1

D’après le tableau, on constate que la boue produite est riche en matière organique biodégradable, ceci est confirmé par la valeur de la DBO estimée.

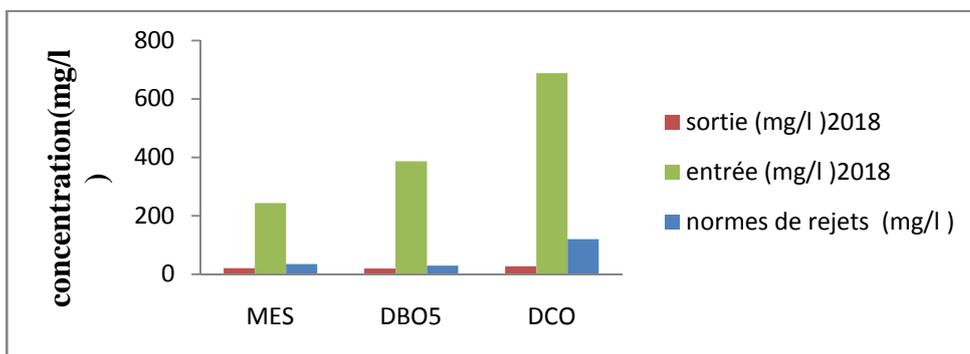
En ce qui concerne l’émission du méthane par les boues, et d’après les données de l’inventaire, les boues stockées présente un risque d’émission des gaz à effet de serre, car elles sont riches en matières organiques facilement biodégradable.

Selon la station d’épuration des eaux usées de Saida, les boues stockées dans la STEP se répartissent sur 20 lits de séchage de dimension 30m/15m, dont l’épaisseur des boues stockées est de 30cm. Sans tenir en compte les boues évacuées vers le CET.

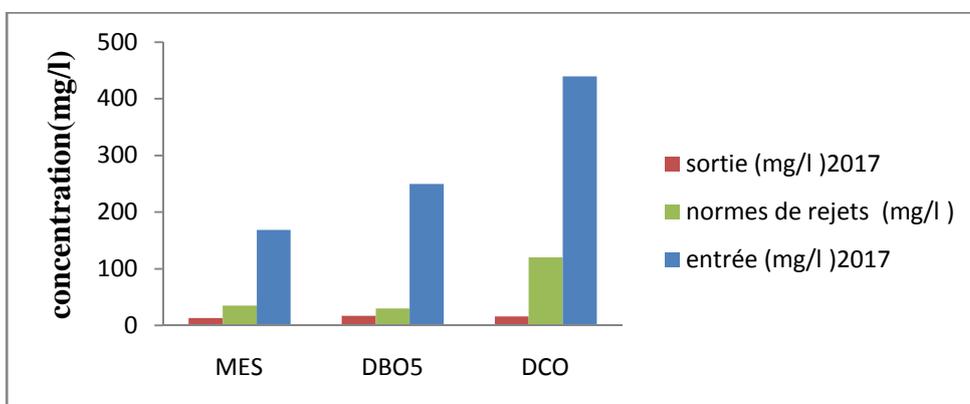
D’après ces données, on constate que les boues occupent de l’espace, ce qui provoque le dégagement des odeurs et des gaz à effet de serre.

➤ **Estimation de toxicité : impact relatif aux flux entrants et sortant**

D’après les données de l’inventaire, les boues étudiées sont issues du traitement des eaux usées de la STEP de Saida, l’analyse des flux entrants et sortants des paramètres DCO, DBO et MES des eaux traitées, indique la biodégradabilité des eaux traitées, ce qui favorise la production d’une quantité importante des boues.



**Figure 32.** Impact des flux d’eau à traitée (année 2018)



**Figure 33.** Impact des flux d’eau à traitée (année 2017)

➤ **Estimation des émissions de gaz à effet de serre lors de l'épaississement et de séchage des boues**

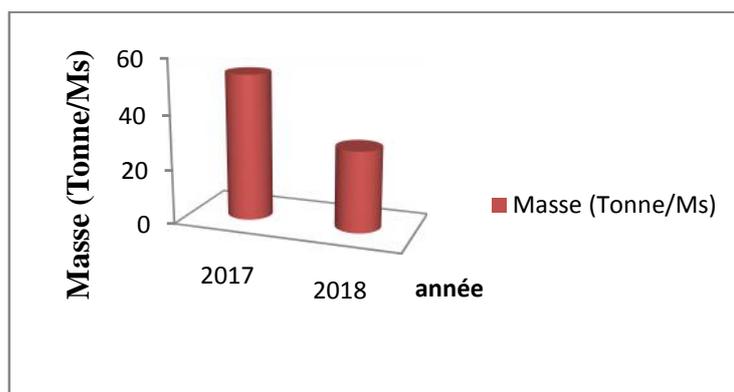
Le carbone contenu dans les boues est d'origine biogénique. Il peut se transformer en CO<sub>2</sub> et réintégrer le cycle naturel du carbone. Ces émissions sont dites "courtes" ou "biogéniques".

En revanche, les émissions de CH<sub>4</sub> issues de la transformation du CO<sub>2</sub> biogénique sont prises en considération car le pouvoir de réchauffement global des gaz du CH<sub>4</sub> est plus important que celui du CO<sub>2</sub>. [69, 70]

il sera donc pris en considération deux types d'émissions:

- a) Les émissions directes dues aux traitements des boues.
- b) Les émissions indirectes non dues aux boues (consommation énergétique, transport et carburant..).

En comparant les résultats durant les deux années 2017 et 2018, on remarque qu'en 2017, la boue produite est nettement plus élevée, ceci est dû à la pollution élevée de l'eau entrée dans la STEP.



**Figure 34.** Impact du traitement des boues par l'épaississement

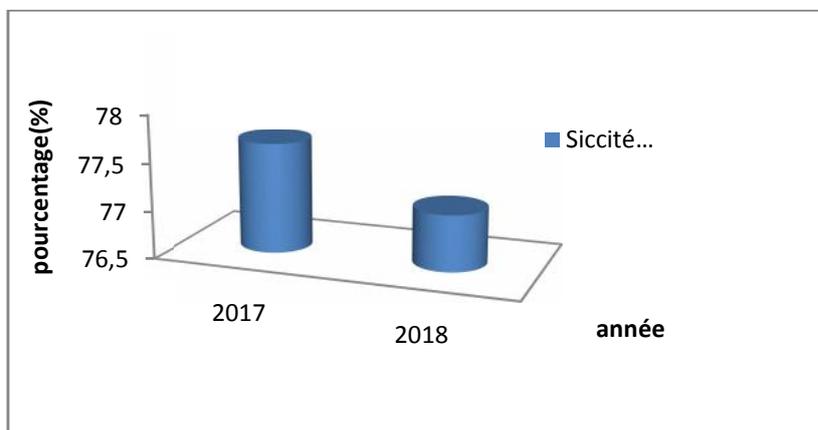
D'autre part, le traitement des boues consiste tout d'abord à diminuer leur teneur en eau et à réduire de manière efficace leur charge polluante et fermentescible.

Selon l'ADEME [69, 71] les boues peuvent être classées en différentes catégories selon leurs caractéristiques physiques et notamment leur taux de siccité :

- Boues liquides : 3 à 10% de siccité,
- Boues pâteuses : 10 à 18% de siccité,
- Boues pâteuses chaulées : 18 à 25% de siccité,
- Boues solides chaulées : 30 à 35% de siccité,
- Boues solides digérées chaulées : 25 à 35% de siccité, le chaulage est éventuel,

- Boues séchées : en moyenne 95% de siccité.

La boue épaisse est riche en matière organique et minérale, et d'après cette étude, la siccité des boues est importante en 2017 qu'en 2018, ce qui prouve que les boues générées restent humide.



**Figure 35.** Etude de relation entre l'émission des gaz à effet de serre et la siccité

Lorsque les boues résiduaire humides sont stockées sans valorisation ou traitement, l'effet de serre est amplifié, c'est en particulier le méthane libéré qui est toxique et qui provoque 25 fois plus d'effet de serre que le dioxyde de carbone. L'abondance de ces quantités entraîne une fermentation qui dégage de l'hydrogène sulfuré et des nuisances olfactives. Elles peuvent générer une pollution des sols et des eaux.

➤ **Impact énergétique**

L'inventaire a permis de quantifier la consommation énergétique, la figure 36 montre une diminution significative de la consommation d'électricité en 2018 par rapport à l'année 2017, ce qui explique la diminution des émissions indirectes des gaz polluants.

