

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Ibn Khaldoun, Tiaret

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département d'Ecologie, Environnement et Biotechnologie



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du

Diplôme de Master académique

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

Filière : **Biotechnologie**

Spécialité : **Biotechnologie microbienne**

Thème :

*Caractérisation et valorisation d'une biomasse
en vue de production de biogaz*

Présenté par :

- **Bekri Abdelmalek**
- **Bourouina Elhadj Larbi**
- **Bouchentouf Abderrahmane**

Soutenu publiquement devant le Jury : le 4/7/2023

Président :	Dr. Berrayah M	MCA	Université de Tiaret
Examineur :	Dr. Kadi S	M.C.A	Université de Tiaret
Encadrant :	Pr. Boussoum M.O	Prof	Université de Tiaret
Co-Encadrant :	Dr. Ali-Nehari AEK	M.C.A	Université de Tiaret

Année Universitaire 2022-2023

Remerciements

Nous remercions ALLAH le tout puissant, le Miséricordieux, de nous avoir donné le courage la force, la santé et la persistance et de nous avoir permis de finaliser ce travail.

Nous tenons d'abord à remercier très chaleureusement

***Pr. BOUSSOUM M.O**, qui nous a fait confiance et nous a permis de bénéficier de son encadrement, de nous avoir encouragé, orienté, conseillé et aidé, nous les remercions vivement pour sa disponibilité, sa patience et sa grande générosité, tout le long de notre travail,*

*Nous tenons également à remercier très chaleureusement **Dr. ALI NEHARI AEK** pour nous avoir guidé dans ce travail avec ses conseils, son efficacité et sa grande gentillesse.*

*Nos chaleureux remerciements vont aux **Dr. BERRAYAH. M** et **Dr. KADI S***

Pour l'honneur d'accepter de juger notre travail

*Nous tenons à remercier vivement **Mr. Djoudi M**, ingénieur à l'ONA de Tissemsilt*

Nous remercions également l'équipe de la STEP de Tiaret de nous avoir ouvert les portes de la station pour pouvoir réaliser ce travail.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que je dédie ce mémoire de master à mon très cher père : aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation

À ma très chère mère qui représente pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement, et qui n'a pas cessé de me motiver et de prier pour moi, sa prière et sa bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

À tous les membres de ma famille, petite et grande.

À mes trinômes Larbi et Abderrahmane qui me partage le travail pour réaliser ce projet

À mes chers amis, Tarek et Zoubida.

À mon chère cousin Omar.

À tous ceux qui se sentent chère, par un mot m'ont donné la force de continuer

ABDELMALEK

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que je d'die ce mémoire de master à mon très cher père : aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation

À ma très chère mère qui représente pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement, et qui n'a pas cessé de me motiver et de prier pour moi, sa prière et sa bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

À tous les membres de ma famille, petite et grande.

À mes trinômes Abdelmalek et Abderrahmane qui me partage le travail pour réaliser ce projet

À mes chers amis, Tarek, Zoubida et Youcef

À tous ceux qui se sentent chère, par un mot m'ont donné la force de continuer

EL HADJ LARBI

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que je d'die ce mémoire de master à mon très cher père : aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation

À ma très chère mère qui représente pour moi la source de tendresse et l'exemple de dévouement, et qui n'a pas cessé de me motiver et de prier pour moi, sa prière et sa bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

À ma chère tante Habiba

À tous les membres de ma famille, petits et grand.

À mes trinômes Larbi et Abdelmalek qui me partage le travail pour réaliser ce projet

À mes chers amis, Tarek, Bakhta et Zoubida.

A tous ceux qui se sentent chère, par un mot m'ont donné la force de continuer

ABDERRAHMANE

Liste des schémas et figures

Schéma I.1 : Organigramme de la méthodologie expérimentale.....	4
Figure I.1: Spectrophotomètre DR 3900	8
<i>Figure I.1</i> : Dispositif expérimental	11
Figure II.1 : Evolution des températures de processus de traitement.....	13
Figure II.2 :Evolution du pH.....	14
Figure II.3 : Evolution de la CE.....	15
Figure II.4 :Variation de l'oxygène dissous dans les différents sites	16
Figure II.5 : Evolution des teneurs en MES.....	17
Figure II.6 : Teneurs en matière sèche	17
Figure II.7 :Evaluation de la matière minérale dans les trois sites.....	18
Figure II.8 :Evaluation de la matière organique dans les trois sites.	19
Figure II.9: Evolution de la DCO dans les trois sites	20
Figure II.10 : Valeurs de la DBO ₅	21
Figure II.11 : Evolution de [PO ₄ ³⁻] dans les trois sites	21
Figure II.12 :Evolution de la concentration de nitrite	22
Figure II.13 : Rendement du biogaz après 7 jours	23

Liste des Tableaux

<i>Tableau 1</i> : Table de dilution selon le type d'OXYTOP.....	10
--	----

Liste des annexes

Annexe 1 : Présentation de STEP de Tiaret.....	28
Annexe 2 : Sites de prélèvement.....	29
Annexe 3 : Compositions de biogaz	30
Annexe 4 : Solution standard de $K_2 Cr_3 O_7$ LCK 114 150-1000mg/l O_2	31
Annexe 5 : Inhibiteur de nitrification et Na(OH) en comprimé	31
Annexe 6 : Solution standard LCK 341 0.05-2mg/L NO_2.....	31
Annexe 7 : Démarche du dosage des nitrites	32
Annexe 8 : Solution standard LCK348 à 1.5-15mg/l PO_4.....	32
Annexe 9 : Protocole de dosage des phosphates	32

Liste des abréviations

- ETM** : Eléments traces métalliques
- DBO₅** : Demande biologique en oxygène
- DCO** : Demande chimique en oxygène
- CE** : Conductivité électrique
- UV** : Ultraviolet
- K₂Cr₃O₇** : Bichromate de potassium
- NaOH** : Hydroxyde de sodium
- PO₄³⁻** : Ion phosphate
- MS** : Matière sèche
- S** : Siccité
- MES** : Matière en suspension
- MVS** : Matière volatiles en suspension
- MO** : Matière organique
- MM** : Matière minérale
- CH₄** : Méthane
- NO₂⁻** : Nitrite
- OMS** : Organisation mondiale de la santé
- PHB** : Poly-β-hydroxy butyrate
- PHV** : Poly-β-hydroxyvalérate
- PHA** : Poly-β-alcanoates
- NH₄⁺** : Ion d'Ammonium
- H₂S** : Sulfure d'hydrogène

RESUME

La fermentation méthanique ou la bio méthanisation est l'une des méthodes de valorisation de la biomasse, pour la production du biogaz. Ce dernier peut être valorisé par différentes voies : production de chaleur et d'électricité, utilisation comme carburant ou injection directe dans le réseau du gaz naturel.

Dans notre étude nous avons contribué à l'optimisation de la production du biogaz à partir des boues de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Tiaret en suivant l'effet de la variation de quelques paramètres sur le rendement volumique et énergétique du biogaz. Trois prélèvements ont été effectués de la boue brute dans trois sites différents. Les trois échantillons sont mis à fermenter dans des digesteurs dans des conditions d'anaérobiose pendant 7 jours.

Les boues étudiées se révèlent d'une composition complexe riche en matière organique, un bon pouvoir tampon et une grande stabilité de processus, ce qui permet de démontrer clairement la possibilité de produire une énergie à partir d'un déchet indésirable qui est la boue.

Mots clés : Biomasse, biogaz, caractérisation, digestion anaérobie, optimisation, STEP.

Abstract

Methane fermentation, also known as biomethanization, is one of the methods used for the biogas production to utilizing biomass. It can be used in a variety of ways, including heat and power generation, fuel use, or direct injection into the natural gas system.

In our study, we have tried to optimize biogas production using sludge from the sewage treatment plant of Tiaret by examining the effect of various parameters on the volumetric and energy efficiency of biogas. Three raw sludge samples were collected from three different sites and subjected to anaerobic fermentation in digesters over a 7-day period.

The sludge studied had a complex composition, rich in organic matter, with good buffering capacity and great stability of the process. This clearly demonstrates the possibility of producing energy from undesirable waste, namely sludge.

Keywords: Biomass, biogas, characterization, anaerobic digestion, optimization, treatment plant (WWTP).

ملخص

تخمير الميثانول أو الميثان الحيوي هي إحدى طرق تـثمين الكتلة الحيوية لإنتاج الغاز الحيوي. الذي يمكن استغلاله من خلال إنتاج الحرارة والكهرباء، أو استخدامه كوقود أو ضخ مباشر في شبكة الغاز الطبيعي.

