

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Ecole Nationale Polytechnique d'Alger**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme D'Ingénieur d'État en Génie de l'Environnement

Thème :

**Impact des processus de traitement des boues sur la  
production de biogaz**

Présenté par Mlle. Rania SAADI

Sous la direction de : Mr Abdelkader NAMANE Professeur (ENP)

Mlle Sana Nadjet SALAKDJI Doctorante (ENP)

**Composition de Jury :**

Présidente: Mme Chahinez TCHEKIKEN Maître de Conférences B (ENP)

Examinatrice : Mme Rym SALAH Maître de Conférences A (ENP)

**ENP 2022**



**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Ecole Nationale Polytechnique d'Alger**



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
Ecole Nationale Polytechnique

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme D'Ingénieur d'État en Génie de l'Environnement

Thème :

**Impact des processus de traitement des boues sur la  
production de biogaz**

Présenté par Mlle. Rania SAADI

Sous la direction de : Mr Abdelkader NAMANE Professeur (ENP)

Mlle Sana Nadjet SALAKDJI Doctorante (ENP)

**Composition de Jury :**

Présidente: Mme Chahinez TCHEKIKEN Maître de Conférences B (ENP)

Examinatrice : Mme Rym SALAH Maître de Conférences A (ENP)

**ENP 2022**

## ملخص

تنتج محطات معالجة مياه الصرف الصحي الحمأة التي تحتوي على كميات كبيرة من المواد العضوية. يعتبر الهضم اللاهوائي تقنية فعالة لإعادة تدوير هذه النفايات والتخلص منها، وتستخدم هذه التقنية لتحليل المواد العضوية من أجل إنتاج غاز حيوي يمكن أن يكون مصدرًا للطاقة الكهربائية والحرارية.

أجريت هذه الدراسة بهدف مقارنة إنتاج الغاز الحيوي للحمأة الناتجة من نظامي معالجة مختلفين، العينات المستخدمة في هذه الدراسة هي: الحمأة المخمرة هوائيا والحمأة المكثفة من محطة بني مسوس والحمأة المكثفة من محطة رغبة، وأظهرت النتائج المتحصل عليها أن العلاج الهوائي له تأثير سلبي على كمية الغاز الحيوي المتولد. ومع ذلك، فقد ساعد الهضم اللاهوائي في تخفيض التلوث العضوي

**الكلمات الرئيسية:** الهضم اللاهوائي، الغاز الحيوي، الحمأة، محطة معالجة مياه الصرف الصحي، إعادة التدوير

## SUMMARY

Wastewater treatment plants generate sludge that contains significant amounts of organic matter. Anaerobic digestion is an effective technique for the recovery and disposal of this waste, this technique is used to decompose organic matter in order to produce biogas which could be a source of electrical and thermal energy.

This study was carried out with the aim of comparing the biogas production yield of the two sludges from the two different treatment systems, the substrates used in this study are: stabilized and thick sludge from Beni Messous and sludge from Réghaïa, the results obtained show that the aerobic treatment step has a negative influence on the amount of biogas generated. However, methanation leads to a significant reduction in organic pollution.

**KEY WORDS:** Anaerobic digestion, Biogas, Sludge, sustainable development, WWTP

## RESUME :

Les stations d'épuration génèrent des boues qui contiennent des quantités importantes de matière organique. La digestion anaérobie est une technique efficace pour la valorisation et l'élimination de ces déchets, cette technique sert à décomposer la matière organique afin de produire du biogaz qui pourrait être une source d'énergie électrique et thermique.

Cette étude a été réalisée dans le but de comparer le rendement de production de biogaz des deux boues issues des deux systèmes de traitement différents, les substrats utilisés lors de cette étude sont : les boues stabilisées et épaisses de Beni Messous et les boues de Réghaïa, les résultats obtenus montrent que l'étape de traitement aérobie a une influence négative sur la quantité de biogaz générée. Cependant, la méthanisation a permis d'avoir une réduction significative de la pollution organique.

**MOTS CLES :** Biogaz, Boue, Digestion anaérobie, STEP, Développement durable

**DEDICACES**

*Je dédie ce travail*

*A mes parents pour leur appui et leur encouragement tout au long de mon  
parcours universitaire*

*A toute ma famille.*

*Merci d'être toujours là pour moi.*

### REMERCIEMENTS

Je souhaiterais dans un premier temps remercier mon promoteur ; **Mr NAMANE Abdelkader**, pour avoir accepté de m'encadrer, pour son soutien, ses conseils, son esprit critique, sa disponibilité et pour m'avoir accompagnée tout au long de ce projet de fin d'étude.

Je remercie également ma promotrice **Mlle Sana Nadjat SALAKDJI**, Doctorante à l'École Nationale Polytechnique pour sa présence, son suivi ainsi que pour avoir contribué à l'amélioration de la qualité de mon travail.

Mes remerciements sont adressés à **Mme TCHEKIKEN Chahinez** pour m'avoir fait l'honneur de présider ce jury.

Je remercie également **Mme SALAH Rym** de l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant d'examiner ce travail

Mes vifs remerciements sont également dirigés à tous mes enseignants du département de génie de l'environnement.

Enfin, je souhaite remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de ce parcours universitaire.

# Sommaire

## LISTE DES FIGURES

## LISTE DES TABLEAUX

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>10</b>
<b>I. CHAPITRE 1 : LA MÉTHANISATION</b> .....	<b>13</b>
I.1. DEFINITION.....	13
I.2. INTERETS DE LA METHANISATION.....	13
I.3. PRINCIPE DE LA METHANISATION.....	13
I.4. ÉTAPES DE LA METHANISATION .....	13
I.4.1. <i>L'hydrolyse</i> .....	14
I.4.2. <i>L'acidogénèse et l'acétogénèse</i> .....	15
I.4.3. <i>La méthanogénèse</i> .....	16
I.5. PARAMETRES INFLUENÇANT LA METHANISATION .....	16
I.5.1. <i>La température</i> .....	16
I.5.2. <i>Le pH</i> .....	17
I.5.3. <i>L'agitation</i> .....	17
I.5.4. <i>L'alcalinité</i> .....	18
I.5.5. <i>Le potentiel d'oxydoréduction</i> .....	18
I.5.6. <i>La composition chimique de substrat</i> .....	18
I.5.7. <i>L'humidité</i> .....	18
I.6. FACTEURS D'INHIBITION .....	19
I.6.1. <i>L'oxygène</i> .....	19
I.6.2. <i>Les métaux lourds</i> .....	19
I.6.3. <i>Les Acides gras volatils (AGV)</i> .....	19
I.6.4. <i>L'ammoniac</i> .....	20
I.6.5. <i>Le sulfate</i> .....	20
I.7. VALORISATION DU BIOGAZ.....	20
I.7.1. <i>La valorisation thermique</i> .....	21
I.7.2. <i>Injection du gaz dans le réseau public</i> .....	21
I.7.3. <i>La valorisation par cogénération</i> .....	21
<b>II. CHAPITRE 2 : ORIGINE ET TRAITEMENT DES BOUES</b> .....	<b>22</b>
II.1. LES DIFFERENTS TYPES DE BOUES .....	23

II.1.1.	<i>Les boues primaires</i> .....	23
II.1.2.	<i>Les boues secondaires</i> .....	23
II.1.3.	<i>Les boues tertiaires</i> .....	24
II.1.4.	<i>Les boues mixtes</i> .....	24
II.1.5.	<i>Les boues digérées</i> .....	24
II.2.	COMPOSITION DES BOUES.....	24
II.2.1.	<i>Eléments fertilisants</i> .....	24
II.2.2.	<i>Eléments traces métalliques</i> .....	25
II.2.3.	<i>Les polluants organiques</i> .....	25
II.2.4.	<i>Les micro-organismes pathogènes</i> .....	26
II.3.	LES ETAPES DE TRAITEMENT DES BOUES .....	26
II.3.1.	<i>L'épaississement</i> .....	26
II.3.2.	<i>La stabilisation</i> .....	26
II.3.3.	<i>La déshydratation</i> .....	27
II.3.4.	<i>Le séchage</i> .....	27
<b>III.</b>	<b>CHAPITRE 3 : CARCATÉRISATION DES STEP</b> .....	<b>30</b>
III.1.	LA STEP DE REGHAÏA .....	30
III.1.1.	<i>Présentation générale</i> .....	30
III.1.2.	<i>Caractéristiques de la STEP</i> .....	30
III.1.3.	<i>Procédé de traitement des boues</i> .....	31
III.2.	LA STEP DE BENI MESSOUS.....	33
III.2.1.	<i>Présentation générale</i> .....	33
III.2.2.	<i>Caractéristiques de la STEP</i> .....	33
III.2.3.	<i>Procédé de traitement des boues</i> .....	34
<b>IV.</b>	<b>CHAPITRE 4 : MATÉRIEL ET MÉTHODES</b> .....	<b>37</b>
IV.1.	ECHANTILLONS ET PRELEVEMENT.....	37
IV.2.	PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES BOUES.....	37
IV.2.1.	<i>Les matières en suspension (MES)</i> .....	37
IV.2.2.	<i>La siccité</i> .....	38
IV.2.3.	<i>La demande chimique en oxygène (DCO)</i> .....	38
IV.2.4.	<i>Le titre alcalimétrique complet (TAC) et les acides gras volatils (AGV)</i> .....	38
IV.2.5.	<i>Le pH</i> .....	39
IV.3.	ESSAI DE BIODEGRADATION .....	40
IV.3.1.	<i>Dispositif opératoire</i> .....	40

IV.3.2.	<i>Analyses physico-chimiques</i> .....	40
IV.3.3.	<i>Mode opératoire</i> .....	41
<b>V.</b>	<b>CHAPITRE 5 : RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	<b>43</b>
V.1.	ECHANTILLONNAGE .....	43
V.2.	CARACTERISATION INITIALE DES ECHANTILLONS .....	43
V.2.1.	<i>Observations visuelles</i> .....	43
V.2.2.	<i>Caractérisation physico-chimique</i> .....	44
V.3.	TEST DE BIODEGRADABILITE.....	50
V.3.1.	<i>Evolution des paramètres physico-chimiques (mois de mai)</i> .....	50
V.3.2.	<i>Production cumulée de CO<sub>2</sub> (mois de mai)</i> .....	55
V.3.3.	<i>Evolution des paramètres physico-chimiques (mois de juillet)</i> .....	57
V.3.4.	<i>Production cumulée de CO<sub>2</sub> (mois de juillet)</i> .....	63
V.4.	CONCLUSION.....	64
	<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	<b>66</b>
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>68</b>
	<b>ANNEXE</b> .....	<b>73</b>

## Liste des figures

Figure I.1: Les 4 étapes de la méthanisation (d'après Gourdon, 1987) [2].....	14
Figure II.1: Schématisation des étapes de traitement des boues des stations.....	28
Figure III.1: Localisation de la STEP de Réghaïa.....	30
Figure III.2 : Localisation de la STEP de Beni-Messous .....	33
Figure IV.1: Aspect des boues : (a) STEP de Réghaïa, (b) STEP de Beni Messous .....	37
Figure IV.2: pH-mètre HI 2211 HANNA .....	39
Figure IV.3: Dispositif opératoire de biodégradation .....	40
Figure V.1: Mesure du pH des échantillons de boue étudiés .....	44
Figure V.2: Mesure des AGV des échantillons de boue étudiés .....	45
Figure V.3: Mesure du TAC des échantillons de boue étudiés .....	46
Figure V.4: Mesure de rapport AGV/TAC des échantillons de boue étudiés.....	47
Figure V.5: Mesure des MES des échantillons de boue étudiés .....	48
Figure V.6: Mesure de la siccité des échantillons de boue étudiés .....	49
Figure V.7: Mesure de la DCO des échantillons de boue étudiés.....	49
Figure V.8: Variation du pH en fonction du temps.....	51
Figure V.9: Variation du TAC en fonction du temps.....	52
Figure V.10: Variation des AGV en fonction du temps.....	53
Figure V.11: Variation du rapport AGV/TAC en fonction du temps.....	54
Figure V.12: Variation de la DCO en fonction du temps.....	55
Figure V.13: Production cumulée de CO <sub>2</sub> en fonction du temps.....	56
Figure V.14: Variation du pH en fonction du temps.....	58
Figure V.15: Variation des AGV en fonction du temps.....	58
Figure V.16: Variation du TAC en fonction du temps.....	59
Figure V.17: Variation du rapport AGV/TAC en fonction du temps .....	60
Figure V.18: Variation des MES en fonction du temps .....	61
Figure V.19: Variation de la siccité en fonction du temps.....	61
Figure V.20: Variation de la DCO en fonction du temps.....	62
Figure V.21: Production cumulée de CO <sub>2</sub> en fonction du temps.....	63

### Liste des tableaux

Tableau III.1: Les débits entrants dans la STEP de Réghaïa .....	31
Tableau III.2 : La charge polluante de la STEP de Réghaïa en 2017 [41].....	31
Tableau III.3: Dimensions des bassins d'épaississement de la STEP de Réghaïa [41] .....	32
Tableau III.4: Dimensions des bassins de stockage la STEP de Réghaïa [41] .....	32
Tableau III.5 : Les débits entrants dans la STEP de Beni Messous en 2020 [42].....	34
Tableau III.6 : La charge polluante de la STEP de Beni Messous en 2020 [42] .....	34
Tableau III.7 : Dimensions des bassins d'épaississement de la STEP de Beni Messous [43].....	34
Tableau III.8 : Dimensions des stabilisateurs de la STEP de Beni Messous [43].....	35
Tableau V.1: les dates de prélèvement des échantillons .....	43
Tableau V.2: la durée et les échantillons utilisées pendant cette étude.....	50
Tableau V.3: la caractérisation initiale de la première expérience.....	51
Tableau V.4: la caractérisation initiale de la deuxième expérience .....	57

# **Introduction**

Les boues issues des stations d'épuration contiennent des quantités importantes de matières organiques et de nutriments (phosphore, azote, potassium, etc), ainsi que des éléments nocifs comme les métaux lourds et les microorganismes pathogènes. Le système de traitement des boues dépend de la quantité et de la composition des boues produites ainsi que le mode d'élimination ou valorisation choisi.

Dans le cadre du développement durable, la valorisation des boues est l'option la plus privilégiée pour minimiser les coûts d'élimination de la charge polluante. La digestion anaérobie représente une solution élégante pour résoudre le problème de valorisation des boues, elle permet à la fois de profiter du pouvoir fermentescible des boues pour détruire la matière organique et de résoudre les problèmes d'approvisionnement énergétique par la production d'une énergie renouvelable, le biogaz. Cette énergie est peu coûteuse, propre et peut être utilisée comme alternative aux énergies fossiles.

Notre étude vise à suivre la production du biogaz au cours de la biodégradation anaérobie des boues issues de deux stations d'épurations (STEP de Réghaïa et de Beni-Messous) qui traitent différemment les boues pour déterminer l'impact du système de traitement sur le rendement de processus de méthanisation.

Ce travail se compose de trois parties distinctes :

- **Une partie de recherche bibliographique** composée de deux chapitres, le premier aborde les intérêts et le principe de méthanisation en décrivant les différentes étapes de ce procédé, ainsi que les paramètres et les facteurs qui influencent le bon fonctionnement de la méthanisation. Dans un deuxième chapitre, on a présenté les types de boues ainsi que leur composition et traitement.
- **La deuxième partie** est dédiée à la description des caractéristiques et principe de fonctionnement de la filière boues des deux stations d'épurations (STEP de Réghaïa et STEP de Beni-Messous)
- **La troisième partie** est divisée en deux chapitres : le premier a été consacré à la description des méthodes et matériel utilisés dans le cadre de cette étude, le second est dédié à l'analyse et l'interprétation des résultats obtenus durant le suivi expérimental de la digestion anaérobie.

# **Chapitre 1 :**

# **La méthanisation**

## I.1. Définition

La méthanisation consiste à fermenter biologiquement la matière organique sous l'action des micro-organismes afin de produire du biogaz. Ces microorganismes sont présents dans les marais, les rizières, les sédiments lacustres et marins, le sol, l'intestin de mammifères et le tractus intestinal de certains termites [1]. Ce processus se produit en l'absence d'oxygène, d'où son appellation : digestion anaérobie.

## I.2. Intérêts de la méthanisation

Après la crise pétrolière de 1973 entraînant une augmentation spectaculaire du coût de l'énergie, la méthanisation est apparue comme une alternative compétitive aux problèmes de production d'énergie. Elle a pris une importance industrielle significative, plus encore que le compostage.

La méthanisation élimine une quantité très importante de matière organique ; son pouvoir de dégradation est parmi les plus puissants du monde biologique. En effet, un mètre cube de digesteur anaérobie permet d'éliminer 10 fois plus de pollution qu'un système aérobie dans le même espace-temps. Ceci est principalement dû à la forte concentration des microorganismes utilisés.[1][2].

## I.3. Principe de la méthanisation

La méthanisation est une transformation naturelle qui se déroule en absence d'oxygène. Cette transformation conduit à la production d'une énergie renouvelable, du biogaz, qui se compose principalement du méthane, de gaz carbonique et d'eau.

Pour que ce procédé puisse fonctionner, la matière organique doit être fraîche avec une teneur importante en constituants rapidement biodégradables, généralement supérieure à 50% de la matière sèche (MS) [3].

## I.4. Etapes de la méthanisation

La biodégradation anaérobie consiste à décomposer la matière organique sous l'action d'une communauté bactérienne de caractéristique distincte dont les micro-organismes actifs sont des bactéries anaérobies strictes ou facultatives. Ce processus est séquentiel se déroule en 4 étapes biochimiques, comme montré sur la figure I.1.

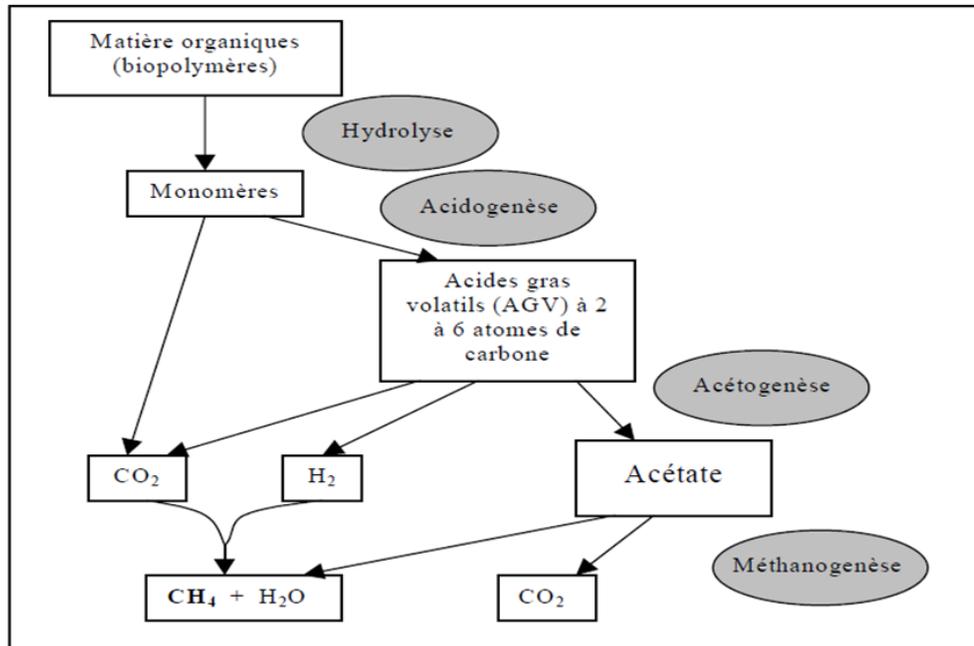


Figure I.1: Les 4 étapes de la méthanisation (d'après Gourdon, 1987) [2]

Des groupes distincts de bactéries sont impliqués dans le processus de méthanisation. Il faut maintenir un équilibre dynamique entre les différentes populations car les conditions favorables à la croissance de certains types des bactéries peuvent être inhibitrices pour d'autres. [2]

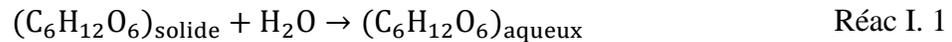
Chaque population doit avoir le temps de se développer et de trouver sa place au sein de cet écosystème particulier [3].