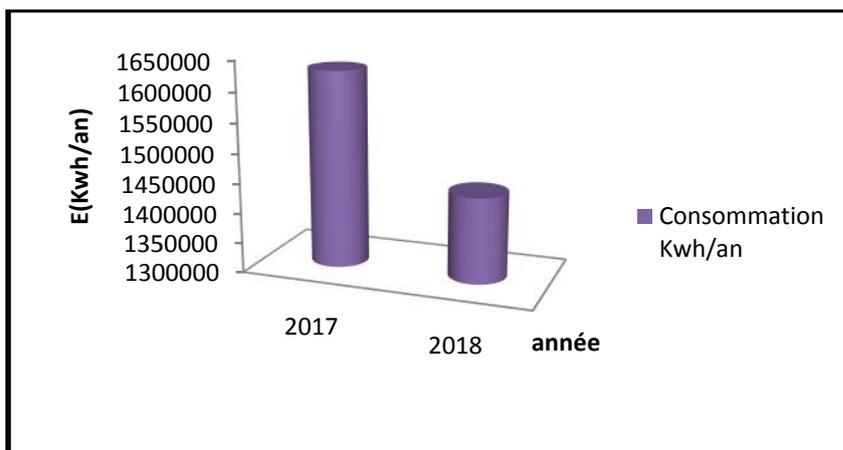


Figure 36. Impact de la consommation énergétique d’électricité dans la STEP de Saida

➤ **Estimation de l’impact des métaux lourds et des émissions de gaz à effet de serre en cas de valorisation des boues par épandage agricole**

Le score d’écotoxicité des boues dans le domaine d’épandage agricole est dominé par l’émission de Zinc, du chrome et du plomb, ces derniers se trouvent en concentration marquantes dans les boues et par la suite, ces quantités vont se transférer dans les sols et l’être humain. Ce qui rend la valorisation agricole non autorisée.

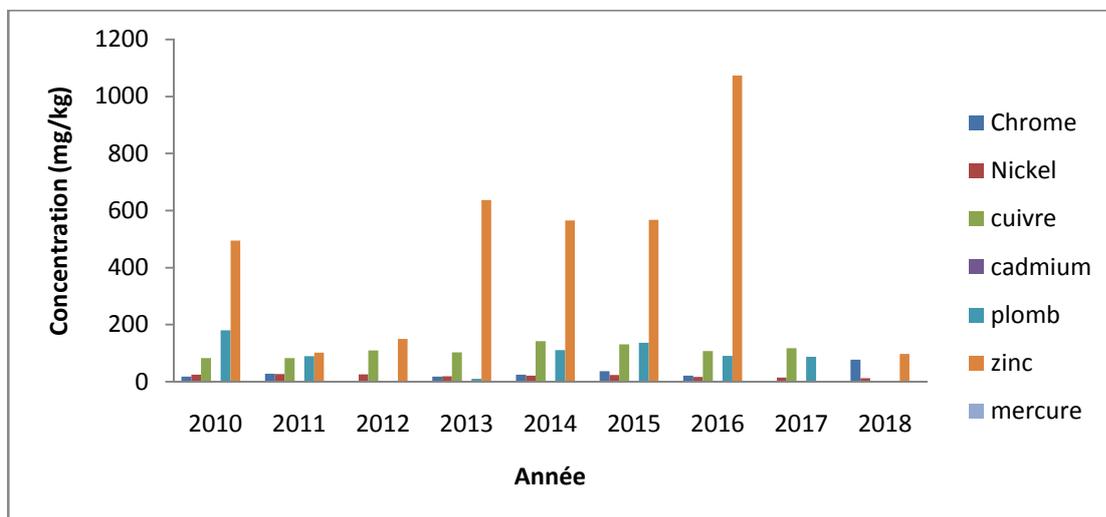


Figure 37. Etude de l’impacts des éléments métalliques sur la valorisation agricole

➤ **Transfert des polluants contenus dans les boues**

L'eutrophisation apparait généralement conjointement à une acidification, c'est un phénomène indésirable pour la biodiversité, elle représente une source de méthane

L'eutrophisation a pour origine les nitrates et le phosphore, alors que l'acidification a pour origine les composés azotés et soufrés ; l'acidification favorise la mobilité des éléments toxiques comme les métaux lourds.

Dans notre étude, le phosphore s'intègre dans les boues solides , alors que l'azote se transforme en ammonium, en nitrite puis en nitrate pour ensuite être réduit au stade sous forme gazeuse et pourra alors passer dans l'atmosphère.

Les phosphates sont les principaux responsables dans le monde des phénomènes d'eutrophisation qui contribuent à la surfertilisation des eaux usées. Ils provoquent un déséquilibre de la composition des eaux usées.

La teneur élevée en phosphates du à l'utilisation des détergents ou lessives phosphatées, de sources agricoles (engrais) et industrielles, de déjections humaines ...

Pour lutter contre l'eutrophisation et l'acidification, il est évident qu'il faut réduire les apports de nutriments que sont les nitrates (azote) et les phosphates (phosphore) et les composés soufrés.

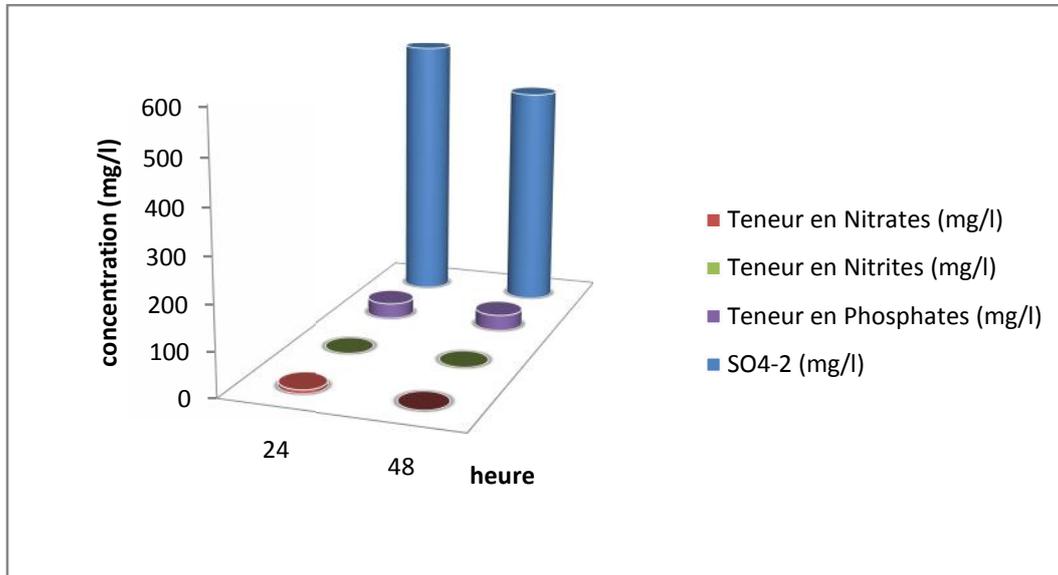
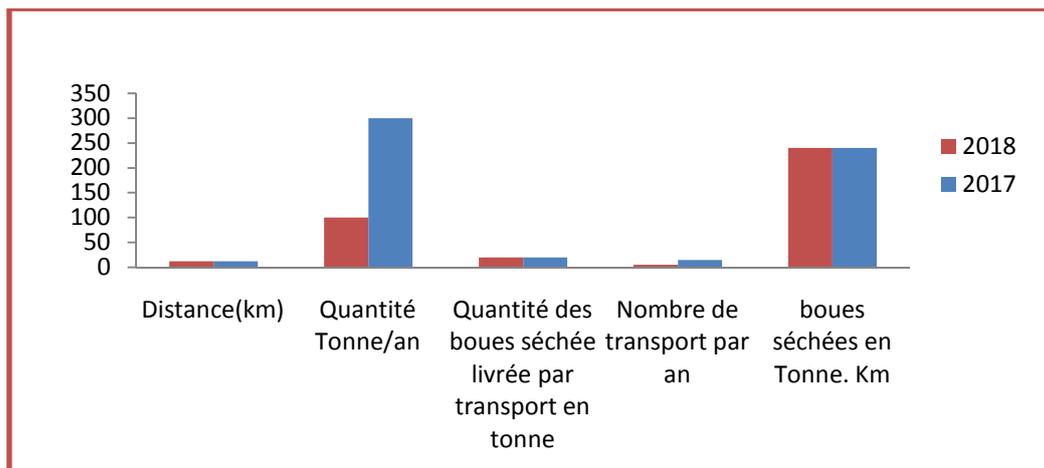


Figure 38. Impacts des polluants contenus dans les boues

➤ **Estimation des émissions de gaz à effet de serre lors du transport des boues vers le CET**

Les émissions en dioxyde de carbone sont dépendantes des consommations en électricité et en consommations de gazole lors du transport des boues.