الدراسة محاولة لتحسين مردود إنتاج الغاز الحيوي من حمأة محطة معالجة مياه الصرف الصحي في مدينة تيارت من خلال متابعة تأثير تباين بعض المعايير على حجم وكفاءة الطاقة للغاز الحيوي المنتج. تم جمع ثلاث عينات من الحمأة الخام من ثلاثة مواقع مختلفة. حيث يتم تخمير العينات الثلاث في أجهزة الهضم في ظروف لاهوائية لمدة 7 أيام.

أظهرت الحمأة التي تمت دراستها تكوينًا معقدًا غنيًا بالمواد العضوية، وقوة احتياطية جيدة واستقرارًا كبيرًا للعملية، مما يجعل من الممكن إثبات إمكانية إنتاج الطاقة من نفايات غير مرغوب فيها مثل الحمأة.

الكلمات المفتاحية: الكتلة الحيوية، الغاز الحيوي، التوصيف، الهضم اللاهوائي، التحسين

Table des matières

Liste des schémas et figures.....	I
Liste des tableaux.....	I
Listes des annexes.....	II
Liste des abréviations.....	III
Résumé	IV
Introduction	1

Chapitre I : matériel et méthodes

I.1. Echantillonnage et méthodes d'analyses.....	5
I.2. Paramètres physiques	5
I.2.1 Température.....	5
I.2.2. pH.....	5
I.2.3. Oxygène dissous	6
I.2.4. Conductivité électrique	6
I.2.5. Matière en suspension.....	6
I.2.6. Matière sèche	7
I.2.7. Matière minérale.....	7
I.2.8. Matière organique	7
I.3. Paramètres chimiques.....	8
I.3.1. DCO	8
I.3.2. DBO5.....	9
I.3.3. Nitrites	10
I.3.4. Phosphates.....	10
I.4. Valorisation énergétique des boues	11

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1. Evolution des paramètres physiques	13
II.1.1. Température.....	13
II.1.2. Évolution du potentiel hydrogène	14
II.1.3. Conductivité électrique	15
II.1.4. Evolution de la teneur en oxygène dissous	16
II.1.5. Evolution de la teneur en matière en suspension.....	17
II.1.6. Evaluation de la teneur en matière sèche	17
II.1.7. Evaluation de la matière minérale	18
II.1.8. Evaluation de la matière organique	18
II.2. Evolution des paramètres chimiques.....	19
II.2.1. Évolution de la demande chimique en oxygène	19
II.2.2. Évolution de la demande biochimique en oxygène (DBO₅)	20
II.2.3. Evolution des phosphates.....	21
II.2.4. Evolution des nitrites.....	22
II.3. Production du biogaz	22
Conclusion.....	24
Références bibliographiques	26
Annexes.....	28

Introduction

Introduction

Actuellement, l'énergie est disponible en grande quantité, et reste relativement bon marché. Elle permet à de nombreuses populations de jouir de très hauts niveaux de confort, de productivité et de mobilité. L'accès à ces grandes quantités d'énergie et leur exploitation est cependant inégalement réparti entre les régions et les pays.

C'est le cas en Algérie, malgré les richesses en hydrocarbures, l'approvisionnement en combustible fossile (pétrole, gaz, naturel,) reste l'un des problèmes majeurs des régions enclavées et plus particulièrement les régions montagneuses et celles du sud, ce qui a engendré une consommation accrue en bois, une dégradation poussée des forêts, une érosion des sols et une détérioration du climat et de l'environnement.

Pour répondre aux besoins en énergie de notre pays, afin d'assurer sa pérennité, réduire sensiblement la pollution locale et l'effet de serre, pour la préservation de l'environnement ; la prospection et le développement de nouvelles sources d'énergie ont été entrepris et notamment l'énergie issue de la biomasse et plus précisément le biogaz.

Cette forme d'énergie renouvelable largement disponible, peu coûteuse et non polluante est utilisée pour compléter l'énergie fossile non renouvelable.

La valorisation des déchets organiques et principalement les boues d'une station d'épuration des eaux usées urbaines pour la production du biogaz pourrait être considérée comme une solution économique, décentralisée et écologique, à travers une autonomie énergétique et un développement agricole durable des zones rurales.

En Algérie, les boues des stations d'épuration sont essentiellement utilisées comme engrais. Ces boues peuvent contenir des agents pathogènes [1-2] et des contaminants chimiques ainsi des éléments traces métalliques (ETM) potentiellement dangereux pour la santé humaine et pour l'environnement. Au-delà d'une certaine concentration de ces éléments, les boues des stations d'épuration ne sont plus valorisables en agriculture. L'utilisation des boues contaminées par des ETM entrave la biodégradation de certains composés organiques [3]. Ces ETM sont soit retenus dans la boue, soit entraînés par lixiviation [4] ou adsorbés par les plantes [5]. Cette adsorption contamine les sols et par conséquent contamine la chaîne alimentaire. Une très forte concentration en ETM comme le Pb, le Zn et le Cd entrave la revégétalisation [6]. La production continue des boues des stations d'épuration contaminées aura comme destination dans ce cas la mise en décharge, l'incinération ou le compostage [7, 8].

Introduction

La caractérisation d'une boue est fondamentale afin d'identifier la meilleure filière qui permet sa gestion rationnelle loin de tout risque pour l'homme et son environnement. Il existe plusieurs filières qui sont utilisées pour évacuer les boues résiduelles, selon que l'on privilégie un mode de digestion basé sur l'élimination ou sur le recyclage. Il s'agit notamment de la mise en décharge contrôlée, de l'incinération, du retour au sol par épandage ou de la valorisation énergétique [9].

La valorisation des boues est souvent aléatoire et leur évacuation constitue presque toujours une charge d'exploitation importante. Sur le plan économique, le but à atteindre est en réalité de limiter les frais de leur traitement et de leur transport. Cette optimisation dépend des conditions d'écoulement du produit, des besoins en énergie et du coût de celle-ci, des réactifs de conditionnement, etc. Parallèlement, l'hygiène du travail et la protection de l'environnement imposent le développement de solutions provoquant le minimum de nuisances tout en restant économiquement supportables [10].

Les boues d'épuration, une fois séchées, peuvent également être valorisées en énergie en produisant du biogaz, elles constituent un combustible alternatif aux carburants d'origine fossile (pétrole, gaz, charbon).

Parmi les méthodes d'élimination des boues d'épuration, la production du biogaz qui est considérée comme une méthode adéquate pour la valorisation énergétique des boues d'épuration. La boue d'épuration est également une source d'énergie polyvalente qui peut être utilisée pour production d'électricité et la production de biocarburants liquides, gaz de synthèse, des produits chimiques, par l'intermédiaire thermochimique processus tels que la combustion, la pyrolyse et la gazéification [11]

Le biogaz reste une énergie méconnue en Algérie et même si elle ne fait pas partie de nos traditions socioculturelles et économiques, elle doit représenter la meilleure solution pour les problèmes déjà évoqués. Le processus de traitement des boues est influencé par plusieurs paramètres tels que : le pH, la température, la DBO, la DCO, ...etc., et le biogaz produit durant ce processus (quantité et qualité) est influencé directement par ces paramètres.

Le travail exposé dans ce mémoire a pour objectif d'optimiser la production du biogaz à partir des boues de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Tiaret (Ain Bouchakif) en

Introduction

suivant l'effet de la variation de quelques paramètres sur le rendement volumique et énergétique du biogaz.

Cette étude a été développée en deux parties en plus d'une introduction et une conclusion générale : une partie expérimentale, dans laquelle nous présentons le matériel et les modes opératoires utilisés, et autre partie consacrée à l'étude des conditions opératoires intervenant dans le processus de valorisation des boues activées et leurs influences sur les paramètres choisis.



*Méthodologie
expérimentale*

CHAPITRE I :
Matériel et méthodes

Chapitre I : Matériel et méthodes

Dans cette partie, nous allons présenter le matériel ainsi que les méthodes utilisées afin de réaliser les objectifs de notre travail, les quelles ; valorisation des déchets, caractérisations physico-chimiques des boues et production d'un biogaz.

La démarche a été réalisée au niveau de laboratoire d'écologie végétale de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie ainsi le laboratoire d'analyses au niveau de la station d'épuration Tissemsilt durant deux mois (février et mars).