### I.4.1. L'hydrolyse

La première étape de la fermentation méthanique est la **solubilisation/liquéfaction** des composés organiques insolubles grâce à des micro-organismes appelés « bactéries hydrolytiques » [5] [6], ces bactéries appartiennent aux genres *Clostridium*, *Bacillus*, *Ruminococcus*, *Enterobacteroides*, *Propionibacterium* et *Butivibrio* [3].

Durant l'étape de l'hydrolyse, les matières organiques insolubles de haut poids moléculaire sont dégradées par des enzymes extracellulaires en molécules solubles simples tels que : les sucres qui sont obtenus à partir des polysaccharides, les acides aminés à partir des protéines, les acides gras volatils (AGV) et les alcools à partir des lipides et les polysaccharides. Ces transformations conduisent à la production des autres résidus comme l'ammoniac, le gaz carbonique et l'hydrogène.

L'équation (I.1) représente la réaction globale dans cette première étape [6] :



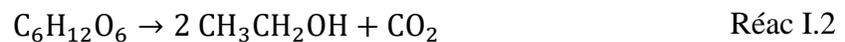
À ce stade de digestion, la dégradation de la matière organique est incomplète dont 50 % restent à l'état primaire à cause des faibles vitesses des réactions d'hydrolyse et le temps de séjour lent.

### I.4.2. L'acidogénèse et l'acétogénèse

La seconde étape de la fermentation méthanique n'est autre que l'**acidogénèse**. C'est un processus d'acidification qui génère des intermédiaires métaboliques essentiels pour la production de méthane. Passant par un processus d'oxydation/réduction, les bactéries acidogènes transforment les produits hydrosolubles (sucre simple, acide aminé et acide gras à longue chaîne) en AGV à chaîne courte (formique, acétique, propénoïque, butyrique et pentatonique), alcools (méthanol, éthanol), aldéhydes, dioxyde de carbone et enfin en hydrogène [6]. Ces bactéries appartiennent souvent au genre Clostridium, mais certaines font partie des genres Bacteroides, Bacillus, Pelobacter, Acetobacterium, Ulyobacter ou de la famille des Enterobacteriaceae [3]

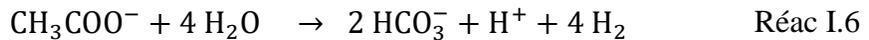
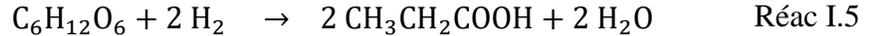
Les vitesses enzymatiques des réactions biochimiques sont rapides et nécessitent donc des temps de séjours beaucoup plus courts que dans le cas de l'hydrolyse. Le processus est fortement influencé par les conditions opératoires tels que le pH, la température, la pression partielle et le temps de séjour.

Les équations (I.2) et (I.3) représentent les réactions à cette étape [6] :



En fonction du pouvoir tampon des boues (TAC), il est à noter que des concentrations élevées en AGV produits durant l'acidogénèse peuvent entraîner une baisse du pH dans les réacteurs, ce qui est toxique pour certaines bactéries méthanogènes. Des précautions doivent être prises pour maintenir un tampon adéquat dans le système en ajoutant des produits chimiques comme la chaux et la soude .

L'**acétogénèse** est la troisième étape de métabolique anaérobie, les bactéries acétogènes convertissent les produits de l'acidogènes en acétate, hydrogène et dioxyde de carbone [7]. Les réactions globales à ce stade sont représentées par les réaction (I.4), (I.5) et (I.6) [6] :



L'acétogénèse est une étape décrivant l'efficacité de la production de biogaz, environ 70 % du méthane provient du processus de réduction des acétates. Par conséquent, les acétates sont des intermédiaires clés du processus de méthanisation [7].

### I.4.3. La méthanogénèse

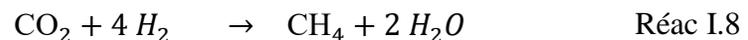
La méthanogénèse est la dernière étape de production de biométhane. Les micro-organismes impliqués dans ses réactions sont des bactéries méthanogènes de nature anaérobie stricte. ces bactéries sont classées dans le domaine des Archea en cinq ordres qui regroupent 10 familles 26 genres et 72 espèces validées [8]. Parmi les genres qui interviennent à la digestion anaérobie on trouve : methanobacterium, methanothermobacter, methanoculleus, methanospirillum [9].

Deux voies métaboliques se manifestent durant l'étape de méthanogénèse pour que les produits de l'acétogénèse (essentiellement acétate, formate, dioxyde de carbone et hydrogène) seront convertis en méthane [7] :

La voie **acétoclaste** produit 70 % de méthane, comme mentionnée précédemment. Elle est due aux bactéries méthanogènes acétotrophes qui transforment l'acide acétique en méthane. Cette voie peut utiliser d'autres métabolites tels que le formate, le méthanol et les méthylamines (réaction I.7).



La voie **hydrogénotrophe** quant à elle est due aux bactéries hydrogénophiles réduisant le  $\text{CO}_2$  par l'hydrogène pour produire du méthane (réaction I.8).



## I.5. Paramètres influençant la méthanisation

### I.5.1. La température

La température a un impact significatif sur la croissance des micro-organismes. En effet, chaque ensemble de bactérie engagé dans le processus de digestion anaérobie a une température optimale

qui favorise sa croissance. Par conséquent, un processus de digestion anaérobie efficace dépend de la température optimale qui doit être un compromis permettant le développement de tous les groupes bactériens disponibles pour la dégradation. De ce fait, la température doit être ajustée avec précision pour garder en permanence les mêmes bactéries dans le réacteur [3] [9].

Il existe différentes plages de températures auxquelles la digestion anaérobie peut être effectuée, chacune nécessitant un ensemble spécifique de micro-organismes :

- 34 – 36 °C : pour les **méthanogènes mésophiles** ;
- 55 – 60 °C : pour les **méthanogènes thermophiles** qui sont plus sensibles aux variations de température que les méthanogènes mésophiles.

## **I.5.2. Le pH**

Le pH est un paramètre important affectant la croissance des micro-organismes pendant la fermentation anaérobie. La variation de pH peut être utilisée comme un indicateur et comme cause de déséquilibre du processus, puisque certains micro-organismes impliqués dans la digestion anaérobie ne peuvent fonctionner que dans une plage de pH spécifique.

L'utilisation du pH comme indicateur de processus repose sur le fait qu'une chute de pH correspond à l'accumulation des AGV. Certains systèmes anaérobies appliquent la surveillance des valeurs de pH, ces valeurs peuvent être améliorées en ajoutant une base. Dans un réacteur à faible pouvoir tampon et sans contrôle du pH, l'accumulation des AGV peut abaisser le pH rapidement d'où la nécessité de la neutralisation avant le démarrage de processus [11].

## **I.5.3. L'agitation**

Le contenu du digesteur doit être agité pour assurer le contact entre les microorganismes et le substrat, conduisant finalement à une meilleure digestion [12].

Des études ont montré que les digesteurs sous agitation produisaient plus de biogaz que les digesteurs non agités, mais l'agitation intense au démarrage doit être évitée car elle entraînerait une baisse du pH, une instabilité des performances et un temps de démarrage prolongé [13].

### **I.5.4. L'alcalinité**

L'alcalinité de la boue en bicarbonate doit être supérieure à 2000 mg/l de  $\text{CaCO}_3$  pour un maximum de production de biogaz. En effet, l'alcalinité procure à la boue un pouvoir tampon permettant aux AGV produits lors de la phase d'acidogénèse de ne pas réduire le pH du milieu, une situation qui rendrait défavorables les conditions opératoires des microorganismes. C'est pourquoi, le suivi de la concentration en AGV, qui ne doit pas dépasser les 3000 mg/l, permet de s'assurer que les réactions de dégradation se déroulent correctement [14]. Il est à noter que les boues contiennent dès le départ des AGV. Un rapport AGV/alcalinité  $< 0,8$  est nécessaire pour démarrer la production de méthane [15].

### **I.5.5. Le potentiel d'oxydoréduction**

Les bactéries de la famille des anaérobies sont sensibles aux variations du potentiel redox. En effet, leur culture se fait dans des conditions réduites afin de favoriser leurs fonctions microbiennes. C'est pourquoi, la production de méthane nécessite que le potentiel redox soit dans la plage négative (entre  $-0,2$  et  $-0,4$  V) [16].

### **I.5.6. La composition chimique de substrat**

Pour une digestion anaérobie adéquate, le rapport entre les éléments nutritifs (soufre, azote, phosphore) doit être équilibré. Les méthanogènes utilisent l'ammoniac et le sulfure comme sources d'azote et de soufre respectivement. Cependant, le sulfure non ionisé est toxique pour les méthanogènes pour des concentrations dépassant les 150 à 200 mg/l [17].

Enfin, il a été noté que l'ajout à la boue d'un mélange des bactéries et de micronutriments (Fe, Co, Ni et Mo), à des concentrations pourtant faibles, permet d'accroître considérablement la production de biométhane [18].

### **I.5.7. L'humidité**

La présence d'eau est indispensable pour le procédé de méthanisation. Le substrat doit contenir entre 85 et 90 % d'eau correspondant à de 10 à 15% de matière sèche pour que l'étape d'hydrolyse puisse se dérouler normalement. Si l'humidité est insuffisante, l'acidification se produit trop rapidement au détriment de la méthanisation [19].

**I.6. Facteurs d'inhibition****I.6.1. L'oxygène**

L'absence de l'oxygène n'est pas absolument nécessaire pour l'étape de l'acidification, en général les bactéries acidifiantes sont facultativement anaérobies.

Cependant, l'effet inhibiteur de l'oxygène commence à 0,1 mg/l d'O<sub>2</sub> pour les méthanogènes car ce sont des bactéries strictement anaérobies. Elles utilisent le nitrate, sulfate ou carbonate comme accepteur d'hydrogène.

Les méthanogènes se développent toujours en présence de bactéries acidifiantes, qui consomment immédiatement l'oxygène disponible, les conditions anaérobies doivent être maintenues dans des réacteurs fermés [20].

**I.6.2. Les métaux lourds**

Les métaux lourds, présents dans les eaux usées et les boues à partir des sources industrielles, peuvent inhiber la digestion anaérobie. A faibles concentrations, ils agissent comme des oligo-éléments stimulant l'activité des bactéries. Tandis qu'à partir de concentrations plus élevées, ils peuvent avoir des effets toxiques. En particulier, le plomb, le cadmium, le cuivre, le zinc, le nickel et le chrome [20].

**I.6.3. Les Acides gras volatils (AGV)**

Une acidification trop forte peut se produire pour deux situations : si le substrat est trop abondant et trop fermentescible, ce qui conduit à l'accumulation des AGV, ou bien, si les bactéries acétogènes ou méthanogènes sont inhibées à cause de la variation de température ou du fait de la présence de certains inhibiteurs comme les métaux lourds et le H<sub>2</sub>S.

Les conséquences de cette acidification sont : la chute du pH, le dysfonctionnement des bactéries méthanogènes donc la diminution de la quantité de biogaz produite et la perte de qualité du biogaz à cause de l'augmentation de la concentration en CO<sub>2</sub>.

En cas d'acidose détectée, l'arrêt de l'apport de substrat, le mélange du milieu (pour favoriser l'activité des bactéries) et l'ajout d'une base sont nécessaires pour permettre au système de redevenir fonctionnel [21].

**I.6.4. L'ammoniac**

L'ammoniac est produit à partir de la matière azotée au cours de la réduction de la matière organique. L'effet inhibiteur de ce dernier commence à partir d'une concentration de 3g/L pour les bactéries méthanogènes. Un substrat trop riche en protéines (forte teneur en N  $\rightarrow$  C/N < 30) est la cause de l'excès de l'ammoniac dans le digesteur. Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de fournir un substrat moins riche en protéines et fortement fermentescible (C/N > 30) pour relancer l'activité des bactéries [20] [21].

**I.6.5. Le sulfate**

Le sulfate est réduit en sulfure par les bactéries sulfato-réductrices qui utilisent l'hydrogène et d'autres matières organiques comme l'acétate et les acides gras pour cette réduction. Cela signifie que les bactéries sulfato-réductrices sont en compétition avec les méthanogènes pour les substrats organiques et inorganiques, réduisant ainsi la disponibilité des substrats nécessaire pour la production du méthane [23]. Une deuxième inhibition résulte de la toxicité du sulfure pour divers groupes de bactéries [24].

Le H<sub>2</sub>S se développe aussi à partir du sulfate et peut inhiber le processus de digestion anaérobie à des concentrations aussi faibles que 50 mg/l. Le H<sub>2</sub>S réagit également avec des métaux lourds auxquels il se lie et précipite sous forme d'ions sulfure (S<sup>2-</sup>) [25].

**I.7. Valorisation du biogaz**

Le biogaz est une source énergétique d'origine renouvelable, contrairement au gaz naturel, au charbon et au pétrole qui sont d'origine fossile.

Le biogaz possède un potentiel énergétique important qui lui permet d'être utilisé comme source énergétique pour plusieurs applications. Il peut être converti en d'autres formes d'énergie comme la chaleur et l'électricité. De plus, la combustion de biogaz est moins polluante que d'autres combustibles fossiles comme le charbon ou le pétrole, mais aussi moins polluante que d'autres sources d'énergies renouvelables.

Un autre avantage du biogaz comme une source d'énergie renouvelable demeure dans le fait que la technologie du gaz naturel existante, développée et éprouvée depuis de nombreuses années, peut être utilisée immédiatement pour ce nouveau type de source d'énergie. [26]

## **I.7.1. La valorisation thermique**

La valorisation thermique est la méthode la plus courante, la plus efficace et la plus contrôlée. Elle consiste à récupérer le maximum d'énergie contenue dans le biogaz afin de l'utiliser comme source d'énergie thermique, ce qui permet de remplacer d'autres sources comme le propane, le gaz naturel ou le mazout. Pour le procédé psychrophile, environ 10 % seulement du biogaz est nécessaire pour chauffer le digesteur, les 80 % restants de l'énergie peuvent être récupérés. Cependant, les procédés mésophiles et thermophiles consomment plus d'énergie, laissant moins d'énergie pour d'autres usages [10].

## **I.7.2. Injection du gaz dans le réseau public**

Pour injecter le biogaz dans le réseau public, il est nécessaire qu'il subisse un traitement de purification afin de séparer le méthane des autres composées (la vapeur d'eau, dioxyde de carbone, ...). Il doit être à 96 % pur en méthane et d'une qualité conforme au réseau national. [27]

## **I.7.3. La valorisation par cogénération**

Il s'agit de la production simultanée d'électricité et de chaleur par la combustion de biogaz. Pour un meilleur rendement, la qualité du biogaz doit être améliorée.

Généralement, le rendement électrique est de 35 %, tandis que la récupération d'énergie thermique peut atteindre un rendement global de 80 %. Celle-ci peut avoir plusieurs usages comme le chauffage des digesteurs. [27]

**Chapitre 2 :**  
**Origine et traitement des**  
**boues**

Lors du traitement des eaux usées dans les stations d'épuration, l'eau épurée est rejetée directement dans le milieu naturel. Tandis que les résidus de ce traitement sont rassemblés dans des suspensions plus ou moins concentrées appelées boues.

Parmi ces résidus, on distingue :

- Les matières particulaires décantables directement ou issues d'un procédé physico-chimique.
- Les micro-organismes en excès issus de la transformation des matières organiques dissoutes.
- Les matières minérales non biodégradables [28].

## **I.8. Les différents types de boues**

Selon la nature de traitement implémenté, on distingue :

### **I.8.1. Les boues primaires**

Ces boues sont composées de particules de grosses tailles et de forte densité puisqu'elles sont issues du procédé de décantation primaire. Il est donc facile d'augmenter leur concentration par épaissement statique et présentent une bonne aptitude à la déshydratation. Aussi, ces boues sont très fermentescibles car riches en matières organiques et minérales [28].

### **I.8.2. Les boues secondaires**

Les boues secondaires, également appelées boues biologiques, sont issues d'une seconde décantation se produisant dans un bassin de clarification, suite au traitement biologique qui est possible grâce à la disponibilité de micro-organismes dans les eaux usées.

Les bactéries épuratrices utilisent l'oxygène dissous pour favoriser la croissance du floc biologique, ces derniers facilitent la rétention par décantation de la biomasse au sein du clarificateur. La taille et la qualité des floccs biologiques dépendent de la charge massique, de la part d'auto-oxydation de la biomasse et des caractéristiques des eaux usées d'entrée.

Caractérisées par un taux de Matières Volatiles en Suspension (MVS) élevé (> 65%) et d'une concentration en Matière Sèche (MS) faible (<10 g/l), les boues secondaires présentent une

aptitude passable à la déshydratation. Une partie de ces boues est renvoyée vers les bassins d'aération afin d'y maintenir la population bactériennes [28] [29].

### **I.8.3. Les boues tertiaires**

Certaines stations d'épurations, et pour des raisons particulières, poussent encore le traitement jusqu'à l'élimination d'un maximum de particules en suspension des eaux clarifiées, généralement par voie physico-chimique. Les boues issues de ce traitement sont appelées boues tertiaires ou boues physico-chimiques et leur composition dépend de la nature du coagulant/floculant (minéral ou organique) [28].

### **I.8.4. Les boues mixtes**

Les boues mixtes sont constituées d'un mélange de boues primaire, secondaire et tertiaire (si disponible). Les propriétés de ces boues dépendent des proportions du mélange (généralement 35 à 45 % de boues primaires contre 55 à 65 % de boues secondaires) [28].

### **I.8.5. Les boues digérées**

Ce sont des boues issues du procédé de digestion anaérobie des boues mixtes après leur passage dans l'épaississeur. Le taux de MVS est réduit par ce processus à 50 % tandis que la matière sèche accroît jusqu'à l'ordre de 30 g/l, ce qui procure à ces boues une bonne aptitude à la déshydratation [28].

## **I.9. Composition des boues**

Les boues contiennent plusieurs composés organiques et minéraux dont la concentration varie en fonction des caractéristiques des eaux usées brutes et de la chaîne de traitement. Certains composés ont des caractéristiques fertilisantes, d'autres présentent des risques sanitaires et environnementaux [30].

### **I.9.1. Eléments fertilisants**

Les boues contiennent une quantité importante des nutriments qui sont principalement : l'azote, le phosphore et le potassium. La teneur en azote total dans les boues est assez variable, avec des valeurs allant de 2 à 4 % dont une proportion importante peut être présente sous forme de  $\text{NH}_4$ .

L'azote peut aussi être présent sous forme de nitrate durant l'étape de nitrification dans les conditions aérobies.

Les concentrations de phosphore total, pour sa part, varient de 1,2 à 3,0 %. Des analyses connexes suggèrent que seulement 10 à 30 % du phosphore total dans les boues est du phosphore organique.

Concernant le potassium, la plupart des boues en contiendront des concentrations < 0,5 %. Cette quantité est fortement influencée par les modes opératoires de traitement des boues [31].

