

Université De Blida 1
Faculté De Technologie
Département Des énergies renouvelables

Mémoire

En Vue de L'obtention du Diplôme de Master en énergie renouvelable

Option : Conversion thermique.

THEME :

*Valorisation énergétique des boues de la
station d'épuration de Tipaza*

Présenté par :

- Mr. KAINNOU ABDELKADER

Soutenu Publiquement Devant le Jury Compose de :

- Président : professeur MERZOUK MUSTAPHA

- Examineur :

- Examineur :

- Promotrice: Dr. KHELALFA NAWAL EL KAHINA

-CO-Promotrice: Dr. FERRADJI FATMA ZOHRA

Promo: 2020-2021

ملخص

الهدف من هذه الدراسة هو معالجة واستعادة الطاقة للحماة من محطة معالجة مياه الصرف الصحي الحضرية في ولاية تيبازة ، وبشكل أكثر دقة مدينة شنوه. وذلك من خلال الهضم اللاهوائي لمواجهة الآثار الضارة للتلوث وإنتاج الطاقة الخضراء التي هي غاز حيوي. الهدف الأول هو تقدير إمكانات الغاز الحيوي لحماة المحطة على مدى السنوات الأربع الماضية. الهدف الثاني هو دراسة بارامترية للهضم اللاهوائي من أجل نمذجة وتحجيم الهاضم المناسب في محطة المعالجة بمدينة شنوه. وبالتالي فإن النتائج التي تم الحصول عليها ستجعل من الممكن التحكم في تشغيل الجهاز الهضمي. توضح كذلك هذه النتائج أن استرداد 3180 طنًا / سنة من النفايات من محطة معالجة تيبازة ينتج حوالي 0.4 جيجا وات / ساعة من الكهرباء ويقلل من انبعاث غازات الدفيئة (كمية 700 طن من مكافئ ثاني أكسيد الكربون)

Résumé

L'objectif de cette étude est le traitement et la valorisation énergétique des boues de la station d'épuration des eaux usées urbaines de la wilaya de Tipaza plus exactement la ville de Chenoua et cela par la digestion anaérobie, en vue de contrecarrer les effets néfastes de la pollution et de produire une énergie verte qui est le biogaz. Le premier objectif est d'estimer le potentiel de biogaz des boues de la station des quatre dernières années. Le second objectif est une étude paramétrique de la digestion anaérobie afin de modéliser et de dimensionner le digesteur adéquat à la station d'épuration de Chenoua. Les résultats obtenus permettront ainsi de maîtriser le fonctionnement du digesteur. Ces derniers montrent que la valorisation de 3180 tonnes/annuelle des déchets de la station d'épurations de Tipaza produisent environ 0.4 Gwh/an d'électricité et réduisent les émissions des GES (une quantité de 700 tonnes équivalent de CO₂)

Abstract

The objective of this study is the treatment and energy recovery of sludge from the urban wastewater treatment plant in the wilaya of Tipaza, more precisely the city of Chenoua, and this through anaerobic digestion, in order to counteract the harmful effects. Pollution and produce green energy which is biogas. The first objective is to estimate the biogas potential of the station's sludge over the past four years. The second objective is a parametric study of anaerobic digestion in order to model and size the adequate digester at the Chenoua treatment plant. The results obtained will thus make it possible to control the operation of the digester. These show that the recovery of 3,180 tones / year of waste from the Tipaza treatment plant produces around 0.4 Gwh / year of electricity and reduces GHG emissions (a quantity of 700 tonnes of CO₂ equivalent)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Je remercie en premier lieu Allah tout puissant de m'avoir accordé la puissance et la volonté pour terminer ce travail

J'adresse mes sincères remerciements à madame (Nawal Kahina el Khlalefa) pour avoir accepté de m'encadrer, ainsi que pour l'autonomie et la confiance qu'elle m'a accordée dans cette étude sans oublier surtout Madame (FERRADJI FATMA ZOHRA) qui m'a surtout aidé par ces conseils.

Je tiens à remercier avec la plus grande gratitude Monsieur Mustapha Merzouk, professeur à l'université de Blida pour le fait d'avoir accepté la présidence du jury, sans oublier bien sûr les autres membres du jury qui auront examiné mon travail. Surtout monsieur (Kaci Karim)

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à ce projet notamment :

Tout le personnel de l'administration de l'université de Blida surtout ceux du département des énergies renouvelables.

Le personnel des centres de recherches (udes et cder) en général et en particulier Madame Meriem Saber et Monsieur Sadek Igoud chercheurs au niveau des centres suscités.

Je tiens à remercier aussi LE Docteur Chanane Kamel qui m'a aussi aidé dans certaines parties de l'étude.

Enfin mes sincères remerciements à tous les professeurs, intervenants et toutes personnes qui par leurs paroles, leurs écrits leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions, et ont accepté de me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches.

DEDICACE

Je dédié ce mémoire :

A ma grande mère feu **KEltoum**

A mon grand père feu **Mohamed**

A mes chers parents, ma mère et mon père

Pour leurs patience, leurs amour leur soutien et leurs engagement

A mes frères

A mes deux petites sœurs **Khadidja** et la défunte **Rouf aida** Allah
yerhamha

A tous mes amis et camarade surtout mes cousins

Sous oublier en fin tous mes professeurs de l enseignement
primaire, moyen, secondaire et universitaire

LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE Mesures

| SYMBOLE | Définition | Unites |
|----------------|---|----------------|
| °C | Degré Celsius | °C |
| SSQ | Quantité de boues humide | Tonne |
| CC | Coefficient de conversion | [m3/kg] |
| μ | Taux de croissance | [1/Jour] |
| μ_{max} | Taux de croissance maximum | [1/Jour] |
| AA | Concentration acide acétique | [mg/L] |
| B | Concentration des microorganismes | [mg/L] |
| BA | Concentration d'acide butyrique | [mg/L] |
| D | Taux de dilution | [1/Jour] |
| EOH | Concentration d'éthanol | [mg/L] |
| F/M | Substrat / microorganisms | [g/g] |
| FA | Concentration acide formique | [mg/L] |
| g | Gramme de solide volatile par litre et par jour | VS/L.J |
| Kd | Taux de mortalité des bactéries | [1/Jour] |
| Ks | Constante de demi-vitesse de Monod | [mg-S/L] |
| LA | Concentration d'acide lactique | [mg/L] |
| Min | Minutes | Min |
| pH | Potential hydrogen | |
| tpm | Tours par minute | Tr/mn |
| S | Concentration du substrat | [mg/L] |
| X | Concentration de la biomasse | [mg VSS/L] |
| YAA | Coefficient de rendement de l'acide l'acétique | [mg-AA/mg-S] |
| BA | Coefficient de rendement de l'acide butyrique | [mg-BA/mg-S] |
| YEOH | Coefficient de rendement de l'éthanol | [mg-EOH /mg-S] |
| YFA | Coefficient de rendement de l'acide formique | [mg-FA/mg-S] |
| YLA | Coefficient de rendement du lactique | [mg-LA/mg-S] |
| YX | Coefficient de rendement de la biomasse | [mg-X/mg-S] |

| | | |
|-----------|--|------------------------|
| $S_{t=0}$ | Concentration du substrat au temps = 0 | (mg dm ⁻³) |
| $S_{t=i}$ | Concentration du substrat au temps = i | (mg dm ⁻³) |
| G_{max} | Production cumulée maximale de CH ₄ | (cm ³) |
| G_t | Production cumulée de CH ₄ au temps t = i | (cm ³) |
| K | Coefficient pour la réaction du premier ordre | |
| m | Coefficient du temps de fonction spécifique | |
| R_2 | Coefficient de relation | |

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYME

ADM1: Anaerobic digestion model No1

AVG : Acide Gras Volatils.

AVG : Acide Gras Volatils.

CE : Conductivité Electrique.

DA : Digestion anaérobie

DCOs : Demande chimique en oxygène soluble

DCOt : Demande chimique en oxygène totale

En amont : A l'entrée de la Station d'épuration.

En aval : A la sortie de la Station d'épuration.

Eq/hab : Equivalent habitant.

Eq/hab : Equivalent habitant.

MES : Matière en Suspension.

MES : Matière en Suspension.

mg/Nm³ : milligrammes par normal m³.

MO : Matière Organique.

MO : Matière Organique.

MO : Matière organique

MVS : Matière Volatile en Suspension.

MVS : Matière Volatile en Suspension.

PCI : Pouvoir calorifique inférieur.

PCS : Pouvoir calorifique supérieur.

pH : Potentiel hydrique.

pH : Potentiel hydrique.

Pi : Production initiale deboues.

Ppm : partie par million 1% = 10000ppm.

SAR : Ratio d'adsorption du sodium.

SH : Boue anaérobie mésophile

STEP : Station d'épuration.

STEP : Station d'épuration.

TRH : Temps de Rétention Hydraulique.

TS : Solides totaux

TSH : Temps de séjour hydraulique

TSS : Solides totaux en suspension

VS : Solide volatile

VSS : Matière volatile en suspension

| | |
|----------------------------------|-----------|
| PRODUCTION GENERALE | 10 |
|----------------------------------|-----------|

CHAPITRE I : Etude bibliographie

| | |
|--|----|
| I.1) La valorisation par la production de biogaz | 12 |
| I.2) valorisation énergétique de la matière | 15 |
| I.3) La valorisation du biogaz produit | 16 |
| CONCLUSION | 17 |

CHAPITRE II : la digestion anaérobie

| | |
|--|----|
| II-1) Introduction | 19 |
| II .2) Station d'épuration des eaux usées (STEP)..... | 19 |
| II 2.1) Prétraitement..... | 19 |
| II 2.2) Traitement secondaire : Traitement biologique..... | 20 |
| II 2.3) Le traitement tertiaire..... | 21 |
| II 2.4) Traitement des boues..... | 21 |
| II 3) Eaux usées..... | 23 |
| II 3.1) Définition de la pollution des eaux..... | 23 |
| II 3.2) Principales sources de la pollution des eaux | 23 |
| II 3.3) L'origine des eaux usées | 24 |
| II 3.4) Caractéristiques des eaux usées | 24 |
| II 4) Technique de la Valorisation énergétique de STEP..... | 27 |
| II 4.1)_Méthanisation | 27 |
| II 4.2)_Mise en ouvre de la méthanisation en digesteur | 27 |
| II 4.3) Les paramètres de la digestion anaérobie | 28 |
| II 4.4) Différents types du digesteur | 28 |
| II 4.5) Technologies disponibles..... | 31 |
| II 4.6) Avantages et désavantages de ces technologie | 32 |
| II 5) Le biogaz | 33 |
| II 5.1) Caractéristiques de biogaz..... | 33 |
| II 5.2) L'équivalence énergétique du Biogaz..... | 33 |
| II 5.3) Stockage du biogaz | 34 |
| II 5.4) Production et utilisation du biogaz | 34 |
| CONCLUSION..... | 39 |

Chapitre III: Estimation du potentiel énergétique, modélisation et dimensionnement de digesteur

| | |
|---|----|
| III 1) Introduction | 40 |
| III 2) Estimation de la quantité de biogaz produite | 40 |
| III 3) La valorisation de biogaz récupérer à partir de la valorisation des boues..... | 41 |
| III 4) Dimensionnement..... | 42 |
| III 4.1) Un digesteur pour le traitement des effluents | 45 |
| III 4.2) Dimensionnement de digesteur pour les boues de la station | 47 |
| III 5) La modélisation du fonctionnement du digesteur..... | 49 |
| III 5.1) La modélisation de processus de méthanisation..... | 49 |
| III 5.2) La modélisation d un digesteur..... | 50 |
| CONCLUSION | 55 |

Chapitre IV : Résultats et discussion

| | |
|--|----|
| IV1) Introduction | 60 |
| IV 2) les résultats de la valorisation des boues de la station en biogaz pour déférentes années | 60 |
| IV3) les résultats de la valorisation énergétique de biogaz récupérées a partir des boues pendant plusieurs années | 62 |
| IV 4) Résultat de l'énergie valorisable (Electrique /Thermique) durant l'année 2020 | 64 |
| IV 5) les résultats de dimensionnement de digesteur | 65 |
| IV 5.1) les résultats de dimensionnement de pour touts la station d épurations (les effluents)..... | 65 |
| IV 5.2) les résultats de dimensionnement de digesteur pour les boues traite..... | 66 |
| IV 6) Résultats de la modélisation | 67 |
| IV 6.1) Résultats de la modélisation de la phase d acidogenèses | 67 |
| IV 6.2) Résultats de la modélisation de la phase de la production de méthane (méthanogènes | 70 |

Chapitre V : Etude environnementale et économique

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| V -1) Etude environnementale..... | 74 |
| V-2) Etude économique..... | 74 |
| V-3) Rentabilité de projet | 76 |
| CONCLUSION..... | 77 |
| Conclusion générale | 78 |

Annexes

Références bibliographie

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure II.1 : Dégraissage et Déshuilage (Station de B.B.Arreridj)..... | 20 |
| Figure II.2: Lit bactérien..... | 20 |
| Figure II.3 : Schéma d'épuration des eaux usées par lagunage naturel..... | 20 |
| Figure II.4 : le phénomène de la méthanisation..... | 27 |
| Figure II.5 : Les étapes de la méthanisation..... | 27 |
| Figure II.6: Effet de la température sur le taux de croissance des méthanogènes. | 28 |
| Figure II.7: Les différents types de digesteurs : (a) Procédés pour boue (semi-solide) (b) Procédés pour liquides, (c) Procédés pour solide..... | 29 |
| Figure II.8 : Schéma explicatif de la production de biogaz | 33 |
| Figure III.1 : STEP chenoua..... | 42 |
| Figure.III.2 : les deux clarificateurs de la station..... | 43 |
| Figure III.3 : Les eaux traitées d'épurations..... | 43 |
| Figure.III.4 : (a) Le dégrilleur de la station d'épuration de chenoua (b) Le traitement biologique au niveau de la station d'épurations de chenoua..... | 44 |
| Figure III.5 : Décantation au niveau de l'épaisseur au niveau de la station d'épuration De chenoua... | 44 |
| Figure III.6 : Consommation annuelle d'électricité en % | 45 |
| Figure III.7 : Digesteur cylindrique | 47 |
| Figure III.8 : Forme du digesteur dimensionné..... | 48 |
| Figure IV.1 : Estimation de la production du biogaz a partir des boues de la stations d'épurations de chenoua dans des différentes années (2017-2018-2019-2020)..... | 60 |
| Figure IV.2 : Estimation la quantité moyenne de production du biogaz dans les quatre années (2017-2018-2019-2020)..... | 60 |
| Figure IV.3: l'estimation de l'énergie valorisable (Electrique et Thermique) durant l'année 2020 | 64 |
| Figure IV.4: Digesteur cylindrique..... | 65 |
| Figure IV.5 : Résultats expérimentaux et simulés de la consommation du substrat (A), de la formation de l'AA (B), de la formation de l'LA (C), de la formation du FA (D)..... | 67 |
| Figure IV.6 : Résultats expérimentaux et simulés de la consommation du substrat (A), de la formation de l'AA (B) a 35°C..... | 69 |
| Figure IV.7 : Résultats expérimentaux et simulés de variation de quantité de biogaz Gt en fonction de temps..... | 70 |
| Figure IV.8: Résultats des paramètres optimiser de notre modèle | 70 |
| Figure IV.9: Résultats expérimentaux et simulés de la variation de quantité de la fonction GT en fonction de temps de model de premier ordre..... | 71 |
| Figure IV.10: Résultats de l'optimisation pour la fonction linéaire de GTL en fonction de temps..... | 71 |

LISTE DES TABELAUX

| | |
|---|----|
| Tableau I.1 : Tour historique sur les travaux des chercheurs sur La valorisation de biomasse en biogaz | 12 |
| Tableau I.2 : La valorisation énergétique de la matière..... | 15 |
| Tableau I.3 : La valorisation énergétique du biogaz produit à partir de la biomasse | 16 |
| Tableau II.1: Les différents types de boue et leurs caractéristiques..... | 22 |
| Tableau II.2 : Principales sources de la pollution des eaux | 23 |
| Tableau II.3: les caractéristiques des eaux usées | 24 |
| Tableau II.4: résumé Principaux procédés utilisés pour la méthanisation de déchets,..... | 30 |
| Tableau II.5: résumé les principales avantages et désavantages dans le fonctionnement des systèmes de digestion anaérobie..... | 31 |
| Tableau II.6 : Caractéristique physique et chimique du biogaz comparé au gaz naturel..... | 33 |
| Tableau II.7: Les machines de valorisation énergétique du biogaz..... | 36 |
| Tableau II.8: Caractéristiques requises du bio-méthane pour l'injection | 38 |
| Tableau III.1: Consommation annuelle d'électricité dans la station d'épuration de Tipasa..... | 45 |
| Tableau III.2: donnees expérimentaux de la variation de Gt en fonction de temp dans les conditions mésophile..... | 55 |
| Tableau IV.1: : les résultats (estimation) de la valorisation de biogaz dans les quatre années (2017-2018-2019-2020)..... | 62 |
| Tableau IV.2 : résultat de dimensionnement de digesteur des boues..... | 67 |
| Tableau IV.3 : Coefficients de corrélation entre les concentrations mesurées et prédites..... | 68 |
| Tableau IV.4 : Valeurs des paramètres cinétiques estimés à 70°C..... | 68 |
| Tableau IV.5 : Valeurs des paramètres cinétiques estimés à 35°C..... | 69 |
| Tableau IV.6 : Coefficients de corrélation entre les concentrations mesurées et prédites à 35°C..... | 69 |
| Tableau IV.7 : Résultats estime par le modèle de l'expérience et le modèle du premier ordre | 72 |
| Tableau V.1 : l'estimation de cout des différentes composantes du système | 75 |
| Tableau V.2: l'estimation de cout de maintenance annuelle..... | 75 |
| Tableau V.3 : Calcul de la valeur actuelle net..... | 77 |

Introduction :

La croissance démographique que le monde a connue le siècle dernier et le développement et l'accélération de l'industrie et l'urbanisation ont engendré une grande augmentation de la demande énergétique, notamment et surtout en pétrole et en gaz naturel qui sont considérés d'ailleurs comme les principales sources d'énergie. Face à cette demande croissante, les réserves d'énergies fossiles ne dureront pas pour toujours, et des pénuries de pétroles apparaîtront progressivement.