L'organigramme de la démarche expérimentale est illustré dans le schéma ci-dessous :

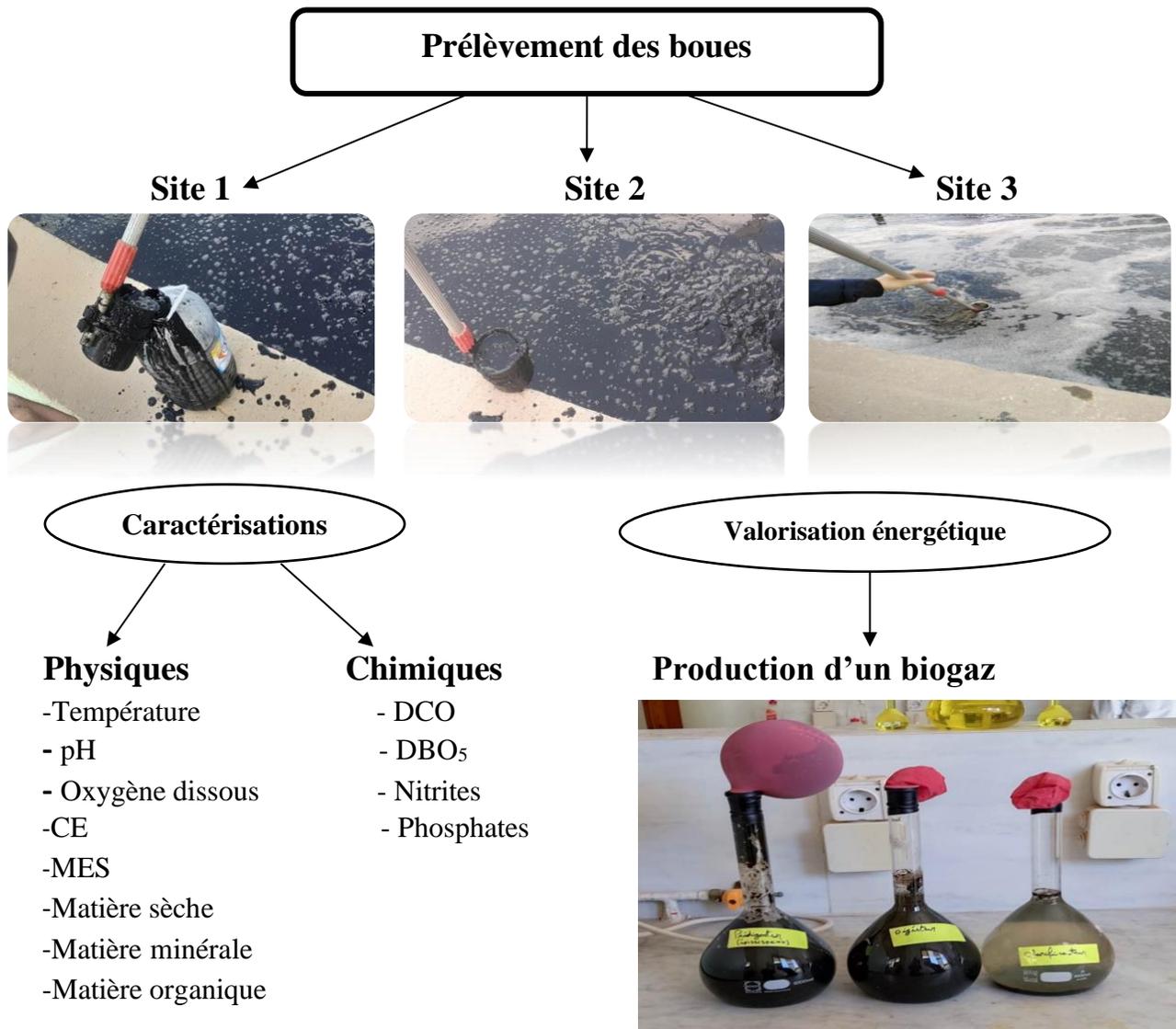


Schéma I.1. Organigramme de la méthodologie expérimentale

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.1. Echantillonnage et méthodes d'analyses

Le choix de l'utilisation des boues de la station d'épuration de Tiaret (Ain Bouchakif) vient du fait qu'elle traite des effluents de propriétés très intéressantes en l'occurrence leurs forte teneur en éléments nutritifs et en matière organique qui est révélée par une DCO assez élevée oscillant entre 450 et 650 mg O₂/L.

Le prélèvement des échantillons a été réalisé durant le mois de février manuellement au niveau de trois sites choisis, à savoir :

- Site 1 : Epaississeur.
- Site 2 : Digesteur.
- Site 3 : Bassin biologique / clarificateur.

Par ailleurs, l'échantillonnage des eaux s'est fait dans des flacons stériles. Leur transport au laboratoire s'est effectué dans une glacière pour maintenir une température de 4°C.

Neuf paramètres ont été mesurés. Seule la température a été mesurée in-situ. Les autres paramètres physico-chimiques (pH, conductivité électrique, l'oxygène dissous, matière en suspension, phosphates, nitrates, DBO₅ et DCO) ont été analysés au laboratoire selon des protocoles d'analyse que nous développerons ultérieurement.

I.2. Paramètres physiques

Sont pris en compte les paramètres physiques susceptibles d'influencer la qualité des boues lors des processus de traitement. Il s'agit du pH, de la température, de l'oxygène dissout et de la conductivité électrique :

I.2.1 Température

Mis à part le pH, l'un des paramètres qu'il faut indéniablement étudier quand il s'agit de processus faisant appel à des microorganismes est la température. Des relevés de température ont été effectués pendant toute la durée de notre expérimentation.

I.2.2. Potentiel d'hydrogène

Le premier paramètre auquel nous nous sommes intéressés lors de notre expérimentation est le potentiel d'hydrogène (pH). En effet, il revêt une importance primordiale dans tous les processus impliquant des mécanismes biologiques ; il est donc nécessaire de s'y intéresser et de

Chapitre I : Matériel et méthodes

voir son influence. Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physicochimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau et la boue [12].

Le suivi du pH a été effectuée à l'aide d'un pH-mètre (CRISON) à électrode, étalonné régulièrement à l'aide de deux solutions tampons respectivement neutre (pH=7) et acide (pH=4.01). Après étalonnage de l'appareil, l'électrode est plongée dans une suspension réalisée sur de 10 grammes des échantillons de boue par 100 mL d'eau distillé dans un bécher sous agitation à la température ambiante, ce qui permet d'obtenir un équilibre entre la phase solide et la phase liquide.

I.2.3. Oxygène dissous

L'apport de l'oxygène constitue une part importante dans une station d'épuration biologique, car indispensable pour la respiration des bactéries aérobies. D'où l'intérêt de prendre en compte ce paramètre dans notre analyse.

L'oxygène dissous a été mesuré à l'aide du Multi-paramètre HQ440d à électrode. L'électrode de l'appareil est plongée dans un échantillon et après stabilisation de la valeur, on procède à la lecture.

I.2.4. Conductivité électrique

La conductivité (CE) est la propriété que possède une eau à favoriser le passage d'un courant électrique. Elle fournit une indication précise sur la teneur en sels dissous (salinité de l'eau). La conductivité s'exprime en micro Siemens par centimètre et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm par centimètre. La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau [12].

Nous préparons 10 grammes de nos échantillons de boue dans 100 ml d'eau distillée dans un bécher sous agitation. Les mesures de CE ont été déterminées par un conductivité mètre.

I.2.5. Matières en suspensions

C'est le résultat d'une filtration sous vide et suivie d'un séchage à 105°C, le poids des matières retenues est déterminé par différence de pesée. Le taux des matières en suspension (MES) est donné par la relation suivante :

$$MES = \frac{P_2 - P_1}{V} \cdot 1000$$

Chapitre I : Matériel et méthodes

P_1 : le poids en milligramme du papier filtre.

P_2 : le poids en en milligramme du papier filtre plus le filtrat.

V : le volume de prise d'essai en ml.

I.2.6. Matière sèche

C'est le paramètre principal de la définition de filière et surtout un des plus faciles à mesurer. MS est exprimée en g/L. Rapporté à la masse totale de boue on l'exprimera en fraction massique S qui correspond à la siccité. Il permet de connaître la quantité de boue à traiter, quel que soit son niveau de concentration dans la filière de traitement. La « matière sèche » est le résidu sec obtenu par séchage d'une masse d'échantillon de boues dans l'étuve $105\text{ }^\circ\text{C}$ pendant 2 h. La masse de la matière sèche pour un volume de 10ml est donnée par : $MS\text{ (g/l)} = P_f - P_i$

Sachant que :

P_i : Poids de l'échantillon avant le séchage

P_f : Poids de l'échantillon après le séchage.

I.2.7. Matière minérale

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc. Elle est calculée comme suite : $\frac{P_3 - P_0}{P_1 - P_0} \times 1000$

Où :

P_0 : Poids de la capsule à vide.

P_1 : Poids de l'échantillon avant le séchage.

P_3 : Poids de l'échantillon après le séchage.