### **I.9.2. Eléments traces métalliques**

Les boues d'épuration domestique ont une faible teneur en métaux lourds (As, Cd, Cu, Hg, Mn, Pb, etc), ne présentant généralement aucun danger pour l'environnement. La plupart des contaminants chimiques dans les boues sont une conséquence du rejet d'effluents industriels dans le réseau d'égouts. Ces éléments sont présents sous différentes formes chimiques. Du fait de la décantation au cours du traitement, la concentration des éléments traces métalliques dans les boues est supérieure à leur concentration dans les eaux usées [32].

### **I.9.3. Les polluants organiques**

De nombreux polluants organiques s'accumulent dans les boues d'épuration en raison de leur dégradation incomplète lors du traitement des eaux usées [33]. Parmi les polluants organiques qui peuvent être contenus dans les boues : les polychlorobiphényles (PCB), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), le phtalate de di-2-éthylhexyle (DEHP), les tensioactifs anioniques et cationiques, le dibenzo-p-dioxines et dibenzofurannes polychlorés (PCDD/PCDF), les composés organiques volatiles (COV), etc [34].

Les principales sources de ces contaminants sont les industries : chimique, plastique, mécanique, pharmaceutique, sidérurgique, pétrochimique, bois, textile et l'agriculture (engrais, pesticides, insecticides, herbicides...).

Divers composés organiques font l'objet d'une attention particulière en tant que polluants potentiels du sol, des plantes et de l'eau à la suite de l'épandage des boues [30].

### I.9.4. Les micro-organismes pathogènes

Les organismes pathogènes présents dans les boues d'épuration peuvent être classés en quatre grandes catégories : virus, bactéries, parasites et champignons. Ces organismes présentent des résistances variables aux facteurs environnementaux tels que chaleur, humidité, agents chimiques et physiques.

## I.10. Les étapes de traitement des boues

Les boues produites à chaque étape de traitement des eaux usées contiennent environ 95 à 99 % d'eau. Le traitement des boues consiste avant tout à réduire leur teneur en eau, leur pollution et leur charge fermentescible afin de les préparer à la phase de valorisation ou d'élimination [35]. Il existe quatre principales techniques de transformation que la figure II.1 permet d'illustrer :

### I.10.1. L'épaississement

C'est la première étape d'une réduction importante du volume des boues. Il en existe 3 types :

- **Epaississement gravitaire** : c'est la méthode la plus utilisée. Similaire à la décantation primaire, elle se produit dans des bassins de décantation [36].
- **Epaississement par égouttage** : cette technique consiste à rajouter des flocculants organiques avant de faire passer la boue dans une toile filtrante [37].
- **Epaississement par flottation** : utilisée pour boues biologiques en faisant passer des bulles de gaz afin de remonter les particules solides en surface et les collecter, par la suite, par des bras racleurs [38].

### I.10.2. La stabilisation

Les boues épaissies sont riches en polluant organiques et sont donc instables et putrescibles. La stabilisation des boues peut être réalisées par différentes méthodes et chacune présente ses propres avantages :

- **Chimiquement** : par chaulage. L'augmentation du pH ralentit la croissance des microorganismes et donc la fermentation qui génère de mauvaises odeurs [39].

- **Biologiquement** : sans doute la plus utilisée, elle est appelée **digestion** et permet de dégrader la matière organique par des microorganismes, produisant des boues digérées aux multiples avantages. La digestion peut être :
  - **Anaérobie** : se produit dans des réacteurs fermés dans lesquels les bactéries anaérobies digèrent la matière organique et produisent, entre autres, du méthane (valorisation énergétique) [30].
  - **Aérobie** : similaire au processus des boues activées, elle se produit dans des bassins d'aération mais est très coûteuse et ne valorise pas les boues [36].
- **Thermiquement** : consiste à chauffer les boues à des pressions élevées afin de détruire la liaison eau-colloïdes et permettre ainsi une meilleure déshydratation des boues sans produits chimiques supplémentaires [40].

### I.10.3. La déshydratation

La déshydratation permet d'obtenir des boues pâteuses avec des siccités allant de 15 à 35 %. Elle se produit dans des appareillages et est optimisée par l'ajout de polymères. La séparation eau/boue est obtenue :

- Soit par **filtration** (dans des filtres à bandes ou à presse, dits à plateaux) sous l'effet d'une compression ;
- Soit par **centrifugation** sous l'effet d'une force centrifuge [41].

### I.10.4. Le séchage

Le séchage des boues est une élimination quasi-totale d'eau par voie :

- **Thermique** : par évaporation de l'eau par chauffage ;
- **Naturelle** : par **lits de séchage** composés de couches de gravier et de sable permettant le drainage en plus du séchage solaire) [42].

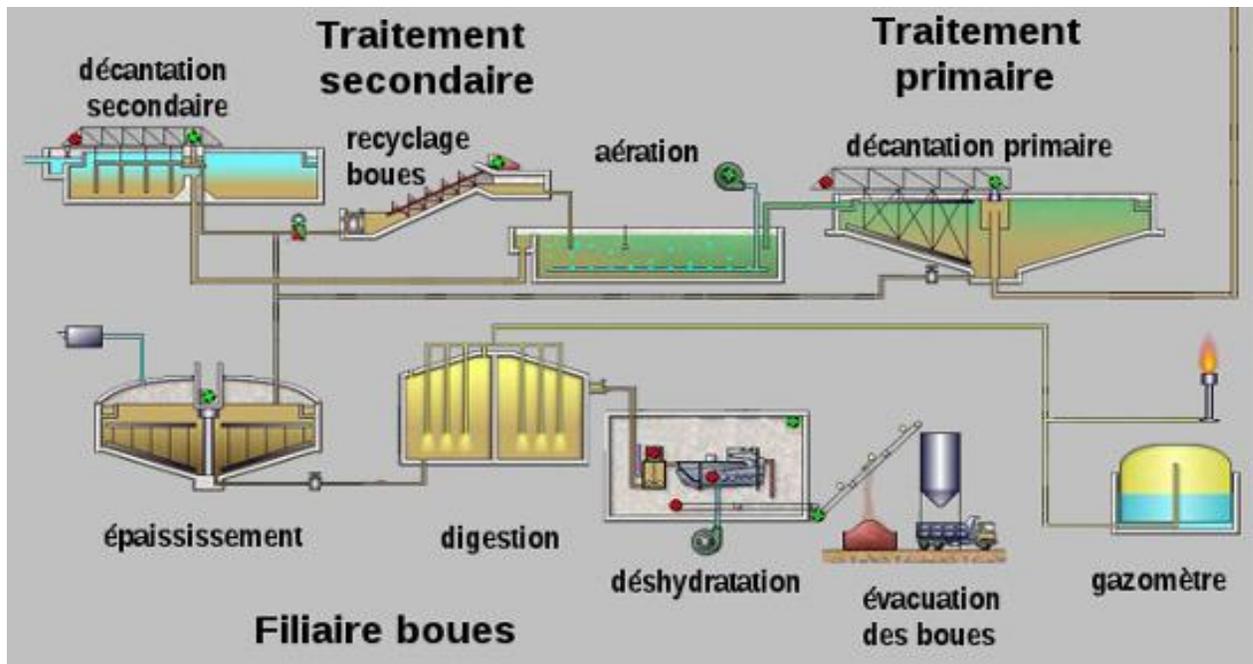


Figure I.2: Schématisation des étapes de traitement des boues des stations [43]

# **Chapitre 3 :**

## **Caractérisation des STEP**

## II.1. La STEP de Réghaïa

### II.1.1. Présentation générale

La station d'épuration des eaux usées de Réghaïa est l'une des stations gérées par la Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL). Elle est localisée dans la wilaya d'Alger, limitée au Nord par le Lac de Réghaïa, au Sud par la route nationale RN24, à l'Est et l'Ouest par un quartier résidentiel.

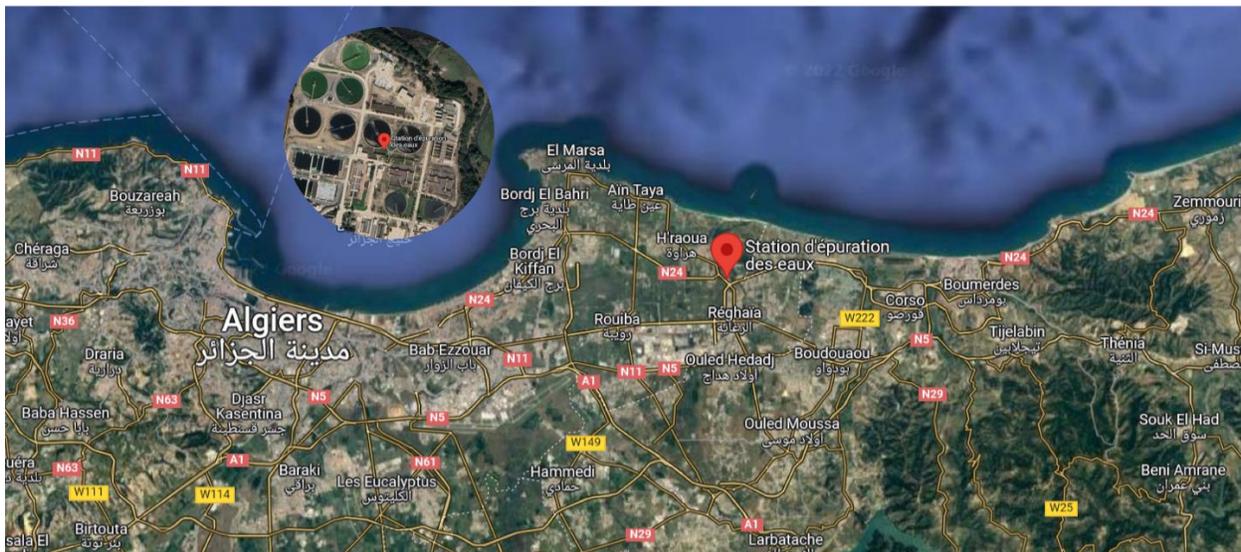


Figure II.1: Localisation de la STEP de Réghaïa

Actuellement, la STEP de Réghaïa a une capacité épuratoire de 400 000 EH (Equivalent Habitant). Une extension est prévue pour porter la capacité de traitement à 900 000 EH.

### II.1.2. Caractéristiques de la STEP

La STEP de Réghaïa a été réalisée dans le but d'épurer les effluents domestiques de 6 communes (Ain Taya, Bordj el Bahri, Bordj el Kiffan, El Marsa, Hraoua, Réghaïa et Rouïba) ainsi que les effluents industriels de la zone industrielle de Rouïba et de Réghaïa. L'eau épurée est versée dans le Lac de Réghaïa.

#### a. Débit à traiter

Les débits entrants dans la STEP sont les suivants :

Tableau II.1: Les débits entrants dans la STEP de Réghaïa

<b>Débit moyen</b>		<b>3000 m<sup>3</sup>/h ≡ 72 000 m<sup>3</sup>/j</b>
<b>Débit de pointe</b>	Par temps sec	4500 m <sup>3</sup> /h
	Par temps de pluie	7500 m <sup>3</sup> /h

**b. La charge polluante**

Les capacités nominales en charges polluantes sont :

Tableau II.2 : La charge polluante de la STEP de Réghaïa en 2017 [44]

Paramètres	Entrée		Sortie	
	Concentration (mg/L)	Flux (T/j)	Concentration (mg/L)	Flux (T/j)
<b>MES</b>	249,5	18	20	1,5
<b>DBO<sub>5</sub></b>	197,5	14	15	1
<b>DCO</b>	357	26	50	3,6
<b>Azote Global</b>	23,7	2	10	0,8
<b>Phosphore global</b>	6,8	0,5	3	0,2

**II.1.3. Procédé de traitement des boues**

**a. L'épaississement**

La STEP de Réghaïa contient deux bassins d'épaississement de forme cylindrique ayant les dimensions reportées sur le Tableau II.3.

Les boues sont introduites au centre des deux bassins. Sous l'effet de la gravité, la partie concentrée, correspondant à la boue épaissie, se dépose sur le fond. Cette dernière est par la suite pompée vers les bâches de stockage tandis que le surnageant est évacué vers la station de pompage d'eau.

Tableau II.3: Dimensions des bassins d'épaississement de la STEP de Réghaïa [44]

<b>Diamètre intérieur (m)</b>	<b>18</b>
<b>Hauteur d'eau (m)</b>	3,5
<b>Pompes des boues à la sortie d'épaississeur (m<sup>3</sup>/h)</b>	28
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	1000
<b>Surface utile (m<sup>2</sup>)</b>	216

**b. Stockage**

Le stockage des boues consiste à assurer l'homogénéité du mélange des deux boues produites au niveau de la STEP (les boues primaire et secondaire) par une agitation continue. Le stockage se fait dans deux bâteaux ayant les dimensions suivantes :

Tableau II.4: Dimensions des bassins de stockage la STEP de Réghaïa [44]

<b>Vitesse d'agitation</b>	434 tr/min
<b>Pompe d'extraction (m<sup>3</sup>/h) (4 pompes)</b>	04 x 23,2
<b>Pompes d'alimentation (m<sup>3</sup>/h) (3 pompes)</b>	03 x 15 à 50
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	441

**i. La déshydratation**

La déshydratation des boues stockées est réalisée par des filtres à bande.

**ii. Le séchage**

Les boues déshydratées sont envoyées vers 03 zones de stockage de capacité de 1000 m<sup>3</sup>.

## II.2. La STEP de Beni Messous

### II.2.1. Présentation générale

La station d'épuration de Beni Messous est une station à boues activée gérée, à son tour, par la SEAAL. Elle est située dans la wilaya d'Alger plus précisément dans la Daïra d'Ain Benian, elle est limitée au nord et à l'ouest par la mer Méditerranée, au sud par Cheraga, à l'est par la commune de Hammamet.

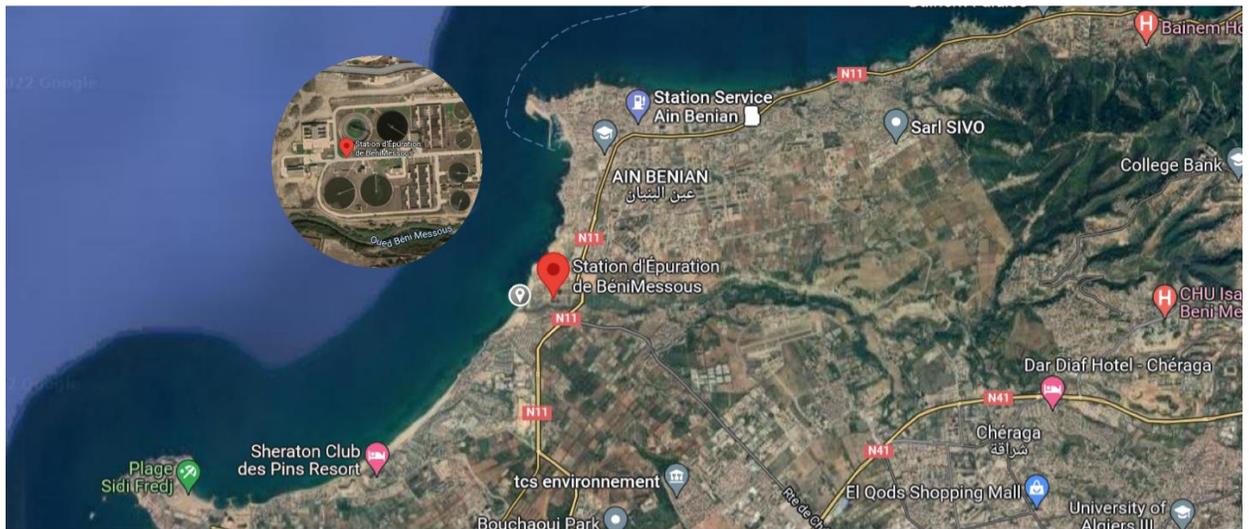


Figure II.2 : Localisation de la STEP de Beni-Messous

La STEP de Beni-Messous s'étend sur une superficie de 12,7 Ha avec une capacité épuratoire de 500 000 EH. Une extension est prévue, portant la capacité totale de la STEP à 810 000 EH à l'horizon 2025.

### II.2.2. Caractéristiques de la STEP

Les effluents acheminés à la STEP à partir de 4 bassins sous versants : Ain Benian, Oued Beni Messous, Staoueli et Ouled Fayet. L'eau épurée est versée dans l'Oued Beni Messous pour finir 500 m plus loin dans la mer Méditerranée [45].

#### a. Débit à traiter

Les débits entrants dans la STEP sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.5 : Les débits entrants dans la STEP de Beni Messous en 2020 [45]

Debit nominale (m <sup>3</sup> /j)	50400
Débit moyen horaire (m <sup>3</sup> /h)	2100
Débit de pointe de temps sec (m <sup>3</sup> /h)	2750
Débit de pointe de temps de pluie (m <sup>3</sup> /h)	5500

**b. La charge polluante**

Les capacités nominales en charges polluantes :

Tableau II.6 : La charge polluante de la STEP de Beni Messous en 2020 [45]

Paramètres	Entrée		Sortie	
	Concentration (mg/L)	Flux (T/j)	Concentration (mg/L)	Flux (T/j)
MES	297	15	0.5	0.03
DBO <sub>5</sub>	248	13	20	1
DCO	496	25	100	5

**II.2.3. Procédé de traitement des boues**

**a. L'épaississement**

Les boues en excès ont une concentration moyenne de 12 g/L à l'entrée des épaisseurs. A la sortie, la concentration des boues peut atteindre 40 g/L .

Les deux bassins d'épaississement ont les dimensions suivantes :

Tableau II.7 : Dimensions des bassins d'épaississement de la STEP de Beni Messous [46]

Diamètre intérieur (m)	16
Hauteur d'eaux cylindrique (m)	3,5
Volume (m <sup>3</sup> )	703
Surface utile (m <sup>2</sup> )	202

**b. Bassin de stabilisation**

La stabilisation des boues au niveau de la STEP de Beni Messous se fait par une digestion aérobie dans deux bassins de stabilisation de forme rectangulaire ayant les dimensions suivantes :

**Tableau II.8 : Dimensions des stabilisateurs de la STEP de Beni Messous [46]**

<b>Longueur au plan d'eau (m)</b>	35
<b>Largeur au plan d'eau (m)</b>	17,5
<b>Hauteur d'eau (m)</b>	4,02
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	2461

**c. La déshydratation**

Il existe trois chaînes de traitement de déshydratation qui sont composées des filtres à bande.

# **Chapitre 4 :**

## **Matériel et méthodes**

### III.1. Echantillons et prélèvement

L'objectif de cette étude est de déterminer si le processus de traitement des boues des stations d'épurations impacte sur le mécanisme de biodégradation anaérobie. De ce fait, notre étude a porté sur deux stations d'épuration qui traitent les boues différemment (Réghaïa et de Beni Messous). Trois prélèvements ont été effectués comme suit :

- Un échantillon a été prélevé au niveau de la bêche de stockage de la STEP de Réghaïa
- Deux échantillons ont été prélevés à partir de la STEP de Beni Messous au niveau d'épaississeur et du stabilisateur.

Les échantillons recueillis ont été conservés au réfrigérateur.