De plus, l'augmentation des activités humaines ont produit différents types de déchets : déchets industriels, déchets ménagers, déchets agricoles, boues de stations d'épuration... etc. ce qui a engendré de grandes conséquences sur l'environnement et la santé humaine

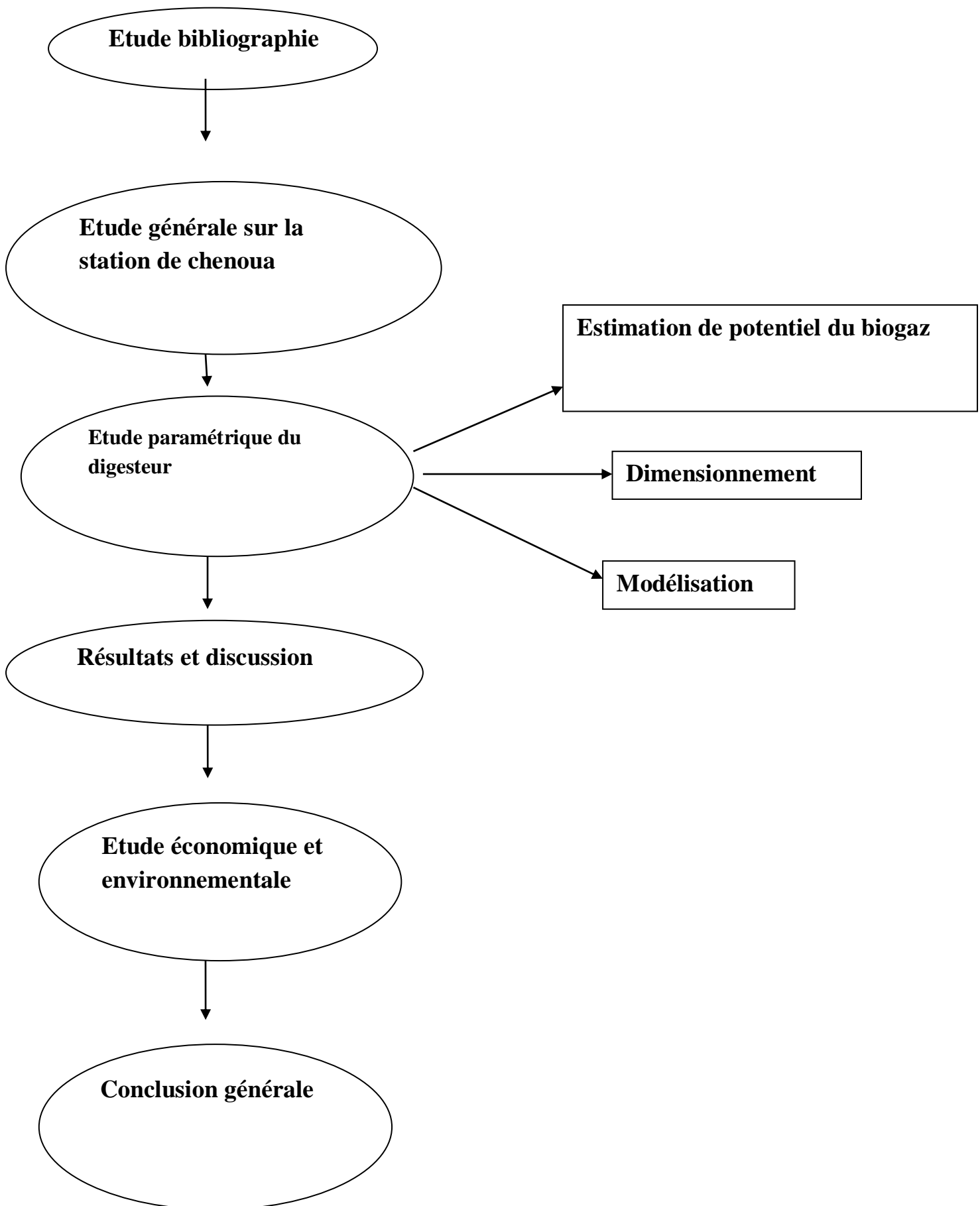
En ce qui concerne les boues d'épurations, elles sont considérées comme une source importante de la biomasse algérienne, mais leur utilisation comme source d'énergie est encore sous-utilisée par rapport aux autres pays du monde. Lorsqu'on reconnaîtra les boues comme une source d'énergie non négligeable et non comme un simple déchet alors à ce moment les ingénieurs développeront des recherches sur les méthodes de récupérations et de valorisations des composants précieux à partir des boues. L'énergie obtenue alors à partir des boues d'épuration peut être une solution non négligeable et durable à même de répondre aux besoins énergétiques actuels et futurs du pays et ainsi les stations d'épurations seront mieux valorisées

Le traitement de ces boues résiduelles issues des stations d'épuration est un défi auquel sont aujourd'hui confrontées les municipalités. La récupération de ces boues, leur hydrolyse, leur méthanisation et leur transformation en biogaz, permettent de répondre à ce défi.

La transformation des boues en biogaz (qui est une source d'énergie verte) permet de donner de la valeur à des matières jusque-là jugées nuisibles, voire dangereuses pour l'environnement. Cela permet également de lutter contre la raréfaction des matières premières et des énergies fossiles et ce dernier contient du méthane CH_4 qui a un pouvoir calorifique important et peut être considéré comme un combustible très intéressant pouvant se substituer au gaz naturel du fait qu'il est valorisable dans plusieurs applications énergétiques (production de chaleur, de l'électricité, carburant automobile et bio-méthane ...etc.).

Dans le présent travail, nous avons étudié le fonctionnement de la station d'épuration de Tipaza (Chenoua) afin de voir la nécessité d'éliminer les grandes quantités des boues résiduelles du traitement des eaux usées et ainsi éliminer les gaz néfastes dégagés. Pour cela la valorisation énergétique des boues via la digestion anaérobie est présentée comme une solution. Pour cela une étude paramétrique et un modèle de dimensionnement est présenté

Et voila le déroulement de travail:



Chapitre I :

Synthèse

bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Introduction :

L'utilisation de la biomasse pour la valorisation énergétique est une technologie connue et un processus de développement important ces dernières années. Il existe de nombreuses façons d'ajouter de la valeur à ses matières organiques. Bien que nous puissions distinguer trois façons dont les chercheurs sont très intéressés :

I.1) La valorisation par la production de biogaz :

La biomasse comme une source d'énergie par biocarburants a été étudiée par des nombreux chercheurs surtout la méthanisation:

Tableau I.1 : La valorisation de biomasse en biogaz

| N° Ref | Titre de travail | Méthode de travail | Paramètres d'influence | Résultats |
|--|--|---|---|---|
| J.-H. Ferrasse - 2003- Chemical Engineering & Technology, weinheim Allemagne [1] | Gazéification thermique : une solution réalisable pour la valorisation des boues d'épuration? | lits fixes en configuration descendante - lits fluidisés circulants | une température très élevée et oxyder | une méthode très efficace pour la valorisation des boues (la production du gaz naturelle et cendres) |
| Kamel Hadri -2007- Revue des Energies Renouvelables, CDER [ICRES-07] Tlemcen, Algeria [2] | conception et réalisation d'un digesteur solaire de type batch | Le digesteur est composé de deux parties essentielles, un capteur solaire qui sert en même temps comme couvercle et un bac pour la digestion du substrat | panneau solaire utilisé pour fournir le digesteur en calorifique l'énergie nécessaire pour maintenir une température favorable à la méthanisation | obtenu durant les périodes hivernale et estivale un intervalle de température très proche à celui souhaité. entre 25 et 45 °C |
| K. Derbal -2009- Laboratoire de l'Ingénierie des Procédés de l'Environnement (LIPE) Constantine, Algérie [3] | Application du modèle ADM1 pour simuler la Co-digestion anaérobie des déchets organiques avec des boues activées | modèle de digestion anaérobie n ° 1 (ADM1) - 2000 m ³ en volume - temps de rétention hydraulique de 26,9 jours - taux de chargement organique de 1,01 kg TVS/m ³ jour - température de 37 C | -(ADM1) -Température mésosphérique | Les résultats simulés ont montré un bon ajustement pour les pourcentages de pH, de méthane et de dioxyde de carbone, le volume de biogaz et le carbone inorganique. -taux de production de gaz de 0,296 m ³ /jour |

Chapitre I : Synthèse bibliographique

| | | | | |
|--|--|---|--|--|
| <p>F. Yahiaoui 1 - 2012- -Unité de Recherche Appliquée des Energies Renouvelables, URAER Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algérie [4]</p> | <p>Contribution à l'étude de la production d'un biocarburant à partir de la boue des stations d'épuration des eaux usées</p> | <p>Par la méthanisation de boues de station d'épuration 1 - hydrolyse et acidogènes 2 - acidogènes 3 - Méthanogènes</p> | <p>remplace le digesteur par un bioréacteur pour la fermentation de la boue.</p> | <p>Les biocarburants produisent à partir des stations d'épuration</p> |
| <p>S. Kalloum * - 2013- Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, URERMS Adrar- Algérie [5]</p> | <p>la digestion anaérobie pour le traitement des boues des stations d'épuration des eaux usées</p> | <p>Le substrat utilisé est constitué essentiellement de la boue de lagunage naturelle de la ville d'Adrar</p> | <p>La digestion anaérobie</p> | <p>la digestion anaérobie est une technique efficace pour le traitement des boues des stations d'épuration des eaux usées. -la réduction de la masse initiale de la boue traitée -le digestat (la dépollution) peut être valorisé dans l'agriculture comme un bio engrais.</p> |
| <p>YAHIAOUI Fatiha -2014- unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables (URAER) GHARDAÏA [6]</p> | <p>Méthanisation des boues des zones arides et semi-arides</p> | <p>Un bioréacteur expérimental de capacité 3.5 litres</p> | <p>-Le bioreactor -la zone</p> | <p>produit une quantité appréciable de méthane après environ 10 à 15 jours avec une température de 37°C et la boue d'un pH neutre environ 6,5 à 8,5.</p> |

Chapitre I : Synthèse bibliographique

| N° Ref | Titre de travail | Méthode de travail | Paramètres d'influence | Résultats |
|---|--|---|---|---|
| <p>SIBOUKEUR Hicham -2015- University KASDI Merbah Ouargla Ouargla, Algérie [7]</p> | <p>Étude microbiologique de la digestion anaérobie des boues de la purifiant les eaux usées de la ville de Touggourt, au sud-est d'Algérie</p> | <p>La digestion a été effectuée dans le réacteur de type lot. Ces réacteurs sont assemblés manuellement en laboratoire, en verre, très simple, assurera des conditions anaérobies. Ces réacteurs sont fournis avec trois trous, l'un pour la collecte d'échantillons liquides à l'aide d'une seringue, le second à assurer le gaz d'échappement pour mesurer le volume de biogaz produit, et l'autre et Fermi vous nous avez laissé un gaz volume de 500mL Au-dessus du niveau liquide pour protéger la prise de gaz.</p> | <p>La fermentation et les conditions de travail</p> | <p>l'échantillon est autorisé à fermenter dans un digesteur dans des conditions anaérobies pendant 14 jours et la production de biogaz suit la phase signalée</p> |
| <p>Withanage Don Chanaka Udayanga -2020- Technological University -Singapore- [8]</p> | <p>Valorisation des boues d'épuration par pyrolyse</p> | <p>La pyrolyse est la décomposition thermique des matériaux à des températures élevées dans une atmosphère inerte. Il s'agit d'un changement de composition chimique</p> | <p>La technique de pyrolyse</p> | <p>Une méthode très efficace pour la valorisation des boues de station d'épuration</p> |

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.2) valorisation énergétique de la matière :

Cette méthode est basée sur l'élimination et la récupération de certains matériaux de l'industrie. Cela a également suscité l'intérêt de nombreux chercheurs.

Tableau I.2 : La valorisation énergétique de la matière

| N° Ref | Titre de travail | Méthode de travail | Paramètres d'influence | Résultats |
|--|--|--|---|--|
| <p>Guillaume Dupont -1998- Institut National Agronomique Paris-Grignon</p> <p>France [9]</p> | La détermination et l'extraction des biphényles polychlorés dans les boues d'épuration très utilisées en Europe dans les transformateurs | avec un Soxhlet 100 ouvert système d'extraction de solvant de micro-onde dont la puissance maximale est de 300 W. 1 g aliquote d'eaux usées séchées la boue a été pondérée dans la cellule d'extraction. Le mélange hexane-acétone 1 : 1 (30 ml) a ensuite été ajouté à l'échantillon et solution agitée | micro-ondes assistées | principalement la rapidité et la réduction de la consommation de solvants |
| <p>Seleem E. Gaber -2011- Department of Chemistry, Faculty of Science, Cairo University,</p> <p>Egypt [10]</p> | Extraction de certains métaux lourds à partir de boues d'épuration à l'aide différents types d'acides | Extractions chimique | Différents types d'acides : acides inorganiques (nitriques, chlorhydriques) et acides organiques (citriques, oxaliques) | acides inorganiques atteignent son efficacité maximale d'extraction (Cr-88%, Cu-82%, Ni-86%, Pb-94%, Zn-89%) à une valeur de pH inférieure à 2 et les temps de contact acide de 1 heure. |
| <p>Zhiqi Zhang -2020- 1er laboratoire clé d'État de contrôle de la pollution et de réutilisation des ressources, École des sciences et de l'ingénierie de l'environnement , Chine [11]</p> | éliminer les microplastiques des eaux usées et des boues | -Membrane bioreactor (MBR) - classical activated sludge (CAS) | Membrane bioréacteur (MBR) | La technologie (MBR) est plus efficace que la technologie (CAS) Pour l'élimination et la récupération des microplastiques |

I.3) La valorisation énergétique du biogaz produit:

En Europe Jusqu'en 1973, la majorité des installations utilisaient le biogaz que pour le chauffage des digesteurs et parfois des locaux techniques. Seules les installations les plus importantes produisent de l'électricité ou livrent de la chaleur à des utilisateurs proches. A partir des années 80, la cogénération de chaleur et d'électricité se développe fortement y compris pour des installations de petite capacité. La consommation d'électricité représente l'un des postes d'exploitation les plus importants sur une station d'épuration urbaine, et le biogaz peut subvenir, classiquement, à la moitié des besoins.

Tableau I.3 : La valorisation énergétique du biogaz produit à partir de la biomasse

| N° Ref | Titre de travail | Méthode de travail | Paramètres d'influence | Résultats |
|---|--|---|---|--|
| Ing. A. Gascard - 2005- Revue scientifique des ISILF n°19, Allemagne [12] | Traitement du biogaz par la trigénération | - L'utilisation de chaudières - L'utilisation des moteurs et les turbines à gaz | La technique de Tri-génération | - L'utilisation des chaudières au biogaz constitue une solution très efficace pour la production de la chaleur - La production d'électricité est réalisée par des moteurs thermiques - stationnaires ou des turbines à gaz |
| Tarsida Nicolas Wedraogo -2014- Université de Lorraine France [13] | Valorisation du biogaz par purification et par reformage | <ul style="list-style-type: none"> • Méthode de purification: Deux procédés innovants ont été testés pour obtenir du bio-méthane. <ol style="list-style-type: none"> 1. l'absorption dans une émulsion 2. l'absorption en micro-mélangeur • Méthode de reformage | La technique de purification et la technique de reformage | Ses techniques précédentes sont très efficaces pour valoriser le biogaz en biométhane. |
| Benyi Xiao -2014- Académie chinoise des sciences China [14] | production d'électricité dans une pile à combustible microbienne à deux chambres utilisant les eaux usées boues comme substrat | La plupart des MFC contiennent une membrane pour séparer les compartiments de l'anode (où l'oxydation a lieu) et la cathode (où la réduction a lieu) | Microbial electrolysis cell | tensions de sortie du MFC avec production de méthane (0,505 Ve0.600 V) étaient plus élevés que ceux du MFC sans (0.506 Ve0.576 V). |

Chapitre I : Synthèse bibliographique

| | | | | |
|--|---|---|---|--|
| Zhe Zhang -2018- Institut de Géorgie de la technologie Atlanta [15] | Conversion directe des boues d'épuration en électricité à l'aide de polyoxomate late catalysé pile à combustible d'écoulement | les polyoxomate late (MPM) ont été utilisés à la fois comme catalyseurs et porteurs de charge. | polyoxomate late pile à combustible à débit catalysé | La puissance de sortie atteint 50 mW/cm ² qui est plus de 100 fois supérieure à celui de MFC - Aucun prétraitement compliqué ou purification des boues n'est nécessaire |
|--|---|---|---|--|

Conclusion:

On constaté que la valorisation énergétique de la biomasse est un sujet très intéressant pour la plupart d'entre eux car l'énergie de la biomasse est disponible partout et est inépuisable, Il existe de nombreuses formes de valorisation énergétique en voie d'être mise en œuvre ; (valorisation des matériaux, production des biocarburants, etc.). Sachant que toutes les espèces biologiques produisent des déchets, leur disponibilité est illimitée. Contrairement aux énergies fossiles comme le pétrole ou le charbon, Ce dernier point a un énorme avantage que les chercheurs ne négligeront jamais et lui donneront l'importance qu'il faut et ce en poursuivant les recherches et qui est d'ailleurs toujours en cours

Chapitre II:
LA DIGESTION
ANAEROBIE

Chapitre II: LA DIGESTION ANAEROBIE

II.1) Introduction :

La valorisation c'est l'extraction de l'énergie à partir de ses déchets par les différentes méthodes de valorisation, ce qui nous aide à trouver la solution idéale pour éliminer les déchets et obtenir de l'énergie au même temps et donc obtenir des stations sans déchets à la future proche.

Les technologies de conversion de la bioénergie peuvent être divisées en trois catégories : processus thermochimiques, biochimiques et autres. Le processus thermochimique est la combustion directe, la pyrolyse et la gazéification. Le procédé biochimique le plus largement utilisé est la digestion anaérobie et la fermentation. D'autres procédés incluent la transestérification (le processus de conversion d'huile ou de graisse en biodiesel) et le pressage à froid (impliquant des applications mécaniques). Bien que les ressources bioénergétiques soient abondantes, elles ne sont pas pleinement utilisées. Compte tenu du grand nombre de matières premières et de technologies d'extraction disponibles, les opportunités pour les projets de bioénergie sont nombreuses et impliquent différents secteurs

II.2) Station d'épuration des eaux usées (STEP) :

L'objectif d'épuration des eaux usées est l'obtention d'une eau épurée qui satisfait aux normes de rejets édictés par la législation, et pouvant par la suite être évacuée sans danger du point de vue du risque pour la santé humaine et l'environnement [16]

La filière de l'épuration des eaux usées recommande différentes techniques à divers niveaux technologiques souvent très élaborées ceci est illustré comme étant des méthodes Classiques de traitement, ainsi que de nouvelles techniques visant la protection de l'environnement et la sauvegarde du milieu naturel ont apparus celle-ci est démontré sous le Vocabulaire de lagunage ou phytoépuration.

II 2.1) Prétraitement :

Le prétraitement élimine les solides grossiers et autres gros débris des eaux usées brutes [17]. Le prétraitement peut inclure des opérations : (criblage), principalement pour gros déchets, (enlèvement de gravier) pour sable et gravier et (dégraissé), la figure suivante montre le prétraitement



Figure II.1 : Dégraissage et Déshuilage (Station de B.B.Arreidj) [18]

II 2.2) Traitement secondaire : Traitement biologique

Le traitement secondaire, également appelé traitement biologique, vise à dégrader les substances organiques biodégradables contenues dans l'eau à traiter. Les micro-organismes en contact avec les eaux usées assimilent la matière organique, et la matière organique est leur substrat de croissance. La contamination de tous les micro-organismes vivants forme le mélange liquide ou boue biologique contenu dans la cuve de traitement biologique. (Figure II.2 et Figure II.3) [18]

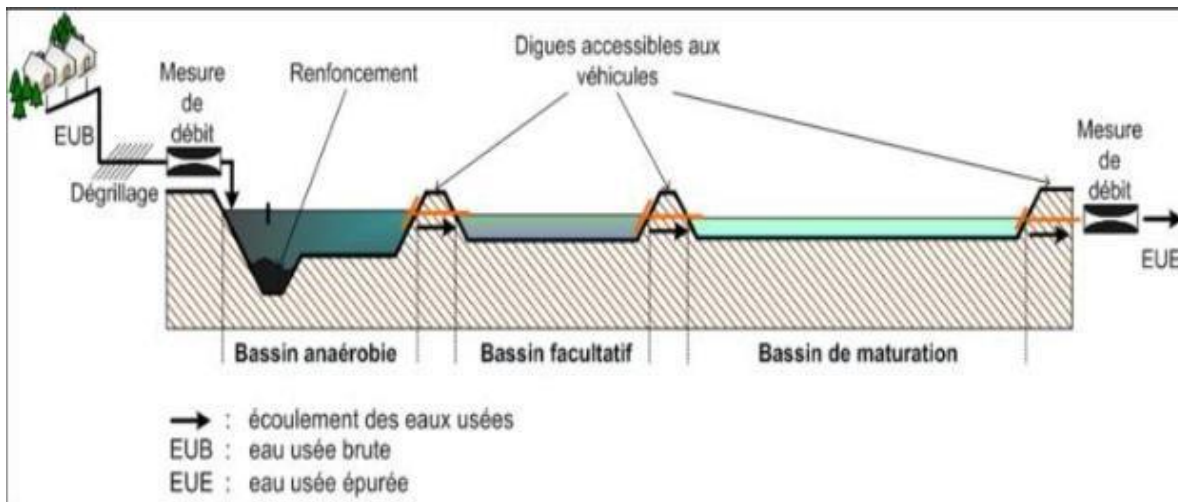


Figure II.2: Lit bactérien [18]

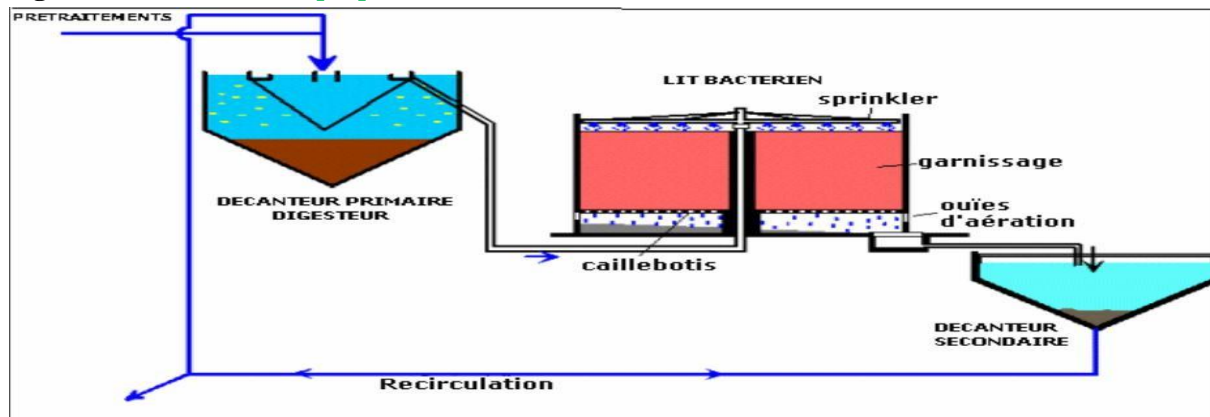


Figure II.3 : Schéma d'épuration des eaux usées par lagunage naturel [18]

II 2.3) Le traitement tertiaire :

Ces traitements visent principalement l'élimination du phosphore (la déphosphatation) et les germes pathogènes (la désinfection).