I.2.8. Matière organique

Elle représente la fraction organique de MES et est obtenue par calcination à $550\text{ }^\circ\text{C}$ pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES à $105\text{ }^\circ\text{C}$ et les MES à $550\text{ }^\circ\text{C}$ donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau. Elle est calculée comme suite :

$$MO\text{ (g/l)} = MS - MM$$

Chapitre I : Matériel et méthodes

I.3. Paramètres chimiques

Nous nous sommes limités à l'analyse des paramètres chimiques qui sont indispensables pour comprendre et interpréter le changement dans la qualité des boues. Ce sont la DBO₅, la DCO, l'azote total, les nitrites, les nitrates et les phosphates. Les mesures des cinq derniers paramètres ont été effectuées à l'aide du spectrophotomètre DR 3900 (figure I.1) fonctionnant dans les domaines de l'UV-visible et de l'infra-rouge. C'est un appareil à « programme code barre » enregistré, c'est-à-dire qu'il effectue la mesure en fonction du code barre du paramètre à analyser. En effet à chaque paramètre correspond un tube avec un code barre spécifique et une solution ou des produits standards devant être mélangés avec l'échantillon selon un protocole bien précis avant de faire la mesure. A ce code barre correspond une longueur d'onde qui est tout aussi spécifique au paramètre à doser.



Figure I.1: Spectrophotomètre DR 3900 utilisé

I.3.1. DCO

Nous avons choisi de nous intéresser à la DCO (demande chimique en oxygène), afin de quantifier la matière organique présente dans le milieu ; ceci par la mesure de la quantité d'oxygène apportée par un réactif chimique (oxydant), le bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) pour détruire toutes les matières organiques biodégradables et non biodégradables.

Chapitre I : Matériel et méthodes

Déterminer la DCO à l'aide du spectrophotomètre à "programme code barre" impose le respect d'un protocole strict :

On dispose déjà d'une solution standard de bichromate de potassium dans un tube référencé LCK 114, 150-1000mg/l O₂ (Annexe 4). Après agitation de cette solution, 2 ml de l'échantillon y a été ajouté, puis de nouveau le mélange est agité avant de le placer dans un thermostat (digesteur) à 148°C pendant 2h, dont le but est d'accélérer la vitesse de la réaction d'oxydation.

Ensuite, le tube est mis dans un dessiccateur pour refroidir la solution et éliminer l'humidité en excès de la paroi externe du tube, avant de passer à la lecture au spectrophotomètre. La valeur est exprimée en mg O₂ /l pour une longueur d'onde de 605nm. Ceci permet de connaître la variation de la quantité de matière oxydable.

I.3.2. DBO₅

La détermination de la DBO (demande biochimique en oxygène) constitue un moyen valable de l'étude des phénomènes naturels de destruction de la matière organique. Elle exprime la quantité de pollution biodégradable. Cette méthode d'analyse de la pollution correspond à la quantité d'oxygène nécessaire, pendant 5 jours, aux microorganismes (bactéries) contenus dans l'eau pour oxyder une partie des matières carbonées. Cette mesure permet une certaine évaluation des nuisances provoquées par le rejet de matières organiques biodégradables en mesurant une consommation d'oxygène.

Le mode opératoire de mesure de la DBO passe d'abord par la détermination du volume de l'échantillon d'eau usée à prélever. Pour ce faire, la mesure de la DBO estimée a d'abord été effectuée : elle correspond à $DCO \times 0.7$ (0.7 étant un facteur de dilution standard).

Le tableau de dilution type Oxytop illustré ci-dessous (tableau I.1) permet d'établir l'équivalence entre la DBO estimée et le volume, en ml, d'échantillon à prélever.

Chapitre I : Matériel et méthodes

Tableau I.1 : Table de dilution selon le type d'OXYTOP

Mesure DBO estimée en mg/L	Volume d'échantillon en mL	Facteur de dilution
0-40	432	1
0-80	365	2
0-200	250	5
0-400	164	10
0-800	97	20
0-2000	43,5	50
0-4000	22,7	100

A cet échantillon a été ajouté du NaOH sous forme de comprimé (3) et un inhibiteur de nitrification, également sous forme de comprimé (1 comprimé/50ml d'échantillon) (Annexe 5). Le mélange est agité, versé dans le DBO-mètre et placé dans une armoire thermostatique pendant 5 jours dans les conditions suivantes : obscurité et température à 20°C.

I.3.3. Nitrites

Le dosage des nitrites avec le spectrophotomètre à programme code barre impose l'utilisation d'une solution de LCK 341 0.05-2mg/L NO₂ (Annexe 6) contenu dans un tube à code barre spécifique aux nitrites. Dans cette solution, on y ajoute 2ml de l'échantillon à analyser ; après agitation, le mélange est laissé au repos pendant 10mn. La concentration en mg/l, des nitrites est donnée pour une longueur d'onde de 515nm.

I.3.4. Phosphates

Le phosphore est un élément chimique non métallique abondant dans la nature. Il est indispensable à la vie, mais peut provoquer des dommages à l'environnement, particulièrement au milieu aquatique sous sa forme phosphatée (PO₄³⁻). D'où l'importance de s'intéresser à cette dernière.

Chapitre I : Matériel et méthodes

Le dosage des phosphates s'est fait en utilisant la solution standard de LCK348 à 1.5-15mg/l PO_4 contenue dans un tube à code barre spécifique aux phosphates (Annexe 8). 0.5ml de l'échantillon y a été versé, puis le mélange placé dans le digesteur à 100°C pendant 1h.

L'étape suivante a consisté à laisser le tube refroidir puis ajouter 0.2ml de B et remplacer le bouchon par un autre contenant un comprimé C. Après agitation, le mélange est laissé au repos pendant 10mn. La lecture au spectrophotomètre s'est faite pour une longueur d'onde de 880nm et la concentration en PO_4 est donnée en mg/l.

I.4. Valorisation énergétique des boues

La valorisation énergétique des boues des stations d'épuration se réalise selon cinq procédés (méthanisation, incération, thermolyse, gazéification et oxydation par voie humide). Dans notre étude, on s'intéresse uniquement au procédé de méthanisation.

La méthanisation ou digestion anaérobie est un procédé naturel de transformation de la matière organique en énergie par des bactéries en l'absence d'oxygène conduite dans des enceintes confinées appelées digesteurs, à l'intérieur desquels les réactions de fermentation sont optimisées et contrôlées, elle produit du biogaz composé essentiellement de méthane, tout en réduisant de moitié le taux de matières organiques.

Le volume de biogaz produit dans le bioréacteur va transiter dans des ballons gonflables reliés et emballés avec des fioles jaugées pour récupérer le biogaz généré. Le gonflement des ballons indique le volume de gaz produit. Le dispositif conçu pour mesurer le volume du biogaz est présenté ci-après :



Figure I.2 : Dispositif expérimental (photo prise par nous-mêmes)

Chapitre I : Matériel et méthodes

On a utilisé trois fioles en verre pour différents sites étudiés Les bioréacteurs sont maintenus, à une température ambiante et agités manuellement chaque jour. Le substrat utilisé est constitué essentiellement de la boue de la station d'épuration de Tiaret. Cette boue de consistance liquide est recueillie le jour même du lancement de la réaction pour éviter toute dégradation de la matière organique avant utilisation. La boue est introduite dans les bioréacteurs sans dilution.

Il est vrai que la production du biogaz est l'objectif principal de la méthanisation, mais la qualité de ce biogaz (le taux de CH_4) joue aussi un rôle très important pour sa valorisation ultérieure.

CHAPITRE II :
Résultats et discussions

Chapitre II : Résultats et discussion

Etant donné que notre étude consiste à optimiser une boue chargée en éléments nutritifs et en matière organique, nous avons essayé d'étudier l'influence de processus de traitement des boues sur le rendement de production d'un biogaz.

Les résultats des analyses effectuées sur les paramètres physico-chimiques (T° , pH, O_2 dissous, CE, MES, DCO, DBO_5 , NO_2^- , PO_4^{3-}) nous permettront d'évaluer l'efficacité et la conformité de processus de traitement des boues en vue d'une production d'un biogaz. Telle sera la tâche consacrée à ce présent chapitre.

II.1. Evolution des paramètres physiques

Afin d'estimer globalement la pollution organique dans le processus d'étude et de bien visualiser l'évolution spatio-temporelle de cette pollution, nous avons fait recours à de grand nombre de variables utilisées dans cette étude. Afin de faciliter la comparaison des résultats avec les normes, on s'est basé sur les maximas, les minimas et les moyennes pour illustrer les variations des paramètres physico-chimiques des boues étudiées.

II.1.1. Température

Le relevé de température effectué à l'intérieur de processus de traitement des boues a permis l'établissement de la figure II.1.