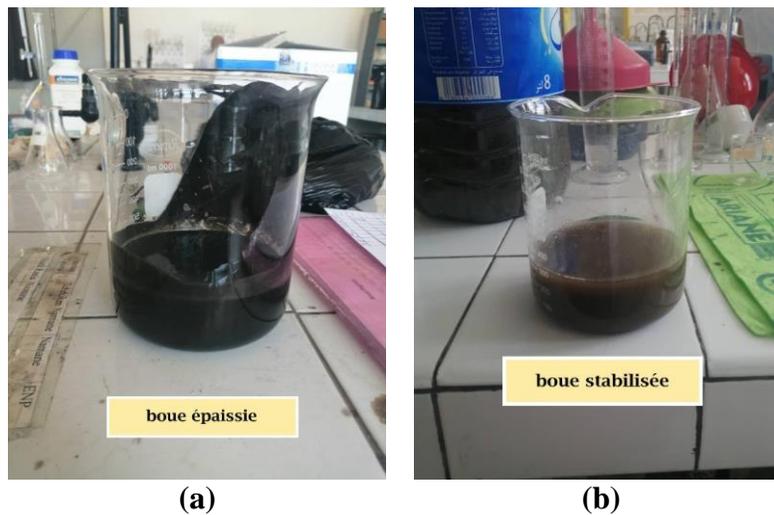


Figure III.1: Aspect des boues : (a) STEP de Réghaïa, (b) STEP de Beni Messous

### III.2. Paramètres physico-chimiques des boues

#### III.2.1. Les matières en suspension (MES)

Les MES représentent les matières organiques et minérales insolubles. Leur mesure se fait par une filtration sous vide à l'aide d'un papier filtre préalablement séché à 105°C puis pesé. Les fractions de solides retenues sont séchées à 105°C, à leur tour, jusqu'à obtention d'une masse constante. La concentration en MES de la boue analysée, exprimée en mg/L est obtenue en faisant la différence entre le poids du filtre et le poids des solides séchés en tenant compte du volume filtré.

---

$$\text{MES} = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \times 100 \quad \text{Eq. VI.1}$$

$m_1$  : Masse du papier filtre seul [mg]

$m_2$  : Masse sèche du papier filtre plus la fraction solide [mg]

$V$  : Volume d'échantillon filtré [L]

### III.2.2. La siccité

La siccité est le pourcentage massique de la matière sèche contenue dans la boue. Elle se calcule par le rapport entre la masse de boue sèche à 105°C et sa masse initiale humide :

$$\text{Siccité} = \frac{m_2}{m_1} \times 100 \quad \text{Eq. VI.2}$$

$m_1$  : Masse initial (humide)

$m_2$  : Masse d'échantillon après séchage (prise dans la même unité que  $m_1$ ).

### III.2.3. La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique et inorganique oxydable contenue dans un échantillon.

Cette valeur est obtenue en faisant réagir l'échantillon de boue avec un oxydant puissant (le bichromate de potassium) sous chauffage à 150°C en milieu fortement acide. L'échantillon est par la suite placé dans un spectrophotomètre afin de calculer son absorbance. Celle-ci est proportionnelle à la quantité de bichromate réduit, ce qui permet de déduire la quantité équivalente en oxygène. La valeur de la DCO est déterminée par une simple lecture sur une courbe d'étalonnage préalablement établie [47]. La mesure de la DCO a été détaillée en annexe.

### III.2.4. Le titre alcalimétrique complet (TAC) et les acides gras volatils (AGV)

Les AGV sont des acides gras à chaîne courte, produits à partir de la fermentation acidogène. Leur accumulation conduit à une chute de pH. Pour garantir le bon fonctionnement de la digestion, l'alcalinité totale des carbonates, donnée par le TAC, et traduisant la capacité tampon des carbonates, doit être suffisante pour réguler le pH [48].

Le protocole de détermination des valeurs d'AGV et du TAC [meq/L] est le suivant [49]:

- On commence par une centrifugation de l'échantillon de boue afin de récupérer le surnageant. Ce dernier contient notamment les bicarbonates et les acides volatils solubles.
- Le surnageant est dosée avec l'acide sulfurique  $H_2SO_4$  0,1 N.
- Le volume  $V_1$  de  $H_2SO_4$  nécessaire à l'obtention d'un pH = 4 est noté.
- Le TAC se calcule aisément comme suit :

$$TAC = 4 \times V_1 \quad \text{Eq. VI.3}$$

- Pour déterminer la valeur des AGV, on continue à verser le  $H_2SO_4$  jusqu'à un pH = 3,5.
- On porte le mélange à ébullition pendant exactement 3 minutes ensuite on le laisse complètement refroidir.
- On reprend le dosage mais cette fois avec une base (NaOH 0,1 N).
- On note le volume  $V_2$  de NaOH nécessaire à l'obtention d'un pH = 4.
- On continue à doser et on note le volume  $V_3$  de NaOH nécessaire à l'obtention d'un pH = 7.
- Les AGV se calculent par la suite par l'équation suivante :

$$AGV = \frac{(V_3 - V_2) \times 0,1 \times 1000}{25} = 4 \times (V_3 - V_2) \quad \text{Eq. VI.3}$$

Les résultats du TAC et des AGV obtenus permettent de calculer le rapport AGV/TAC pour assurer l'équilibre entre l'acidité et le pouvoir tampon du milieu. La stabilité des réacteurs est assurée si :

$$0,3 \leq AGV/TAC \leq 0,6 \quad \text{Eq. VI.4}$$

### III.2.5. Le pH

Le pH permet de mesurer l'activité des ions hydrogène dans une solution afin d'évaluer l'acidité ou la basicité du milieu. La variation du pH peut être toxique pour certaines espèces bactériennes. La mesure de ce paramètre est donc nécessaire afin de surveiller les performances du digesteur. La mesure du pH s'est faite à l'aide d'un pH-mètre de référence : **HI 2211 HANNA**.



**Figure III.2: pH-mètre HI 2211  
HANNA**

### III.3. Essai de biodégradation

#### III.3.1. Dispositif opératoire

Le bioréacteur utilisé lors de nos essais labo et paraissant sur la figure IV.3 se compose comme suit :

- 1) **Fiole en verre** de capacité de 500 ml, remplie avec 200 ml de **boue** en ajoutant des nutriments inorganiques (0,5 g/L de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  et 0,1g/L de  $\text{KH}_2(\text{PO})_4$ ) pour accélérer le processus de biodégradation.
- 2) **Bouchon** étanche assurant l'anaérobiose totale.
- 3) **Bécher** contenant une solution de **NaOH** (0,1 N) captant le **CO<sub>2</sub>**.
- 4) **Tuyau** assurant le passage des gaz produits dans la fiole, plongé dans le bécher de NaOH.
- 5) Agitateur magnétique chauffant permettant le chauffage et le maintien de la température de la boue à  $37 \pm 1^\circ\text{C}$  en plus de son agitation continue.



Figure III.3: Dispositif opératoire de biodégradation

#### III.3.2. Analyses physico-chimiques

Le procédé de digestion anaérobie est sensible à différents paramètres qui peuvent influencer le rendement de production de biogaz. C'est pourquoi, la mesure des paramètres physico-chimiques cités dans la section précédente a été effectuée à l'état initial des boues (avant digestion) et le long du processus de digestion afin d'effectuer un bon suivi. Pour ce faire, 3 bioréacteurs ont été remplis de boue au même temps. Par la suite :

- Le 1<sup>er</sup> bioréacteur a été ouvert et sa boue analysée après 10 jours d'incubation ;
- Idem pour le 2<sup>ème</sup> mais après 20 jours d'incubation ;

- Et enfin, le 3<sup>ème</sup> après 30 jours correspondant à la fin de la période d'incubation fixée dans ce travail.

Bien entendu, après l'ouverture du bioréacteur, il n'est plus réutilisé par la suite.

### III.3.3. Mode opératoire

Le suivi de la production du méthane s'effectue sur une durée de 30 jours durant laquelle la matière organique est décomposée en anaérobiose pour produire du **méthane**, de l'**eau** et du **CO<sub>2</sub>**. C'est la quantité de ce dernier qui sera évaluée puisqu'il suffit de plonger le tuyau récepteur des gaz dans un solution de NaOH pour que le CO<sub>2</sub> se retrouve piégé, selon la réaction suivante :



La quantité de dioxyde de carbone produite lors de l'essai de biodégradation est mesurée par titration de l'excès de la soude et calculée à l'aide de la formule suivante :

$$m_{\text{CO}_2}(\text{mg}) = 22x[\text{HCL}]x\Delta V_{\text{HCL}} \times \frac{V_{\text{NaOH},i}}{V_{\text{NaOH},\text{dosé}}}$$

$\Delta V_{\text{HCL}}$  est le volume d'acide chlorhydrique nécessaire pour doser l'excès de la soude

$V_{\text{NaOH},i}$  : correspond au volume initial de la soude, avant le prélèvement effectué pour le titrage.

$V_{\text{NaOH},\text{dosé}}$  : correspond au volume de la soude dosé.

# **Chapitre 5 :**

## **Résultats et discussion**

## IV.1. Echantillonnage

Durant la période de cette étude, plusieurs prélèvements ont été effectués afin de récupérer le maximum de résultats. La boue de Réghaïa a été prélevée quatre fois, les deux premiers échantillons ont été prélevés directement de l'épaississeur tandis que les deux autres ont été prélevés à partir de la bache de stockage. La différence est que les boues provenant de la bache de stockage représentent un mélange plus homogène entre la boue primaire et secondaire. Pour les deux boues de Beni Messous, trois échantillons ont été prélevés pour chaque type.

**Tableau IV.1: les dates de prélèvement des échantillons**

	<b>Echantillon 1</b>	<b>Echantillon 2</b>	<b>Echantillon 3</b>	<b>Echantillon 4</b>
<b>Boue de Reghaia</b>	03 avril	09 mai	24 mai	03 juillet
<b>Boue de Beni Messous épaisse</b>	04 avril	12 mai	25 mai	/
<b>Boue de Beni Messous stabilisée</b>	25 mai	02 juin	03 juillet	/

## IV.2. Caractérisation initiale des échantillons

### IV.2.1. Observations visuelles

La STEP de Beni Messous est située dans une région où l'activité agricole est importante. Il existe également certaines activités industrielles dans cette région, telles que les industries pharmaceutiques, textiles, chimiques et agroalimentaire [46]. La station d'épuration de Réghaïa traite les effluents qui proviennent principalement des activités industrielles.

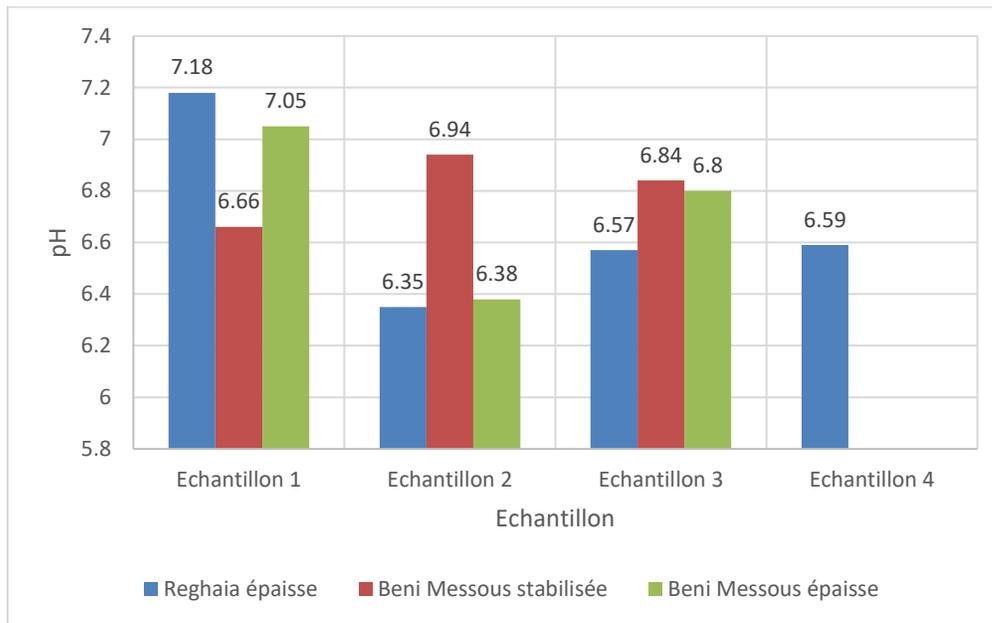
Les boues de Réghaïa et Beni Messous épaissies ont des concentrations assez élevées avec une couleur plus foncée et des odeurs désagréables car ce sont des boues fraîches. Cependant, la boue stabilisée de Beni Messous subit un traitement aérobie qui lui permet d'être biologiquement inoffensive et stable avec une absence totale des odeurs.

### IV.2.2. Caractérisation physico-chimique

Pour une appréciation de la composition des échantillons prélevés, les paramètres physico-chimiques suivants ont été mesurés après chaque prélèvement : pH, acides gras volatils (AGV), titre alcalimétrique complet (TAC), le rapport AGV/TAC, les matières en suspension (MES), le pourcentage massique des matières sèche et enfin la demande chimique en oxygène (DCO).

#### a. Le pH

La figure V.1 regroupe les mesures du pH des échantillons étudiés.



**Figure IV.1: Mesure du pH des échantillons de boue étudiés**

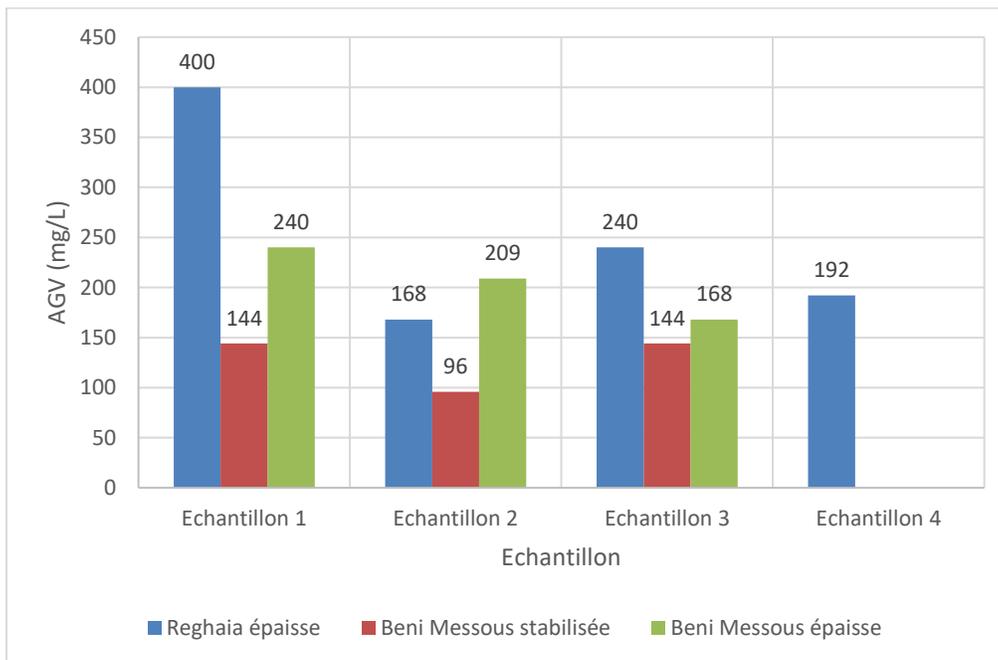
La digestion anaérobie se déroule de façon optimale au voisinage de la neutralité ( $\text{pH } 7.2 \pm 0,5$ ) mais elle est possible entre 5 et 9 [50]. Un pH alcalin peut favoriser la formation d'ammoniac qui est considéré comme un inhibiteur à partir des valeurs supérieures à 3 g/L, tandis qu'un pH acide peut provoquer une acidification et une accumulation des acides gras dans le milieu. Le pH dépend des caractéristiques de la charge entrante et des conditions climatiques. Les précipitations par exemple peuvent abaisser le pH des boues car elles sont généralement acides.

D'après la figure V.1 on remarque que le pH de la boue de Réghaïa représente une moyenne de 6,7 qui est au voisinage de 7, cette valeur est en accord avec les résultats trouvés par Amouche [51]. La moyenne du pH est de 6,7 et 6,8 pour la boue épaisse de Beni Messous et stabilisée

respectivement. En général, toutes ces valeurs sont souhaitables pour la méthanisation car elles se situent autour de la neutralité.

### b. Les acides gras volatiles (AGV)

La figure V.2 regroupe mes mesures des AGV des échantillons étudiés.

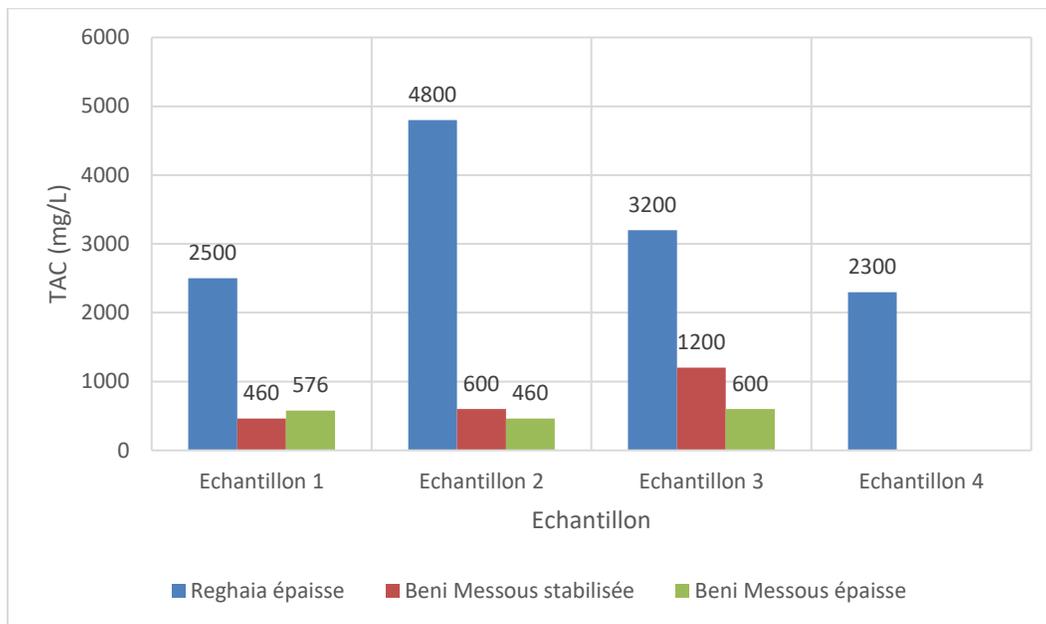


**Figure IV.2: Mesure des AGV des échantillons de boue étudiés**

Les AGV sont les principaux produits intermédiaires et indicateurs clés de la stabilité de la digestion anaérobie [52]. Les AGV ne doivent pas dépasser 6000 mg/L selon les travaux du Siegert et Banks [53], une valeur plus élevée peut entraîner une acidification du milieu et donc une diminution du pH au-dessous de la valeur optimale de méthanisation. La valeur des AGV dans cette période d'étude varie entre 168 et 400 mg/L pour la boue Réghaïa, entre 168 et 240 mg/L pour la boue Beni Messous épaissie et entre 96 et 144 mg/L pour la boue stabilisée. Toutes ces valeurs sont bien inférieures à la valeur maximale indiquée dans la littérature pour la production de biogaz.

### c. Titre alcalimétrique complet (TAC)

La figure V.3 regroupe les mesures du TAC des échantillons étudiés.



**Figure IV.3: Mesure du TAC des échantillons de boue étudiés**

Le bicarbonate est la principale molécule qui agit sur l'effet tampon. Cette capacité tampon est souvent utilisée pour vérifier l'état biologique du système. Il absorbe l'acidité générée par les acides gras volatils formés lors de la dégradation anaérobie.

Un digesteur alimenté avec une faible alcalinité est difficile à conduire, car une capacité tampon est nécessaire pour amortir ou stabiliser le pH afin de faciliter le processus. Généralement, on considère qu'il faut une alcalinité en bicarbonate de 1000 à 3000 mg/L exprimée en  $\text{CaCO}_3$  [50].