- Dé-phosphatation : L'élimination du phosphore concerne le traitement de déphosphatation, soit physico-chimique soit biologique. La déphosphatation biologique, de développement récent, est basée sur la succession de phases anaérobies et aérobies au cours du traitement biologique mais son rendement est en générale moins bon que celui de la déphosphatation physico-chimique. [19]
- Désinfection : Le but de la désinfection est de réduire la concentration de bactéries pathogènes dans les eaux usées avant qu'elles ne soient rejetées dans l'environnement. Contrairement aux normes de désinfection des productions d'eau potable qui ne contiennent pas de bactéries coliformes [20]

II 2.4) Traitement des boues:

Le traitement d'un mètre cube d'eaux usées produira 350 à 400 grammes de boues. Ces boues sont généralement très liquides et contiennent une forte proportion de matière organique [21]

Le traitement a pour but de les conditionner en fonction des filières d'élimination :

- Réduction de leur volume par épaissement,
- Déshydratation, séchage thermique ou incinération.
- Diminution de leur pouvoir de fermentation par stabilisation biologique, chimique ou thermique (rajout de chaux par exemple).
- Un traitement chimique des odeurs est généralement associé à ce traitement.

La gestion des boues est généralement une préoccupation des exploitants de stations d'épuration et des collectivités locales. L'élimination des boues est en pleine mutation, notamment en termes de filières et d'exportations finales : utilisation agricole, compostage, incinération, valorisation énergétique, livraison aux centres d'enfouissement technique (Aussel., 2004). [21]

➤ Types des boues et leurs caractéristiques :

Les boues sont constituées essentiellement d'eau, de sels minéraux et de matière organique. Elles sont réparties selon les familles suivantes:

- **Boues primaires:** qui proviennent du traitement primaire par simple

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

décantation des Eaux usées, elles sont constituées de matières minérales (sable, terre...) et de matières organiques qui peuvent évoluer.

- **Boues biologiques:** (secondaire) qui proviennent du traitement biologique secondaire, Elles sont essentiellement constituées de bactéries et sont très organiques et peu concentrées, Et d'un petit pourcentage de composés inorganiques. C'est une boue granulaire de couleur brune jaunâtre.
- **Boues mixtes:** mélange des boues primaires et boues biologiques

Tableau. II.1: Les différents types de boue et leurs caractéristiques [22]

| Types de boue | Lieu d'ouvrage | Caractéristiques |
|------------------------|--|---|
| Boue primaire | Décanteur primaire | Présence importante de la matière organique Odeur désagréable, couleur noir |
| Boue secondaire | Décanteur secondaire | Présence de l'azote et le phosphore |
| Boue mixte | La bêche mixte (épaississeur + pré-épaississeur) | C'est le mélange de la boue primaire et secondaire dont les caractéristiques c'est l'union des caractéristiques des boues primaire 70% et secondaire 30%. |

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

II 3) Eaux usées:

II 3.1) Définition de la pollution des eaux :

Une eau est dite polluée lorsque son équilibre est modifié de façon durable par l'apport en quantités très importantes des substances plus ou moins toxiques, d'origines naturelles ou issues d'activités humaines [23]

II 3.2) Principales sources de la pollution des eaux

Le tableau suivant montre les principales sources de la pollution des eaux **Tableau. II.2**

Tableau. II.2 : Principales sources de la pollution des eaux

| Type de pollution | Nature | Source |
|---|--|--|
| Thermique | Rejets d'eau chaude | Centrales électriques |
| Radioactive | Radio-isotopes | Installations nucléaires |
| Microbiologique | Batteries, virus, champignons | Effluents urbains, élevage, secteur agro-alimentaire |
| Organiques Fermentescibles | Glucides, protides, lipides | Effluents domestiques, agricoles, industries. |
| Fertilisants | Nitrates, phosphates | Agriculture, lessives. |
| Métaux et métalloïdes toxiques | Mercure, Calcium, Plomb, Arsenic | Industrie, agriculture, combustion, pluies acides. |
| Pesticides | Insecticides fongicides, herbicides | Agriculture, industries. |
| Detersives | Agents tensio-actifs | Effluents domestiques et industriels |
| Hydrocarbures | Petrol brute et derives | Industrie pétrolière, transports |
| Composes organochlorés | Polychlorophényls(P, C, B) Insecticides, solvants chores | Industries |
| Autre composants organiques de synthèse | Nombreuses molécules | Industriel |

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

II 3.3) L'origine des eaux usées :

L'origine des eaux usées est principalement d'origine domestique, mais peut contenir de l'eau Résidus industriels extrêmement divers comme les eaux usées industrielles, les eaux usées pluviales et les eaux usées agricoles [24]

II 3.4) Caractéristiques des eaux usées :

Pour caractériser les eaux usées, on trouve :

- ✚ Paramètres Physiques
- ✚ Paramètres Chimiques
- ✚ paramètres microbiologiques

Le tableau suivant montre les caractéristiques des eaux usées

Tableau II.3: les caractéristiques des eaux usées

| <u>Paramètres Physiques</u> | |
|-----------------------------|---|
| T | Il est très important de connaître avec précision la température de l'eau. il joue un rôle dans la solubilité du sel |
| MES | On appelle matières en suspension les très fines particules qui sont non dissoute dans l'eau (Gomella et Guerree, 1978) [25] |

| <u>Paramètres chimique</u> | |
|------------------------------------|---|
| La Conductivité | C'est une mesure de la capacité d'une solution à laisser passer le courant électrique |
| (O₂)_D | il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques |
| pH | Le pH est un paramètre qui permet de mesurer l'acidité, l'alcalinité ou la basicité d'une eau (Allen et al. 1994). [26] |
| (DBO) | Elle indique la quantité d'oxygène nécessaire pour la destruction ou la dégradation des micro-organismes de l'environnement existent dans la matière organique des eaux usées pour garantir le temps d'oxydation biologique Matière organique carbonée (Xanthoulis., 1983) [27] |

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

| | |
|--|---|
| (DCO) | Elle permette de mesurer la teneur en matières organiques totales (excepté quelques Composés qui ne sont pas dégradés), y compris celles qui ne sont pas dégradables par les Bactéries. Il s'agit donc d'un paramètre important permettant de caractériser la pollution Globale d'une eau par des composés organiques |
| L'Azote et ses dérivés | L'azote se trouve dans l'eau usée sous forme organique ou ammoniacale dissoute |
| L'azote ammoniacal (NH₄⁺) | L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac NH ₃ et l'ammonium NH ₄ ⁺ [28] |
| Les nitrates (NO₃⁻) | Les nitrates se trouvant naturellement dans les eaux provenant en grande partie de l'action de l'écoulement des eaux sur le sol constituant le bassin versant [19] |
| Le phosphore : | Le phosphore peut exister dans l'eau sous forme de solution ou de suspension, telle que Minéral ou organique [23]- |
| Les Eléments traces | Oligo-éléments Teneur très élevée en métaux lourds dans les eaux usées urbaines [29] |

| Les paramètres microbiologiques | |
|---|---|
| Les bactéries | Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 µm [30] |
| Les bactéries sulfito-réductrices | Les Clostridium sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme des témoins de pollution fécale [19] |
| Les virus | Ce sont des organismes infectieux de très petite taille (10 à 350 nm) qui se reproduisent en infectant un organisme hôte (CSHPF., 1995). [31] |
| Les coliformes | Sous le terme de « coliformes », il est divisé en de nombreuses espèces Les bactéries appartiennent en fait aux entérobactéries |
| Les protozoaires | Les protozoaires sont des organismes unicellulaires avec un noyau, plus complexe et c'est plus gros que les bactéries ([32] |
| Les streptocoques fécaux et Entérocoques | Sous la dénomination générale de « streptocoques fécaux », il faut entendre l'ensemble des streptocoques possédant la substance (acide teichoïque) antigénique caractéristique du groupe D de Landefeld |
| Les algues : | Les algues sont indésirables dans les sources d'eau car elles affectent leur goût et leur odeur |

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

II 4) Technique de la Valorisation énergétique de STEP :

II 4.1) Méthanisation :

La méthanisation peut s'appliquer à différentes matières¹ comme la fraction organique des déchets ménagers, les boues de fosses septiques, les déchets organiques d'élevage et d'agriculture (lisier de porc, fumier, pailles,...), les boues de station d'épuration, les résidus de distillation de vin, en absence d'oxygène et qui conduit à la formation d'un mélange gazeux (majoritairement formé de méthane (CH₄) et dioxyde de carbone (CO₂)) [33]

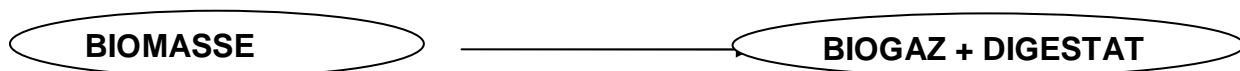


Figure II.4 : le phénomène de la méthanisation

- Principales phases du processus de méthanisation :

La méthanisation se déroule en 4 étapes successives qui sont l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogenèse et la méthanogènes ; les microorganismes spécifiques des premières étapes servent de substrats pour les étapes suivantes Figure II.5

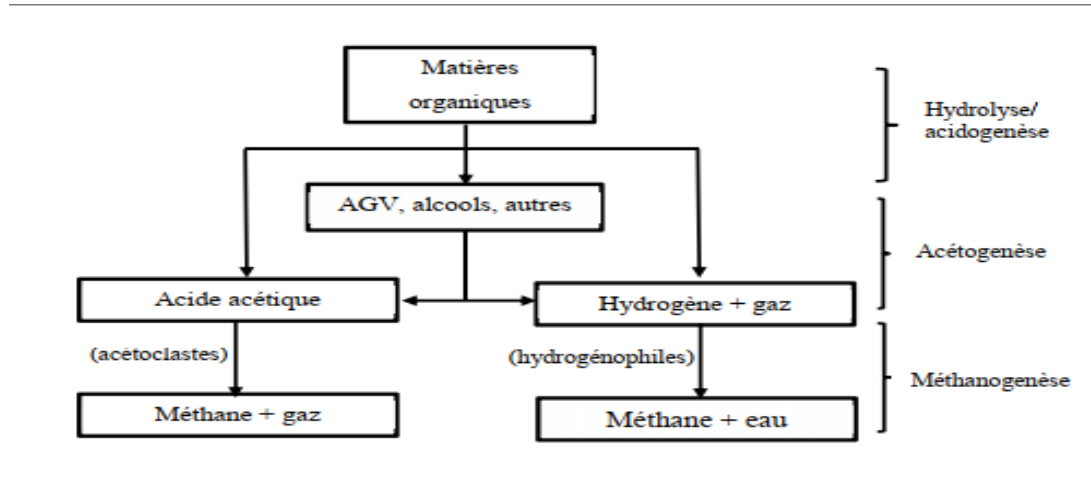


Figure II.5 : Les étapes de la méthanisation

II 4.2) Mise en œuvre de la méthanisation en digesteur :

. La mise en œuvre de la méthanisation en digesteur va dépendre de plusieurs paramètres, parmi les principaux nous retiendrons : le type de digesteur, la température, le pH, les substances inhibitrices, le mixage dans des proportions définies, le rapport C/N, le taux de charges organiques.

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

II 4.3) Les paramètres de la digestion anaérobie :

- **Temps de rétention hydraulique** : le temps de séjours (TRH) est le principal paramètre de la digestion anaérobie. Il est généralement de l'ordre de 30 jours, mais tout dépend du volume du digesteur car on obtient le temps de séjours en divisant le volume du digesteur par le débit de boue entrant en digestion.
- **Température** : Il existe trois types de digestion anaérobie : la digestion psychrophile (température autour de 6 à 15°C), la digestion mésophile (température à environ 30-35°C) et la digestion thermophile (température supérieure à 45°C). La digestion anaérobie thermophile est la plus efficace : la réaction est accélérée par la chaleur.

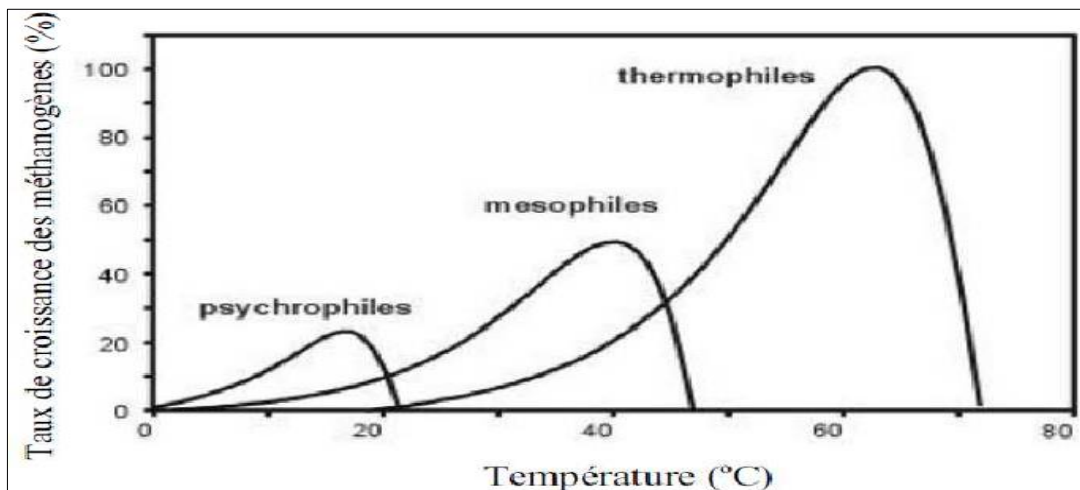


Figure II.6: Effet de la température sur le taux de croissance des méthanogènes. [34]

- **Le pH** : la zone optimale de pH pour la méthanisation est située aux alentours de la neutralité
- **Le mixage** : L'objectif du mixage dans un digesteur est de mélanger la matière fraîche entrante avec du digestat contenant des bactéries

Le rapport carbone/azote (C/N) : Le rapport carbone / azote (C / N) est une mesure de la quantité relative de l'azote et du carbone organique présent dans la charge. Cela permettra

II 4.4) Différents types du digesteur :

d'accroître la valeur du pH de la matière et un pH supérieur à 8,5 sera toxique sur les communautés bactériennes méthanogènes. Ainsi un rapport C/N de 20-30 est considéré comme optimal pour un digesteur. [35]

Chapitre II : LA DIGESTION ANAÉROBIE

a) Les substances inhibitrices :

On distingue plusieurs types d'inhibiteurs de la digestion : Certains cations et les sulfures, et les éléments-traces. Le digesteur, encore appelé fermenteur ou bioréacteur - anaérobie est généralement constitué d'une cuve fermée, étanche à l'air et de préférence isolée thermiquement de l'extérieur dans laquelle différents microorganismes se côtoient pour dégrader et biochimiquement les déchets et effluents organiques et produire du biogaz. Le choix du digesteur varie en fonction du type de déchets à traiter et de l'application visée. On peut classer les digesteurs selon [36]:

- Le mode d'alimentation : batch, continu ou semi-continu ;
- Les types de substrats : solide, semi-solide ou liquide ;

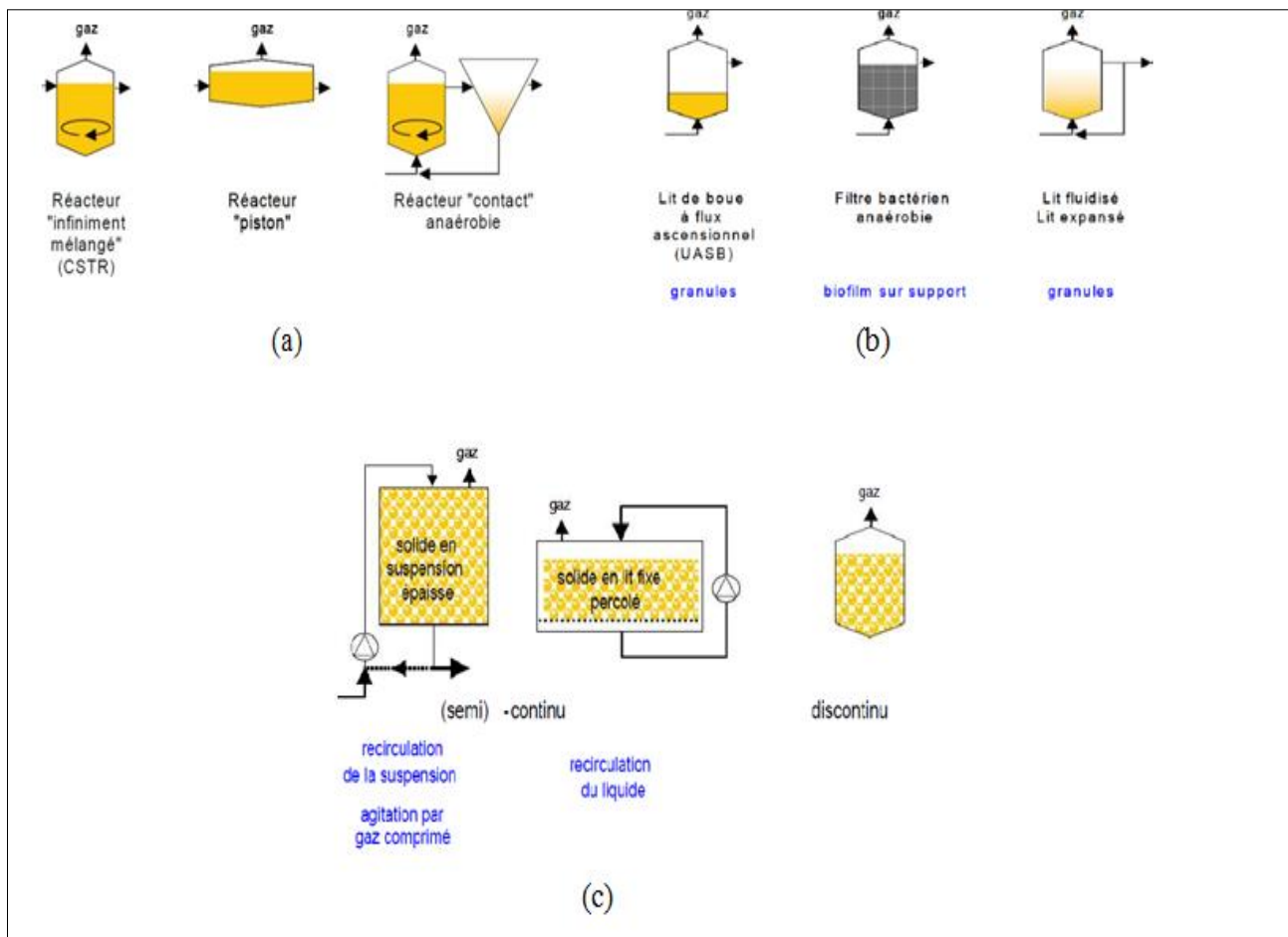


Figure II.7: Les différents types de digesteurs : (a) Procédés pour boue (semi-solide), (b) Procédés pour liquides, (c) Procédés pour solides [36]

b) Mode d'alimentation :

- **Le digesteur batch ou discontinu :**

et chute en fin de cycle lorsque seuls les éléments difficilement digestibles restent dans le digesteur.