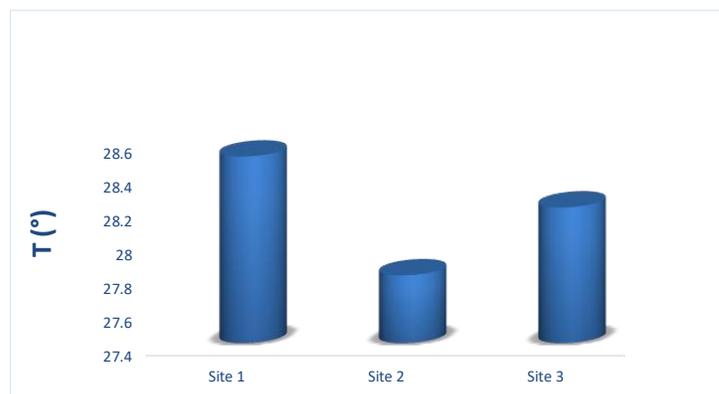


Figure II.1 : Evolution des températures de processus de traitement

Chapitre II : Résultats et discussion

La lecture de ces 3 histogrammes nous permet d'affirmer que le bassin a atteint une température moyenne supérieure ou égale 27.8°C dans les trois sites choisis, température qui correspondrait à la moyenne à partir de laquelle les microorganismes commencent à avoir une activité optimale. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, ...etc.

II.1.2. Évolution du pH

Le pH joue un rôle important pour la croissance des espèces bactériennes présentes dans les boues et qui sont responsables de la méthanisation. Cette flore préfère un milieu neutre car les protons (H⁺) libérés sont toxiques pour la plupart d'entre eux.

La figure II.2 représente les valeurs du pH de chaque prélèvement effectué, respectivement, dans les trois sites choisis.

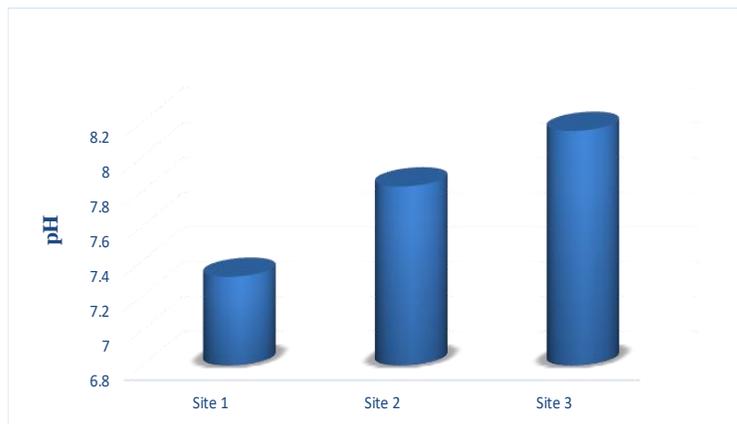


Figure II.2 : Evolution du pH

L'analyse de la figure II.2 montre que le pH dans la boue et dans les trois sites se maintient dans une fourchette de 7,28 à 8,03. Les valeurs de ce potentiel hydrogène dévoilent un léger gradient croissant. Ces augmentations dans les trois sites pourraient être dues au pouvoir tampon du substrat utilisé, de nature calcaire et donc riche en carbonates connue pour leur effet basique. La diminution du pH de la boue de site 1 par rapport aux deux autres sites est due probablement à la dégradation de la matière organique qui s'accompagne le plus souvent de la libération des

Chapitre II : Résultats et discussion

éléments qui acidifient le milieu. D'un point de vue pratique, les boues étudiées pourraient être utilisées comme amendement des sols.

Les valeurs du pH obtenues dans les trois bassins sont comprises dans la fourchette définie par les normes Algériennes et celles de l'OMS (6,5-8,5). Elles peuvent donc être considérées comme répondant aux valeurs de rejets directs dans le milieu récepteur.

II.1.3. Conductivité électrique

La conductivité électrique (CE) nous renseigne avec une bonne approximation sur la charge minérale des eaux ainsi que sur leur salinité. Elle est proportionnelle au degré de minéralisation (teneur globale en éléments minéraux généralement ionisés) et varie en fonction de la température. Cependant, il est impératif de signaler que l'accroissement de la conductivité est aussi relatif aux quantités de rejet des sels suite aux activités agricoles [13, 14]. La figure II.3 représente les valeurs du CE de chaque prélèvement, respectivement, dans les trois sites choisis.

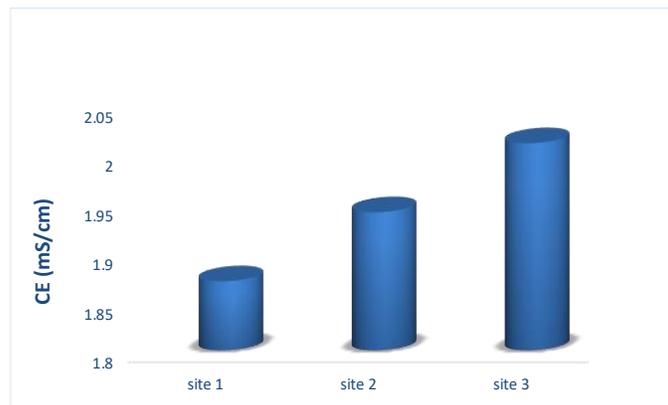


Figure II.3 : Evolution de la CE

Nous observons que la valeur de la conductivité électrique sur le troisième site est légèrement supérieure à celle de la première et du deuxième site, cette différence est due à l'enrichissement par des ions monovalents et divalents sur le troisième site. De plus cette augmentation est due à la libération de sels minéraux tels que les phosphates et les ions ammonium par la décomposition des substances organiques.

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1.4. Evolution de la teneur en oxygène dissous

La variation de la concentration de l'oxygène dissous de la boue dans les trois bassins durant le traitement est traduite par le graphe ci-après :

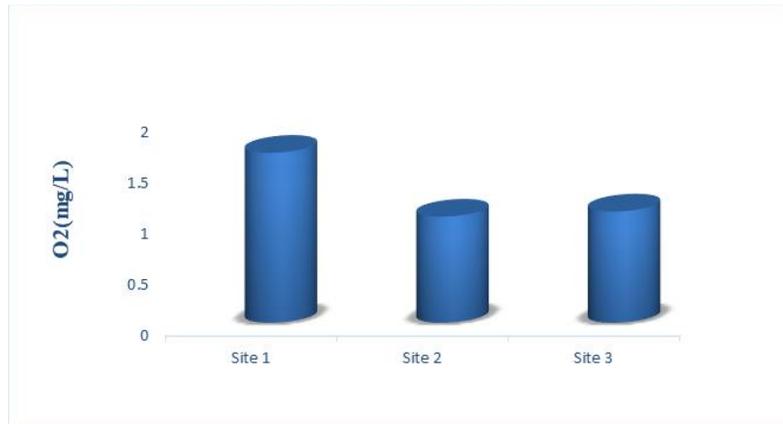


Figure II.4 : Variation de l'oxygène dissous dans les différents sites

D'une valeur de 1,03 mg/l dans les boues prélevées, la teneur en oxygène dissous augmente considérablement dans le deuxième site par rapport au troisième site qui présente une valeur de 1.06mg/l, pour atteindre une valeur de 1,65 mg/l dans le premier site, ce qui indique la boue de ce site est bien oxygénée qui est due au phénomène de la photosynthèse qui s'intensifie et l'emporte sur les autres phénomènes, ce qui provoque une augmentation de la concentration en oxygène dissous dans la boue des autres sites. Ainsi, ceci est lié à une meilleure oxygénation du substrat permettant aux bactéries aérobies de proliférer et d'assurer en conséquence une meilleure minéralisation et oxydation de la matière organique. Par ailleurs, la diminution de taux d'oxygène dans le deuxième site peut s'expliquer par une hausse de la salinité, un hydrodynamisme insuffisant sont autant de facteurs limitant cette oxygénation. L'oxygène dissous est par ailleurs consommé par les organismes vivants d'une part (respiration), lors de la dégradation de la fraction organique présente et l'oxydation de substances chimiques réduites d'autre part. Dans le troisième bassin on assiste aussi à une légère augmentation de la teneur en oxygène dissous pouvant être attribuée aux facteurs cités pour le premier bassin.

Chapitre II : Résultats et discussion

II.1.5. Evaluation de la teneur en matière en suspension

L'intérêt de l'analyse est de caractériser les boues pour optimiser leurs manipulations et leurs valorisations. La figure II.5 représente l'évolution de la teneur des matières en suspensions (MES) de chaque prélèvement, respectivement, dans les trois sites choisis.