**Figure 39.** Etude de l'impact du transport des boues vers CET

Les résultats montrent la diminution de la quantité des boues évacuées vers le centre d'enfouissement technique (CET), ce qui explique la réduction de l'émission des gaz à effet de serre au niveau de CET, alors que le risque pathogène des boues reste toujours déclencher, car cette solution reste défavorable en vue de la décomposition de la matière organiques contenues dans les boues avec l'émission des odeurs déplaisantes.

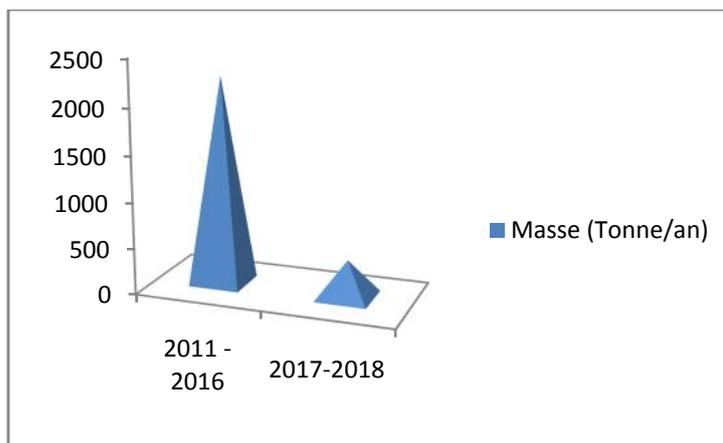
➤ **Impact de la mise en décharge**

Bien que cette technique soit aujourd'hui interdite par la législation européenne, elle reste envisageable pour des boues incompatibles avec une valorisation agricole et présentant une siccité supérieure à 30%.

**Tableau 34.** Quantités des boues acheminées vers CET

Année	2011 -2016	2017-2018
<b>Masse (Tonne/an)</b>	2250	400

L'évaluation environnementale des émissions liées à l'enfouissement des boues issues du traitement des eaux usées reste compliquée du fait que ces boues sont généralement associées aux ordures ménagères et que ces déchets mettent plusieurs années à se décomposer.



**Figure 40.** Présentation des quantités des boues acheminées vers CET

Comme tout écosystème évolutif de point de vue chimique, biologique et physique, une décharge comporte :

- Une phase solide : les déchets dans notre cas les boues,
- Une phase liquide : les lixiviats,
- Une phase gazeuse : les émanations constituées en tout ou en partie de biogaz.

Chacun de ces éléments présente des risques de contamination pour l'environnement.

Selon les données fournies par la STEP de Saida, les quantités des boues en tonne séchées et acheminées vers le centre de stockage restent importantes. Sans tenir en compte les quantités restantes au niveau de la STEP.

La mise en décharge de boues quel que soit leur nature, s'accompagne de phénomènes complexes relevant des interactions entre les composants des boues et les eaux de pluie qui les infiltrent. La décharge en elle-même doit être considérée comme un milieu en perpétuelle évolution, siège de réactions physico-chimiques et biologiques. Les conséquences directes de ces réactions sont entre autres la libération de gaz et la formation de lixiviats.

### Conclusion générale

L'objectif de ce mémoire est d'évaluer les impacts environnementaux des boues, à l'aide d'un outil, qu'est l'Analyse Cycle de Vie (ACV).

A l'heure actuelle, l'ACV constitue un thème de recherche intéressant un nombre important de scientifiques issus de différents domaines de recherche. Les travaux autour de l'ACV sont de nature très diverse. Ils peuvent traiter de son application concrète avec l'évaluation de certaines filières (traitement de déchets, biocarburants, filières végétales, etc.) mais aussi de développements méthodologiques. Ces derniers s'effectuent principalement au niveau de la production de données scientifiques nécessaires à la mise en œuvre de l'ACV, tels que les facteurs d'émission et les modèles de calculs. En outre,

Néanmoins, le manque de données d'activité reste une difficulté majeure en matière d'ACV.

En surveillant le cycle de vie des boues, nous avons constaté que la station d'épuration traite les eaux usées, mais le problème qui se pose est que les boues sont enfouies dans le centre d'enfouissement technique, ce qui provoque des risques pour l'environnement, que ce soit par l'air ou par le sol.

Les résultats de cette étude peuvent servir d'outil d'aide à la décision pour la filière étudiée ;

Afin d'évaluer les impacts environnementaux de la production des boues par la STEP de Saida, une Analyse Cycle de Vie a été réalisée. De cette étude, plusieurs points ressortent :

- Le transport contribue d'une façon significative aux impacts environnementaux relatifs à l'air,
- La mise en décharge des boues solides est le scénario d'élimination le plus défavorable pour l'effet de serre, l'acidification et la toxicité des milieux.
- L'introduction de la digestion lors du traitement des boues réduit les émissions tant par valorisation du biogaz produit ainsi la réduction de la quantité de matière sèche à traiter
- La présence des éléments traces métalliques dans les boues induit un effet négatif pour l'épandage agricole, ce qui rend la substitution des engrais par les boues non recommandé.
- Les scénarios les plus impactant restent les éléments traces métalliques et la mise en décharge ;

- L'épaississement des boues est le procédé le moins impactant de tous.
- Les résultats de l'ACV reflètent la complexité des systèmes réels étudiés, mais il reste une étude initiative ; l'épandage agricole est une solution acceptable pour l'élimination des boues à condition que les éléments traces métalliques soient minimisés dans les boues générées.

Enfin cette étude n'a pas pour vocation d'apporter une réponse définitive à la question du choix entre les différentes filières de traitement et valorisation des boues, mais de fournir des évaluations de l'impact des boues sur l'environnement ;

Comme perspective et recommandations :

- Réduire l'utilisation des produits et engrais chimique source de pollution,
- Améliorer le traitement des boues au niveau de la STEP.
- Valorisation des boues dans l'industrie cimentière et les travaux routiers pour éviter leur stockage dans les CET.

# Référence bibliographiques

---

- [1] Laborieux Elie, « Les problèmes de développement et de l'environnement », Université Des Antilles et de la Guyane, Science Economie et Gestion. 2009.
- [2] Thériault, N. « Dans le cadre d'une ACV, conception d'un outil d'aide à la sélection d'un jeu de catégories d'impact pour les entreprises européennes et nord-américaines du secteur textile », 126. 2011.
- [3] Bâchi O.EK., Diagnostique sur la valorisation de quelques plantes du jardin d'épuration de station du vieux Ksar Témacin Ouargla . Mémoire de Magister. Université d'Ouargla, 2010.
- [4] ABIBSI Najete. « Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantés (Phytoépuration) pour l'irrigation des espèces verts. Application à un quartier de la ville de Biskra », Mémoire de Magister en Hydraulique, option: Hydraulique Urbaine. Université Mohamed Khider, Biskra. 2011.
- [5] LADJET F. « Exploitation d'une station d'épuration à boue activée niveau 02 ». Centre de formation au métier de l'assainissement. CFMA-Boumerdes, p80. 2006.
- [6] DEGREMONT. Mémento technique de l'eau . 8<sup>ème</sup> édition ; tome 2, pp : 596, 606,613. 1978.
- [7] Afir et Mezaoua. « Application et dimensionnement d'un procédé de coagulation flocculation pour le traitement des eaux résiduaires de la papeterie de Baba Ali ». Mémoire d'ingénieur, école nationale de polytechnique. 1984.
- [8] DEGARDAINTS R. « Le traitement des eaux ». Editions de l'Ecole polytechnique de «Montréal, 2<sup>ème</sup> édition, 1990.
- [9] MEINOK F, STOOFF H, KOHLSCHÜTTER H., « Les eaux résiduaires industrielles », Edition MASSON, Paris, 2<sup>ème</sup> édition, 1977.
- [10] BEAUDRY J-P. « Traitement des eaux. Edition le Griffon d'argile », Inc, Collège Saint-Laurent, pp : 42-73, 198,1988.
- [11] PERMO. « La pratique de l'eau –Usages domestiques collectifs et industriels ». Editions du Moniteur, Paris, 1981.
- [12] BOEGLIN J.C. « Traitements biologiques des eaux résiduaires ». Technique de l'ingénieur, J3942, pp : 1-27,1982.
- [13] BECHERT J.L GAUTHIER D., «Des boues activées pour dépolluer l'eau des villes », CEMAGREF Editeur, octobre, 2002.
- [14] ONA L'office National d'Assainissement, 2013.