- Dans **un digesteur continu**, le substrat introduit de manière continue est digéré et déplacé soit mécaniquement, soit sous la pression des nouveaux intrants vers la sortie sous forme de digestat. Le fonctionnement en continu, est bien adapté aux installations de grande taille. Il existe trois principaux types de digesteurs continus : système à cuve verticale, système à cuve horizontale et système à « cuves multiples.
- **Le digesteur semi-continu** fonctionne avec une combinaison des propriétés des deux précédents afin de tirer profit des avantages des deux extrêmes. [37]

➤ **Type de substrats :**

Cette classification des digesteurs est fonction de la teneur en matière sèche des matières organiques qui affecte leur consistance.

- ✓ *Solide* : teneur en matière sèche > 15%
- ✓ *Semi-solide ou pâteux* : teneur en matière sèche comprise entre 5 et 15 %
- ✓ *Liquide* : teneur en matière sèche inférieure à 5 %.

Selon que la teneur en matière en sèche des déchets soit supérieure ou inférieure à 15%, on parle de fermentation sèche dans le premier cas et de fermentation humide dans le second. [37]

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

II 4.5) Technologies disponibles

La recherche dans le domaine de la méthanisation de déchets a été en constante développement depuis les années 80 (Mata-Alvarez, 2003) [38] cela a permis le développement d'une variété de procédés et de technologies de taille commerciale qui sont actuellement appliqués pour le traitement de déchets organiques ménagers. Le Tableau 11 résume quelques technologies existantes à l'échelle industrielle

Tableau. II.4: résumé Principaux procédés utilisés pour la méthanisation de déchets, adapté de [39]

| Procédé | Teneur en matière sèche | Rang de temperature | Type de fonctionnement |
|------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------|
| BEKON | Sèche | Mésophik | Discontinu |
| Waasa | Humide | Mésophile ou Thermophile | Continu |
| Kruger | Humide | Mésophile | Continu |
| Citec | Humide | Thermophile | Continu |
| Ros Roca Process | Humide | Slésoplule | Continu |
| Dranco | Sèche | Thermophile | Continu |
| Kompogas | Sèche | Thermophile | Continu |
| Valorga | Séché | NI ésoplule ou 'I liennopin le | Continu |
| Strabag | Humide | Mésophile ou lIennophile | Continu |
| Schwarting-Uhde | Humide | Thermophile | Continu |
| BTA | Humide | Mésophile | Continu |
| ISKA | Humide | Mésophile | Continu |

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

II 4.6) Avantages et désavantages DE CES TECHNOLOGIE :

Le Tableau 12 résume les principales avantages et désavantages dans le fonctionnement des systèmes de digestion anaérobie, ce qui donne une notion générale de leur faisabilité pour d'applications à l'échelle industrielle.

Tableau. II.5: résume les principales avantages et désavantages dans le fonctionnement des systèmes de digestion anaérobie [39]

| Système | Avantages | Désavantages |
|-----------------|---|---|
| Humide, continu | <ul style="list-style-type: none"> • Bon rendement de production de biogaz par tonne de déchet. • Ecoulement plus douce du substrat. • Meilleure dilution des nutriments dans le substrat. | <ul style="list-style-type: none"> • Consommation de l'eau. • Prétraitement stricte du substrat. • Grands besoins thermiques pendant la digestion anaérobie. • Réacteurs de grand volume. |
| Sec, continu | <ul style="list-style-type: none"> • Surface réduite pour l'installation du réacteur. • Peu d'utilisation de l'eau pour ajuster la matière fraîche. • Production constante du biogaz. • Peut accepter des imprures dans la matière organique. • Faible demande thermique. | <ul style="list-style-type: none"> • Grand investissement économique. • Risque de bouchonnage si le substrat n'est pas prétraité. • Haute consommation électrique pour l'équipement de pompage. • Susceptibilité de l'usure pour la présence d'indésirables. • Besoin d'équipements de post traitement pour le digestat. |
| Sec, discontinu | <ul style="list-style-type: none"> • Peut utiliser de la biomasse avec haute teneur en matière sèche. • Ne demande pas de maintenance très stricte. • Possibilité d'augmenter sa capacité avec le couplage des nouveaux réacteurs. • Faible consommation d'énergie. • Les digestat produit ne demande du post traitement très stricte. | <ul style="list-style-type: none"> • Moins de production de biogaz que par rapport aux systèmes continus. • Demande plus de surface pour son installation. |

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

II 5) Le biogaz :

Le biogaz est un combustible obtenu par la fermentation de matière organique dans un milieu anaérobie (sans oxygène). La dégradation des composants organiques et la production du biogaz s'effectuent selon le schéma suivant :

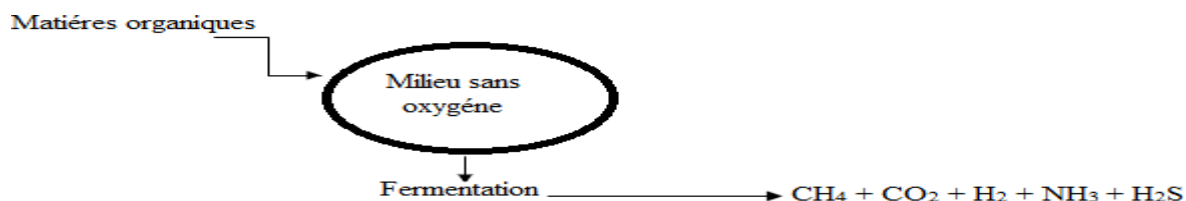


Figure. II.8 : Schéma explicatif de la production de biogaz [40]

II 5.1) Caractéristiques de biogaz

Le biogaz est un gaz combustible, sensiblement plus léger que l'air, il produit deux fois moins de calories par combustion à volume égal que le gaz naturel, c'est un mélange de gaz carbonique et de méthane appelé aussi gaz naturel renouvelable, il sert à produire la chaleur, l'électricité ou biocarburant

Caractéristiques physiques et chimique : Selon sa composition, le biogaz présente des caractéristiques qu'il est intéressant de comparer au gaz naturel et au propane. Le biogaz est un gaz sensiblement plus léger que l'air, il produit deux fois moins de calories par combustion à volume égal que le gaz naturel. (Indice de Wobbe = utilisé pour caractériser les gaz et en particulier apprécier leur interchangeabilité, $W = PCS / \sqrt{\text{densité}}$). [41]

Tableau II.6 : Caractéristique physique et chimique du biogaz comparé au gaz naturel [41]

| Types de gaz | Biogaz | Gaz naturel |
|--|--|--|
| Composition | (60 a 70)% CH ₄ (33 a 35)%CO ₂ 1% N ₂ 6% H ₂ O | 97% CH ₄ 2,2% C ₂ 0,3% C ₃ 0,1% C ₄ ⁺ 0,4% N ₂ |
| PCS KWH/m ³ | 6,6 | 11,3 |
| PCI KWH/m ³ | 6 | 10,3 |
| Densité | 0,93 | 0,57 |
| Masse volumique kg/m ³) | 1,21 | 0,73 |
| Indice de Wobbe | 6,9 | 14,9 |

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

II 5.2) L'équivalence énergétique du Biogaz :

Un (1) m³ de méthane est l'équivalent de 9,7 kWh d'électricité, 1,15 l d'essence en matière énergétique et 2,1 Kg de bois et ce volume peut fournir l'énergie nécessaire pour alimenter une ampoule de 100 W pendant 20 heures ou un séchoir de 2000 W pendant 1 heure.

*Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) du biogaz peut se calculer grâce à la relation suivante : PCI
$$\text{Biogaz} = \%_{\text{CH}_4} \times 0,994 \text{ (kWh / Nm}^3\text{)}$$

Remarque : le méthane émet moins de CO₂ que l'essence ou le pétrole car il possède le rapport H/C le plus élevé

II 5.3) Stockage du biogaz :

Le biogaz est stocké avant d'être utilisé. Il existe deux différents modes de stockage :

- Sous une couverture membranaire au-dessus de la matière en digestion. Cette couverture va se tendre en fonction de la production de biogaz.
- Dans un gazomètre séparé des digesteurs, un système d'aspiration permet d'extraire le biogaz du digesteur.

II 5.4) Production et utilisation du biogaz :

Le biogaz est convertible en pratiquement toutes les formes utiles d'énergie. Certaines applications sont largement développées et l'offre industrielle et commerciale est solidement établie pour :

- **La production de chaleur :**

Brûler du biogaz sous chaudière ou en four est la voie de valorisation la plus ancienne, la mieux maîtrisée et la plus courante. La teneur en CH₄ du biogaz peut descendre jusqu'à 20% et les contraintes d'épuration sont légères. Une désulfuration (visant à éliminer le soufre peut cependant s'avérer nécessaire si la teneur en H₂S conduit à des rejets soufrés excessifs dans les fumées. Elle s'effectue généralement par passage sur charbon actif ou traitement à l'hydroxyde ferrique). On utilise des brûleurs spéciaux adaptés à la combustion du biogaz, alimentés avec une surpression supérieure ou égale à 300 Mbar. Ces brûleurs, qu'on trouve couramment sur le marché, ont des injecteurs de plus grand diamètre que les brûleurs à gaz habituels et leur fonctionnement est moins souple. Mais le problème le plus délicat est celui que posent les risques éventuels de corrosion dus à la présence conjointe de vapeur d'eau, d'hydrogène sulfuré.

- **Le biogaz carburant :**

Pour cette application, les spécifications de pureté du gaz sont beaucoup plus sévères que pour les précédentes, puisque le biogaz utilisable comme carburant doit contenir un minimum de 96% de méthane. Il faut en outre que le point de rosée soit inférieur à -20°C , ce qui correspond à une teneur en eau inférieure à 15 mg/m^3 . D'autres exigences sont à respecter, teneur en H_2S inférieure à 100 mg/m^3 , en huile inférieure à 70- 200 ppm, en hydrocarbures liquides inférieure à 1 %, avec une taille de poussières limitée à 40 microns

- **Production de l'électricité :**

Le biogaz, comme toute énergie, peut se transformer en électricité, il doit cependant comporter au moins 40% de méthane. La production d'électricité peut être couplée avec celle de chaleur dans le cas de cogénération, du moment où Le pouvoir calorifique d'un mètre cube de biogaz épuré (après traitement, évacuation de l'eau, de l'acide sulfuré...) est équivalent à celui d'un litre de fuel domestique. Il s'avère que Les centres de stockage des déchets s'orientent majoritairement vers la production d'électricité seule du fait de l'absence de débouchés thermiques locaux. Le biogaz issu d'effluents industriels quant à lui, est très souvent utilisé directement pour les besoins de l'établissement. La situation est plus contrastée pour les unités de méthanisation des bios déchets ou des déjections d'élevage, qui ont plus fréquemment recours à la cogénération. [42]

- **Production d'électricité et chaleur en même temp (cogénération)**

Le cœur d'une cogénération est la machine motrice. Elle consomme une quantité horaire de combustible correspondant à une énergie thermique, elle produit, d'une part, de l'énergie mécanique transformé en une quantité d'électricité d'autre part, des Rejets thermique dont une partie est récupérée et utilisée pour du chauffage (mode cogénération).

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

Tableau II.7: Les machines de valorisation énergétique du biogaz [43]

| Production d'électricité | Description | Puissance | Condition | Rendement | Applications |
|-----------------------------|---|--|---|-----------------------------|--------------------------------|
| Turbine à vapeur | Il s'agit d'une chaudière à gaz associée à une turbine à vapeur: c'est la voie de production d'électricité qui impose le moins de contraintes technique. Les conditions de traitement du biogaz sont identiques à celle décrites pour le cas d'une chaudière à gaz (dans le cas de chaudière produisant uniquement de la chaleur). | -Biomasse jusqu'à 5mw -Fossile jusqu'à des centaines de MW. | CH ₄ > 20 % -Débit > 100 Nm ³ /h Déshydratation Compression 300 mbar | > 0,85 | Production d'électricité. |
| Turbine à combustion | Ces machines comprennent un La pièce où est brûlé le biogaz, puis le sol Décompresser les gaz de combustion pour entraîner la turbine (énergie mécanique) pour entraîner un alternateur (énergie électrique). Ces turbines peuvent supporter des teneurs en H ₂ S plus élevées que les moteurs à combustion interne et dans la plupart des cas ne nécessitent pas de désulfuration. Appar récemment sur le marché " micotacs". | *Biomasse 20 KW-1MW * Fossile 300 -500MW | *CH ₄ > 30 % *Déshydratation *Compression 4-6 bar *Siloxanes =0% | *B 0,6 -0,8 *F 0,5 - 0,7 | Industrie et secteur tertiaire |

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

| | | | | | |
|--|--|---|---|------------------|--|
| <p>Moteurs à combustion interne (gaz, diesel)</p> | <p>C'est un moteur à combustion interne (plus un alternateur). Les conditions pour le biogaz doivent être remplies pour obtenir les avantages économiques de l'installation. Le moteur fournit un moteur à gaz « pauvre » adapté à la combustion de biogaz. Ce sont des moteurs commerciaux à étincelles ou à double carburant. Le rendement électrique est d'environ 25 à 35 %.</p> | <p>*(Gaz) (2,5 -6100) KW</p> <p>*(Diesel) (5 -1700)KW</p> | <p>*Debit > 500 Nm³/h</p> <p>*CH₄ > 40 %</p> <p>*H₂S < 100 mg/Nm³</p> <p>*Point de rosée < 5°C</p> <p>*pour lavapeur d'eau O₂ < 4 %</p> <p>*Cl < 50mg/Nm³</p> <p>*F < 25mg/Nm³</p> <p>*NH₃ < 30 mg/Nm³</p> | <p>0,8 - 0,9</p> | <p>Besoins en chaleur à basse température (hôpitaux, commercial, bâtiments.)</p> |
|--|--|---|---|------------------|--|

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

- **L'injection dans le réseau :**

La composition finale du biogaz injectable ainsi que sa pression dépendent évidemment des spécifications imposées par le gestionnaire du réseau. Ces dernières portent principalement sur les teneurs en méthane, en gaz carbonique, en hydrogène sulfuré et en oxygène, avec des contraintes supplémentaires sur la teneur en composés organohalogénés. Le gaz injecté doit en outre être odorisé avant l'injection et La composition finale du biogaz ainsi que sa pression dépendent évidemment des spécifications imposées par le gestionnaire du réseau, ces dernières portent sur les teneurs suivantes :

Tableau II.8: Caractéristiques requises du bio-méthane pour l'injection. [44]

| Caractéristiques | Spécifications |
|--|--|
| Pouvoir calorifique supérieur (conditions de combustion 0°C et 1,01325bar) | Gaz de type H : 10,7 à 12,8 KWh/Nm ³ (combustion 25°C) Gaz de type B : 9,5 à 10,5 KWh/Nm ³ (Combustion 25°C) |
| Indice de Wobbe (Conditions de combustion 0°C et 1,01325bar) | Gaz de type H : 13,46 à 15,70 KWh/Nm ³ (combustion 25°C) Gaz de type B : 12,01 à 13,06 KWh/Nm ³ (Combustion 25°C) |
| Densité | Comprise entre 0,555 et 0,70 |
| Point de rosé eau | Inférieur à -5°C à la pression maximale de service du réseau en aval du raccordement |
| Point de rosée hydrocarbures | Inférieur à -2°C de 1 à 70 bar |
| Teneur en soufre H ₂ S | < 30 mg/Nm ³ |
| Teneur en soufre Mercaptique | < 6 mg/Nm ³ |
| Teneur en CO ₂ | < 2,5 % (molaire) |
| Teneur en Tetrahydrothiophène (produit odorisé THT) | Comprise entre 15 et 40 mg/Nm ³ |
| Teneur O ₂ | < 100 ppm |
| Impuretés | Gaz pouvant être transporté, stocké et commercialisé sans subir de traitement supplémentaire |
| Hg | < 1 µg/Nm ³ |
| Chlore | < 1 mg/Nm ³ |
| Fluore | < 10 mg/Nm ³ |
| H ₂ | < 6 % |
| NH ₃ | < 100 mg/Nm ³ |
| CO | < 2 % |

Chapitre II : LA DIGESTION ANAEROBIE

Conclusion :

Les 55% des stations déclarent également utiliser le biogaz pour le chauffage des locaux, et l'excédent est brûlé sur une torchère pour éviter les émissions de gaz à effet de serre.

Globalement, 63% du biogaz est valorisé le reste étant brûlé en torchère Le méthane, lui est un gaz dont les effets sur le climat sont de 21 à 25 fois plus important que ceux du dioxyde de carbone (CO₂), c'est pourquoi on préfère le brûler en torchères dans les lieux d'enfouissement sanitaires qui produisent du biogaz en conditions anaérobiques afin de limiter son impact sur l'effet de serre.

Le dioxyde de carbone et le méthane sont des composés majoritaires du biogaz et sont des gaz à effet de serre qui est un phénomène naturel dont une quantité de l'énergie solaire émise par la terre sera absorbée et retenue sous forme de chaleur dans l'atmosphère basse, ce qui conduit à l'augmentation de la température moyenne du globe terrestre en provoquant le réchauffement climatique, l'effet de serre est un phénomène très important qui augmente la température du globe terrestre, si ce phénomène il existe plus la température du globe avoisine

– 18 °C, Mais les gaz libérés dans l'atmosphère en grande quantité accentuent ce phénomène ce qui conduit à l'augmentation de la température du globe à long terme et ceci perturbe l'environnement.

Chapitre III:

*Estimation du potentiel
énergétique, modélisation et
dimensionnement de digesteur*

Chapitre III: Estimation du potentiel énergétique, modélisation et dimensionnement de digesteur

III 1) Introduction :

Les objectifs de ce chapitre sont :

- L'estimation du potentiel énergétique
- Modélisation de digesteur
- Dimensionnement de digesteur

III 2) Estimation de la quantité de biogaz produite :

➤ **La valorisation des boues de la station d'épuration des eaux usées en biogaz :**

A partir de l'expérience qui il a fait sur les boues de la station de Tipaza 'chenoua [45], il a estimé un potentielle de biogaz **Pot(b)=0.550 m³/kg** (il a appelé coefficient de conversion (variant entre 0.5 et 0.7 pour le traitement des eaux usées par boues activées)).

Plus générale, le potentiel de production de gaz (Bo) d'un substrat est le volume total de gaz produit par unité de matière organique traitée pour un temps de rétention infini ; il est fonction de la biodégradabilité du substrat. La constante Bo est de l'ordre de 0,5 m³/kg [46], Alors, à partir des résultats expérimentaux nous pouvons déterminer le volume de biogaz par l'équation1

$$\text{Pot (biogas)} = V_b / Q_{vs} \text{ (Eq1).}$$

V_b= volume du biogaz cumulé

Q_{vs}= quantité de matières volatiles

Avec :

$$Q_{vs} = (\text{quantité des boues brutes}) \times (\% \text{ matière sèche}) \times (\% \text{ de la matière volatile.}) \text{ (Eq2).}$$

(Ils ont supposé qu'une densité de 1 pour les boues cd 1 kg = 1 m³)

Et nous supposons aussi dans un premier temps que le potentiel biogaz serait Identique pour chaque mois et nous déterminons ainsi le Volume du biogaz cumulé correspondant (règle de trois), Alors on a :

A partir de ses notion on trouve que :

$$BV = SSQ \times DM \times RVM \times CC \quad (\text{Eq3}).$$

Avec :

***BV**: volume de biogaz

***SSQ**: la quantité des boues humide

***DM**: la quantité de la matière sèche (en %)

***RVM**: matières volatiles sèches MVS (en %)

Avec les données collectées à partir de la station d'épurations de la Wilaya de Tipaza pour les quatre années 2017-2018-2019-2020 : (sont dans l'annexe [A])

- **Méthode de calcul :**

Un programme est réalisé sur le matlab pour déterminer le potentiel du biogaz

III 3) La valorisation de biogaz récupéré à partir de la valorisation des boues

- **Energie totale (Et) et disponible annuellement : [46]**

Le PCI du méthane vaut 9,94 kWh/m³ dans les conditions normales de température et de pression. A 60 % de méthane, il vaut 6 kWh/m³.