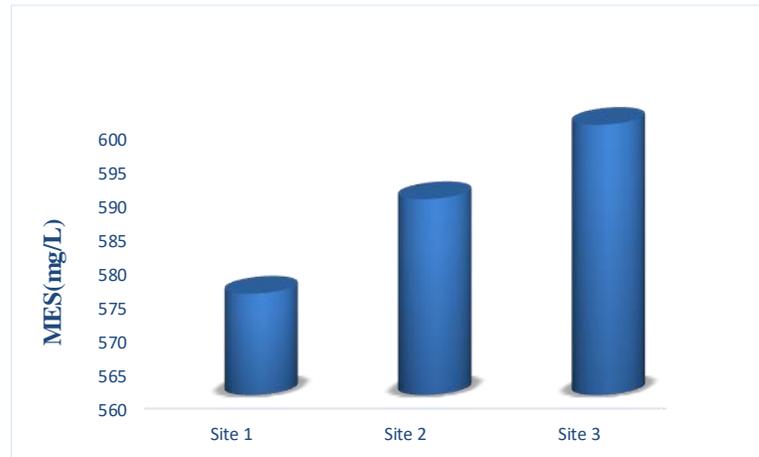


Figure II.5 : Evolution des teneurs en MES

D'après la figure, on observe que les valeurs de MES dans les trois sites est élevés varient entre [575 – 600 mg/L]. Ce qui indique que les boues prélevées sont riches en matières en suspensions.

II.1.6. Evolution de la teneur en matière sèche

La teneur en matières sèches inclut à la fois les matières en suspension et les sels dissous. Le résidu sec est utilisé aussi pour déterminer la siccité de la boue (exprimée en %).

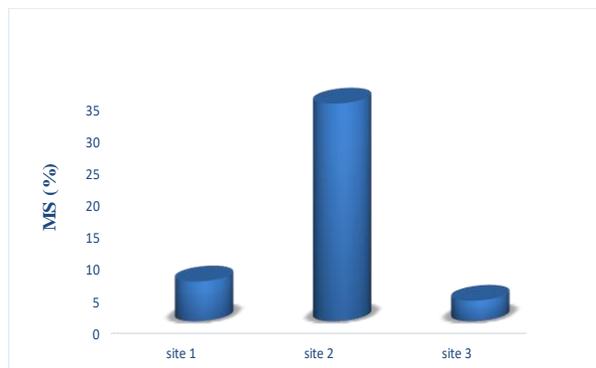


Figure II.6 : Teneurs en matières sèches

Chapitre II : Résultats et discussion

D'après la figure II.6, nous observons que le deuxième site contient une grande quantité de la matière sèche par rapport aux deux autres sites, grâce à différents facteurs comme l'humidité et la température.

II.1.7. Evaluation de la matière minérale

La détermination de la matière minérale est permise de contribuer à savoir si les boues sont riches en matière minérale, ainsi que la conductivité électrique.

La variation de la matière minérale de la boue dans les trois bassins durant le traitement est traduite par la figure ci-après :

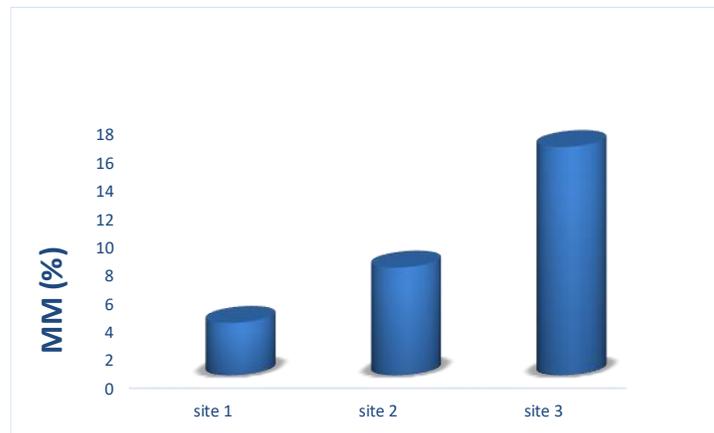


Figure II.7 : Evaluation de la matière minérale dans les trois sites

D'après la figure, on observe que le taux de la matière minérale est légèrement supérieur dans le site 1 par rapport aux deux autres sites, ce qui indique que ce site est riche en matière minérale plus que les autres sites grâce à des facteurs comme la conductivité et pH.

II.1.8. Evaluation de la matière organique

La détermination de la teneur de MVS permet de juger l'efficacité du traitement de stabilisation des boues traitées. Ainsi, elle permet d'indiquer le taux de matière organique contenu dans l'échantillon considéré. C'est un paramètre qui peut influencer sur le maintien des polluants et notamment des métaux lourds. En effet, la rétention de ces derniers est favorisée par une teneur élevée en matières volatiles. Les procédés de stabilisation assurent un abattement maximum de 45% du taux de MV et produisent ainsi une boue dite stable [19].

Chapitre II : Résultats et discussion

La figure II.8 représente les taux de matière organique de chaque prélèvement, respectivement, dans les trois sites choisis.

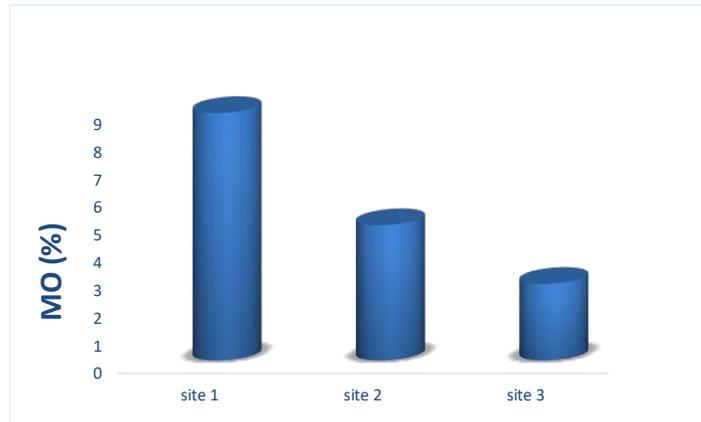


Figure II.8 : Evaluation de la matière organique dans les trois sites.

Selon la figure II.8, on observe que le taux de la matière organique est élevé dans le site 1, dans le site 2 est moins que le dans le premier site, tandis que dans le troisième site, le taux est très faible, cette différence dues à la dégradation de la matière organique dans chaque site. Par ailleurs, le site 1 présente une faible conductivité électrique souvent accompagnée par une faible minéralisation, ce qui rend le site 1 riche en matière organique, ce qui permet une bonne production de biogaz dans ce site.

II.2. Evolution des paramètres chimiques

Les sels nutritifs (nitrates, nitrites, ammonium, phosphates et silicates) sont des éléments essentiels pour la croissance des organismes vivants. Toutefois, en excès, ils peuvent engendrer le développement de bloom algal, parfois toxique, ou une eutrophisation des eaux réduisant alors fortement le stock en oxygène dissous (risque d'hypoxie ou d'anoxie des eaux). De plus, la nitrification qui vise à transformer l'ammoniac en nitrite puis en nitrate sous l'action de bactéries, est l'un des processus les plus actifs en tant que consommateur d'oxygène dissous.

II.2.1. Évolution de la demande chimique en oxygène

Chapitre II : Résultats et discussion

La concentration en DCO totale pour les boues de deuxième site s'évalue à 622 mg/L très proche de celle de premier site (615mg/L), contre 574mg/L O₂, la DCO enregistrée dans troisième site. Un gradient décroissant de la DCO ce qui témoigne l'effet auto-épuratoire. Par ailleurs, les processus d'oxydation des matières oxydables (organiques et minérales) par voie chimique peuvent donc être responsables d'une consommation élevée d'oxygène ce qui permet de réduire la teneur en DCO. Les teneurs obtenues sont importantes, malgré la fraction inorganique non négligeable des ruissellements.

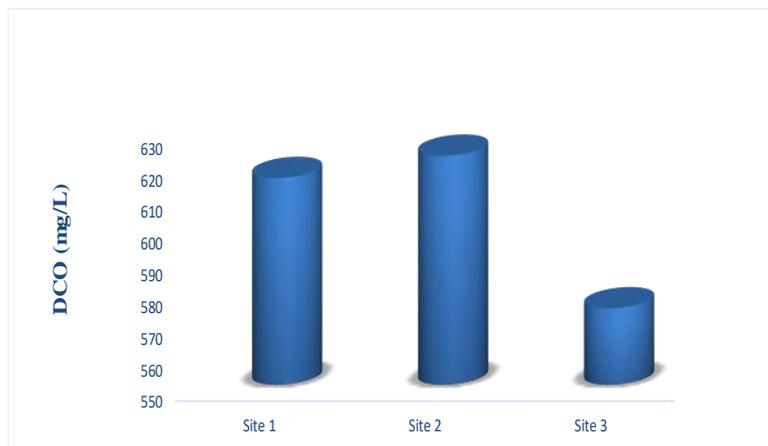


Figure II.9: Evolution de la DCO

II.2.2. Évolution de la demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La conséquence principale d'un apport de matières organiques dégradables dans le milieu est l'augmentation de la consommation de l'oxygène dissous par les bactéries. Les valeurs de la DBO₅ mesurée dans les trois sites sont respectivement de 429, 504 et 500mg O₂ /l, ce qui permet de noter un gradient croissant de la DBO₅(figure II.10). Une analyse similaire à celle de la DCO s'applique au paramètre DBO₅.