- [15] Hiroux, G., « Composition organique et décomposition dans le sol de boues mixtes de station d'épuration urbaine », science du sol, 1983.
- [16] CARDOT C. Génie de l'environnement : les traitements de l'eau-Procédés physicochimiques et biologiques, cours et problèmes résolus, p: 107, 151.2010.
- [17] Emilie Jardé, .Composition organique de boues résiduaires de station d'épuration lorraines. Thèse de doctorat, université lorraine France.2002.
- [18] Mathian R., « Les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines ». I.R.C.H.A, documents techniques. 1986.
- [19] Noble C., « Traiter et valoriser les boues ». Saint-Maurice : OTV, (Collection OTV, n°2). 1997.
- [20] Karoune S., « Effets des boues résiduaires sur le développement des semis du chêne liège (quercus suber L) ». Thèse de magister, Université Mentouri Constantine. 2008.
- [21] Belghaouti Tayeb, « Caractérisation physico-chimiques et valorisation d'une boue de station d'épuration ». Mémoire, université Mohamed Boudiaf, Oran, 2013.
- [22] Bouallegue Mohamed Mehdi, « Synthèse technique. Des métaux dans les boues de station d'épuration ». Agro paris-ENGREF, Montpellier CEDEX, France. 2010.
- [23] Juste C., Chassin P., Gomez A., Linères M., Mocquot B., « Les micropolluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épurations » . Angers, ADEME. 1995.
- [24] Brouzes S, Chauvière F., « Etude du devenir de micropolluants organiques issus des boues de station d'épuration. », Rapport de projet de 3ème année en Sciences de l'Environnement, AgroParisTech, Paris. 2009 .
- [25] Telli Sidi Mohamed, « Etude sur la valorisation par séchage solaire des boues d'épuration des eaux urbaines-cas de la station d'office national d'assainissement (ONA) Tlemcen ». Mémoire de master, Université Abou Bekr Belkaid ,Tlemcen. 2013.
- [26] Mohamed-said Ouali, « Cours de procédés unitaires biologiques et traitement des eaux ». 2ème Edition, Offices des publications universitaires, Alger. 2008.
- [27] Costdo S, « L'analyse du cycle de vie (ACV) .: outil ou contraintes pour la compétitivité des entreprises », Annales Des Mines-Réalités Industrielles, 170(2005), 9-12. <https://doi.org/10.3917/re.066.0013>, 2012.
- [28] <http://stockage.univ->, Université Virtuelle Environnement & Développement Durable « Méthodologie de l'analyse cycle de vie (ACV) », 2012.
- [29] Reid C., Lesage P., Margni M., Aubertin M., Bécaert V., Deschênes L., & Montréal É, « Utilisation de l'ACV par l'industrie minière. : Exemple d'application et principaux défis », 10–18. 2009.

- [30] Eggermont D., « Méthodes d'analyse environnementale - Analyse de cycle de vie. Bilan CO<sub>2</sub> », Empreinte, 30. 2013.
- [31] Martaud T, « Evaluation environnementale de la production de granulats naturels – Indicateurs », Modèles et Outils.- Environmental Research. 2009.
- [32] Humbert S., Margni M., Jolliet O., & PRe, various authors, IMPACT 2002 + : User Guide. Work, 21, 36. 2015.
- [33] L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ,ADEME, 2018.  
<http://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-l'action/dossier/lanalyse-cycle-vie/comment-realise-t-acv> consulté le 24-11-2017.
- [34] Finnveden G., Hauschild MZ., Ekvall T., Guinée J., Heijungs R., Hellweg S., Suh S., Recent developments in Life Cycle Assessment. Journal of Environmental Management, 91(1), 1–21. 2009.
- [35] Vincent-Sweet, Pénélope. « Analyse du cycle de vie et protection de l'environnement : pertinence et limites de l'outil : Le point de vue d'une association, Responsabilité & Environnement ». Paris N° 66 : 84-88,103,105,107-108,110. 2012.
- [36] Dron D, « L'analyse du cycle de vie : le point de vue des pouvoirs publics ». Annales Des Mines - Responsabilité et Environnement. N° 66(2), 10. 2012.
- [37] Pradel Marilyns, Richard Marion, Reverdy Anne-Laure , « Analyses du cycle de vie des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées, Inventaire de l'Analyse du Cycle de Vie des filières de traitement et de valorisation des boues », rapport ONEMA, irstea, Décembre 2013.
- [38] Pradel, M., Pacaud, T., Cariolle, M., « Emissions azotées au champ et performances des machines lors de l'épandage de boues issues du traitement des eaux usées ». Livrable T2c. 116 pages + annexes 120 pages. 2010.
- [39] Guinée, J.-B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., De Koning, A., Van Oers, L., Wegener Sleeswijk, A., Suh, S., Udo De Haes, H.-A., De Bruijn, H., Van Duin, R., Huijbregts, M.-A.-J., « Life cycle assessment - An Operational Guide to the ISO Standards», Leiden the Netherlands, Centre of Environmental Science, Leiden University, 2001.
- [40] GOEDKOOP, M., SPRIENSMA, R.,” The Eco-Indicator 99, a Damage Oriented Method for Life Cycle Assessment, Pré Consultants,” Amersfoort, 2000.
- [41] STEEN, B., , « A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS),. General system characteristics, CPM report n° 4, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems. 1999.
- [42] ERIKSSON, O., FROSTELL, B. et al., ORWARE – “A simulation tool for waste management, Resources, Conservation and Recycling”, 36 (4), p. 287-307. 2002.

- [43] Arthur Andersen Environnement, « Audit environnemental et économique des filières d'élimination des boues d'épuration urbaines - Pré-étude de définition, analyse environnementale, Les Études de l'agence de l'eau n° 70 », Paris, ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, 153 p. 1999.
- [44] SUH, Y.-J., ROUSSEAU, P., "An LCA of alternative wastewater sludge treatment scenarios, Resources, Conservation and Recycling", 35(3), p. 191-200. 2002.
- [45] HOUILLON, G., JOLLIET, O., "Life cycle assessment of processes for the treatment of wastewater urban sludge : energy and global warming analysis", Journal of Cleaner Production, 13(3), p. 287-299. 2005.
- [46] HOSPIDO, A., MOREIRA, T. et al., "Environmental Evaluation of Different Treatment Processes for Sludge from Urban Wastewater Treatments : Anaerobic Digestion versus Thermal Processes", The International Journal of Life Cycle Assessment, 10(5), p. 336-345. 2005.
- [47] TIDAKER, P., KARRMAN, E. et al., "Wastewater management integrated with farming - an environmental systems analysis of a Swedish country town, Resources", Conservation and Recycling, 47(4), p. 295-315. 2006.
- [48] SVANSTROM, M., FROLING, M. et al., "Environmental assessment of supercritical water oxidation of sewage sludge", Resources, Conservation and Recycling, 41(4), p. 321-338. 2004.
- [49] JOHANSSON, K., PERZON, M. et al., "Sewage sludge handling with phosphorus utilization - life cycle assessment of four alternatives", Journal of Cleaner Production, in press, corrected proof, 2007.
- [50] LUNDIN, M., OLOFSSON, M. et al., "Environmental and economic assessment of sewage sludge handling options", Resources, Conservation and Recycling, 41(4), p. 255-278, 2004.
- [51] L Colombel et al, « caractérisation du comportement à la lixiviation : quel essais pour quels objectifs », BRGM, Mai 2011.
- [52] Ademe, « Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture », Ademe édition, Paris. 2001b.
- [53] : Metahri Mohamed Said. « Estimation simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes : Thèse de doctorat cas de STEP de la ville de Tizi-Ouzou », 2012.
- [54] <https://www.irstea.fr/fr/les-stations-depuration-boues-actives>
- [55] Muriel lallée Etude bibliographique de la contamination des milieux lacustres par les micropolluants (PCB et HAP) - Application au lac d'Annecy - Rapport d'étude, page 25, Septembre 2009,
- [56] : Document exploitation- des-station-d'épuration, ONA ,2015.