On en déduit l'énergie totale Et :

$$Et = P_{CH_4} \times PCI \quad (\text{Eq5}) \quad [46]$$

- **Energie valorisable (Ev) annuellement :**

L'énergie récupérable correspond à 95% de l'énergie potentielle disponible Biogaz. De manière générale, 5% de cette énergie ne sera pas valorisée. Vraiment nécessaire maintenir le potentiel de production de méthane en excès par rapport à la consommation. Dispositif de combustion pour assurer le débit nominal d'alimentation brûleur. Le biogaz éliminé est ensuite éliminé dans la torche.

- **Energie nécessaire au chauffage (Echauff) du digesteur : [47]**

Les besoins en chaleur lors de la digestion de boues biologiques représentent 30 % de l'énergie valorisable

$$Echauff = (Ev / 0,9) \times 0,3 \quad (\text{Eq6})$$

Energie utile Eutil disponible :

$$E_{util} = E_v - E_{chauff} \quad (Eq7)$$

➤ **Valorisation en énergie électrique :**

Sachant que l'énergie valorisable vaut E_v (Mwh/an). On utilisant un moteur de 65 kW micro turbine. son rendement électrique (EE) est fixé à 30% et son (TE) à 50 % [48]. Alors que un rendement de 30 % pour produire de l'électricité on obtient : $EE = E_v * 0,3$ (Eq7)

➤ **Valorisation on énergie thermique :**

Avec un rendement de à 50 % de l énergie thermique est de :

$$ET = EV * 0.5 \quad (Eq8)$$

III 4) Dimensionnement du digesteur :

➤ **Une petite Présentation de la station d'épuration des eaux de chenoua :**

- 💧 La station d'épuration de Chenoua est mise en exploitation en janvier 2008, sa capacité nominale est de 70 000 équivalents habitants, elle a été conçue pour traiter un débit de 11 200 m³/j par le processus de boues activées faible charge – aération prolongée pour protéger le milieu récepteur.



Figure III.1 : STEP chenoua

DONNEES TECHNIQUES:

- **capacité d'épuration**

70 000 Eq. Hab

- **capacité max**

11 2000 m³/j

- **capacité atteinte**

168000 m³/j

- **Procédé d'épuration**

Boue activée

- **Traitement des Boues : déshydratation mécanique par des filtres à bande**



Figure III.2 : les deux clarificateurs de la station



Figure III.3 : Les eaux traitées d'épuration



Figure III.4 :(a) Le dé grilleur de la station d'épuration de chenoua

(b) Le traitement biologique au niveau de la station d'épurations de chenoua



Figure III.5 : Décantation au niveau de l'épaisseur au niveau de la station d'épuration de chenoua

• **La consommation électrique annuelle de la station :**

L'électricité annuelle consommée dans la station d'épuration à boues activées a été estimée à 1,2 Gwh.

Tableau III.1: Consommation annuelle d'électricité dans la station d'épuration de Tipasa

| | la consommation Annuelle en parentage | La consommation Annuelle (GWh). |
|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Sewage lift | 4.27 | 0.0584 |
| Prétraitement | 6.91 | 0.0823 |
| Biological treatment | 70.05 | 0.84 |
| Clarification | 6.5 | 0.08 |
| Sludge conditioning | 1.9 | 0.0228 |
| Management and laboratory | 4.6 | 0.0552 |
| Outdoor lighting | 5.77 | 0.0692 |

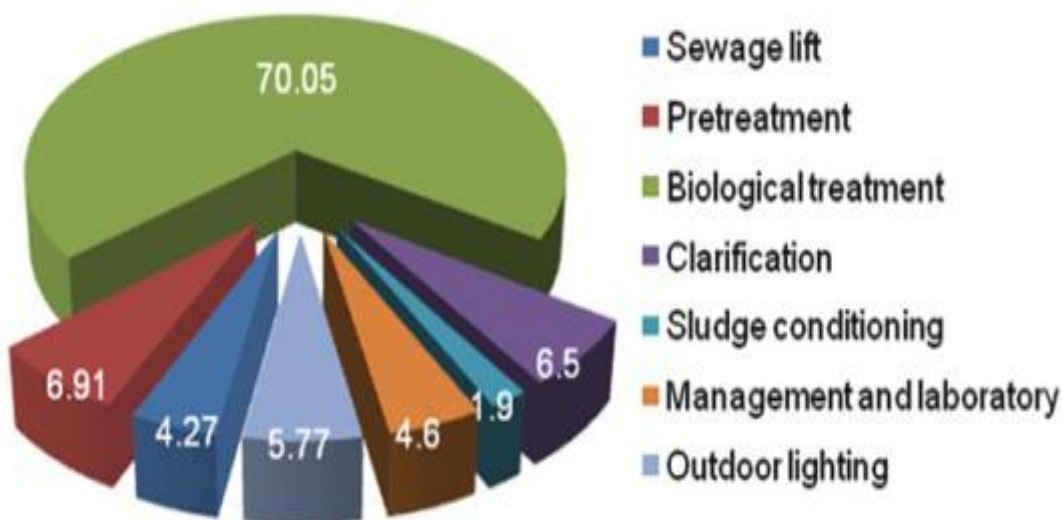
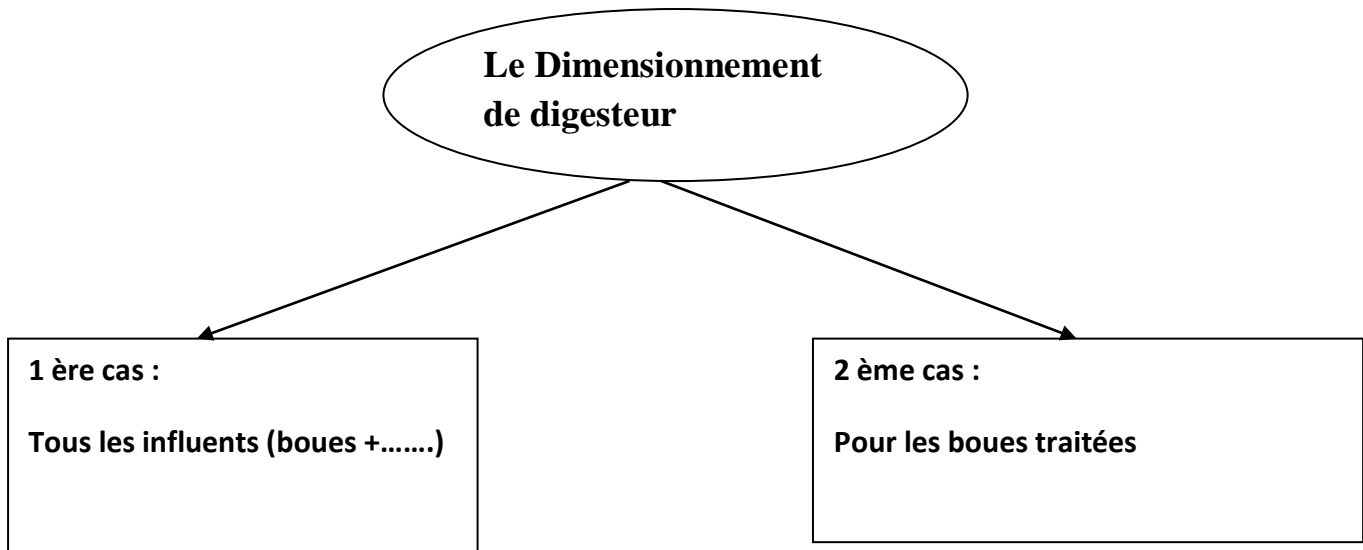


Figure III.6 : Consommation annuelle d'électricité en %

- **Dimensionnement de l'installation :**

Elle s'est faite selon le schéma suivant :



III 4.1) digesteur pour tous les influents :

a) Calcul du volume nécessaire : [43].

Le choix du procédé de digestion anaérobie s'est porté sur un digesteur mésophile de type Infiniment mélangé. Le temps de séjour dans le digesteur ou temps de rétention hydraulique (TRH) est de 25 à 30 jours. Le volume effectif du digesteur en considérant le temps de séjour le plus grand est :

$$V_d = Q \times TRH \text{ (Eq8)}$$

En tenant compte du volume nécessaire, il faut donc un digesteur d'un volume total de :

$$V_{tot} = 5040 \text{ m}^3$$

B) Géométrie de digesteur : le choix s'est porté pour un digesteur cylindrique avec un rapport diamètre/hauteur égal à

Avec $d=H$

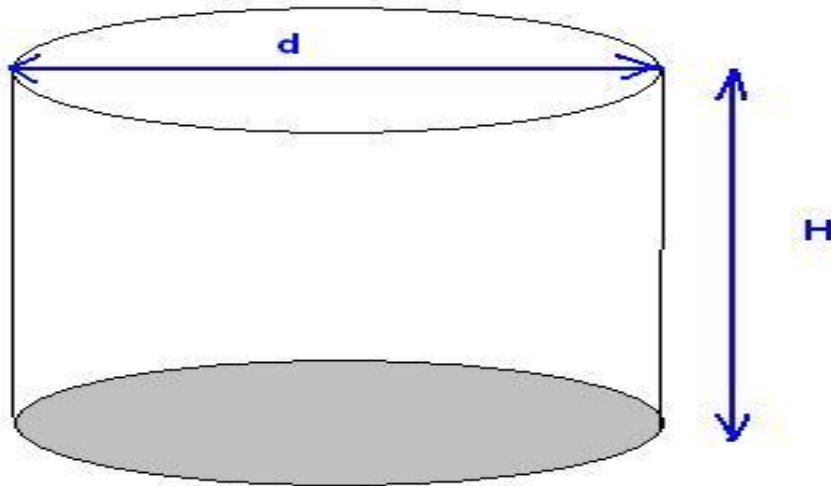


Figure III.7 : schéma représentatif d'un Digesteur cylindrique

Le volume de ce digesteur s'écrit ainsi :

$$V_{\text{tot}} = \left(\frac{1}{4}\right) H * \pi * d^2 \quad (\text{Eq9})$$

Avec $H=d$ on peut déduire la hauteur et le diamètre du digesteur

III 4.2) Dimensionnement de digesteur pour les boues de la station : [49]

- **Dimensionnement du pré fosse :**

En estimant la densité des substrats à 1000 kg/m³, le volume de la pré-fosse est donnée par :

Le volume du pré fosse = 2 * volume quotidien de substrats (en m³) (Eq10)

- **Dimensionnement de la fosse de stockage ;**

Le volume de la fosse de stockage dépend de la fréquence d'épandage, dans notre cas elle est estimée à 30 jours. Le volume de la fosse de stockage est alors donné par la formule

Le volume de la fosse de stockage = 30 * volume quotidien de substrats (en m³)

- **Dimensionnement du digesteur ;**

Le digesteur est modélisé par une cuve de forme cylindrique et ayant à sa base

Inférieur une demi-sphère **Figure III.8**



Figure III.8 : Forme du digesteur dimensionné

- **Le volume total :**

Le volume est calculé selon deux formules :

Volume total = temps de séjour des substrats * volume quotidien de substrats (en m³)

Et volume total = volume de la partie cylindrique + volume de l'hémisphère.

- **Cas de la partie cylindrique :**

Selon la référence [49], il est dit que pour $X < 2$ Connaissant le volume de la partie cylindrique, on peut déterminer la surface interne

On pose : $X = \frac{H}{R}$

Pour avoir moins de pertes par conduction il faut que le $H/R=2$

Toutefois, dans certains cas ce rapport ne peut pas être égal à 2 mais une autre valeur, et pour déterminer le rayon :

$$V_{cy} = \pi R^2 H \quad H = X * R \text{ (en m) et } R = \sqrt[3]{\frac{\text{volume du cylindre}}{\pi * X}} \quad \text{(Eq11)}$$

Il est dès lors possible de faire varier le rapport entre le rayon et la hauteur pour connaître la surface et estimer le réalisme d'une telle construction, en prenant en compte la construction et les pertes thermiques correspondantes.

- **Cas de la partie hémisphérique :**

Quant à la partie hémisphérique, son diamètre sera le diamètre du cylindre.

III 5) La modélisation du fonctionnement du digesteur :

III 5.1) La modélisation de processus de méthanisation : [50]

- **Le modèle cinétique de la bio méthanisation :**

Dans le but de décrire l'évolution temporelle ou non de la dégradation anaérobie, différents modèles dynamiques ont été développés. Dans le cas de la digestion anaérobie, la cinétique de premier ordre est souvent employée et particulièrement pour la phase d'hydrolyse. Cependant, les modèles cinétiques ne prennent pas en considération l'aspect physique de la digestion anaérobie, à savoir que la transformation du substrat en produits se fait grâce à la présence de population bactérienne. C'est pourquoi, des modèles biologiques ont été développés.

- **Modèle biologique de la méthanisation**

Les phases de la digestion anaérobie (mis à part la phase hydrolyse) sont considérées comme des étapes métaboliques. Les cinétiques biologiques reposent sur deux principes : une consommation du substrat et une croissance bactérienne.

La croissance bactérienne est représentée par l'équation de 1^{er} ordre suivante :

$$\frac{dB}{dt} = (\mu - k_d)B \quad (\text{Eq12}).$$

* B : est la concentration en microorganismes à l'instant t

* μ : le taux de croissance

* k_d : le taux de mortalité des bactéries.

1. La consommation du substrat est décrite suivant l'équation :

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{1}{y} \times \frac{dB}{dt} \quad (\text{Eq13})$$

* S : représente la concentration du substrat

* Y : la fraction du substrat convertie en biomasse (rendement en biomasse).

L'effet de la concentration du substrat sur la croissance des bactéries est dans la plupart des cas décrit par le modèle mathématique de Monod :

$$\mu(S) = \mu_{max} * \frac{S}{K_S + S} \quad (\text{Eq14})$$

μ_{max} : est le taux de croissance maximal

K_S : est la constante de demi-saturation.

La concentration du produit obtenu (P) est décrite selon le principe de la conservation de la

masse pendant la réaction biochimique. La quantité du substrat dégradé correspond à la somme du produit formé et la population bactérienne créée

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{ds}{dt} + \frac{dB}{dt} \quad (\text{Eq15})$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{1-y}{y} \times \mu_{max} \frac{S}{(K_S+S)} \quad (\text{Eq16})$$

On distingue différents modèles de prédiction de la production de biogaz à partir de la décomposition de la Matière organique (MO) [38]

- Modèles à une phase

Ils sont axés sur la description de l'étape limitant du processus. Cette étape peut être différente selon les conditions d'opération du réacteur (phase hydrolyse, conversion des acides gras en biogaz ou la phase méthanogène) [51]

- Modèles à deux phases (bi phasique)

Ils considèrent l'étape acidogène et méthanogène séparément. Cette approche permet d'avoir des prédictions du comportement de chaque phase d'une manière distincte (croissance de la population bactérienne, potentiel hydrogène et concentration en ammoniac ainsi que la quantité de biogaz produite [52]

- Modèles plus complexes (trois ou quatre phases)

Ces modèles prennent en considération la cinétique de l'hydrolyse et de l'acétogénèse en plus des autres étapes de la digestion anaérobie (digestion anaérobie, modèle N°1, ADM1) [50]

III 5.2) La modélisation d un digesteur :

On va faire la modélisation dans 2 étapes :

On choisira le model (HAM) pour modaliser la phase acidogènes et on choisira un model a une phase pour modéliser la production de méthane (l'étape de méthanogènes)

➤ **Le model (HAM) :**

L'objectif du modèle est de prédire la production des composés organiques à partir de la matière organique soluble à 70°C plus générale mais on considère une température dans des conditions normales de fermentation c'est-à-dire en condition mésophile à 35°C après la validation de modèle HAM dans les 2 conditions par plusieurs chercheurs. Et il a donné de meilleurs résultats. Les étapes intermédiaires revêtent une importance moindre que l'étape acidogène : les phases d'hydrolyse et acidogènes ont donc été regroupées en une seule étape en considérant que la matière est déjà soluble. En outre, l'étape d'hydrolyse n'est pas considérée dans le modèle. Ce regroupement permet de s'affranchir des carbohydrates, des protéines, des lipides, des acides aminés et des acides gras à longue chaîne en considérant que la matière soluble (monomères) était composée essentiellement de glucose [53]. Ce substrat est utilisé par les bactéries acidogènes pour leur croissance ainsi que la production des composés organiques (acétique, lactique, formique et éthanol), du dioxyde de carbone et de l'hydrogène. Le modèle considère que la matière soluble (S) est convertie en composés organiques selon le principe diphasique. Une seule population

a)Hypothèses du modèle

La dynamique du modèle est basée sur les hypothèses suivantes :

- ❖ la matière soluble issue de l'hydrolyse des résidus alimentaires est composée de glucose
- ❖ les produits de la fermentation à 70 ou 35°C sont composés d'acide acétique, d'acide lactique, d'acide formique, d'éthanol et de la biomasse ;
- ❖ les acidogènes sont les organismes majoritaires dans le réacteur;
- ❖ la croissance bactérienne suit une cinétique de Monod;
- ❖ la température et le pH sont considérés constants tout au long de la réaction ;
- ❖ l'inhibition n'est pas considérée car elle n'a pas été observée pendant l'expérience.
- ❖ l'influence de l'hydrogène dans le digesteur n'est pas prise en compte, car il a été supposé que sa production et sa consommation avait lieu immédiatement [54]

Consommation du substrat :

- La variation de la concentration de la matière soluble en fonction du temps est exprimée par l'équation différentielle suivante :

$$\frac{ds}{dt} = -\mu \frac{X}{Y_x} \quad (\text{Eq17})$$

- La variation de la concentration des bactéries est représentée par :

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - K_d \times X \quad (\text{Eq18})$$

*S : représente la concentration du substrat (mg /L)

* μ_{max} : est le taux de croissance maximal (1/Jour)

* K_S : est la constante de demi-saturation (mg/L),

*X : est la concentration en microorganismes (mg VSS/L),

* k_d : le taux de mortalité des bactéries (1/Jour)

* Y_X : la fraction du substrat convertie en biomasse (mg-X/mg-S).

B) Equations de bilans de matière :

$$\frac{ds}{dt} = -\mu \frac{X}{Y_x}$$

$$\frac{dX}{dt} = \mu X - K_d * X$$

$$\frac{dX}{X} = (\mu - K_d) dt$$

$$\ln \frac{X}{X_0} = (\mu - K_d)t \quad (\text{Eq19}) \quad \text{Avec : } \mu = \mu_{max} \frac{S}{K_d+S} \text{ et } X=X_0 \cdot e^{(\mu-K_d)t}$$

On trouve à la fin :

$$\frac{ds}{dt} = -\mu_{max} \frac{S}{K_d+S} e^{\left(\mu_{max} \frac{S}{K_d+S} - K_d\right)t} \quad (\text{Eq20})$$

c) Production du substrat :

Taux de production de l'acide acétique :

$$\frac{dAA}{dt} = \frac{y_{AA}}{Y_X} \mu X \quad (\text{Eq21})$$

Taux de production de l'acide lactique :

$$\frac{dLA}{dt} = \frac{y_{LA}}{Y_X} \mu X \quad (\text{Eq22})$$

Taux de production de l'acide formique :

$$\frac{dFA}{dt} = \frac{y_{FA}}{Y_X} \mu X \quad (\text{Eq23})$$

Où Y_{AA} , Y_{LA} , Y_{FA} , (mg/mg-S) représente la fraction du substrat convertie (coefficient de rendement) en acide acétique, en acide lactique, et en acide formique respectivement.