Chapitre II : Résultats et discussion

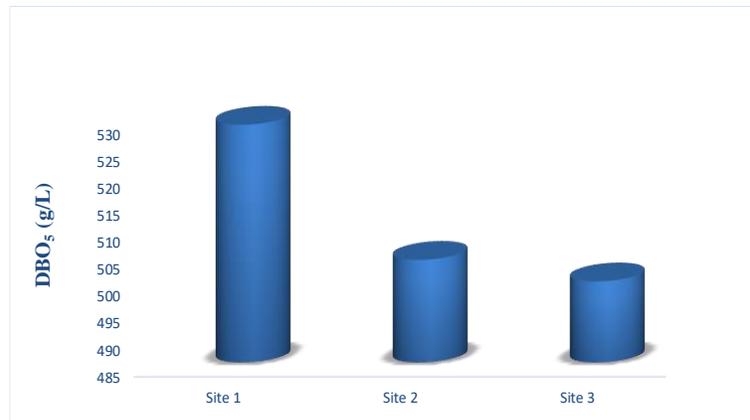


Figure II.10 : Valeurs de la DBO₅

II.2.3. Evolution des phosphates

La figure II.11 indique l'évolution de la teneur en phosphates dans les trois sites de prélèvement.

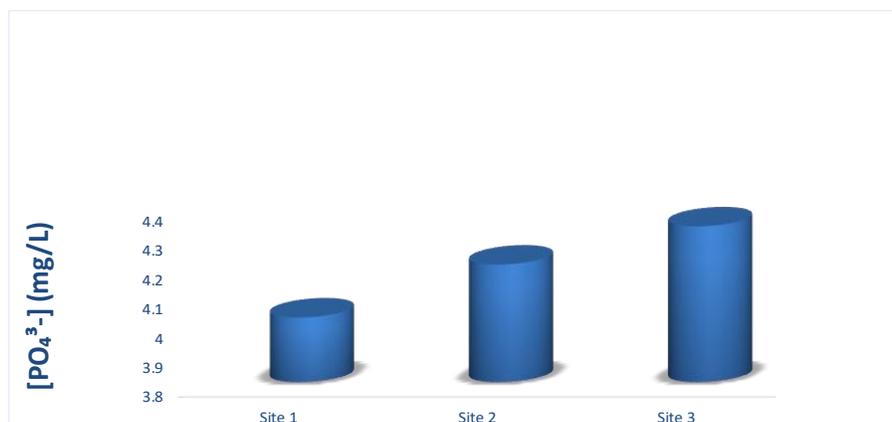


Figure II.11 : Evolution de [PO₄³⁻] dans les trois sites

La teneur moyenne en phosphates enregistrée dans les trois sites de prélèvement est de l'ordre de 4,18 mg/l qui est supérieure à la norme de rejet autorisée dans les zones dites sensibles, soit 2mg/ceci. Pourrait avoir une explication de l'alternance des phases aérobie-anoxie, au cours desquelles, on assiste selon [16] à un relargage des phosphates, par les bactéries du genre *Acinetobacter* et *Moraxella*, dans la partie interstitielle de la solution durant la phase anoxie et à leur suraccumulation pendant la phase aérobie. En milieu anoxie, les bactéries déphosphatantes (bactéries bio-P) utilisent les réserves intracellulaires, soit les polyphosphates inorganiques (poly-P), comme source d'énergie, et font le stockage du substrat simple organique sous la forme de polymères : le poly-β-hydroxybutyrate (PHB) et le poly-β-hydroxyvalérate (PHV). En même temps

Chapitre II : Résultats et discussion

se produit le relargage dans l'eau du phosphore présent dans la biomasse [17]. Dans le bassin d'aération, les poly- β -alcanoates (PHA) et la matière organique contenue dans les eaux usées sont oxydés par les bactéries. La respiration (de l'oxygène) produit l'énergie nécessaire aux bactéries qui régénèrent leurs stocks de polyphosphates et croissent.

II.2.4. Evolution des nitrites

La figure II.12 représente les valeurs du nitrite de chaque prélèvement, respectivement, dans les trois sites choisis.

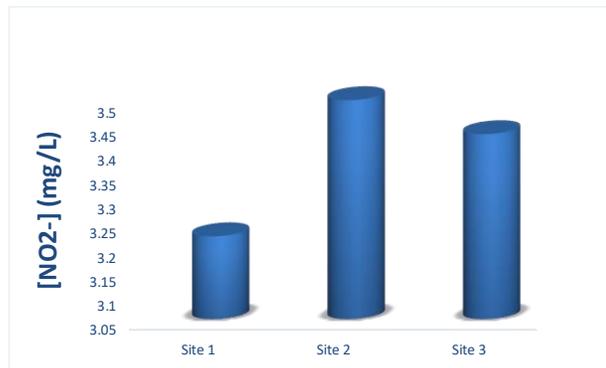


Figure II.12 : Evolution de la concentration de nitrite

La valeur enregistrée des nitrites (NO_2^-) dans l'échantillon est comprise entre 3.2 et 3.5mg/l. Selon cette figure, nous observons une grande concentration de nitrite sur les trois prélèvements, ces grandes concentrations pourraient s'expliquer par une mauvaise dénitrification de système sans doute en raison du temps de séjour réduit dans les bassins et l'insuffisance d'une agitation contrôlée de l'eau. De plus, cette augmentation serait due au processus de nitrification au cours duquel on assiste, en présence d'oxygène, à la transformation des nitrites en nitrates.

En faisant la comparaison de ces différentes valeurs par rapport aux teneurs requises par la norme Algérienne, on remarque que toutes les valeurs calculées sont nettement inférieures, ce qui nous permet de dire que ces bassins sont bien et bel efficace pour la production d'un biogaz (chargés en éléments nutritifs).

II.3. Production du biogaz

La production du biogaz est le critère le plus sûr pour un bon déroulement de la digestion anaérobie. La figure, ci-après, présente les résultats de la production du biogaz cumulée. Le biogaz

Chapitre II : Résultats et discussion

produit est un mélange de différentes proportions de gaz (CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S) et de différentes concentrations d'autres gaz et composés [18].

De la figure ci-dessous et avec un temps de séjour de 7 jours, nous avons observé une bonne production de biogaz pour l'échantillon que prélevé de site 1, cela nous permet de dire que la phase méthanogène est atteinte à partir de ces jours et au faible apport en matière organique.

Une faible production du biogaz est remarquée au niveau du site 2, puis elle devient de plus en plus faible dans le troisième site, ces faibles productions, même en présence d'une importante concentration en acides gras volatils dans le milieu, nous renseigne sur le non déclenchement de la méthanogène. De plus, les deux milieux deviennent totalement faibles et déséquilibrés.



Figure II.13 : Rendement du biogaz après 7 jours

Conclusion

Conclusion

Dans le contexte du traitement des déchets et notamment des boues résiduelles issues des stations d'épuration, la digestion anaérobie apparaît comme la solution idoine pour leur traitement et valorisation.

Le but de notre travail est d'optimiser la production du biogaz à partir des boues de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Tiaret (Ain Bouchakif) en suivant l'effet de la variation de quelques paramètres sur le rendement volumique et énergétique du biogaz.

Trois prélèvements ont été effectués de la boue brute dans trois sites différents. Les trois échantillons sont mis à fermenter dans des digesteurs dans des conditions d'anaérobiose pendant 7 jours.

À travers le travail expérimental entrepris et à la lumière des résultats comptabilisés nous avons relevé que le substrat utilisé renfermait une importante teneur organique et minérale, et devenait à ce titre un substrat de choix pour entreprendre le processus fermentaire dédié à la production du biogaz.

Après la méthanisation, nous avons remarqués que le rendement de biogaz pour le site 1 est plus important que les deux sites respectivement, 2 et 3, qui révèle des conditions favorables (pH, T°) et riche en matière organique contre les deux autres sites.