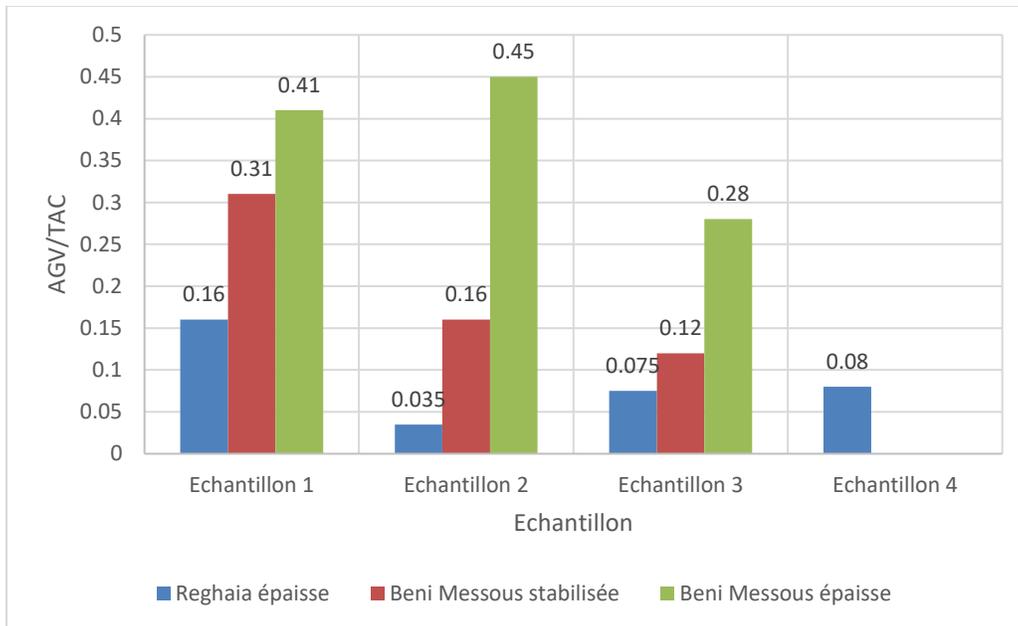
Des valeurs plus élevées peuvent conduire à une alcalinisation du milieu et donc une possibilité d'accumulation d'ammoniac.

Selon Yoshizaki et Tomida [54], un grand pouvoir tampon des boues est probablement dû à la présence des polymères biologique (polysaccharides, glycoprotéines) à la surface des micro-organismes, ces derniers pouvant agir comme échangeur d'ions et pouvant augmenter le pouvoir tampon du milieu.

D'après la figure V.3, on note que la boue de Réghaïa a le plus grand pouvoir tampon, on remarque que la majorité des valeurs enregistrées sont en dehors de l'intervalle optimal, il faut donc calculer le rapport AGV/TAC pour s'assurer l'équilibre entre les acides gras volatils et l'alcalinité.

#### d. Le rapport AGV/TAC

La figure V.4 regroupe le calcul du rapport AGV/TAC effectué à partir des mesures des AGV et du TAC des échantillons étudiés.



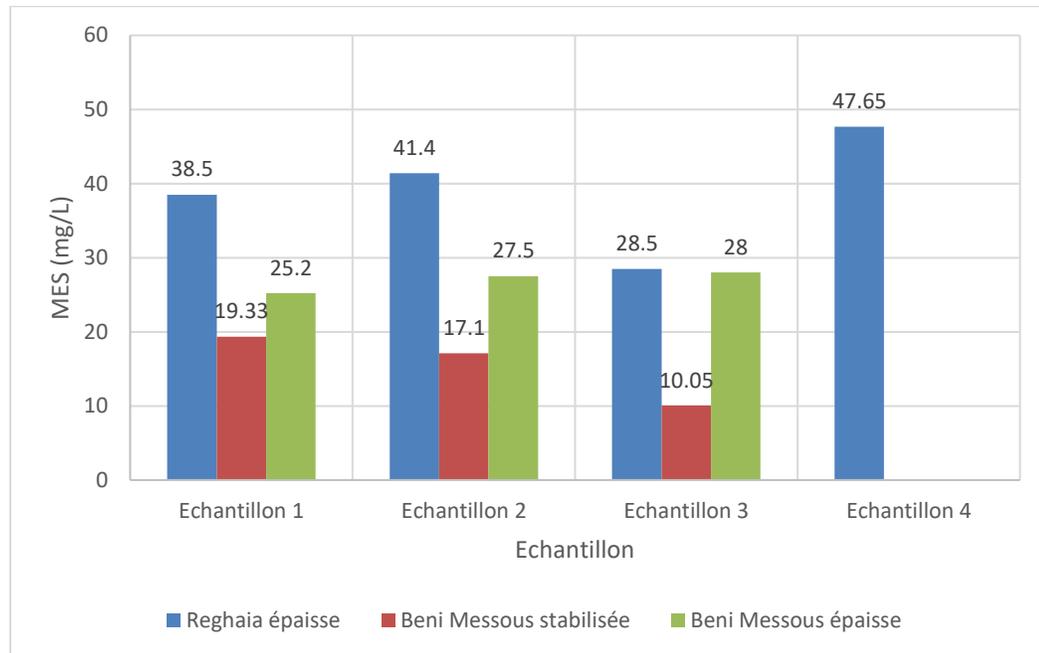
**Figure IV.4: Mesure de rapport AGV/TAC des échantillons de boue étudiés**

La connaissance de la valeur AGV/TAC peut aider à réduire le risque de problèmes d'acidification, ce paramètre devrait être compris entre 0,3 et 0,8. Drog, Zickefoose et Hayes [55] ont suggéré que le rapport AGV/TAC devrait être maintenu dans la plage de 0,1 à 0,35 afin d'améliorer la stabilité du digesteur, alors que Rosato [56] a défini une plage optimale de 0,23 à 0,3. Si le rapport AGV/TAC est supérieur à 0,8, il peut y avoir un risque d'accumulation des AGV ; un prétraitement à la chaux ou à la soude est utile pour équilibrer le système et réguler ce rapport en dessous de 0,8.

Les plus faibles valeurs ont été relevées pour la boue de Réghaïa en raison de son pouvoir tampon élevé, les AGV/TAC moyens pour la boue épaisse de Beni Messous et stabilisées sont respectivement 0,38 et 0,19.

### e. Les matières en suspension (MES)

Les MES représentent une partie des micro-organismes contenue dans la boue. La figure V.5 regroupe les mesures des MES des échantillons étudiés.



**Figure IV.5: Mesure des MES des échantillons de boue étudiés**

Les MES des boues stabilisées sont nettement inférieures à celles des boues épaissies car une partie des MES a été détruite lors de l'étape de stabilisation aérobie. La variation des valeurs des MES dépend de l'origine des eaux usées traitées et de l'efficacité de la décantation des boues dans le clarificateur.

### f. La siccité

La figure V.6 regroupe les mesures de la siccité des échantillons étudiés.

Les boues sont constituées d'eau et de matières sèches, les boues liquides ont une siccité de 2 à 10 % [57]. La boue Réghaïa est une boue mixte, les deux premiers échantillons provenant directement de l'épaississeur avec des proportions différentes de boue primaire et secondaire tandis que les deux derniers représentent un mélange plus homogène entre la boue primaire et secondaire car elles sont prélevées de la bêche de stockage.

Au cours de processus de stabilisation aérobie, les microorganismes décomposent la matière organique ce qui entraîne une réduction de la teneur en solides [58]. Ceci explique les valeurs

faibles de la siccité de la boue stabilisée de Beni Messous par rapport aux autres boues. Concernant la boue épaisse de Beni Messous, la siccité est stable autour d'une valeur moyenne de 6,6 %.

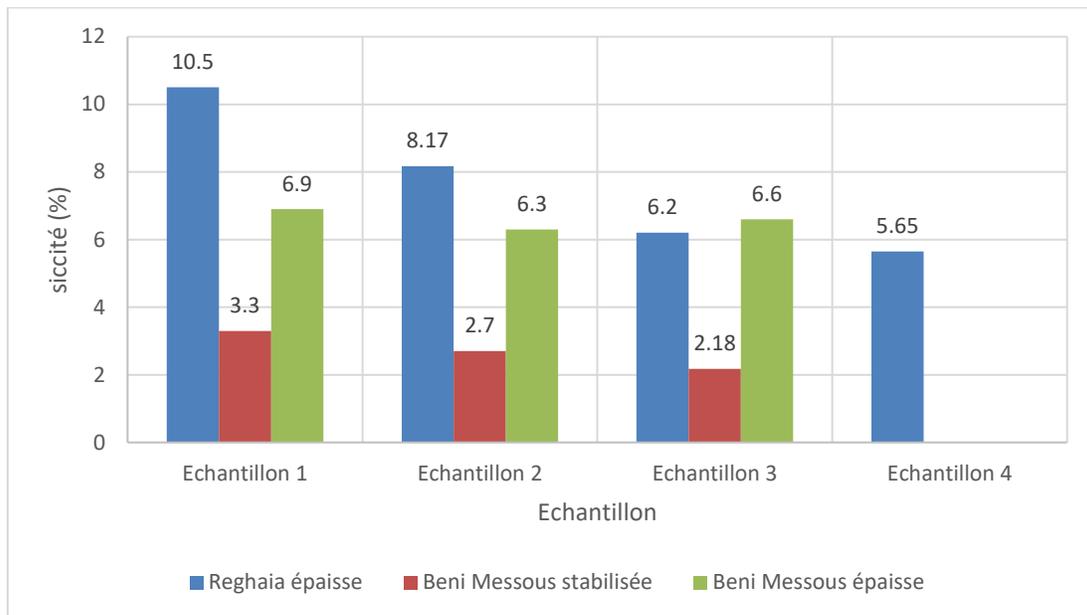


Figure IV.6: Mesure de la siccité des échantillons de boue étudiés

**g. La demande chimique en oxygène (DCO)**

La figure V.7 regroupe les mesures de la DCO des échantillons étudiés.

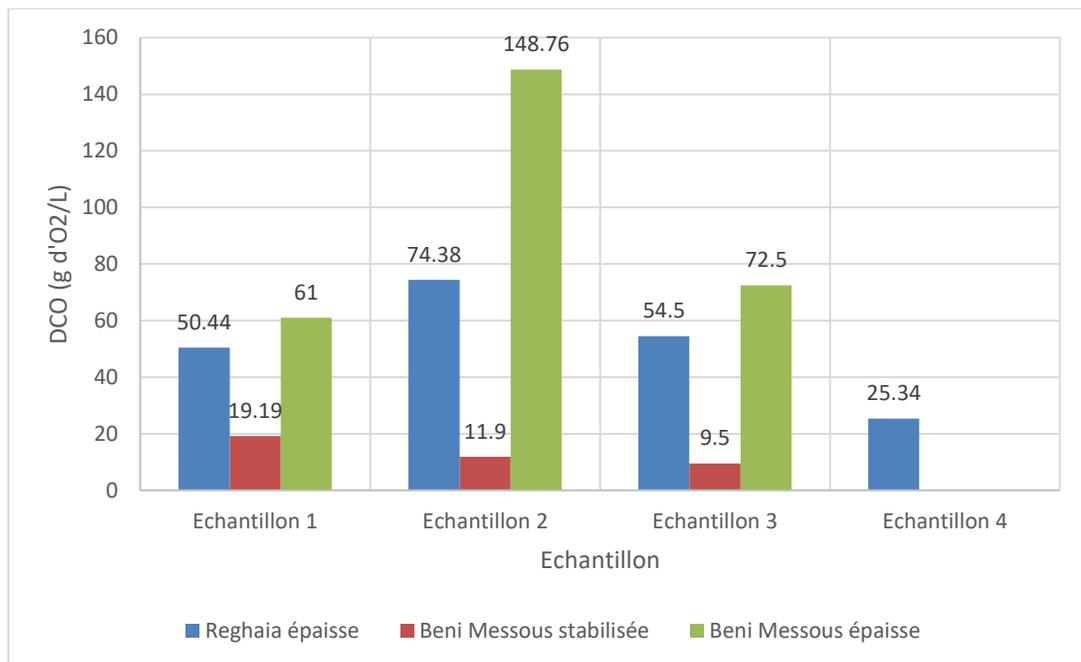


Figure IV.7: Mesure de la DCO des échantillons de boue étudiés

La variation de la DCO est due à l’instabilité de la qualité chimique des eaux brutes entrantes. La DCO dépend de la charge polluante introduite, cette valeur reflète généralement le taux de matières organiques présentes dans une boue. La boue épaissie de Beni Messous possède la valeur la plus élevée avec une moyenne de 94 g d’O<sub>2</sub>/L, la DCO de la boue de Réghaïa varie entre 25 et 50 g d’O<sub>2</sub>/L.

La DCO de la boue stabilisée de Beni Messous est nettement inférieure à celle des autres boues étudiées. Cela est dû à la dégradation d’une partie de sa matière organique lors d’étape de stabilisation aérobie.

### IV.3. Test de biodégradabilité

L’expérience de biodégradabilité a été réalisée trois fois. Durant la 1<sup>ère</sup> expérience la production était presque nulle pendant les 30 jours. L’ajout des nutriments inorganique a permis d’accélérer le processus de la biodégradation pour la 2<sup>ème</sup> et la 3<sup>ème</sup> expérience.

Expérience	Mois	Durée	Echantillons utilisées
1	Avril	30 jours	Beni Messous épaissie (échantillon 1) Réghaïa (échantillon 1)
2	Mai	30 jours	Beni Messous épaissie (échantillon 2) Beni Messous stabilisée (échantillon 1) Réghaïa (échantillon 2)
3	Juillet	15 jours	Beni Messous stabilisée (échantillon 3) Réghaïa (échantillon 4)

Tableau IV.2: la durée et les échantillons utilisées pendant cette étude

#### IV.3.1. Evolution des paramètres physico-chimiques (mois de mai)

Les différents paramètres ont été mesurés quatre fois pendant les 30 jours de digestion, à l’exception de la boue épaissie de Beni Messous avec laquelle les analyses n’ont été effectuées que trois fois (avant la digestion, après dix jours et à la fin de digestion). Le suivie des MES et de la siccité a été retiré des résultats à cause des erreurs de manipulation.

Les caractéristiques initiales des trois types de boues sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau IV.3: la caractérisation initiale de la première expérience

	Boue de Réghaïa épaisse	Boue de Beni Messous stabilisée	Boue de Beni Messous épaisse
<b>pH</b>	6,35	6,66	6,38
<b>MES (mg/L)</b>	41,4	19,33	27,5
<b>Siccité (%)</b>	8,17	3,3	6,3
<b>DCO (g d'O<sub>2</sub>/L)</b>	74,38	19,19	148,76
<b>TAC (mg/L)</b>	4800	460	460
<b>AGV (mg/L)</b>	168	144	209
<b>AGV/TAC</b>	0,035	0,31	0,45
<b>Date d'échantillonnage</b>	09 mai	25 mai	12 mai

### a. Le pH

Le niveau de pH est un facteur important qui dépend de l'évolution de la fermentation de la matière organique durant le processus de digestion anaérobie [59]. La figure ci-après illustre l'évolution du pH pour les trois types de boues étudiées

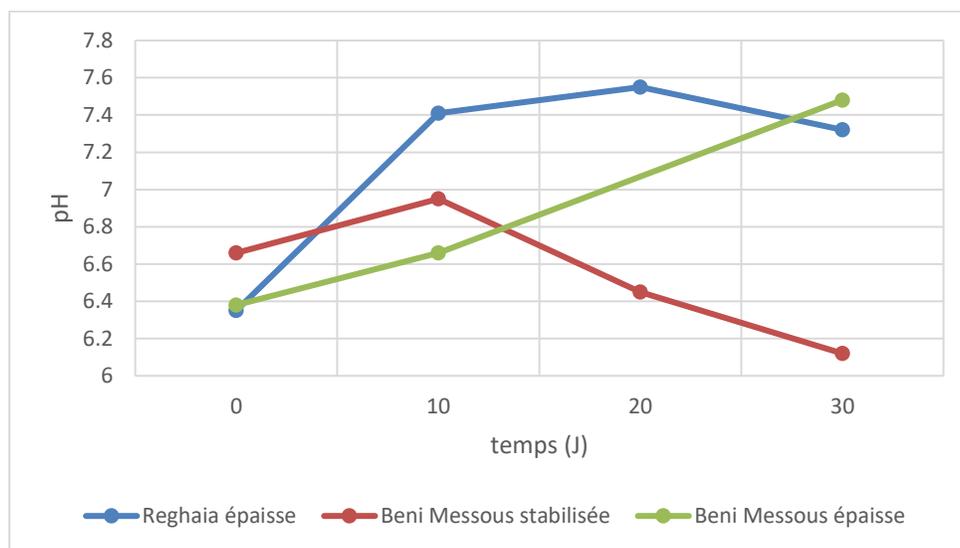
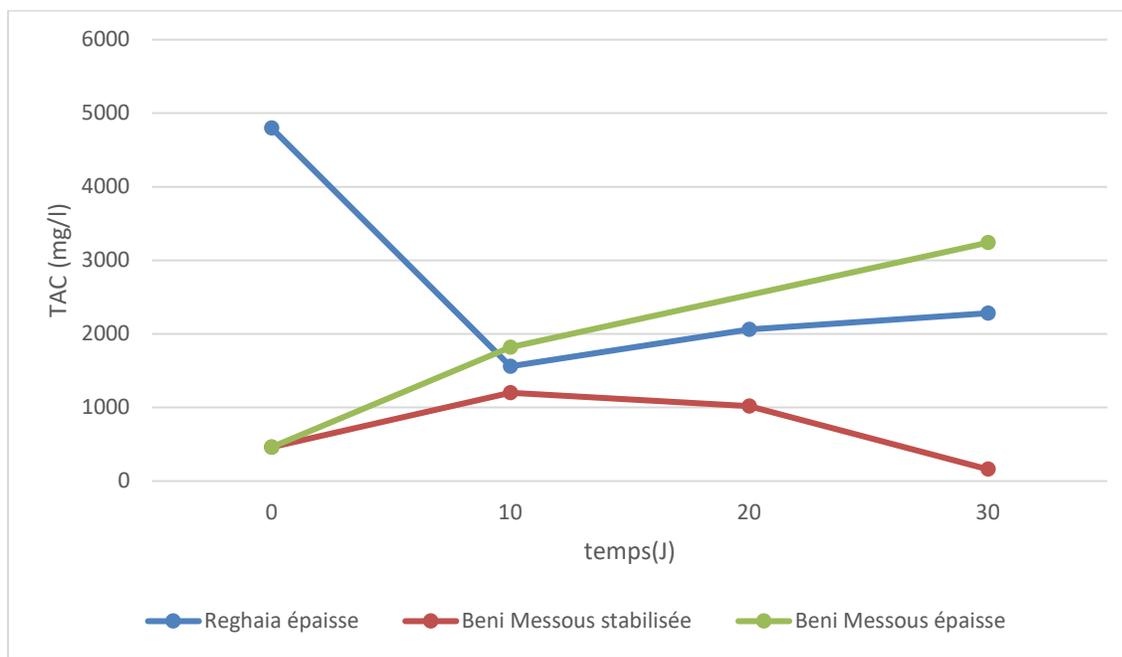


Figure IV.8: Variation du pH en fonction du temps

D'après les résultats obtenus, on constate que le pH est stable autour de la neutralité pour les trois boues pendant les 30 jours d'expériences, ce qui signifie que la formation des AGV durant la dégradation n'influçait pas les performances de la digestion car l'effet tampon permettait d'équilibrer le milieu. L'auto-ajustement du pH après l'acidification est dû à l'épuisement des acides formés dans la première phase par les bactéries acétogènes.