- [57] Karafi . K, Moustouai . F, « Les boues résiduaires de la station d'épuration de Marrakech : caractéristiques et impacts environnementales », mémoire du diplôme de licence, université Sciences et Techniques, Marrakech, 2012.
- [58] MENOUEER.S, TAIBLS, « étude de la qualité des rejets liquides industriels en aval du complexeGL1/Z ». mémoire de master en Génie des Procédé, Université des Sciences et de la Technologie-Mohamed Boudiaf- d'Oran. 2014.
- [59] Djellouli . S, moualek .Z, « Etude d'un nouveau procédé de traitement des effluents laitiers avec des résiduaires urbaines », mémoire du diplôme de licence, université Moulay Tahar ,Saida. 2014.
- [60] Kheddaoui .C ;ouldkada. H , « Adsorption des micropolluants organiques sur la boue urbaine et ses cendres », Mémoire de master, université Moulay Tahar ,Saida. 2015.
- [61] : Boutarene. H ,djellouli .S , « Caractérisation et propriétés d'un adsorbant obtenu à partir de l'activation des boues d'épuration », Mémoire de master, université Moulay Tahar ,Saida. 2016.
- [62] :Dahmani .F ,seloua .C , « Etude de l'évolution du taux des métaux lourds dans les boues d'épuration », mémoire du licence, université Moulay Tahar ,Saida. 2017.
- [63] : document fournie par la station d'épuration
- [64] Cowan CE, Zachara JM, Rescg CT, “ Cadmium adsorption on iron oxides in the presence of alkaline-earth elements” Environ. Sci. Technol., (25), 1991
- [65] Halimi Mohammed El Amine, Mehnani Abdelrazek, “ Recyclage d'adsorbants à base de boues d'épuration dans l'industrie cimentière ». Mémoire de master, Université Dr. MOULAY Tahar, Saida. 2017.
- [66] Françoise Pierrisnard, Jean-Paul Ambrosi, « caractérisation minéralogique, chimique et spéciation des métaux lourds dans les boues de la station d'épuration de la ville de Marseille ». Déchets - Sciences et Techniques - N° 4. 1996 .
- [67] Florent Querini, Patrick Rousseaux, « Analyse du cycle de vie, Evaluation des impacts », Technique de l'ingénieur, G5610.
- [68] comment évaluer les impacts environnementaux au moyen de l'ACV, doc réalisé par le groupe de travail ACV, animé par Amorce , convention avec ADEME, Février 2005.
- [69] Pradel Marilys, Richard Marion, Andre Geraldine, « Inventaire des GES émis lors Du traitement et de la valorisation des boues d'épuration », Irstea, France,.1 septembre 2015.
- [70] Record, « Application de la méthode Bilan Carbone aux activités de gestion des déchets », p.133. 2008.
- [71] Ademe. Boues de stations d'épuration biologiques et chimiques (STEP). 2011.

*Annexe*

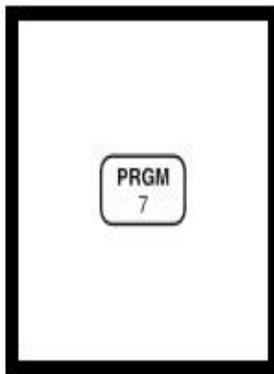
# Annexe 1

## METHODES D'ANALYSES

### NITRATE, gamme moyenne (0 à 5,0 mg/l N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) Pour eau, eau résiduaire et eau de mer\*

Méthode de réduction au cadmium (Réactifs en sachets ou ampoules AccuVac)

#### Technique avec réactifs en sachets



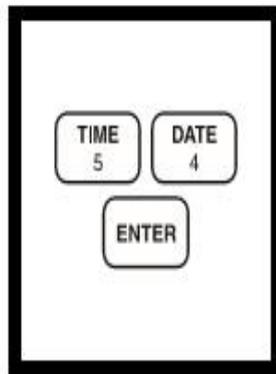
1. Entrer le numéro de programme mémorisé pour le nitrate gamme moyenne (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>).

Presser **PRGM**

L'affichage indique :  
**PRGM?**

**Note :** Pour des résultats plus exacts, effectuer une correction de blanc de réactif en utilisant de l'eau désionisée (voir Chapitre 1).

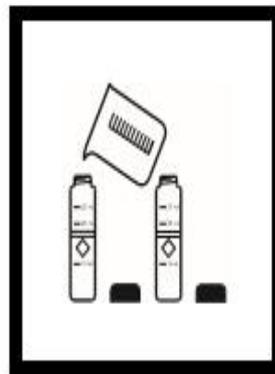
**Note :** Avant l'analyse, ajuster le pH des échantillons préservés.



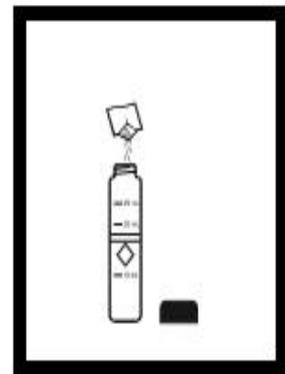
2. Presser : **54 ENTER**

L'affichage indique  
**mg/l, NO<sub>3</sub>-N** et le symbole  
**ZERO.**

**Note :** Pour d'autres formes (NO<sub>3</sub>), presser la touche **CONC.**



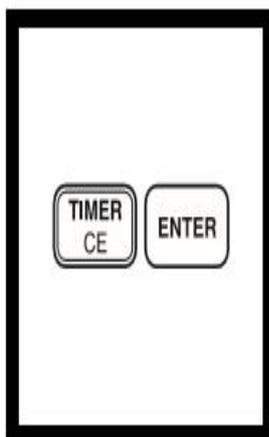
3. Remplir deux cuvettes avec 10 ml d'échantillon. Une cuvette sera l'échantillon préparé, l'autre sera le blanc. Laisser le blanc de côté.



4. Ajouter le contenu d'un sachet de réactif Nitra Ver 5 à une cuvette (l'échantillon préparé). Boucher la cuvette.

**Note :** Il est important de vider toute la poudre du sachet. Taper le sachet jusqu'à ce qu'il ne reste plus de poudre.

## NITRATE, gamme moyenne, suite

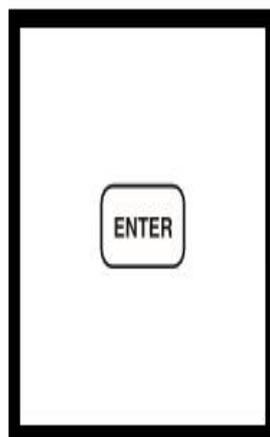


### 5. Presser : **TIMER ENTER**

Une période de réaction d'une minute commence.

Agiter la cuvette vigoureusement jusqu'à ce que le minuteur sonne.

**Note :** Le temps et la technique d'agitation influencent le développement de la coloration. Les résultats sont trop faibles si l'agitation n'est pas assez vigoureuse. Pour obtenir des résultats exacts, faire des essais successifs sur une solution étalon et ajuster le temps d'agitation pour obtenir le résultat correct. Voir Vérification d'exactitude pour information complémentaire.



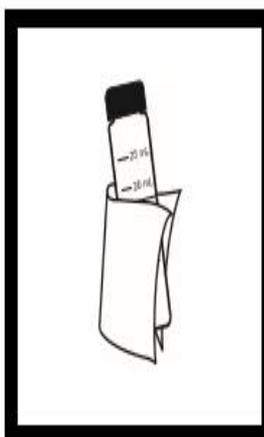
### 6. Lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique : **5:00 Timer 2**

Presser : **ENTER**

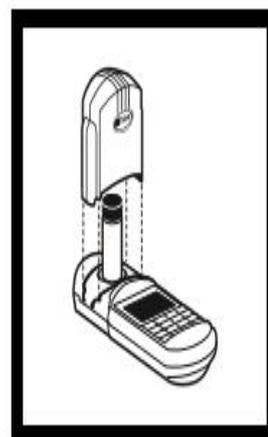
Une période de réaction de 5 minutes commence.

**Note :** Un dépôt de cadmium non oxydé reste après la dissolution du réactif. Ce dépôt n'affecte pas le résultat.

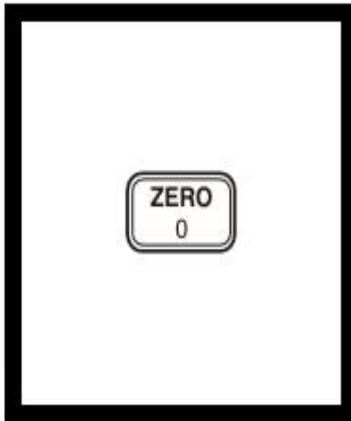
**Note :** En présence de nitrate, une coloration ambre se développe.