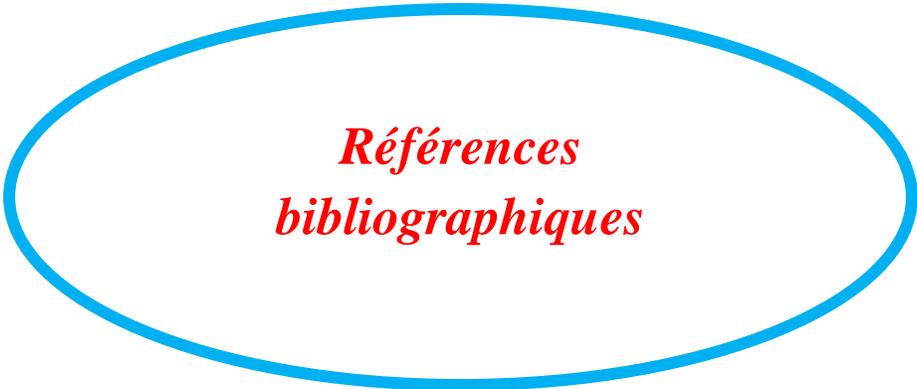
D'après les résultats obtenus, les boues étudiées se révèlent d'une composition complexe riche en matière organique, ce qui les rends plus appropriés pour la digestion anaérobie.

D'une manière générale, les résultats de la digestion anaérobie montrent qu'il y'a un bon pouvoir tampon de ces boues, cela permet aussi de situer les valeurs du pH dans un intervalle optimal, ce qui donne bien sûr une grande stabilité au processus et permet évidemment un bon déroulement de la méthanisation.

Cette étude, a permis de démontrer clairement la possibilité de produire une énergie à partir d'un déchet indésirable qui est la boue des stations d'épuration des eaux usées. La généralisation de construction des stations d'épurations fait que la valorisation des boues doit être impérative.

Conclusion

Ce travail reste à approfondir pour l'augmentation du rendement de production de biogaz à travers l'optimisation de la température, du temps de séjour, du type et de la structure de digesteur. Et enfin de proposer un système de récupération et d'épuration du biogaz produit et son éventuelle utilisation.



*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] K.Bibby, J. Peccia, J. Environmental science & technology, 47: 4 (2013) 45-51.
- [2] S.Lahsaini, M. Chatoui, A. Aguelmous, L. El Fels, L.Idrissi, S. Souabi, M. Zamama, M. Hafidi, J. Scientific Study & Research Chemistry& Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry, 17: 2 (2016) 139 – 149.
- [3] P.S. Hooda, D. McNulty, B.J. Alloway, M. Aitken, J.Sci .Food Agric, 73 (1997) 446–454.
- [4] H. Sahraoui, R. Attia, H. Hamrouni, M. Hachicha, J. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 8 : 1 (2016) 101-114.
- [5] O.Mokhtari, B. Nedjimi, M. Toumi, J. Roum. Chim.61 (2016) 11-12.
- [6] E. Paul, P.Camacho, M.Sperandio, P. Ginestet, J.ProcessSafety and Environmental Protection, B4 (2006) 247-252.
- [7] E. Paul, P.Camacho, M.Sperandio, P. Ginestet, J.ProcessSafety and Environmental Protection, B4 (2006) 247-252.
- [8] S.M. Pyle, J.M. Nocerino, S.N. Deming, J.A.Palasota, J.M. Palasota, E.L. Miller, D.C. Hillman, C.A. Kuharic, W.H. Cole, P.M. Fitzpatrick, Environmental science &technology. 30: 1 (1995) 204-213.
- [9] Boues de Station d'Épuration : Techniques de traitement, valorisation et élimination-DT 51, 36p.
- [10] L. Jocteur Monrozier. (2001). Conséquences de l'anthropisation des sols. Les boues: quels risques ? Colloque Marseille. Mouvement National de Lutte pour l'environnement éd, P22.
- [11] Zhang, j. b. (2011). Procédé de traitement anaérobie des boues et de valorisation du biogaz. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique De Lorraine
- [12] Drissi, (2008). Qualité des eaux de quelques sources dans la région de Souk-Ahras. Mémoire de Magister. Centre Universitaire de Souk Ahras. 69 p.
- [13] Bensaci T. (2007). Détermination de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de surface : cas du barrage Timgad (W. de Batna) et la retenue collinaire d'Ourkis

Références bibliographiques

(W. d'Oum El Bouaghi). Mémoire de Magister, Centre universitaire Larbi Ben M'hidi d'Oum El Bouaghi. 81 p.

[14] Amira W. (2008). Degré de contamination de l'eau de la mare Redjla (Taher) par les nitrates : Détermination de la qualité physicochimique et microbiologique de l'eau. Mémoire de magister. Université de Jijel. 103 p.

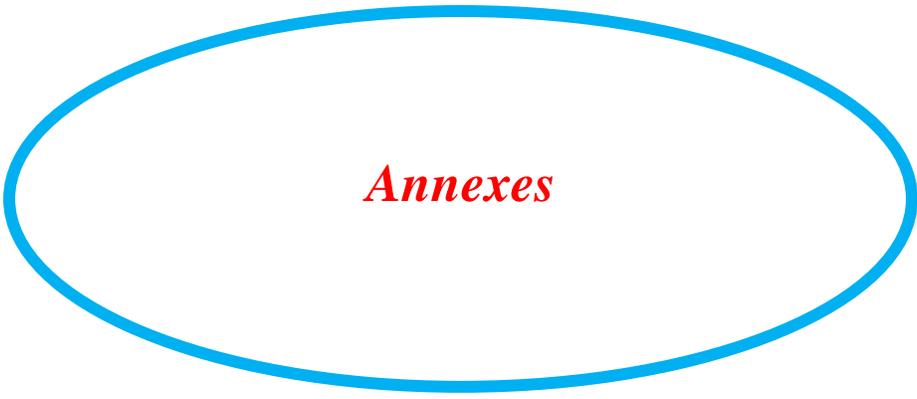
[15] DUSZA, E., ZABLOCKI, Z., & MIESZCZERYKOWSKA-WOJCIKOWSKA, B. (2009). Content of magnesium and other fertilizer compounds in stabilized and de water ed sewage sludge from the municipal sewage treatment plant in recz. Journal of Element ology, 14(1), 63– 70. <https://doi.org/10.5601/jelem.2009.14.1.07>.

[16] Durrant A. Scrimshaw M. Stratful I. Lester J. N. 1999, Review of the feasibility of Recovering Phosphate from Wastewater for use as a raw material by the Phosphate Industry, Journal of Environmental Technology, 20, pp749-758

[17] Tanja B. et Leduc R. 2002, « L'enlèvement biologique du phosphore dans les technologies à biofilm », Canada.

[18] Moletta R, (2011). La méthanisation 2e édition, Lavoisier, 11 rue Lavoisier F75000Paris, France. ISBN: 978-2-7430-1271-7.

[19] Rejsek, (2002). Analyse des eaux –aspects réglementaire et techniques. Edition scérén.110p



Annexes

Annexes

Annexe 1 : Présentation de STEP de Tiaret

La station d'épuration de Tiaret est située dans la commune d'Ain Bouchekif, à 4,5 kilomètres à l'est de Tiaret. Accessible par la route de wilaya CW 07. La station d'épuration assure le traitement des eaux résiduelles et pluviales arrivant par un réseau reliant les cinq collecteurs principaux, ainsi que le traitement des boues qui en résultent. Le traitement de l'eau consiste principalement à rejeter des solides et des huiles et à les injecter dans le barrage de Dahmouni à 25,2 kilomètres, tandis que le traitement des boues est complètement sec.



Photo de STEP de Tiaret (photo prise par nous-mêmes)

Annexes

Annexe 2 : Sites de prélèvement



Photo de site 1 (Epaississeur)



Photo de site 2 (digesteur)

Annexes



Photo de site 3 (Bassin biologique/Clarificateur).

Annexe 3 : Compositions de biogaz

Méthane (CH ₄)	50 – 75 %
Dioxyde de carbone (CO ₂)	25 – 45 %
Vapeur d'eau (H ₂ O)	2 – 7 %
Autres (N ₂ , H ₂ , O ₂ , et H ₂ S)	0 – 5 %

Annexes



Annexe 4 : Solution standard de $K_2 Cr_3 O_7$ LCK 114 150-1000mg/l O_2



Annexe 5 : Inhibiteur de nitrification et NaOH en comprimé



Annexe 6 : Solution standard LCK 341 0.05-2mg/L NO_2

Annexes



Annexe 7 : Démarche du dosage des nitrites



Annexe 8 : Solution standard LCK348 à 1.5-15mg/l PO₄



Annexe 9 : Protocole de dosage des phosphates