### b. Titre alcalimétrique complet (TAC)

La figure suivante représente l'évolution du TAC au cours du temps lors du processus de digestion des boues étudiées au cours du mois de mai.



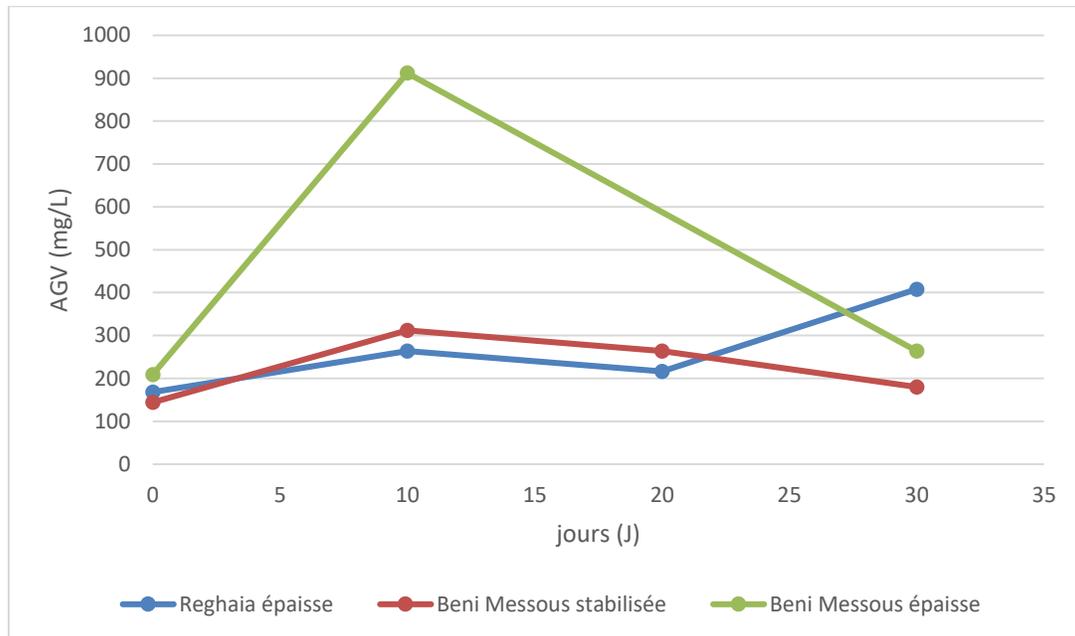
**Figure IV.9: Variation du TAC en fonction du temps**

On observe une augmentation de l'alcalinité en fonction du temps pour la boue épaisse de Beni Messous. Concernant la boue de Réghaïa, on remarque une diminution au bout de 10 jours, puis une augmentation jusqu'à une valeur de 2280 mg/L. Cette augmentation des TAC permet d'empêcher l'accumulation des AGV.

En ce qui concerne la boue stabilisée de Beni Messous, les valeurs de TAC observées au début et à la fin de l'expérience sont au-dessous du niveau recommandé pour un bon fonctionnement de la digestion, qui est de 1000 mg/L exprimé en  $\text{CaCO}_3$ . Cependant, elles étaient suffisantes pour empêcher la chute du pH à cause de la faible quantité des acide gras volatiles générées durant l'acidification.

### c. Les acides gras volatiles (AGV)

La figure suivante représente l'évolution des AGV au cours du temps lors du processus de digestion des boues étudiées au cours du mois de mai.



**Figure IV.10: Variation des AGV en fonction du temps**

Une augmentation des AGV est observée pour les trois expériences au bout du 10<sup>ème</sup> jour en raison de l'hydrolyse et de l'acidification de la matière organique. Les AGV produits lors de la 1<sup>ère</sup> étape de méthanisation ont été dégradés durant la phase d'acétogénèse, ce qui se traduit par une diminution de la concentration en AGV jusqu'à la fin de l'expérience pour les deux boues de Beni Messous. En ce qui concerne la boue de Réghaïa, on constate une légère diminution des AGV au 20<sup>ème</sup> jour suivie d'un doublement de leur valeur à la fin de l'expérience.

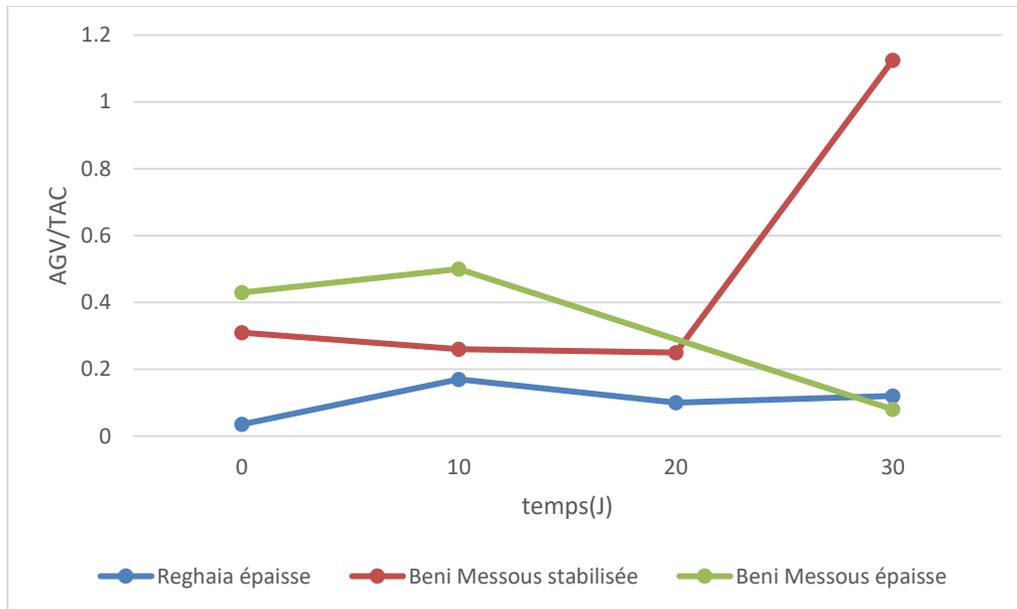
Les résultats ci-dessus suggèrent que les performances de digestion sont restées relativement stables et n'ont pas été inhibées par les AGV car toutes les concentrations relevées au cours de l'expérience n'ont pas dépassées les valeurs maximales citées dans la littérature.

### d. Le rapport AGV/TAC

Toute augmentation des acides se traduit par une élévation d'acidité du milieu. Un équilibre dynamique doit être établi entre les groupes de microorganismes acidogènes et méthanogènes. La mesure de la quantité des AGV formés par rapport à la capacité tampon du milieu permet d'évaluer l'état de cet équilibre [59].

Cet indice doit être compris entre 0,3 et 0,8 [60], des valeurs plus élevées peuvent conduire à une acidification du milieu suivie d'une chute du pH, tandis que les valeurs inférieures à la plage optimale peuvent conduire à une forte alcalinité, ce qui engendre une forte augmentation du pH [61].

La figure suivante illustre l'évolution du rapport AGV/TAC au cours du temps lors du processus de digestion des boues étudiées au cours du mois de mai.

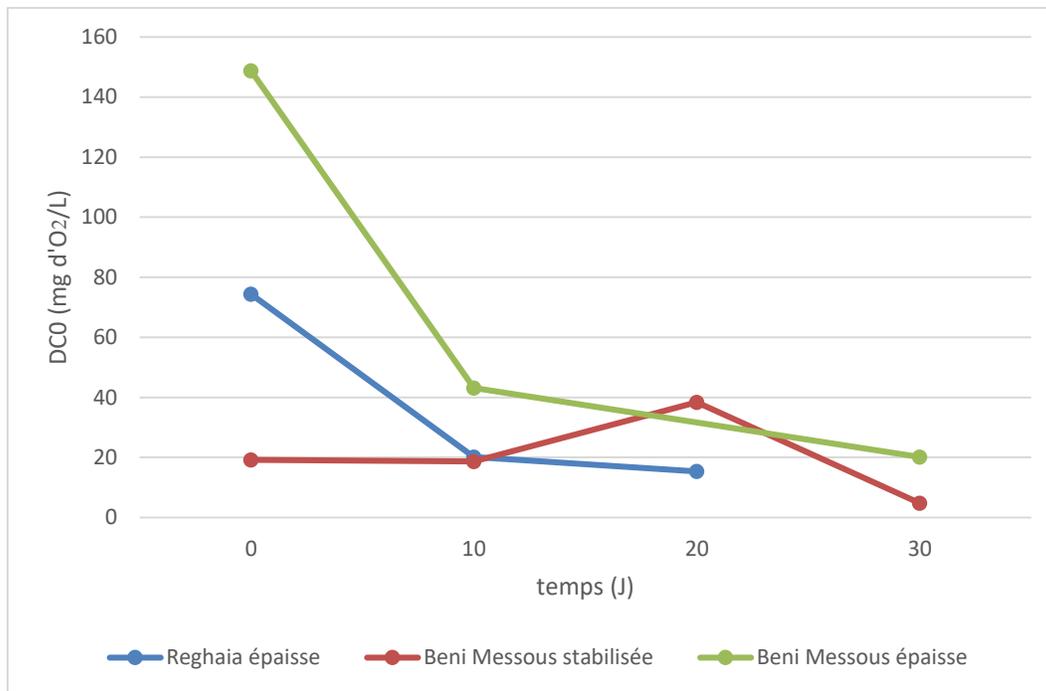


**Figure IV.11: Variation du rapport AGV/TAC en fonction du temps**

Les valeurs du rapport AGV/TAC de la boue de Réghaïa sont inférieures aux valeurs optimales tout au long de l'expérience, ce qui explique l'augmentation du pH qui passe d'une valeur de 6,38 à l'entrée à une valeur de 7,32 à la sortie. A la fin d'expérience, le rapport AGV/TAC de la boue stabilisée de Beni Messous dépasse la valeur maximale admissible, ce qui explique la diminution du pH. Cependant, les valeurs enregistrées n'ont pas affecté le déroulement de processus.

#### e. La demande chimique en oxygène (DCO)

La figure V.12 représente la variation de la DCO en fonction du temps pour les trois expériences. Pour la boue de Réghaïa, on remarque que la valeur de la DCO diminue pendant les 20 premiers jours, ce qui peut s'expliquer par une dégradation rapide de la matière organique facilement biodégradable.



**Figure IV.12: Variation de la DCO en fonction du temps**

Concernant la boue épaisse de Beni Messous, la DCO diminue jusqu'à la fin de l'expérience, ce qui se traduit par une dégradation de la matière organique. Pour la boue stabilisée de Beni Messous, on constate une légère augmentation de la DCO jusqu'au 20<sup>ème</sup> jour où elle atteint la valeur maximale de 38 g d'O<sub>2</sub>/L. Cette augmentation exprime l'hydrolyse des constituant du milieu. Par la suite, la DCO diminue du fait de la dégradation de la matière organique et la production de biogaz.

Le pourcentage d'élimination de la DCO est du 75% et 86% pour la boue stabilisée de Beni Messous et épaisse respectivement, presque les mêmes résultats ont été obtenus par [62] et [63].

### IV.3.2. Production cumulée de CO<sub>2</sub> (mois de mai)

Le volume de biogaz est un paramètre important pour le contrôle et la surveillance du processus de la digestion anaérobie. Une production conséquente de biogaz reflète au bon fonctionnement du digesteur [64].

D'après la figure V.13 on remarque une différence significative de la production cumulée du CO<sub>2</sub> entre les 2 boues épaissies et la boue stabilisée. Cette figure montre également que la digestion anaérobie se fait en trois phases :

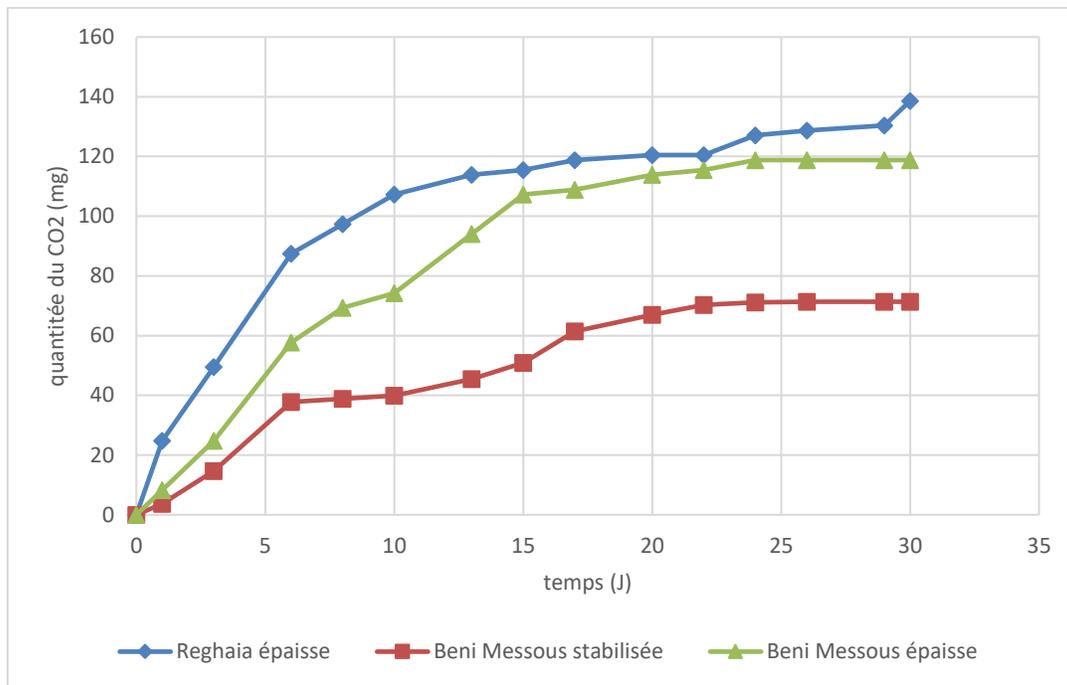


Figure IV.13: Production cumulée de CO<sub>2</sub> en fonction du temps

- **Première phase :** correspond à la dégradation rapide des matières organiques facilement biodégradables et à l'adaptation des microorganismes libres contenus dans la boue à leur milieu lors de l'étape de l'hydrolyse, acidogène et acétogène [12]. Cette phase a duré 6 jours pour les 3 expériences. La phase d'acidification n'a pas affecté négativement le développement de la flore bactérienne responsable de la transformation de la matière organique dans la digestion anaérobie. On remarque que le pH reste stable et la teneur en AGV reste dans l'intervalle optimal.
- **Deuxième phase :** très lente par rapport à la précédente, elle se caractérise par la diminution de la cinétique de dégagement du CO<sub>2</sub> d'une façon variable pour les 3 boues. La durée de cette phase est de 16 jours (6<sup>ème</sup> au 22<sup>ème</sup> jour) pour la boue épaisse de Beni Messous et de 14 jours (6<sup>ème</sup> au 20<sup>ème</sup> jour) pour la boue stabilisée. Cette phase était plus lente dans le cas de la boue de Réghaïa. Cette phase correspond à l'étape méthanogène.
- **Troisième phase (phase de déclin) :** on a constaté pour les 2 boues de Beni Messous une chute brusque de la production de CO<sub>2</sub> jusqu'à ce qu'elle devienne nulle à la fin de l'expérience. Cette diminution s'explique par l'appauvrissement du milieu de fermentation. En ce qui concerne la boue de Réghaïa, 30 jours n'ont pas suffi pour qu'elle atteigne cette phase.

### IV.3.3. Evolution des paramètres physico-chimiques (mois de juillet)

Les différents paramètres ont été mesurés 4 fois pendant les 15 jours de digestion, les caractéristiques initiales sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau IV.4: la caractérisation initiale de la deuxième expérience**

	<b>Boue de Réghaïa</b>	<b>Boue stabilisée de Beni Messous</b>
<b>pH</b>	6,59	6,84
<b>MES (mg/L)</b>	47,65	10,05
<b>Siccité (%)</b>	5,64	2,18
<b>DCO (g d'O<sub>2</sub>/L)</b>	25,34	9,5
<b>TAC (mg/L)</b>	2300	1200
<b>AGV (mg/L)</b>	192	144
<b>AGV/TAC</b>	0,08	0,12
<b>Date d'échantillonnage</b>	03 juillet	03 juillet

#### a. Le pH

La figure V.14 montre que le pH pour la boue de Réghaïa augmente du 6,6 à 7. Cette légère augmentation peut s'expliquer par le processus de l'ammonification et la production ammoniacale à partir de la dégradation des amines (protéines, bases azotée, etc), et peut être une libération des bases déjà existantes dans la boue [32]. Le pH de la boue de Beni Messous oscille entre 6,5 et 7. Ces valeurs restent très favorables au développement des micro-organismes pour la biométhanisation. L'équilibre entre alcalinité et acidité a été bien maintenu lors de l'étape d'acidification, ce qui explique la stabilité du pH.

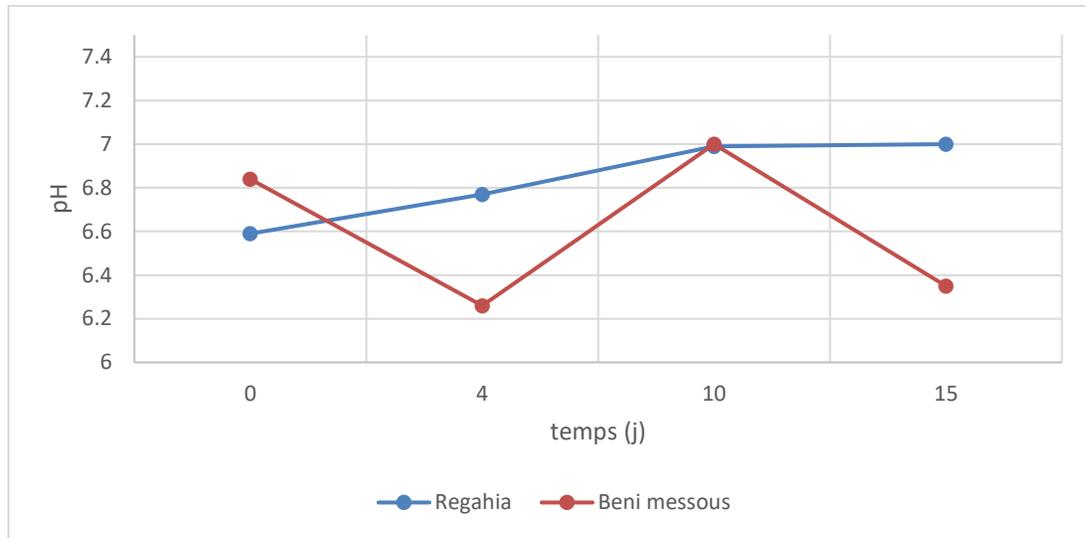


Figure IV.14: Variation du pH en fonction du temps

**b. Les acides gras volatils (AGV)**

La méthanisation conduit à la formation des AGV. C'est un paramètre important car son accumulation ou son absence peuvent être problématiques [65].