➤ **LA 2 EME ETAPE DE LA MODELISATION EST DE LA PRODUCTION DE METHANE :**

❖ Modélisation de l'étape méthanogènes (la production de méthane)
(Ghufran Redzwan.2004) [55]

• **Pour l'étape 1 (la détermination de G_{MAX})**

Une équation pour décrire la réaction du premier ordre est donnée dans l'équation (24) et peut être utilisée pour représenter un modèle cinétique de transfert de masse global pour substrat dégradation. La fonction linéarisée pour l'équation (24) est donnée dans l'équation (25) et substitution directe de CH₄ production volumétrique (VP) de substrat à l'aide de L'expression de **Chen et Hashimoto**4 donne lieu à l'équation (26), ce qui rend la modélisation du procédé basée sur la fabrication de CH₄ possibles.

$$\frac{dS_t}{dt} = -k * S_t \quad (24)$$

Avec :

K : coefficient pour la réaction du premier ordre

S_t : Concentration du substrat (mg dm⁻³)

Et on a :

$$\ln\left(\frac{dS_{t=i}}{dS_{t=0}}\right) = -k * t_i \quad (25)$$

$$\ln\left(\frac{G_{max}-G_t}{G_{max}}\right) = -k * t_i \quad (26)$$

Où **t_i** est le temps pris à tout moment = i pendant la opération

Une valeur pour (G_{max}) dans l'équation (26) doit être connue, cependant, et cela ne peut pas toujours être représenté par la valeur maximale expérimentale de G_t. obtenu par la fin d'un cycle d'alimentation par lots ,La représentation graphique de la production de gaz cumulée mesurée indique que bien que le taux de production de gaz a ralenti après 72 h il ne s'est pas arrêté et d'obtenir une valeur réelle pour G_{max} impliquerait l'exécution du expérimentateur sur une période plus longue, théoriquement au temps infini. Pour des raisons pratiques, cela n'est pas possible car la famine des consortiums microbiens se produirait entraînant des conditions endogènes et la lyse cellulaire conduisant au métabolisme secondaire du substrat. Ce problème a été surmonté dans quelques études cinétiques où une fonction non linéaire a été appliquée. Pour faciliter l'application, une approche mathématique a été adoptée dans cette étude qui a utilisé une fonction mathématique comme indiqué dans l'équation (27) pour ajuster les données aux résultats expérimentaux

$$y = y_{max} e^{m/x} \quad (27)$$

Avec :

m : coefficient de la fonction temps spécifique

x : n'importe quelle valeur sur l'axe des x

y : toute valeur sur l'axe des y

y_{max} : valeur maximale sur l'axe des y

Pour conserver la même nomenclature, l'équation (27) est réécrit comme equ (28) dans lequel G_t et G_{max} remplacent les variables y et y_{max} , respectivement, et une linéaire version de l'équation est donnée dans l'équation (29), où le coefficient m est représenté par la pente de la droite, et le coefficient G_{max} est le CH_4 maximum pris comme la valeur expérimentale maximale

$$G_t = G_{max} e^{m/t} \quad (28)$$

$$\ln(G_t) = \ln(G_{max}) + \left(\frac{m}{t}\right) \quad (29)$$

Alors avec l'équation (29) et les données expérimentales on peut déterminer la valeur de G_{max}

- **L'étape 2^{ème} est la détermination de k_0 pour le modèle du premier ordre Le modèle générale**

Les résultats présentés fournissent une méthode graphique pour estimer la valeur de (G_{max}) qui pourrait être utilisée dans les modèles du premier ordre. Le modèle utilise l'équation (30) comme expression cinétique de base concernant la production cumulée de biogaz.

$$G_t = G_{max}(1 - e^{-k_0 \cdot t}) \quad (30)$$

G_t = production cumulée de CH_4

G_{max} = production cumulée maximale de CH_4

t = temps de digestion

K_0 = taux de coefficient spécifique

Une forme linéaire de l'équation (30) a été dérivée et est montrée dans l'équation (31)

$$\ln\left(\frac{G_{max} - G_t}{G_{max}}\right) = -k_0 \cdot t_i \quad (31)$$

Alors par les équations (30) et les données expérimentales de G_t par différentes périodes t_i et on a aussi la valeur de G_{max} alors à la fin on peut déterminer k_0 et aussi notre modèle cinétique de la production de méthane dans la digestion anaérobie de la matière organique

$$G_t = G_{max}(1 - e^{-k_0 \cdot t})$$

Avec :

G_t = production cumulée de CH_4

G_{max} = production cumulée maximale de CH_4

t = temps de digestion

K_0 = taux de coefficient spécifique

- Les données expérimentales de G_t en fonction de t_i :

TABLEAU III.2 : données expérimentales de la variation de G_t en fonction de temps dans les conditions mésophile [55]

| T(h) | G_t (cm³) |
|-------------|--|
| 1 | 110 |
| 2 | 160(+/-) 5 |
| 3 | 200(+/-) 5 |
| 5 | 290 |
| 6 | 350(+/-) 5 |
| 7 | 420(+/-) 30 |
| 11 | 570(+/-) 50 |
| 12 | 590(+/-) 60 |
| 23 | 740(+/-) 70 |
| 24 | 750(+/-) 60 |
| 28 | 820(+/-) 100 |
| 48 | 880(+/-) 110 |
| 72 | 940(+/-) 120 |

- Dans la condition suivante :

*digesteur anaérobie mixte (alimenté par lots)

*Température de 35 °C (mésophile)

Conclusion :

La technologie des réacteurs permet de réduire les émissions de méthane sauvage en recyclant, de manière structurée, les déchets organiques vers notamment la production d'énergie. Le nombre d'installations progresse rapidement, ce qui contribuera à la diminution de la consommation de l'énergie fossile

Chapitre IV :

Résultats et discussion

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1) Introduction :

Le dernier chapitre présente une analyse générale des résultats obtenus. Il aborde tous les résultats de la partie de la valorisation énergétique et aussi les procédés de la valorisation (les résultats du dimensionnement et de la modélisation) ainsi que les avantages environnementaux, sociaux et économiques d'une telle application.

IV.2) les résultats de la valorisation des boues de la station en biogaz pour différentes années :

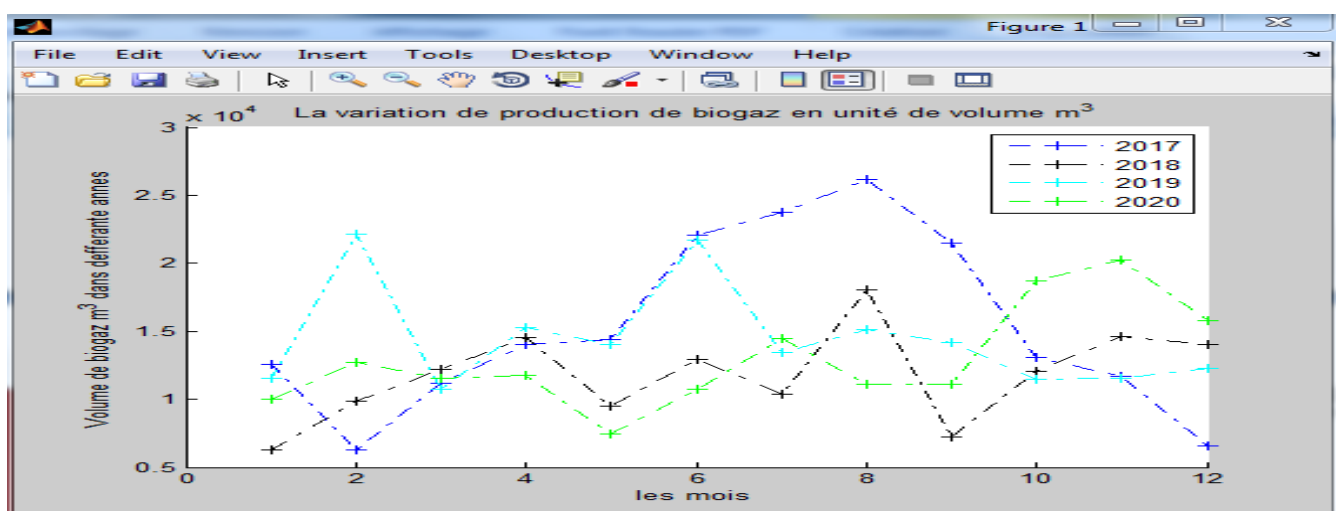


Figure IV.1 : l estimation de la production du biogaz a partir des boues de la stations d épurations de chenoua dans des différentes années (2017-2018-2019-2020)

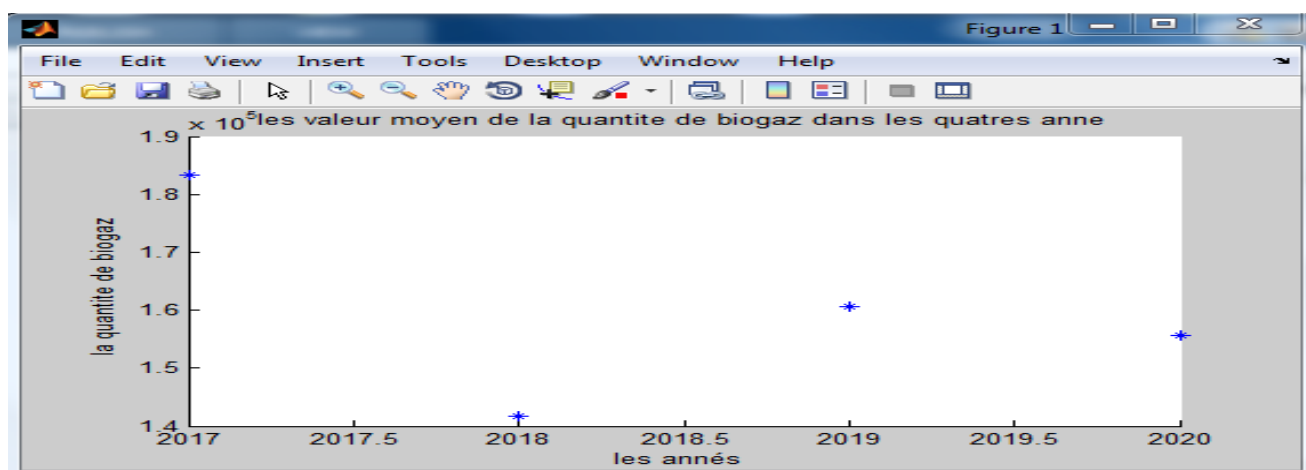


Figure IV.2 : l estimation de la quantité moyenne de production du biogaz dans les quatres années (2017-2018-2019-2020)

Chapitre IV : Résultats et discussion

- **Interprétation :**

On remarque que la production de méthane durant une seule année n'est pas uniforme même si on parle sur les quatre années. On remarque aussi des variations et des pics non uniformes,

On constate aussi que la production est plus grande pendant l'année 2017 même si on a tous connu une augmentation de la population avec les années alors que la quantité des boues dans la station augmente aussi mais on remarque que ce n'est pas un indice pour estimer la production de biogaz. Je pense que c'est dû au pourcentage de matière organique (la matière volatile) et cette dernière est primordiale dans le processus de production de biogaz dans ces boues et ce dernier a cause de la diversité des aliments à différentes périodes alors que l'on parle sur la production de biogaz on parle sur la nature des boues et la quantité de la matière organique c'est pas juste la quantité des boues

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.3) les résultats de la valorisation énergétique de biogaz récupérées a partir des boues pendant plusieurs années :

Tableau IV.1: les résultats (estimation) de la valorisation de biogaz dans les quatre années (2017-2018-2019-2020)

| | Les valeurs du biogaz | Biogaz cumules | Et (MWh/an) | Ev (MWh/an) | E Chau (MWh/an) | E Disp MWh/an | Val élec/thrm (Gwh/an) |
|------|---|---------------------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|------------------------|
| 2017 | BV = 1.0e+04 * 1.2598 0.6252 1.1209 1.4018 1.4424 2.2100 2.3760 2.6129 2.1502 1.3087 1.1703 0.6579 | BV_T = - 1.8336e+05 | 1283.52 | 1219 | 384.303 | 768 | EE= 0.36 ET=0.60 |
| 2018 | BV = 1.0e+04 * 0.6267 0.9878 1.2170 1.4561 0.9500 1.2939 1.0338 1.8022 0.7231 1.2042 1.4632 1.4034 | BV_T = - 1.4161e+05 | 991 | 942 | 314 | 628 | EE= 0.28 ET=0.47 |

Chapitre IV : Résultats et discussion

| | | | | | | | |
|------|---|---------------------------|---------|----------|---------|---------|--------------------|
| 2019 | BV = 1.0e+04 * 1.1522 0.9276 1.0748 1.5252 1.4011 2.1723 1.3443 1.5133 1.4180 1.1481 1.1512 1.2244 | BV T = - 1.6052e+05 | 1123640 | 1067.458 | 355.819 | 711.639 | EE=0.32 ET=0.53 |
| 2020 | BV = 1.0e+04 * 1.0022 1.2740 1.1578 1.1742 0.7453 1.0720 1.4457 1.1080 1.1082 1.8689 2.0215 1.5815 | BV T = - 1.5559e+05 | 1089 | 1034 | 344 | 690 | EE=0.31 ET=0.52 |

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Interpretation

A partir du **Tableau IV.1** On remarque que la valeur énergétique lors de la conversion de biogaz en énergie est presque la même dans les quatre années sauf dans l'année 2017, on remarque une légère augmentation et on peut parler sur cette quantité lors de la valorisation d'une année.

la valorisation du biogaz en électricité a donné des résultats satisfaisants lorsque l'on parle des déchets non utiles de la station et des boues déjà dégradées et même si c'est une station moyenne de 75000 EH.

Si l'on prend par exemple l'énergie électrique valorisable durant l'année 2017, elle devrait remplacer 31,5 % de l'électricité conventionnelle consommée dans la STEP. Même si pour les autres années, presque la même conception lorsque l'on parle de la quantité valorisable,

IV.4) Résultat de l'énergie valorisable (Electrique /Thermique) durant l'année 2020 :

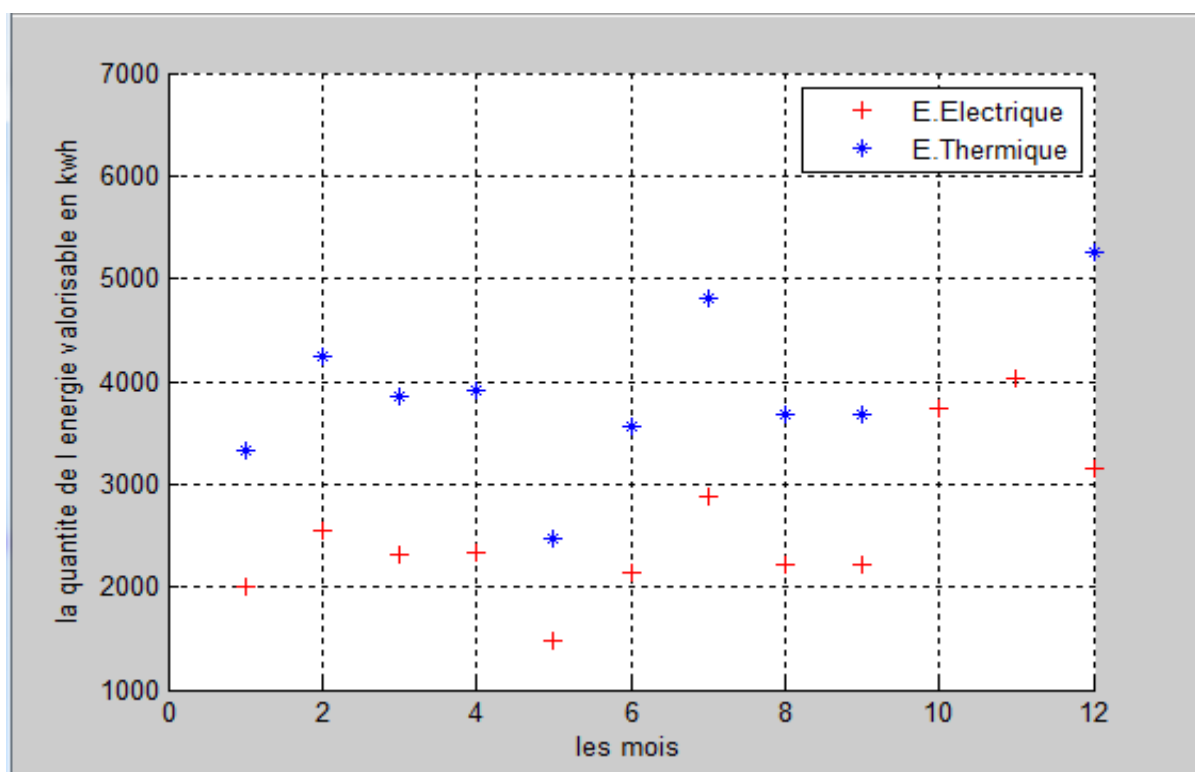


Figure IV.3 : l'estimation de l'énergie valorisable (Electrique et Thermique) durant l'année 2020

📌 Interprétation:

Si l'on parle de la variation de la quantité de l'énergie valorisable sur une année dans les 12 mois, elle n'est pas uniforme à cause de la variation de la quantité de biogaz récupérable dans ces mois. Et c'est ce que montre LA

Figure IV.3

IV.5) les résultats de dimensionnement de digesteur :

IV.5.1) les résultats de dimensionnement de pour toutes les effluents

la station d'épurations

Dimensionnement de l'installation :

Calcul du volume nécessaire : Le choix du procédé de digestion anaérobie s'est porté sur un digesteur mésophile de type Infiniment mélangé. Le temps de séjour dans le digesteur ou temps de rétention hydraulique (TRH) est de 25 à 30 jours. Le volume effectif du digesteur en considérant le temps de séjour le plus grand est :

$$Vd = Q \times TRH$$

$$Vd = 168 \times 30 \text{ et alors } Vd = 5040 \text{ m}^3$$

En tenant compte du volume nécessaire, il faut donc un digesteur d'un volume total de :

$$V_{tot} = 5040 \text{ m}^3$$

b) géométrie de digesteur :

Nous avons choisi un digesteur cylindrique avec un rapport diamètre/hauteur égal à 1.

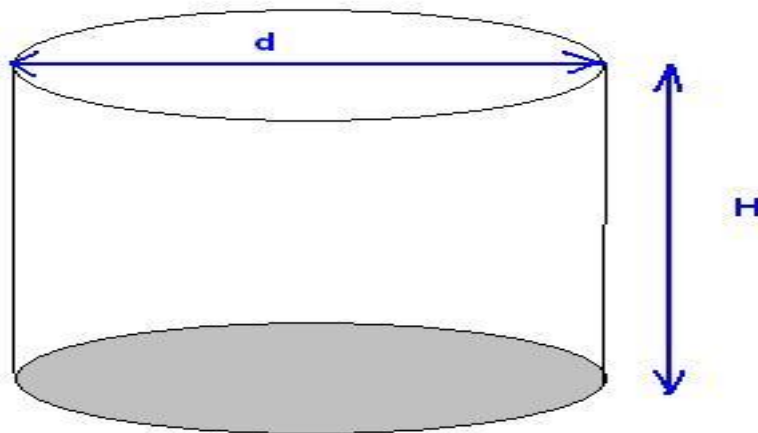


Figure IV.4: Digesteur cylindrique

Le volume de ce digesteur s'écrit ainsi : $V_{tot} = \frac{1}{4} H * \pi * d^2$

D'un volume total de 5040 mètres cubes, on en déduit la hauteur et le diamètre du digesteur

On me $H=d$ est on trouve que $H=d=19 \text{ m}$

- **Interprétation :**

Lorsqu'on parle par les normes des digesteurs ces résultats sont assez plus grandes et presque non réalisables dans la réalité même économiquement non fiable

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV5.2) les résultats de Dimensionnement de digesteur pour les boues traite :

-Dimensionnement de la pré-fosse.

Le volume du pré fosse est donné par l'expression :

On a le volume quotidien de substrats =30

Le volume du pré fosse = 2 * volume quotidien de substrats = 60 m³

Nous allons prendre un pré fosse en forme de parallélépipède rectangle de dimensions **longueur = 6m, largeur= 5m et hauteur = 2m.**

Dimensionnement de la fosse de stockage.

Le volume de la fosse de stockage est donné par l'expression :

Le volume de la fosse de stockage = 30 * volume quotidien de substrats = **900 m³**. Nous allons prendre un pré fosse en forme de parallélépipède rectangle de dimensions:

longueur = 15m, largeur= 10m et hauteur = 6m.

Dimensionnement du digesteur.