### 7. Lorsque le minuteur sonne, Essuyer tout liquide ou traces de doigts.



### 8. Placer le blanc dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.

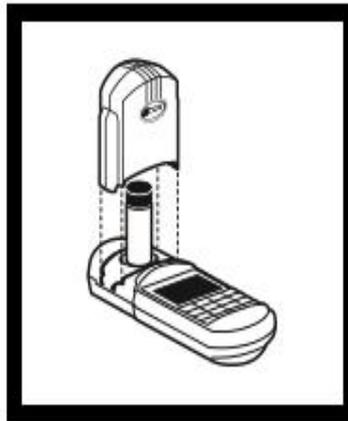


**9. Presser : ZERO.**

Le curseur se déplace vers la droite puis l'affichage indique :

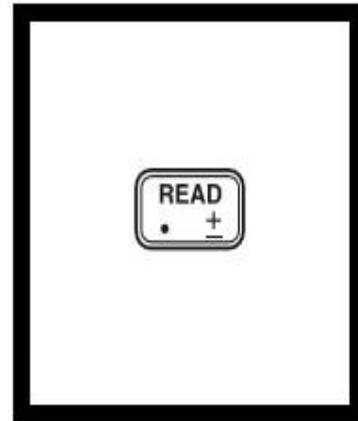
**0.0 mg/l NO<sub>3</sub>-N**

**Note :** Si la correction de blanc de réactif est active, le symbole "limit" peut clignoter à l'affichage. Voir Chapitre 1.



**10. Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure. Ajuster le capot de l'appareil pour couvrir la cuvette.**

**Note :** Lire l'échantillon moins de deux minutes après la sonnerie du minuteur.



**11. Presser : READ**

Le curseur se déplace vers la droite puis le résultat en mg/l d'azote (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) s'affiche.

**Note :** L'utilisation de la fonction d'ajustement d'étalonnage pour chaque nouveau lot de réactif est fortement recommandée. Voir Vérification d'exactitude.

**Note :** Rincer la cuvette immédiatement après utilisation pour éliminer toutes les particules de cadmium. Conserver l'échantillon analysé pour l'élimination convenable des déchets contenant du cadmium.

## PHOSPHORE, TOTAL, gamme haute (0,0 à 100,0 mg/l de $\text{PO}_4^{3-}$ )

Méthode du molybdovanadate avec digestion au persulfate\* Procédure Test 'N Tube Pour l'eau et les eaux usées



1. Mettre la chambre de réaction DCO en marche. Chauffer à 150 °C. Placer la protection en plastique devant la chambre de réaction.

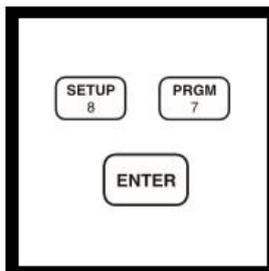
**Note :** S'assurer que les dispositifs de sécurité sont en place pour protéger le technicien en cas d'éclaboussures ou de fuites.



2. Entrer le numéro de programme mémorisé pour le phosphore total gamme haute, Test 'N Tube.

Appuyer sur : **PRGM**

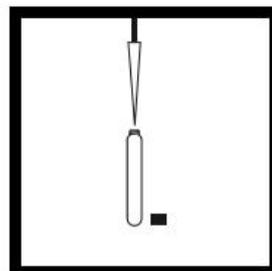
L'affichage indique : **PRGM ?**



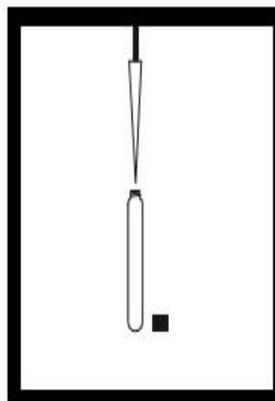
3. Appuyer sur : **87 ENTER**

L'affichage indique **mg/L,  $\text{PO}_4$**  et le symbole **ZERO**.

**Note :** Pour les autres formes ( $\text{P}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ), appuyer sur la touche **CONC..**

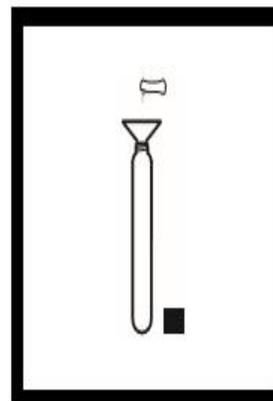


4. Avec une pipette TenSette®, ajouter 5,0 ml d'eau désionisée à une fiole Test 'N Tube de phosphore total (le blanc).

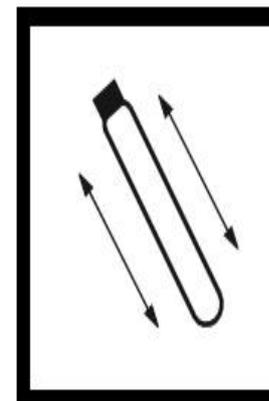


5. Avec une pipette TenSette, ajouter 5,0 ml d'échantillon à une fiole Test 'N Tube de phosphore total (l'échantillon).

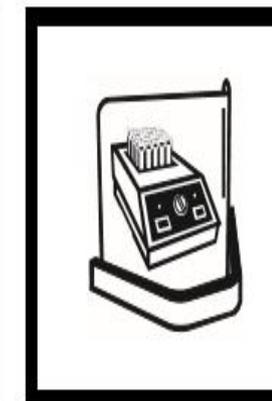
**Note :** Ajuster le pH des échantillons préservés entre 6 à 8 avant l'analyse.



6. En utilisant un entonnoir, ajouter le contenu d'un sachet de poudre de persulfate de potassium à chaque fiole.



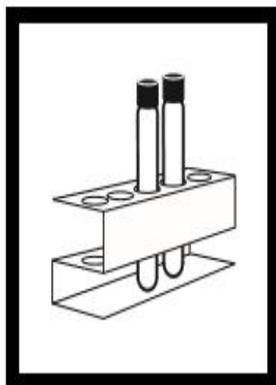
7. Bien boucher et secouer pour dissoudre.



8. Placer les fioles dans la chambre de réaction DCO. Chauffer pendant 30 minutes.

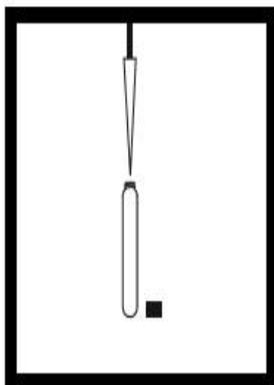
Appuyer sur : **TIMER ENTER** pour minuter la période de chauffage.

## PHOSPHORE, TOTAL, gamme haute, suite



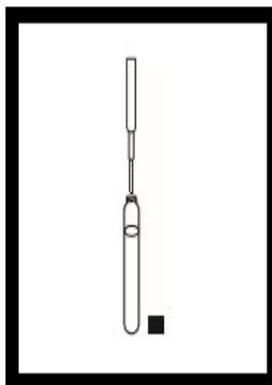
9. Avec précaution, enlever les fioles de la chambre de réaction. Les placer dans un support de tubes à essai et les laisser refroidir à la température ambiante (18 à 25 °C).

**Note :** Les fioles doivent être chaudes.



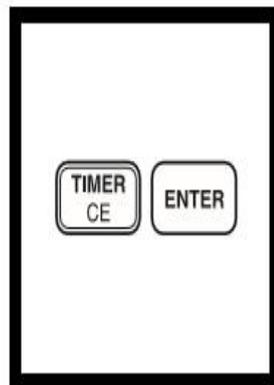
10. À l'aide d'une pipette TenSette, ajouter 2,0 ml d'hydroxyde de sodium 1,54 N à chaque fiole.

Boucher et retourner pour mélanger.



11. À l'aide d'un compte-gouttes en polyéthylène, ajouter 0,5 ml de réactif au molybdovanadate à chaque fiole.

Boucher et retourner pour mélanger.



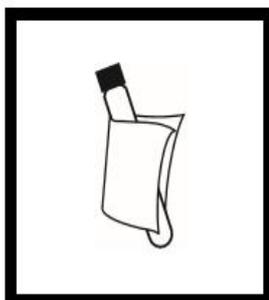
12. Appuyer sur : **TIMER ENTER**

Une période de réaction de 7 minutes commence.

**Note :** Relever les échantillons entre 7 et 9 minutes.

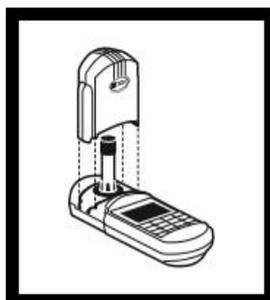


13. Introduire l'adaptateur DCO/TNT dans le puits de mesure en le faisant tourner jusqu'à ce qu'il tombe en place. L'enfoncer alors complètement.