En observant la figure V.15, on se rend compte que les deux courbes pourraient être divisées en deux parties :

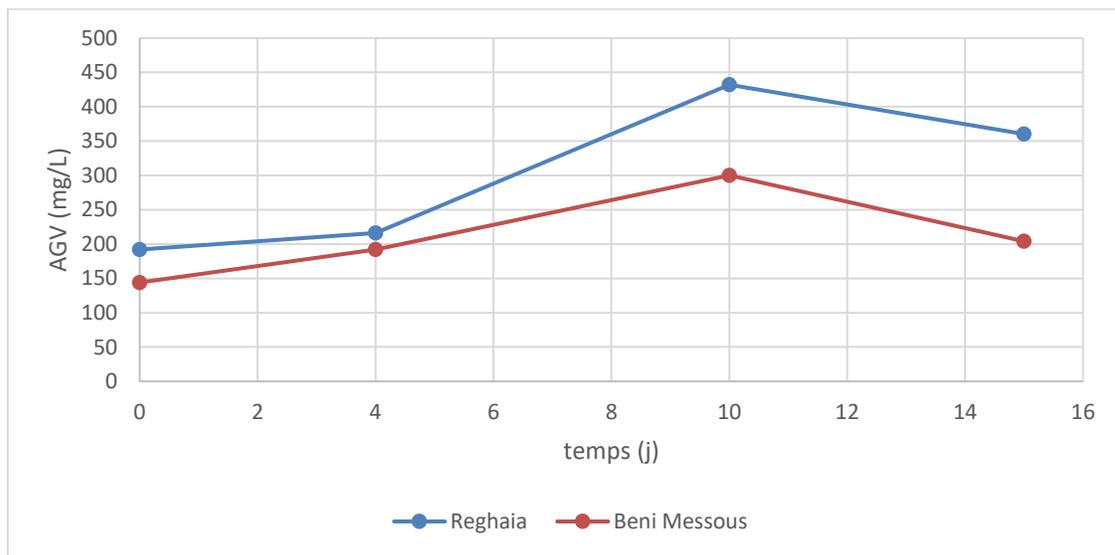


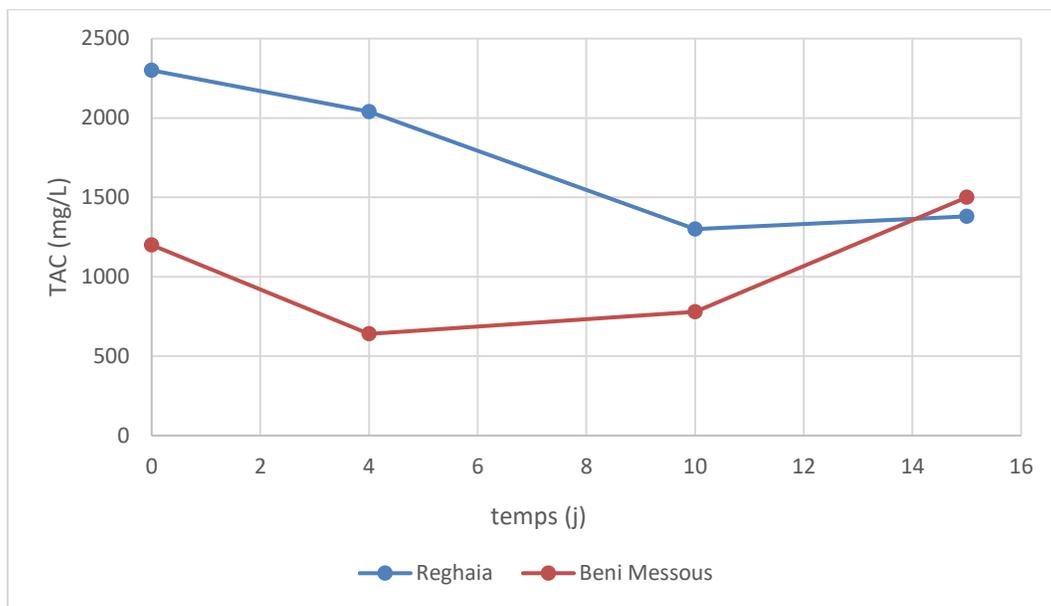
Figure IV.15: Variation des AGV en fonction du temps

- La phase d'acidification au cours de laquelle on observe une augmentation des AGV jusqu'à atteindre une valeur maximale au 10<sup>ème</sup> jour.
- La phase d'alcalinisation pour les deux boues durant laquelle les acides formés sont consommés par les bactéries acétogènes pour la production d'autres produits.

Pendant la période de digestion de 15 jours, la teneur en AGV reste inférieure au niveau d'inhibition (moins de 6000 mg/L) rapporté par d'autres chercheurs [52].

### c. Titre alcalimétrique complet (TAC)

La figure V.16 représente la variation du TAC en fonction du temps pour les trois expériences.



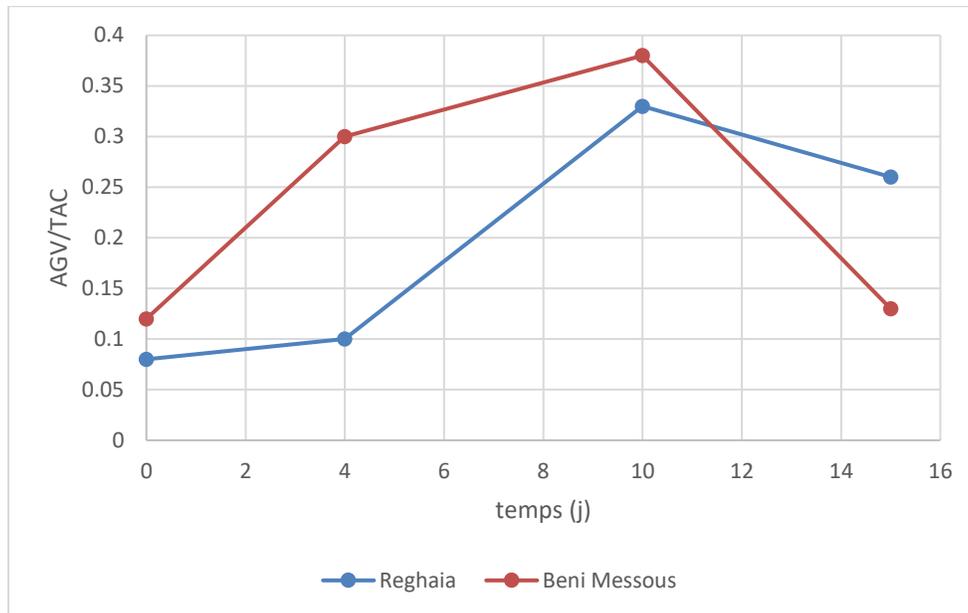
**Figure IV.16: Variation du TAC en fonction du temps**

L'alcalinité pourrait être considérée comme un paramètre plus fiable que le pH pour évaluer la stabilité des digesteurs, car elle a diminué de manière significative avant que le pH ne diminue lorsque les AGV se sont accumulés.

Les premiers 10 jours sont caractérisés par une diminution du TAC, cette diminution coïncide avec l'augmentation des AGV. Cependant, le milieu réactionnel possède un taux d'alcalinité important, ce qui lui permet d'assurer un bon fonctionnement de la digestion et d'éviter la chute du pH. Le TAC augmente dans les 5 jours suivants, cette augmentation de l'alcalinité peut être due à l'activité de micro-organismes méthanogènes qui pourraient produire de l'alcalinité, comme le dioxyde de carbone, l'ammoniac et le bicarbonate [52].

**d. Le rapport AGV/TAC**

La figure V.17 représente la variation du rapport AGV/TAC en fonction du temps pour les trois expériences.



**Figure IV.17: Variation du rapport AGV/TAC en fonction du temps**

L'alcalinité doit être surveillée parallèlement aux AGV pour assurer la stabilité du digesteur anaérobie [66]. Le ratio AGV/TAC augmente durant les premiers 10 jours jusqu'à une valeur maximale de 0,38 et 0,33 pour la boue de Réghaïa et la boue de Beni Messous respectivement. Ces valeurs restent inférieures à la valeur maximale admissible pour la digestion anaérobie.

**e. Les matières en suspension (MES)**

Sur la figure V.18, nous constatons une réduction des MES pendant la digestion pour les deux boues étudiées, avec un abattement de 72 % pour la boue de Réghaïa et 67 % pour la boue de Beni Messous.

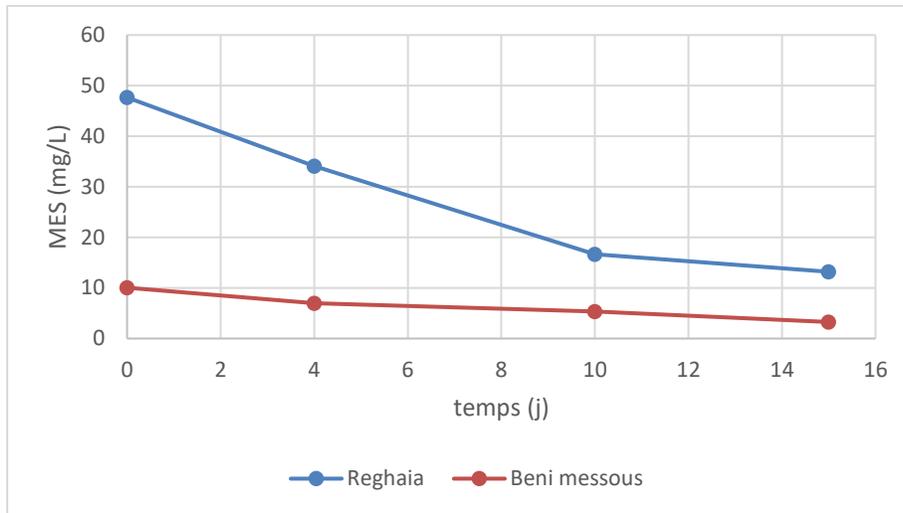


Figure IV.18: Variation des MES en fonction du temps

**f. La siccité**

Le suivi de l'évolution de la siccité pendant la digestion permet d'évaluer le rendement d'abattement de la masse de la boue (réduction de la matière sèche).

D'après la figure V.19, on constate un abattement de la siccité durant la digestion pour la boue de Réghaïa et la boue stabilisée de Beni Messous, avec des rendements de 25 % et 40 % respectivement. Cette diminution est à l'origine de la décomposition de la matière organique pour la production du biogaz.

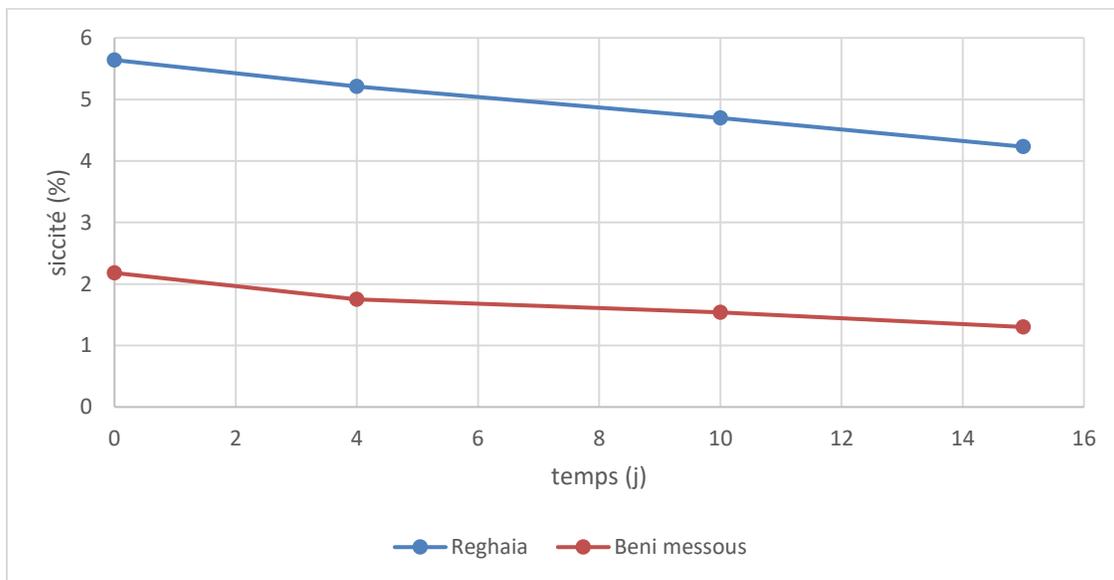
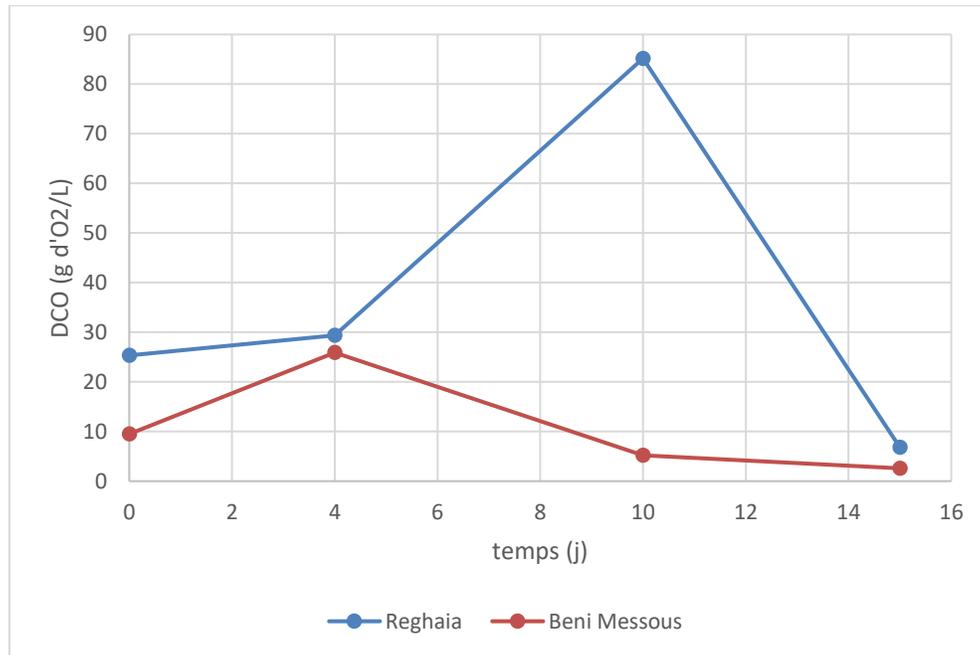


Figure IV.19: Variation de la siccité en fonction du temps

**g. La demande chimique en oxygène (DCO)**

La figure V.20 représente la variation de la DCO en fonction du temps pour les trois expériences.



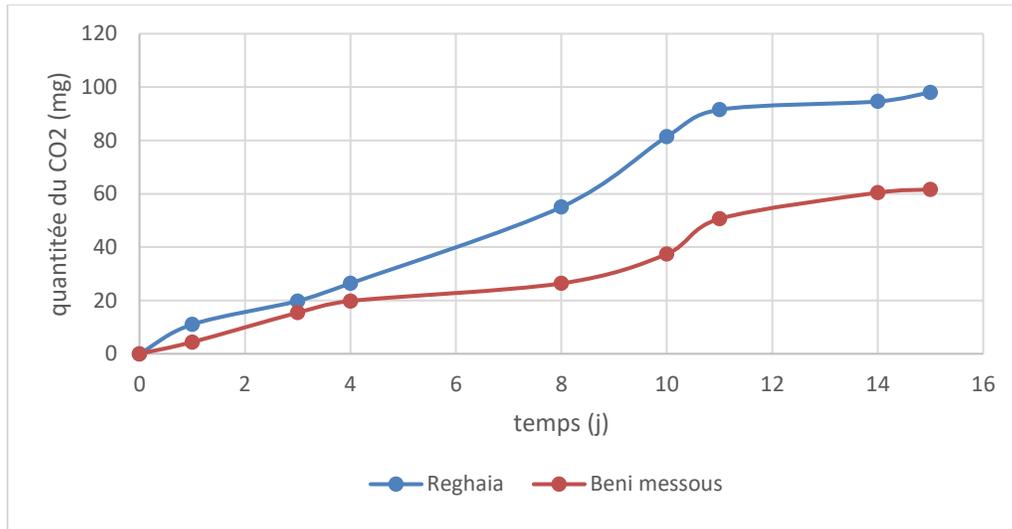
**Figure IV.20: Variation de la DCO en fonction du temps**

L'augmentation de la concentration de la DCO est due notamment à la production d'AGV durant la phase d'acidogène qui peut constituer jusqu'à 95 % du carbone organique total (COT) [67].

A partir du 4<sup>ème</sup> jour pour la boue de Beni Messous et du 10<sup>ème</sup> jour pour la boue de Réghaïa, on enregistre une diminution de la valeur de la DCO qui est due à la dégradation de la matière organique. Le taux de dégradation de la DCO est de 73 % pour les deux boues.

### IV.3.4. Production cumulée de CO<sub>2</sub> (mois de juillet)

La figure V.21 représente la cinétique de production de CO<sub>2</sub> en fonction du temps, la production du biogaz commence dès le 1<sup>er</sup> jour mais avec une vitesse lente jusqu'au 8<sup>ème</sup> jour pour la boue de Réghaïa et jusqu'au 10<sup>ème</sup> jour pour la boue du Beni Messous.



**Figure IV.21: Production cumulée de CO<sub>2</sub> en fonction du temps**

L'augmentation de la teneur en AGV durant cette période indique que la condition de fermentation anaérobie était en phase d'hydrolyse et d'acidification. Une partie des matière sèche et des MES ont été solubilisés grâce aux bactéries hydrolytiques.

On remarque aussi que le pH reste autour de la neutralité grâce au pouvoir tampon des boues qui permet d'équilibrer le processus et d'éviter l'accumulation des acides durant cette phase.

Dans la phase qui suite, la production de CO<sub>2</sub> augmente plus rapidement, les produits de l'acidogénèse ont été convertis en biogaz par les bactéries acétogènes, ce qui explique la diminution des AGV. Cette phase se caractérise par la diminution de la DCO et donc la décomposition de la matière organique.

La phase méthanogénèse commence à partir du 11<sup>ème</sup> jour pour la boue de Réghaïa et du 14<sup>ème</sup> jour pour la boue de Beni Messous. On constate une diminution de la vitesse de production du biogaz car CO<sub>2</sub> est convertie en méthane selon la réaction :



#### IV.4. Conclusion

À la lumière des résultats obtenus, on remarque que les caractéristiques initiales des boues diffèrent d'une période à une autre. On peut conclure que les caractéristiques des boues dépendent de leur origine, de la période, de la charge polluante entrante et de la variabilité de sa composition.

Les échantillons utilisés pour les deux expériences ont des caractéristiques différentes. La DCO et la siccité étaient plus élevées dans le cas de la 1<sup>ère</sup> expérience.

Selon les résultats que nous avons obtenus :

- La mesure des paramètres physicochimiques pendant le cycle de digestion pour les deux expériences a montré un pouvoir tampon suffisant pour éviter l'accumulation des AGV. Toutes les valeurs du pH relevées sont comprises entre 6 et 7,5.
- La production de biogaz commence dès le 1<sup>er</sup> jour pour les deux expériences mais le dégagement du CO<sub>2</sub> dans la 1<sup>ère</sup> expérience était plus rapide que pour la 2<sup>ème</sup>, à cause des différences au niveau des caractéristiques des échantillons utilisés.
- Plus la quantité de pollution est importante, plus la production de biogaz pourrait commencer plus tôt et avec une cinétique plus rapide.
- L'étude de la production de biogaz par digestion des boues a montré que le rendement en biogaz est plus important pour la boue de Réghaïa que la boue stabilisée de Beni Messous.

# **Conclusion générale**

L'étude de la biodégradation des boues issues des stations d'épuration a montré que la digestion anaérobie est une technique efficace pour le traitement et la valorisation des boues.

Le processus de méthanisation a permis d'avoir un abattement important de la pollution organique initiale, c'est-à-dire le taux des matières sèches et la demande chimique en oxygène. Ce processus permet de produire à la fois le biogaz, qui est considéré comme une énergie verte, et le digestat, qui pourrait être utilisé comme un bio engrais.

Le potentiel énergétique du biogaz pourrait être considéré comme une solution économique et écologique importante.