En prenant un temps de séjour des substrats de **30 jours**, le volume de la partie cylindrique est donné par l'expression :

Volume totale = temps de séjour des substrats * volume quotidien de substrats
= 900 m³

On choisit comme volume du cylindre = 700 m³ et volume de l'hémisphère = 200 m³

Cas de la partie cylindrique :

En procédant comme décrit dans le chapitre précédent le dimensionnement, on prend x=3, donc H=3R et on déduit : H

$$H = X * R \text{ (en m)}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{\text{volume du cylindre}}{\pi * x}} \quad \text{Alors :} \quad R = \sqrt[3]{\frac{700}{\pi * 3}} = 4.2 \text{ m}$$

Alors que :

$$H = 3 * 4.2 = 12.6 \text{ m}$$

Cas de la partie hémisphérique

Elle a un rayon de 4.92m

Tableau IV.2 : résultat de dimensionnement de digesteur des boues

| Dimensions de la pré fosse | | | Dimensions de la fosse de stockage | | | Dimensions du digesteur | | |
|----------------------------|-------------|-------------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|----------------------|
| | | | | | | Partie cylindrique | | Partie hémisphérique |
| Longueur (m) | Largeur (m) | Hauteur (m) | Longueur (m) | Largeur (m) | Hauteur (m) | Rayon (m) | Hauteur (m) | Rayon (m) |
| 6 | 5 | 2 | 15 | 10 | 6 | 4.2 | 12.6 | 4.2 |

- Interprétation :**

Pour une station moyenne de (75000 eh), la taille de notre digesteur de biogaz est tout à fait acceptable et réalisable dans la réalité, même économiquement parlant. et si En parlant par d'autres tailles des digesteurs, nous avons également de très bons résultats dans les paramètres recommandés, qu'il s'agisse d'un ingénieur en énergie verte ou même Architectes et constructeurs

IV 6) Résultats de la modélisation :

IV.6.1) Résultats de la modélisation de la phase d acidogènes :

A cause d absences de la partie expérimentale dans cette étape la on prend les résultats de madame **Wassila ARRAS.2017 [56]** car on a met les mêmes hypothèses que elle

- Résultat de la simulation dans les conditions hyper thermophile :**

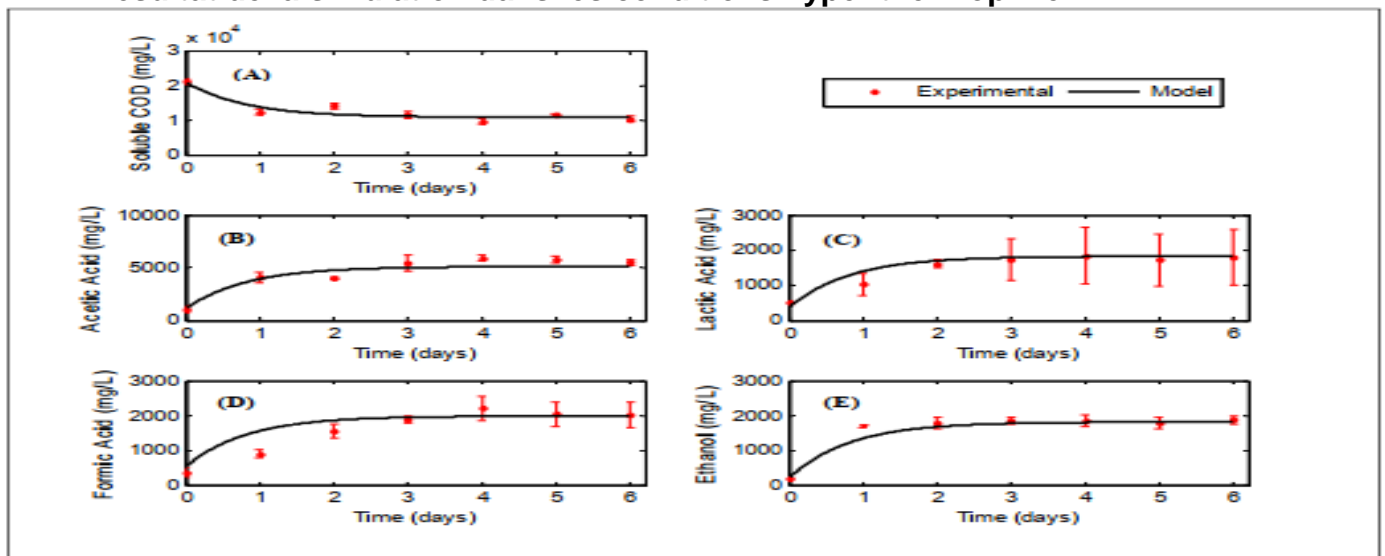


Figure IV.5 : Résultats expérimentaux et simulés de la consommation du substrat (A), de la formation de l'AA (B), de la formation de l'LA (C), de la formation du FA (D) et la formation de l'EOH (E) à 70

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Et pour les valeurs de R^2

Tableau IV.3 : Coefficients de corrélation entre les concentrations mesurées et prédites

| | DCOs | Acide Acétique | Acide Formique | Acide lactique |
|-----------------|------|----------------|----------------|----------------|
| Valeur de R^2 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.99 |

- Les paramètres cinétique estime a 70°C

Tableau IV.4 : Valeurs des paramètres cinétiques estimés à 70°C

| Paramètres | Unité | Valeur |
|-------------|------------|--------|
| μ_{max} | 1/j | 12.21 |
| K_S | mg/L | 150 |
| K_d | 1/j | 2.02 |
| Y_X | Mg-X/mg-S | 0.50 |
| y_{AA} | Mg-AA/mg-S | 0.40 |
| y_{LA} | Mg-LA/mg-S | 0.15 |
| y_{FA} | Mg-FA/mg-S | 0.14 |

- **Interprétation :**

Figure IV.5 montre que les résultats de la simulation sont cohérents avec les résultats expérimentaux contour. Les valeurs de meilleur ajustement de ce modèle sont présentées dans le **Tableau IV.4**. D'après les courbes de **Figure IV.5**, il existe une bonne corrélation entre les résultats Mesure réelle et valeur prédite du modèle C'est ce qu'il montre **Tableau IV.3**. Deux courbes À peu près la même forme, sauf dans le cas de l'acide formique, Les résultats de la simulation sont légèrement supérieurs aux résultats réels (les deux premiers jours). Les résultats montrent un bon accord entre les sorties du modèle et les résultats expérimentaux

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Résultat de la simulation dans les conditions mésophiles

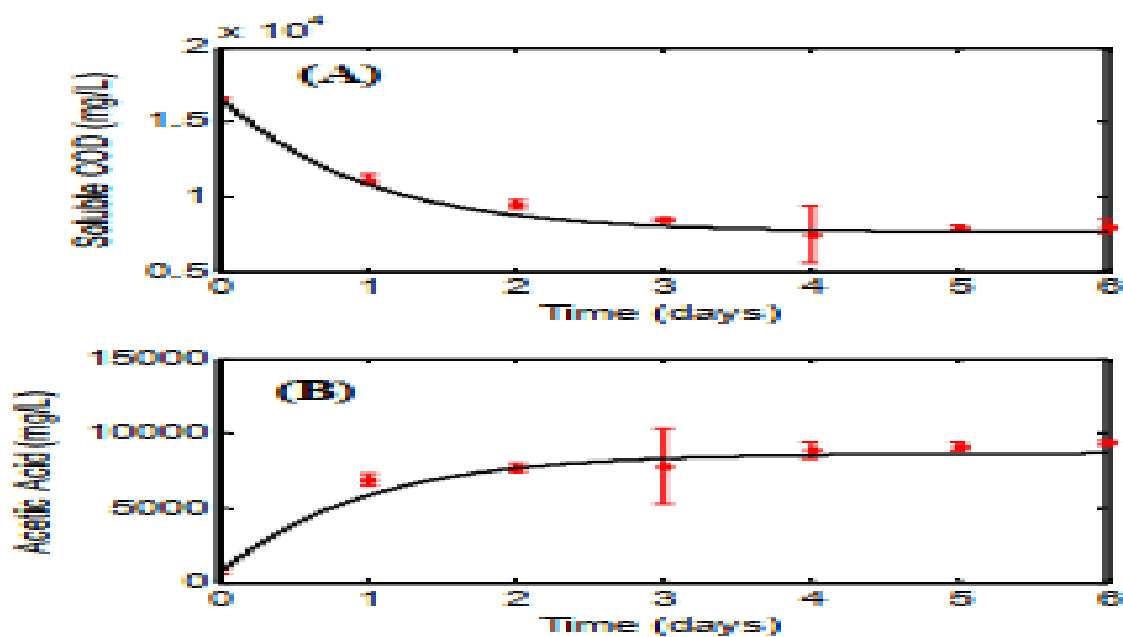


Figure IV.6 : Résultats expérimentaux et simulés de la consommation du substrat (A), de la formation de l'AA (B) à 35°C

- Les paramètres cinétiques de modèle dans condition mésophile :

Tableau IV.5 : Valeurs des paramètres cinétiques estimés à 35°C

| Paramètres | Unité | Valeur |
|-------------|-----------|--------|
| μ_{max} | 1/j | 12.89 |
| K_d | mg/L | 1.62 |
| y_{AA} | Mg-X/mg-S | 0.89 |

Tableau IV.6 : Coefficients de corrélation entre les concentrations mesurées et prédites à 35°C

| | DCOs | Acide Acétique |
|-----------------|------|----------------|
| Valeur de R^2 | 0.99 | 0.96 |

- Interprétation :

Les résultats montrent que le modèle peut également être utilisé dans des conditions mésophiles pour la prédiction des concentrations des acides produits à l'étape aciogénèse C'est ce qu'il montre

Tableau IV.6

IV.6.2) Résultats de la modélisation de la phase de la production de méthane (méthanogènes) :

- Résultats de la simulation et l'optimisation des paramètres inconnus

(Gmax et m)

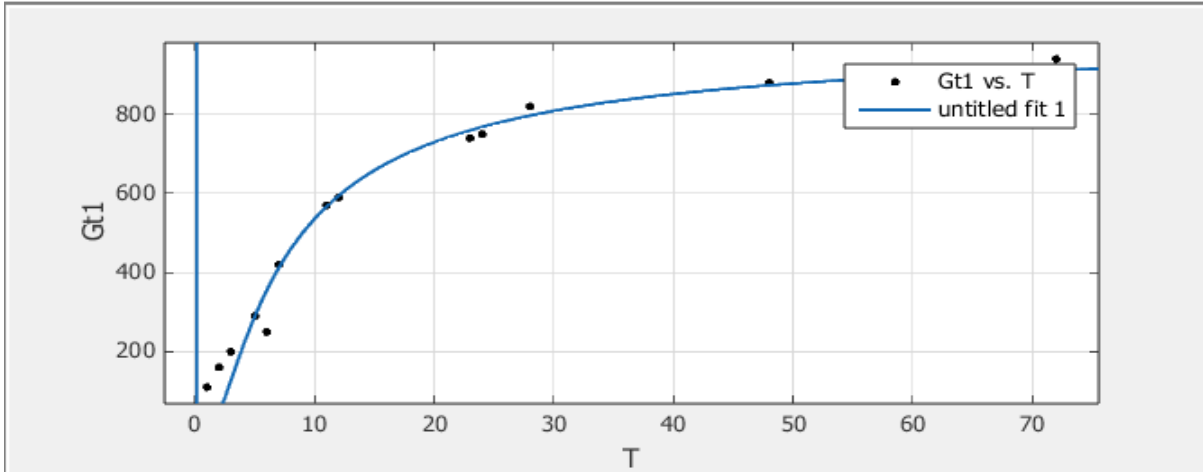


Figure IV.7 : Résultats expérimentaux et simulés de variation de quantité de biogaz Gt en fonction de temps

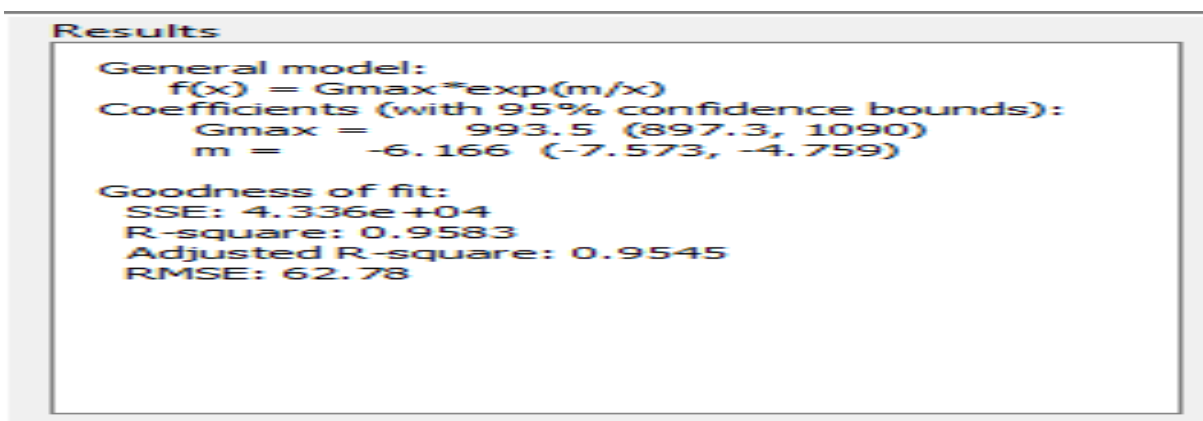


Figure IV.8: résultats des paramètres optimiser de notre modèle

- **Interprétation :**

Figure IV.7 montre que les résultats de la simulation sont cohérents avec les résultats expérimentaux contour. Les valeurs de meilleur ajustement de ce modèle sont présentées dans la Figure IV.8. D'après la courbe de Figure IV.7 il existe une bonne corrélation entre les résultats Mesure réelle et valeur prédite du modèle C'est ce qu'il montre Figure IV.8 avec un ($R^2 = 0.95$). Deux courbes À peu près la même forme, alors nous pouvons valider notre modèle

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Les résultats de l'Application de G_{max} dérivé de la fonction spécifique

$$G_t = G_{max}(1 - e^{-k_0 \cdot t})$$

Avec $G_{max} = 990$

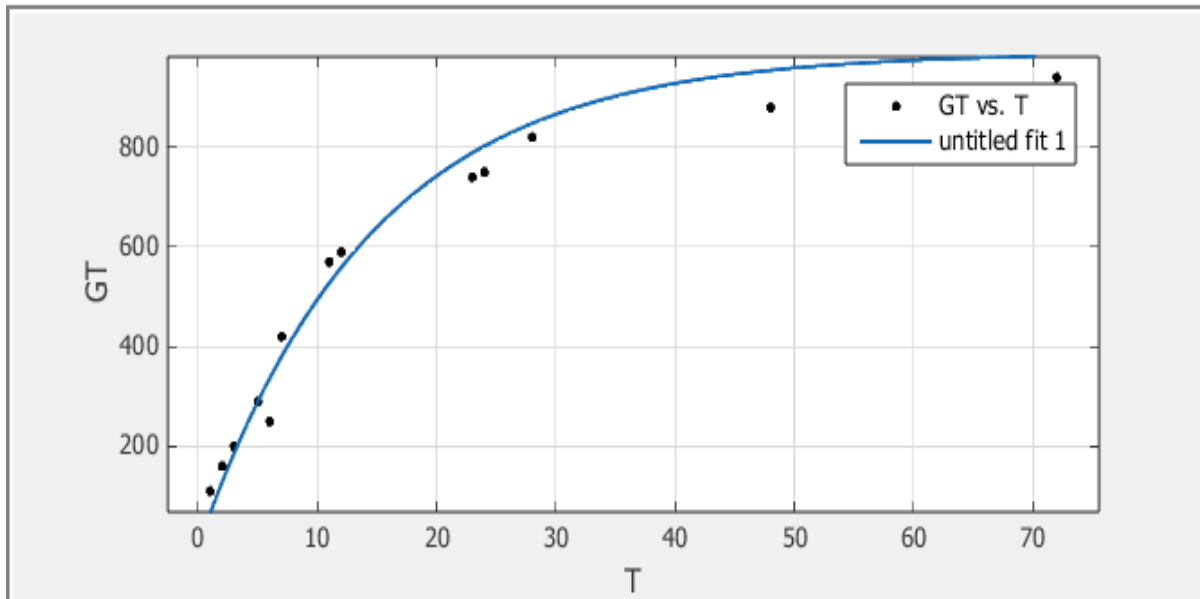


Figure IV.9: Résultats expérimentaux et simulés de la variation de quantité de la fonction GT en fonction de temps de model de premier ordre

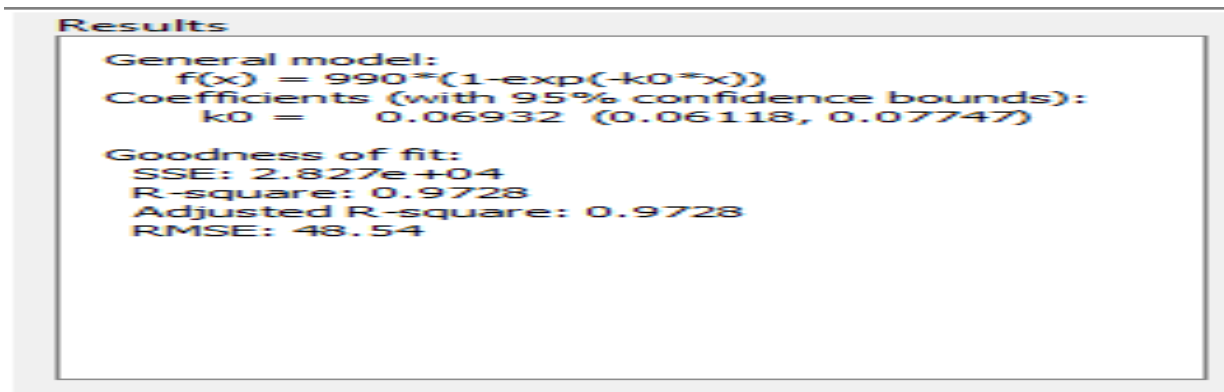


Figure IV.10: Résultats de l'optimisation pour la fonction linéaire de GTL en fonction de temps

- **Interprétation :**

(Figure IV.9) montre que les résultats de la simulation sont cohérents avec les résultats expérimentaux contour. Les valeurs de meilleur ajustement de ce modèle sont présentées dans Figure IV.10. D'après la courbe de Figure IV.9 il existe une bonne corrélation entre les résultats Mesure réelle et valeur prédite du modèle C'est ce qu'il montre Figure IV.10 avec un ($R^2 = 0.99$). Deux courbes À peu près la même forme, alors nous pouvons valider notre modèle $G_t = G_{max}(1 - e^{-0.07 \cdot t})$

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Résultats estime par le modèle :

Tableau IV.7 : Résultats estime par le modèle de l'expérience et le modèle du premier ordre

| T(h) | G_t (cm3) | $G_t = G_{max} * e^{m/t}$ | $G_t = G_{max}(1 - e^{-k_0*t})$ |
|------|--------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1 | 110 | 2 | 66 |
| 2 | 160(+/-) 5 | 45 | 129 |
| 3 | 200(+/-) 5 | 127 | 187 |
| 5 | 290 | 288 | 292 |
| 6 | 350(+/-) 5 | 354 | 339 |
| 7 | 420(+/-) 30 | 410 | 383 |
| 11 | 570(+/-) 50 | 565 | 531 |
| 12 | 590(+/-) 60 | 592 | 562 |
| 23 | 740(+/-) 70 | 757 | 792 |
| 24 | 750(+/-) 60 | 765 | 805 |
| 28 | 820(+/-) 100 | 794 | 850 |
| 48 | 880(+/-) 110 | 870 | 955 |
| 72 | 940(+/-) 120 | 908 | 983 |

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.1) Introduction :

Le dernier chapitre présente une analyse générale des résultats obtenus. Il aborde tous les résultats de la partie de la valorisation énergétique et aussi les procédés de la valorisation (les résultats du dimensionnement et de la modélisation) ainsi que les avantages environnementaux, sociaux et économiques d'une telle application.