14. Nettoyer l'extérieur des fioles avec une serviette.

**Note :** Essuyer avec une serviette humide puis avec une serviette sèche afin d'enlever les traces de doigts ou autres marques.

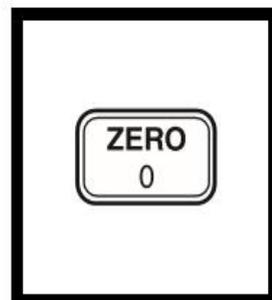


15. Quand le minuteur retentit, placer la fiole témoin dans l'adaptateur.

Appuyer droit vers le bas sur le haut de la fiole jusqu'à ce qu'elle repose fermement dans l'adaptateur.

Couvrir hermétiquement la fiole avec le capot de l'appareil.

**Note :** Ne pas déplacer la fiole latéralement car cela peut causer des erreurs.



16. Appuyer sur : **ZERO**

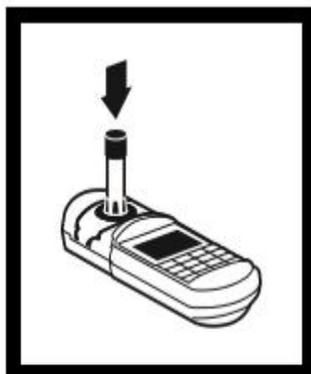
Le curseur se déplace vers la droite puis l'affichage indique :

**0,0 mg/L de PO<sub>4</sub>**

**Note :** Les solutions témoins de chaque lot de réactifs peuvent être utilisées plus d'une fois, mais elles ne doivent pas servir pendant plus d'une journée.

## PHOSPHORE, TOTAL, gamme haute, suite

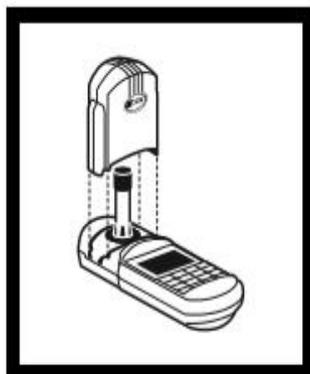
---



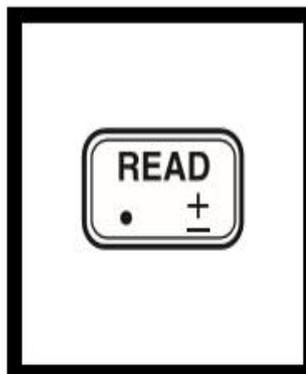
**17.** Placer la fiole d'échantillon préparé dans l'adaptateur.

Appuyer droit vers le bas sur le haut de la fiole jusqu'à ce qu'elle repose fermement dans l'adaptateur.

**Note :** Ne pas déplacer la fiole latéralement car cela peut causer des erreurs.



**18.** Couvrir hermétiquement la fiole avec le capot de l'appareil.



**19.** Appuyer sur : **READ**

Le curseur se déplace vers la droite puis le résultat en mg/l de phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) s'affiche.

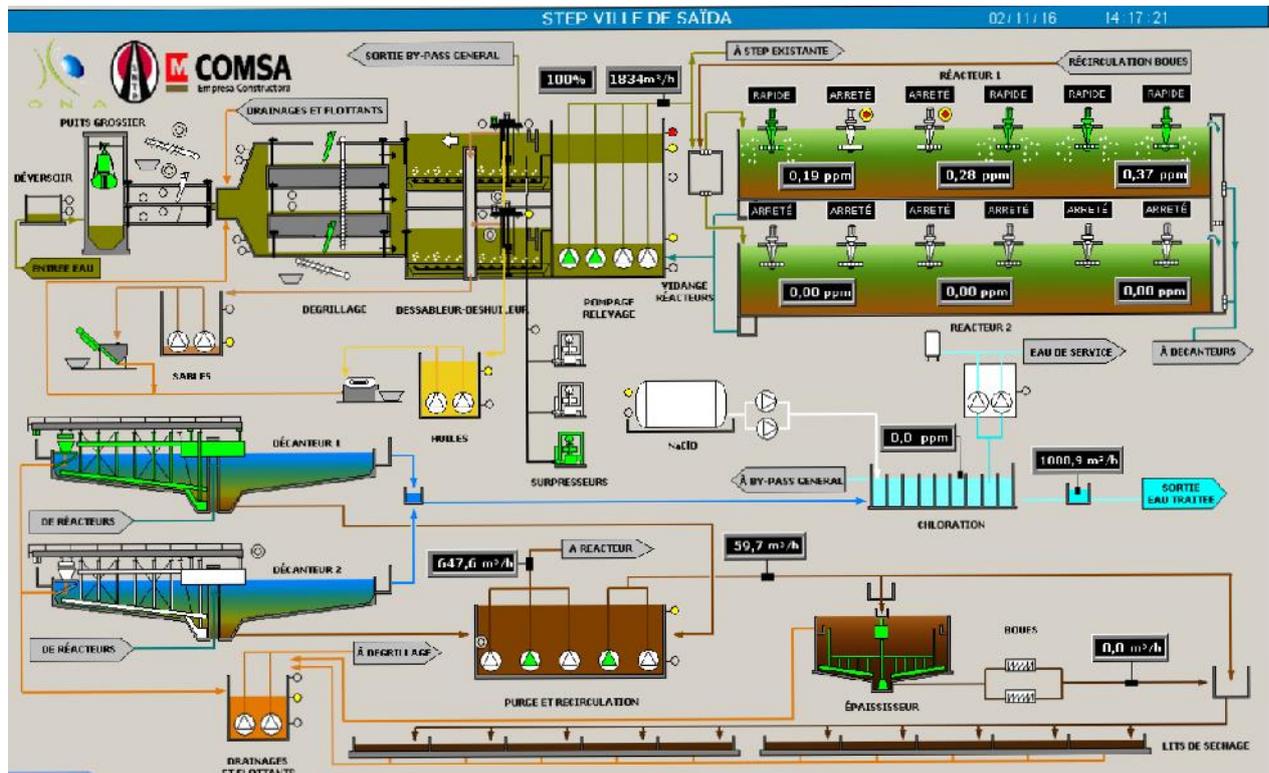
**Note :** Pour obtenir de meilleurs résultats, utiliser la procédure "Ajustement de l'étalon" avec chaque nouveau lot de réactifs utilisé. (Voir Vérification de l'exactitude.)