Dans le cadre de cette recherche, l'intérêt a été porté sur le suivi et la comparaison du rendement de production du biogaz pour des boues issues de deux systèmes du traitement différents. Pour cela, deux expériences ont été réalisées avec des réacteurs batch. Afin d'assurer le bon fonctionnement du procédé pendant le cycle de digestion, les paramètres physico-chimiques suivant ont été suivis : le pH, les acides gras volatils (AGV), le titre alcalimétrique complet (TAC), les matières en suspension (MES), la siccité et enfin la demande chimique en oxygène (DCO). L'analyse de ces paramètres a permis d'observer des valeurs souhaitables pour la méthanisation dans le cas des deux expériences.

Le temps de séjour de la première expérimentation est de 30 jours, les substrats utilisés sont : la boue de Beni Messous épaissie et celle stabilisée et la boue de Réghaïa épaissie. Les résultats obtenus ont permis d'avoir une réduction de la DCO de l'ordre de 86 et 75 % pour la boue de Beni Messous épaissie et stabilisée respectivement, alors que la dégradation de la boue de Réghaïa était incomplète.

La 2<sup>ème</sup> expérience a été réalisée avec la boue de Réghaïa et la boue stabilisée de Beni Messous pendant une durée de 15 jours. Les résultats obtenus ont montré que le dégagement de CO<sub>2</sub> n'atteignait pas une phase stationnaire. Concernant les paramètres de la dépollution, une réduction de la matière sèche de l'ordre de 25 et 40 % a été observée pour la boue de Réghaïa et Beni Messous respectivement. Le taux de dégradation de la DCO est de 73 % pour les deux boues.

Le suivi de la production du biogaz a conduit à des résultats satisfaisants et encourageants pour la boue épaissie des deux sites tandis que la quantité de biogaz générée par la boue stabilisée de Beni

Messous était plus faible. On peut conclure que l'étape de stabilisation aérobie a influencé négativement le rendement de la production de biogaz.

Ce travail reste à approfondir pour améliorer le rendement de processus en mettant en place un système de digestion en continue qu'est le système le plus répandu à l'échelle industrielle. De plus, les paramètres physicochimiques et la composition du biogaz produit devraient être suivis quotidiennement afin de prévenir les intoxications possibles et donc la perte de productivité de l'unité de méthanisation.

### Références bibliographiques

1. Moletta R (2006) Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires. Tec et Doc
2. Bayard R, Gourdon R, Thiery L (2001) Aide à la définition des déchets dits biodégradables, fermentescibles, méthanisables, compostables. Rapport final 1:
3. Moletta R (2015) La méthanisation. Tec et Doc
4. BOULENGER P, GALLOUIN Y (2009) Traitements biologiques anaérobies des effluents industriels. Ed. Techniques Ingénieur
5. Zamri MFMA, Hasmady S, Akhiar A, Ideris F, Shamsuddin AH, Mofijur M, Fattah IMR, Mahlia TMI (2021) A comprehensive review on anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. Renewable and Sustainable Energy Reviews
6. Richard EN, Hilonga A, Machunda RL, Njau KN (2019) A review on strategies to optimize metabolic stages of anaerobic digestion of municipal solid wastes towards enhanced resources recovery. Sustain Environ Res
7. Garcia-Bernet D, Steyer J-P, Bernet N (2017) Traitement anaérobie des effluents industriels liquides. Techniques de l'Ingénieur Agroalimentaire
8. Garcia J-L (1998) Les bactéries méthanogènes. CR Acad Agric Fr
9. Popova M (2011) Structure et activité de la communauté des Archaea méthanogènes du rumen en relation avec la production de méthane par les ruminants. Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II
10. Crowley D, Brodeur C, Desmeules X, Pigeon S, St-Arnaud R-M (2008) La biométhanisation à la ferme
11. Boe K (2006) Online monitoring and control of the biogas process. DTU Environment
12. Yadvika, Santosh, Sreekrishnan TR, Kohli S, Rana V (2004) Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques—a review. Bioresource Technology
13. Karim K, Hoffmann R, Thomas Klasson K, Al-Dahhan MH (2005) Anaerobic digestion of animal waste: Effect of mode of mixing. Water Research
14. Farquhar GJ, Rovers FA (1973) Gas production during refuse decomposition. Water Air Soil Pollut
15. Ehrig H (1983) Quality and quantity of sanitary landfill leachate. Waste Management & Research

## Références bibliographiques

---

16. Hirano S, Matsumoto N, Morita M, Sasaki K, Ohmura N (2013) Electrochemical control of redox potential affects methanogenesis of the hydrogenotrophic methanogen *Methanothermobacter thermautotrophicus*. *Lett Appl Microbiol*
17. Bitton G (2005) *Wastewater microbiology*, 3rd ed. Wiley-Liss, John Wiley & Sons, Hoboken, N.J
18. Noyola A, Tinajero A (2005) Effect of biological additives and micronutrients on the anaerobic digestion of physicochemical sludge. *Water Science and Technology*
19. Tou I, Igoud S, Touzi A (2001) Production de Biométhane à partir des Déjections Animales. *Rev Energ Ren: Production et Valorisation-Biomasse*
20. Deublein D (2010) *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*, 3. Nachdr. Wiley-VCH-Verl, Weinheim
21. Delfosse P (2010) *Microbiologie de la digestion anaérobie*. Centre de recherche public Gabriel Lippmann
22. Bastide G (2014) *Methodological guide for the follow-up and elaboration of performance assessments of a methanization plant; Guide méthodologique pour le suivi et l'établissement des bilans de performances d'une installation de méthanisation*. Rapport final
23. Cornet C, Euverink G (2017) *Inhibiting factors in the anaerobic digestion process for biogas production*. University of Groningen
24. Chen Y, Cheng JJ, Creamer KS (2008) Inhibition of anaerobic digestion process: A review. *Bioresource Technology*
25. Rohstoffe FN (2010) *Guide sur le biogaz-De la production à l'utilisation*. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)
26. Bernd Wollwerth-Carl (2019) *Technologie du Biogaz et Biomasse*. RENAC
27. ORNE *La méthanisation des matières organiques*. Conseil général
28. SNF FLOERGER. *Déshydratation des boues*. [Brochure]
29. Canler J, Perret J (2013) *La réduction de boues par voie biologique par le procédé MycET*. Unité de recherche Milieux Aquatique, Ecologie et Pollutions
30. Sperling M von, Andreoli CV, Fernandes F (2007) *Sludge Treatment and Disposal*, Volume 6. IWA Publishing
31. Sommers LE (1977) *Chemical Composition of Sewage Sludges and Analysis of Their Potential Use as Fertilizers*. *J environ qual*

32. El Fels L (2014) Suivi physico-chimique, microbiologique et écotoxicologique du compostage de boues de STEP mélangées à des déchets de palmier: validation de nouveaux indices de maturité
33. Wluka A-K, Huang Y, Coenen L, Dsikowitzky L, Schwarzbauer J (2021) Structural diversity of organic contaminants in sewage sludge: a comparison of sewage fingerprints from Germany and China. *Discov Water*
34. Butler D, Docx P, Hession M, Makropoulos C, McMullen M, Nieuwenhuijsen M, Pitman A, Rautiu R, Sawyer R, Smith S, White D, Wilderer P, Paris S, Marani D, Braguglia C, Palerm J (2001) Pollutants in urban waste water and sewage sludge
35. AMORCE (2012) Gestion des boues de stations d'épuration. Série Technique DT 52
36. Gray NF (2010) *Water technology: an introduction for environmental scientists and engineers*, 3rd ed. Butterworth-Heinemann Co-published by IWA Pub, Amsterdam Boston London
37. Pronost J, Pronost R, Deplat L, Malrieu J, Berland J (2002) Stations d'épuration: dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation. Report n
38. Wang LK, Shammas NK, Selke WA, Aulenbach DB (2007) Flotation Thickening. In: Wang LK, Shammas NK, Hung Y-T (eds) *Biosolids Treatment Processes*. Humana Press, Totowa, NJ
39. Farzadkia M, Bazrafshan E (2014) Lime Stabilization of Waste Activated Sludge. *Health Scope* 3
40. Topal M, Arskan E (2009) Thermal conditioning of sludges. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*
41. BERLAND J-M (2014) *Traitement des boues d'épuration . Techniques d'ingénieur*
42. de Freitas Bueno R (2020) Composition, Production, and Treatment of Sewage Sludge. In: Kiliç Taşeli B (ed) *Sustainable Sewage Sludge Management and Resource Efficiency*. IntechOpen
43. Department of Environment and Science, Queensland (2022) Treatment systems for intensive land uses. <https://wetlandinfo.des.qld.gov.au/wetlands/management/treatment-systems/for-industrial/>. Accessed 13 Jun 2022
44. Benkadi O, Lezoul S (2017) Etude de l'efficacité de la station d'épuration de Réghaia et l'impact de la pollution sur Le lac de Réghaia. Mémoire de Fin d'études de Master, Université M'hamed Bougara Boumerdes
45. OULEBSIR R (2020) Elaboration d'un dashboard par data mining pour le benchmarking des step. Thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Alger, Houari Boumediène

46. Toumi H eddine (2015) Caractérisation des eaux usées et étude de fonctionnement de la Station d'épuration de la ville de Béni-Messous (Alger). Mémoire de Fin d'études de Master, Université Saad DAHLAB – Blida 1
47. CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC (2016) Détermination de la demande chimique en oxygène : méthode de reflux en système fermé suivi d'un dosage par colorimétrie avec le bichromate de potassium, MA. 315 – DCO 1.1, Rév. 4
48. Yves C (2013) Unité de méthanisation: Analyse permettant d'évaluer le bon fonctionnement de l'installation. HACH LANGE
49. Méthode rapide de détermination du TAC et du taux d'acides volatils ( AGV ) dans une boue liquide - Degremont®. <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/analyses-et-traitabilite-des-eaux/examen-des-boues/methode-rapide-de-determination-du-TAC-et-du-taux-d-acides-volatils-AGV-dans-une-boue-liquide>. Accessed 1 Jun 2022
50. Moletta R (2005) Contrôle et conduite des digesteurs anaérobies. rseau
51. AMOUCHE M (2016) Caractérisation des boues de la STEP de Réghaia. Mémoire de projet de fin d'études, Ecole Nationale Polytechnique
52. Xin L, Guo Z, Xiao X, Peng C, Zeng P, Feng W, Xu W (2019) Feasibility of anaerobic digestion on the release of biogas and heavy metals from rice straw pretreated with sodium hydroxide. *Environ Sci Pollut Res* 26:19434–19444.
53. Siegert I, Banks C (2005) The effect of volatile fatty acid additions on the anaerobic digestion of cellulose and glucose in batch reactors. *Process Biochemistry*
54. Yoshizaki S, Tomida T (2000) Principle and process of heavy metal removal from sewage sludge. *Environmental science & technology*
55. Operations USEPAO of WP, Zickefoose C, Hayes RJ, Bryant JO (1976) Anaerobic sludge digestion: operations manual
56. Rosato MA (2015) Redimensioning the importance of the VFA/TA (FOS/TAC) method
57. (2020) Tout savoir sur les boues d'épuration | Centre d'information sur l'eau. <https://www.cieau.com/le-metier-de-leau/ressource-en-eau-eau-potable-eaux-usees/tout-savoir-boues-epuration/>. Accessed 15 Sep 2022
58. Sperling M von (2007) Wastewater characteristics, treatment and disposal. IWA Publ. [u.a.], London
59. Bouaoun D, Aoun J (2006) Etude des paramètres physico-chimiques de la biométhanisation des ordures ménagères. *Environnement, Ingénierie & Développement*
60. Drosig B (2013) Process monitoring in biogas plants. IEA bioenergy Paris, France

## Références bibliographiques

---

61. Corse M (2012) Méthanisation des boues de stations: Règle de l'art et état des lieux sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse
62. Kalloum S, Iddou A, Khelafi M, Touzi A (2013) Utilisation du procédé de la digestion anaérobie pour le traitement des boues des stations d'épuration des eaux usées. *Journal of Renewable Energies*
63. Tomei M, Braguglia C, Mininni G (2008) Anaerobic degradation kinetics of particulate organic matter in untreated and sonicated sewage sludge: Role of the inoculum. *Bioresource Technology*
64. Zerrouki S, Rihani R, Bentahar F (2017) Etude de la digestion anaérobie des effluents issus de l'industrie agroalimentaire. *Nature & Technology*
65. Falipou E (2019) La digestion des boues de station d'épuration: état de l'art et paramètres clés. INP Phelma, Filière EPEE (Electrochimie et Procédés pour l'Energie et l ...
66. Angelidaki I, Ahring BK (1997) Codigestion of olive oil mill wastewaters with manure, household waste or sewage sludge. *Biodegradation*
67. HADRI K, KHELAFI HBouabdesselamM, TAHRI A, LEONARDC A Energetic Valorization of Adrar City Step Sludge by Batch Solar Digester

---

## Analyse de la demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène requise pour oxyder la matière organique et inorganique oxydable contenue dans un échantillon.

### 1. Principe et théorie

La matière oxydable contenue dans un échantillon est oxydée par chauffage à reflux en milieu fortement acide avec une quantité connue de bichromate de potassium dans une éprouvette fermée.

La consommation d'oxygène par l'échantillon provoque un changement de couleur dont l'absorbance est proportionnelle à la quantité de bichromate de potassium réduit et se mesure en équivalent d'oxygène.

### 2. Prélèvement et conservation

Un échantillon représentatif est prélevé dans un contenant de plastique ou de verre. L'échantillon est acidifié à  $\text{pH} < 2$  à l'aide d'une solution de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  9N. Pour la DCO dissoute, l'échantillon doit être filtré avant de l'acidifier. Conserver les échantillons à 4 °C. Le délai de conservation entre le prélèvement et l'analyse ne doit pas excéder 28 jours.

### 3. Appareillage

- Spectrophotomètre
- Bloc chauffant à une température de  $150\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$
- Burette automatique
- Pipette automatique
- Agitateur Vortex
- Éprouvettes 16 x 125 mm en verre munies de bouchons avec joint de téflon

### 4. Réactifs et étalons

- Acide sulfurique,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (CAS no 7664-93-9)
- Bichromate de potassium,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (CAS no 7778-50-9)
- Sulfate mercurique,  $\text{HgSO}_4$  (CAS no 7783-35-9)
- Sulfate d'argent,  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  (CAS no 10294-26-5)
- Biphthalate de potassium,  $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$  (CAS no 877-24-7)

---

## 5. Préparation des solutions

### 5.1. Solution de digestion pour la méthode à haut niveau

Dissoudre 10,2 g de  $K_2Cr_2O_7$ , préalablement séché à 105 °C pendant 2 heures, dans environ 500 mL d'eau. Ajouter doucement 167 mL de  $H_2SO_4$  et 33,3 g de  $HgSO_4$ . Agiter jusqu'à dissolution complète, laisser refroidir et compléter à 1 000 mL avec de l'eau.

### 5.2. Réactif acide

Verser 23,4 g d' $Ag_2SO_4$  dans une bouteille de 4,25 kg de  $H_2SO_4$  (2,5 L). Laisser reposer 1 à 2 jours afin que l' $Ag_2SO_4$  soit complètement dissous. La solution peut également être préparée dans une quantité moindre d'acide sulfurique. Cependant, la quantité d' $Ag_2SO_4$  ajoutée doit représenter 5,5 g d' $Ag_2SO_4$  par kg d'acide sulfurique.

Inverser la bouteille 3 fois avant la première utilisation, afin de s'assurer que la concentration de sulfate d'argent soit la même dans toute la bouteille. Verser 23,4 g d' $Ag_2SO_4$  dans une bouteille de 4,25 kg de  $H_2SO_4$  (2,5 L). Laisser reposer 1 à 2 jours afin que l' $Ag_2SO_4$  soit complètement dissous. La solution peut également être préparée dans une quantité moindre d'acide sulfurique. Cependant, la quantité d' $Ag_2SO_4$  ajoutée doit représenter 5,5 g d' $Ag_2SO_4$  par kg d'acide sulfurique. Inverser la bouteille 3 fois avant la première utilisation, afin de s'assurer que la concentration de sulfate d'argent soit la même dans toute la bouteille. La solution doit être conservée à l'obscurité.

### 5.3. Solution d'acide sulfurique 9 N

Diluer 250 mL de  $H_2SO_4$  dans environ 600 mL d'eau. Laisser refroidir et compléter à 1000 mL avec de l'eau.

### 5.4. Solution étalon de 10 000 mg/L $O_2$

Sécher le biphthalate de potassium au four à 120 °C pendant 2 heures et laisser refroidir au dessiccateur. Dissoudre 2,125 g de biphthalate de potassium dans environ 200 ml d'eau et compléter à 250 mL avec de l'eau.

### 5.5. Solutions étalons de 800, 500, 300 et 100 mg/L $O_2$ :

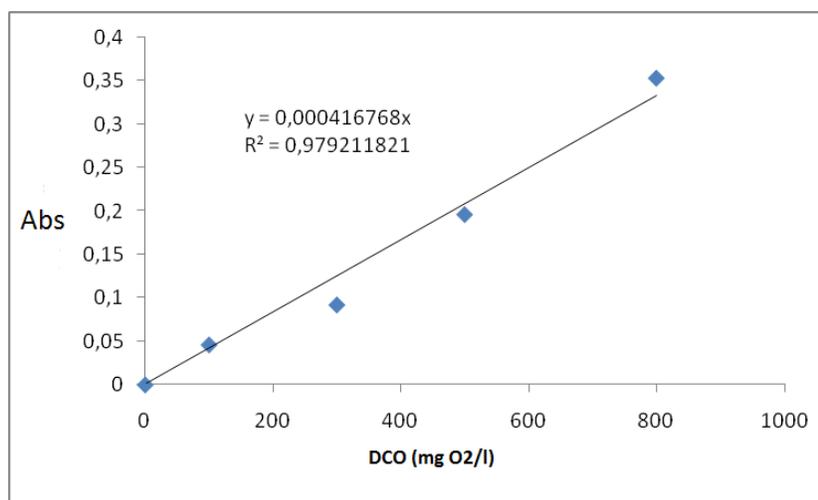
Dans une série de fioles jaugées de 100 mL, introduire à l'aide de pipettes 8, 5, 3 et 1 mL de la solution étalon de 10 000 mg/L  $O_2$  dans environ 80 mL d'eau. Ajouter 0,5 mL de  $H_2SO_4$  9N et compléter au trait de jauge avec de l'eau

## 6. Protocole d'analyse

- Prélever à l'aide d'une pipette 2,5 mL d'échantillon et l'introduire dans une éprouvette,
- Ajouter lentement 1,5 mL de la solution de digestion et ajouter lentement 1,5 mL de la solution de digestion,
- Ajouter lentement 3,5 mL du réactif acide, visser fermement le bouchon. Par la suite mélanger à l'aide d'un agitateur vortex. Lors du mélange, la chaleur dégagée est très grande. Inverser le tube lentement afin de s'assurer qu'il n'ait pas de fuite,
- Porter à reflux dans un bloc chauffant à une température de  $150\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  pendant une période de 2 heures.
- Laisser refroidir à la température ambiante.
- Ajuster la longueur d'onde du spectrophotomètre à 600 nm.
- Essuyer l'extérieur des éprouvettes avant de faire les lectures de transmittance.
- Ajuster le 100 % de transmittance avec la solution témoin. Tourner le tube de façon à obtenir la transmittance maximale.
- Noter la lecture de la transmittance des solutions étalons et des échantillons.

## 7. Calcul et expression des résultats

La courbe d'étalonnage est tracée à partir des mesures d'absorbance et de la concentration des solutions étalons.



**Courbe d'étalonnage de la DCO**

La DCO est calculée donc : **DCO = 2399.41Abs**