## Annexe 2

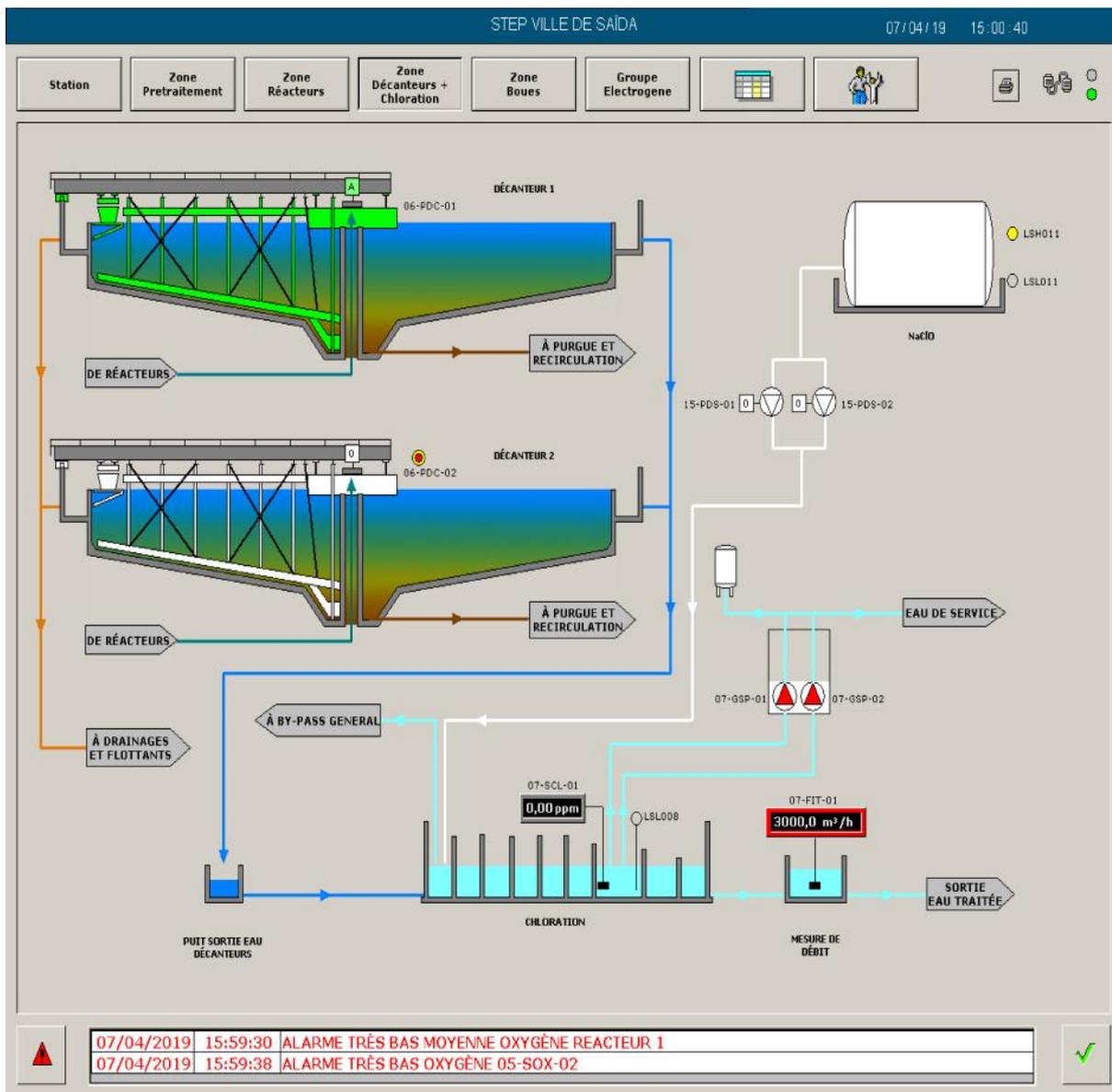
### Liste des normes sur l'ACV

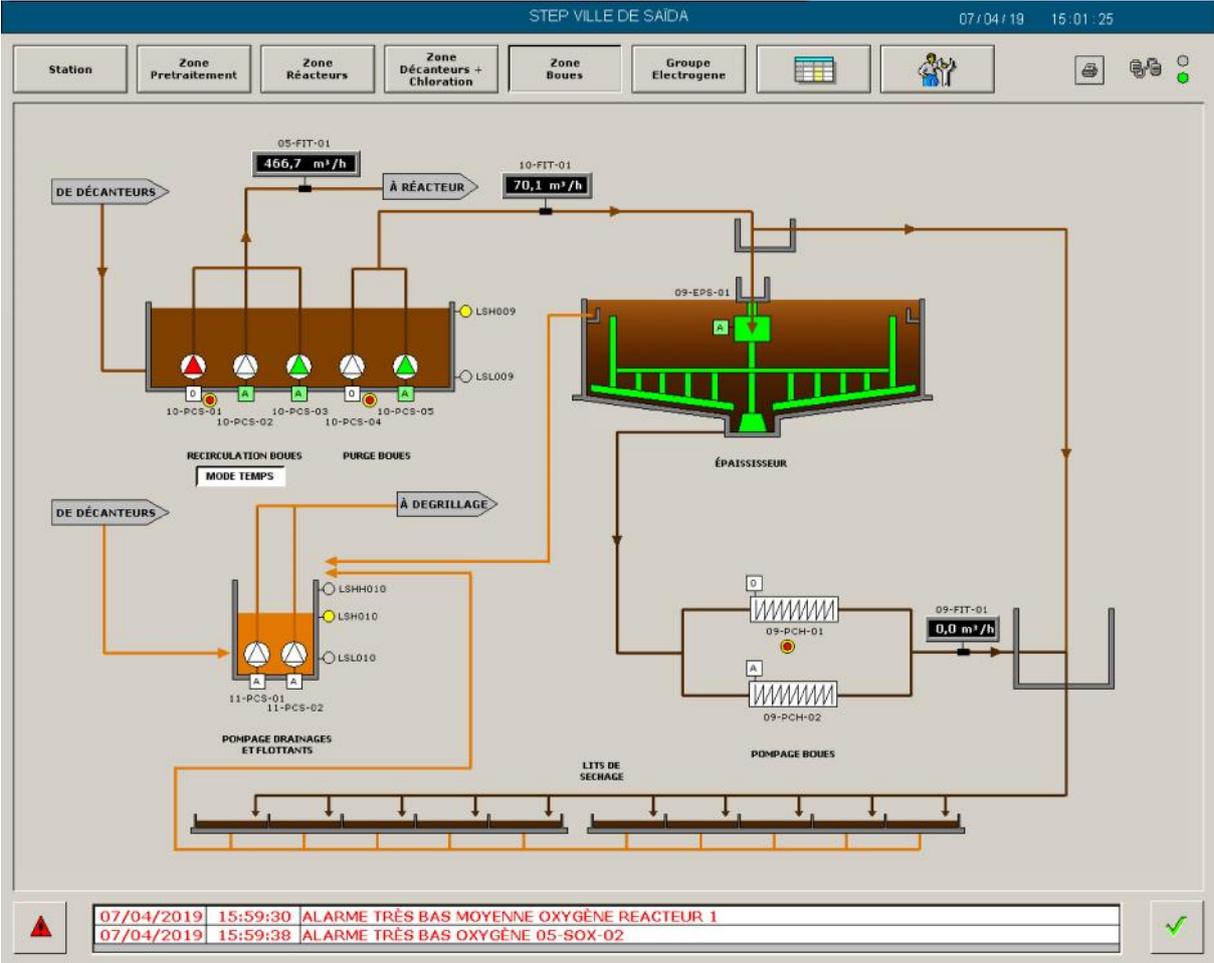
Référence	Nom de la norme	Année
ISO IS 14-040	" Management Environnemental – Analyse du cycle de vie – Principes et cadres "	1997
ISO IS 14-041	" Management Environnemental – Analyse du cycle de vie – Définition de l'objectif et du champ de l'étude et analyse de l'inventaire "	1998
ISO IS 14-042	" Management Environnemental – Analyse du cycle de vie – Evaluation d'impact du cycle de vie "	2000
ISO IS 14-043	" Management Environnemental – Analyse du cycle de vie – Interprétation du cycle de vie "	2000
ISO TR 14-049	"Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Exemples d'applications de l'ISO 14-041"	2000

### Les procédés de traitement









## Résumé

L'objectif de cette étude est de présenter un bilan environnemental des filières du traitement et valorisation, en utilisant une analyse de cycle de vie appliquée aux boues d'épuration de la STEP d'Errabahia, Saida. L'analyse physico chimiques des eaux usées a mis en évidence l'existence d'une forte concentration en DCO=483,42. MES=229,01. Et DBO<sub>5</sub>=290,56). Et par conséquent, les boues issues du traitement des eaux usées urbaines sont chargées en polluants, le test de lixiviation de cette boue étudiée montre qu'elle est riche en phosphates, métaux lourds, Sulfate. Ces polluants contenus dans les boues ont des impacts sur l'environnement. Cette présente étude a permis d'identifier les principales sources de pollution et celles respectueuse de l'environnement en utilisant les données de l'inventaire

**Mots clés :** STEP, Boues, Analyse de Cycle de Vie, Centre d'Enfouissement Technique

## Abstract

The objective of this study is to present an environmental assessment of the treatment and recovery value chains by using a life cycle analysis applied to sewage sludge from the Errabahia, Saida WWTP. The physico-chemical analysis of the wastewater revealed the existence of a high concentration of DCO = 483.42. MES = 229.01. And DBO<sub>5</sub> = 290.56). And as a result, sludge from urban wastewater treatment is pollutant-laden, the leaching test of this studied sludge shows that it is rich in phosphates, heavy metals, sulphate. These pollutants in sludge have environmental impacts. This study identified the main sources of pollution and environmentally friendly sources using inventory data

**Keywords:** Treatment plant, Sludge, Life Cycle Analysis, Technical Landfil.

الهدف من هذه الدراسة هو تقديم تقييم بيئي لقيم المعالجة والنتمين باستخدام تحليل دورة الحياة المطبقة على حمأة مجاري الربا حية بسعيدة حيث DCO = 483.42. MES= 229.01. DBO<sub>5</sub> = 290.56). وهذا ما يثبت هذه الحمأة الناتجة عن معالجة مياه الصرف الصحي في المناطق الحضرية محملة بالملوثات ، ويظهر اختبار (290.56). الترشيح لهذا الحمأة المدروسة أنه غني بالفوسفات والمعادن الثقيلة والكبريتات. هذه الملوثات في الحمأة لها آثار بيئية. حيث حددت هذه الالمصادر الرئيسية للتلوث والموارد للبيئة باستخدام تحليل

الرئيسية: تحليل الحياة