IV.2) les résultats de la valorisation des boues de la station en biogaz pour différentes années :

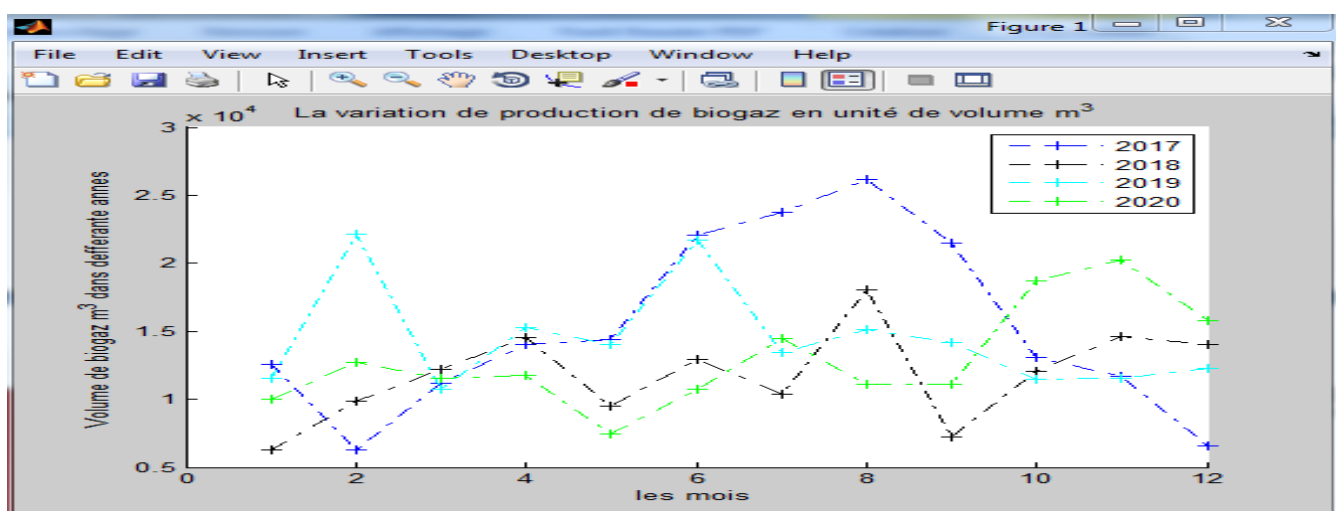


Figure IV.1 : l estimation de la production du biogaz a partir des boues de la stations d épurations de chenoua dans des différentes années (2017-2018-2019-2020)

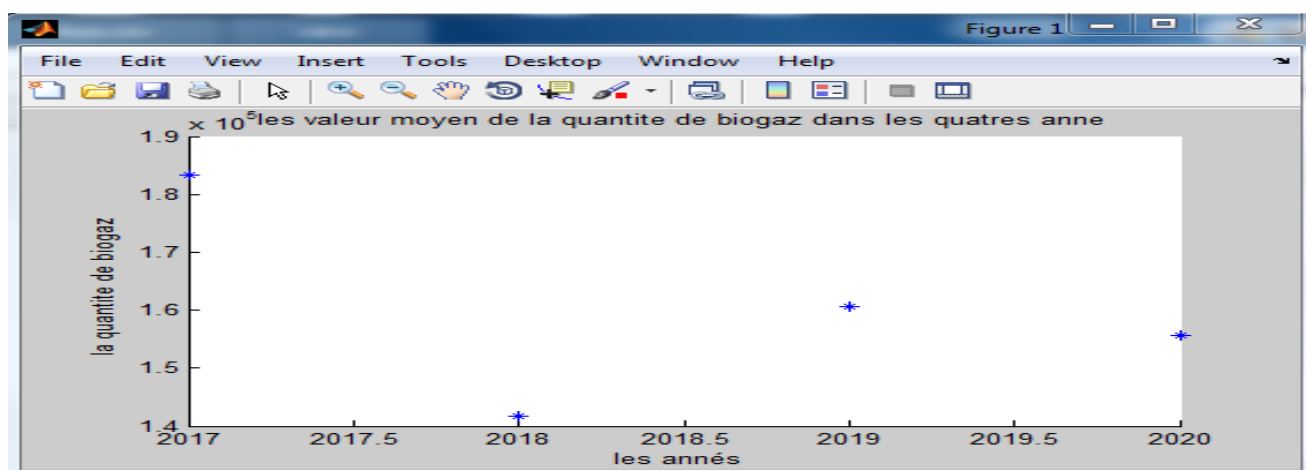


Figure IV.2 : l estimation de la quantité moyenne de production du biogaz dans les quatres années (2017-2018-2019-2020)

Chapitre IV : Résultats et discussion

- **Interprétation :**

On remarque que la production de méthane durant une seule année n'est pas uniforme même si on parle sur les quatre années. On remarque aussi des variations et des pics non uniformes,

On constate aussi que la production est plus grande pendant l'année 2017 même si on a tous connu une augmentation de la population avec les années alors que la quantité des boues dans la station augmente aussi mais on remarque que ce n'est pas un indice pour estimer la production de biogaz. Je pense que c'est dû au pourcentage de matière organique (la matière volatile) et cette dernière est primordiale dans le processus de production de biogaz dans ces boues et ce dernier a cause de la diversité des aliments à différentes périodes alors que l'on parle sur la production de biogaz on parle sur la nature des boues et la quantité de la matière organique c'est pas juste la quantité des boues

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV.3) les résultats de la valorisation énergétique de biogaz récupérées a partir des boues pendant plusieurs années :

Tableau IV.1: les résultats (estimation) de la valorisation de biogaz dans les quatre années (2017-2018-2019-2020)

| | Les valeurs du biogaz | Biogaz cumules | Et (MWh/an) | Ev (MWh/an) | E Chau (MWh/an) | E Disp MWh/an | Val élec/thrm (Gwh/an) |
|------|---|---------------------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|------------------------|
| 2017 | BV = 1.0e+04 * 1.2598 0.6252 1.1209 1.4018 1.4424 2.2100 2.3760 2.6129 2.1502 1.3087 1.1703 0.6579 | BV_T = - 1.8336e+05 | 1283.52 | 1219 | 384.303 | 768 | EE= 0.36 ET=0.60 |
| 2018 | BV = 1.0e+04 * 0.6267 0.9878 1.2170 1.4561 0.9500 1.2939 1.0338 1.8022 0.7231 1.2042 1.4632 1.4034 | BV_T = - 1.4161e+05 | 991 | 942 | 314 | 628 | EE= 0.28 ET=0.47 |

Chapitre IV : Résultats et discussion

| | | | | | | | |
|------|---|---------------------------|---------|----------|---------|---------|--------------------|
| 2019 | BV = 1.0e+04 * 1.1522 0.9276 1.0748 1.5252 1.4011 2.1723 1.3443 1.5133 1.4180 1.1481 1.1512 1.2244 | BV T = - 1.6052e+05 | 1123640 | 1067.458 | 355.819 | 711.639 | EE=0.32 ET=0.53 |
| 2020 | BV = 1.0e+04 * 1.0022 1.2740 1.1578 1.1742 0.7453 1.0720 1.4457 1.1080 1.1082 1.8689 2.0215 1.5815 | BV T = - 1.5559e+05 | 1089 | 1034 | 344 | 690 | EE=0.31 ET=0.52 |

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Interpretation

A partir du **Tableau IV.1** On remarque que la valeur énergétique lors de la conversion de biogaz en énergie est presque la même dans les quatre années sauf dans l'année 2017, on remarque une légère augmentation et on peut parler sur cette quantité lors de la valorisation d'une année.

la valorisation du biogaz en électricité a donné des résultats satisfaisants lorsque l'on parle des déchets non utiles de la station et des boues déjà dégradées et même si c'est une station moyenne de 75000 EH.

Si l'on prend par exemple l'énergie électrique valorisable durant l'année 2017, elle devrait remplacer 31,5 % de l'électricité conventionnelle consommée dans la STEP. Même si pour les autres années, presque la même conception lorsque l'on parle de la quantité valorisable,

IV.4) Résultat de l'énergie valorisable (Electrique /Thermique) durant l'année 2020 :

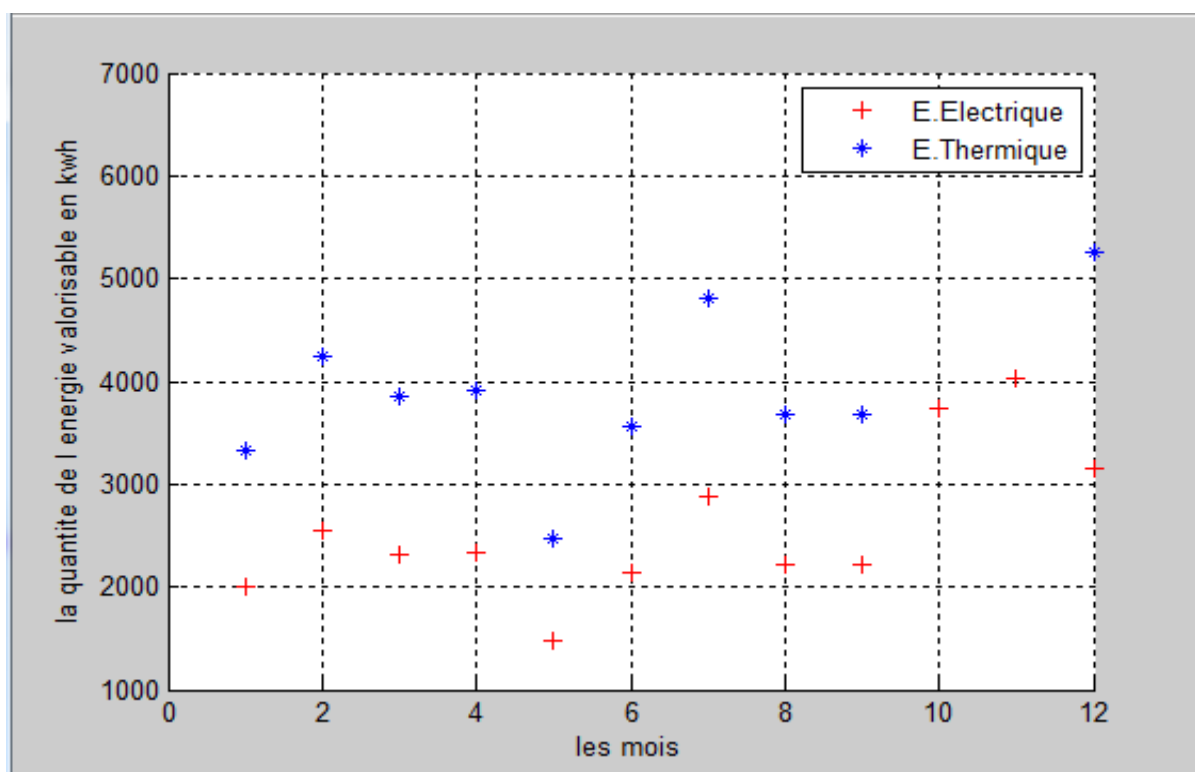


Figure IV.3 : l'estimation de l'énergie valorisable (Electrique et Thermique) durant l'année 2020

✚ Interpretation:

Si l'on parle de la variation de la quantité de l'énergie valorisable sur une année dans les 12 mois, elle n'est pas uniforme à cause de la variation de la quantité de biogaz récupérable dans ces mois. Et c'est ce que montre LA

Figure IV.3

IV.5) les résultats de dimensionnement de digesteur :

IV.5.1) les résultats de dimensionnement de pour toutes les effluents

la station d'épurations

Dimensionnement de l'installation :

Calcul du volume nécessaire : Le choix du procédé de digestion anaérobie s'est porté sur un digesteur mésophile de type Infiniment mélangé. Le temps de séjour dans le digesteur ou temps de rétention hydraulique (TRH) est de 25 à 30 jours. Le volume effectif du digesteur en considérant le temps de séjour le plus grand est :

$$Vd = Q \times TRH$$

$$Vd = 168 \times 30 \text{ et alors } Vd = 5040 \text{ m}^3$$

En tenant compte du volume nécessaire, il faut donc un digesteur d'un volume total de :

$$V_{tot} = 5040 \text{ m}^3$$

b) géométrie de digesteur :

Nous avons choisi un digesteur cylindrique avec un rapport diamètre/hauteur égal à 1.

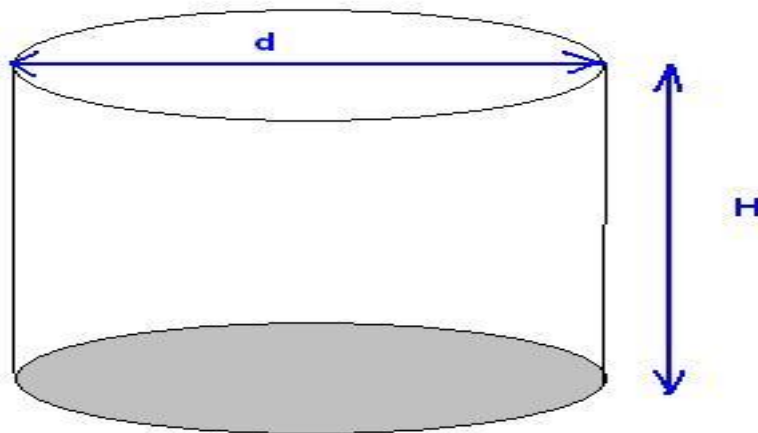


Figure IV.4: Digesteur cylindrique

Le volume de ce digesteur s'écrit ainsi : $V_{tot} = \frac{1}{4} H * \pi * d^2$

D'un volume total de 5040 mètres cubes, on en déduit la hauteur et le diamètre du digesteur

On me $H=d$ est on trouve que $H=d=19 \text{ m}$

- **Interprétation :**

Lorsqu'on parle par les normes des digesteurs ces résultats sont assez plus grandes et presque non réalisables dans la réalité même économiquement non fiable

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV5.2) les résultats de Dimensionnement de digesteur pour les boues traite :

-Dimensionnement de la pré-fosse.

Le volume du pré fosse est donné par l'expression :

On a le volume quotidien de substrats =30

Le volume du pré fosse = 2 * volume quotidien de substrats = 60 m³

Nous allons prendre un pré fosse en forme de parallélépipède rectangle de dimensions **longueur = 6m, largeur= 5m et hauteur = 2m.**

Dimensionnement de la fosse de stockage.

Le volume de la fosse de stockage est donné par l'expression :

Le volume de la fosse de stockage = 30 * volume quotidien de substrats = **900 m³**. Nous allons prendre un pré fosse en forme de parallélépipède rectangle de dimensions:

longueur = 15m, largeur= 10m et hauteur = 6m.

Dimensionnement du digesteur.

En prenant un temps de séjour des substrats de **30 jours**, le volume de la partie cylindrique est donné par l'expression :

Volume totale = temps de séjour des substrats * volume quotidien de substrats
= 900 m³

On choisit comme volume du cylindre = 700 m³ et volume de l'hémisphère = 200 m³

Cas de la partie cylindrique :

En procédant comme décrit dans le chapitre précédent le dimensionnement, on prend x=3, donc H=3R et on déduit : H

$$H = X * R \text{ (en m)}$$

$$R = \sqrt[3]{\frac{\text{volume du cylindre}}{\pi * x}} \quad \text{Alors :} \quad R = \sqrt[3]{\frac{700}{\pi * 3}} = 4.2 \text{ m}$$

Alors que :

$$H = 3 * 4.2 = 12.6 \text{ m}$$

Cas de la partie hémisphérique

Elle a un rayon de 4.92m

Tableau IV.2 : résultat de dimensionnement de digesteur des boues

| Dimensions de la pré fosse | | | Dimensions de la fosse de stockage | | | Dimensions du digesteur | | |
|----------------------------|-------------|-------------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------------------|-------------|----------------------|
| | | | | | | Partie cylindrique | | Partie hémisphérique |
| Longueur (m) | Largeur (m) | Hauteur (m) | Longueur (m) | Largeur (m) | Hauteur (m) | Rayon (m) | Hauteur (m) | Rayon (m) |
| 6 | 5 | 2 | 15 | 10 | 6 | 4.2 | 12.6 | 4.2 |

- Interprétation :**

Pour une station moyenne de (75000 eh), la taille de notre digesteur de biogaz est tout à fait acceptable et réalisable dans la réalité, même économiquement parlant. et si En parlant par d'autres tailles des digesteurs, nous avons également de très bons résultats dans les paramètres recommandés, qu'il s'agisse d'un ingénieur en énergie verte ou même Architectes et constructeurs

IV 6) Résultats de la modélisation :

IV.6.1) Résultats de la modélisation de la phase d acidogènes :

A cause d absences de la partie expérimentale dans cette étape la on prend les résultats de madame **Wassila ARRAS.2017 [56]** car on a met les mêmes hypothèses que elle

- Résultat de la simulation dans les conditions hyper thermophile :**

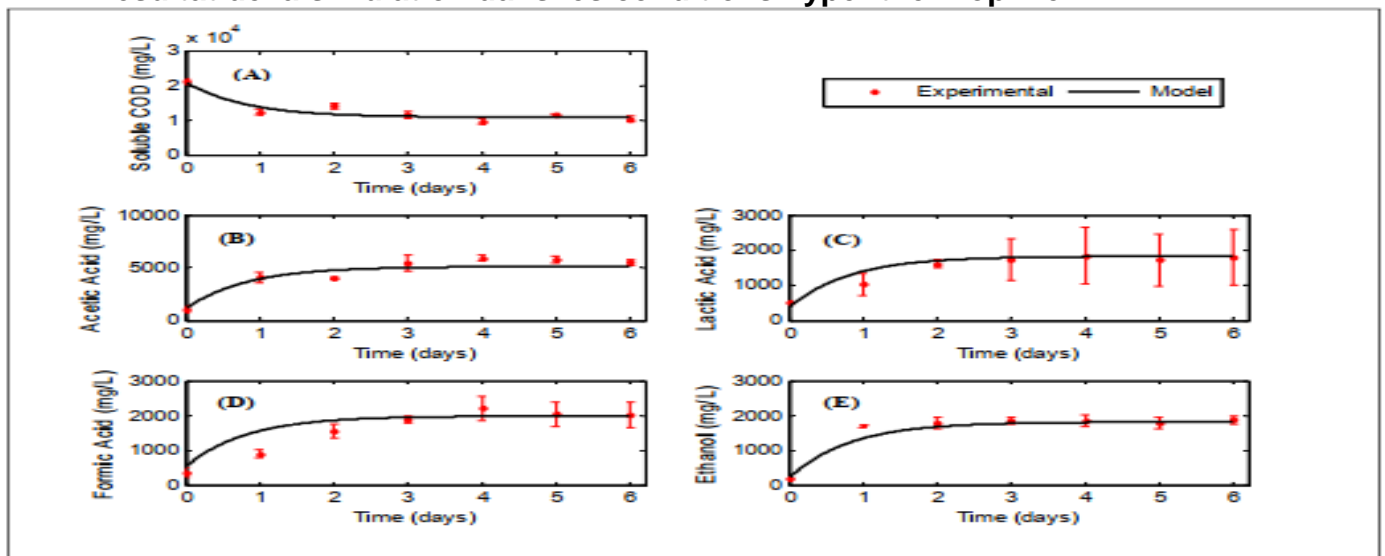


Figure IV.5 : Résultats expérimentaux et simulés de la consommation du substrat (A), de la formation de l'AA (B), de la formation de l'LA (C), de la formation du FA (D) et la formation de l'EOH (E) à 70

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Et pour les valeurs de R^2

Tableau IV.3 : Coefficients de corrélation entre les concentrations mesurées et prédites

| | DCOs | Acide Acétique | Acide Formique | Acide lactique |
|-----------------|------|----------------|----------------|----------------|
| Valeur de R^2 | 0.95 | 0.96 | 0.97 | 0.99 |

- Les paramètres cinétique estime a 70°C

Tableau IV.4 : Valeurs des paramètres cinétiques estimés à 70°C

| Paramètres | Unité | Valeur |
|-------------|------------|--------|
| μ_{max} | 1/j | 12.21 |
| K_S | mg/L | 150 |
| K_d | 1/j | 2.02 |
| Y_X | Mg-X/mg-S | 0.50 |
| y_{AA} | Mg-AA/mg-S | 0.40 |
| y_{LA} | Mg-LA/mg-S | 0.15 |
| y_{FA} | Mg-FA/mg-S | 0.14 |

- **Interprétation :**

Figure IV.5 montre que les résultats de la simulation sont cohérents avec les résultats expérimentaux contour. Les valeurs de meilleur ajustement de ce modèle sont présentées dans le **Tableau IV.4**. D'après les courbes de **Figure IV.5**, il existe une bonne corrélation entre les résultats Mesure réelle et valeur prédite du modèle C'est ce qu'il montre **Tableau IV.3**. Deux courbes À peu près la même forme, sauf dans le cas de l'acide formique, Les résultats de la simulation sont légèrement supérieurs aux résultats réels (les deux premiers jours). Les résultats montrent un bon accord entre les sorties du modèle et les résultats expérimentaux

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Résultat de la simulation dans les conditions mésophiles

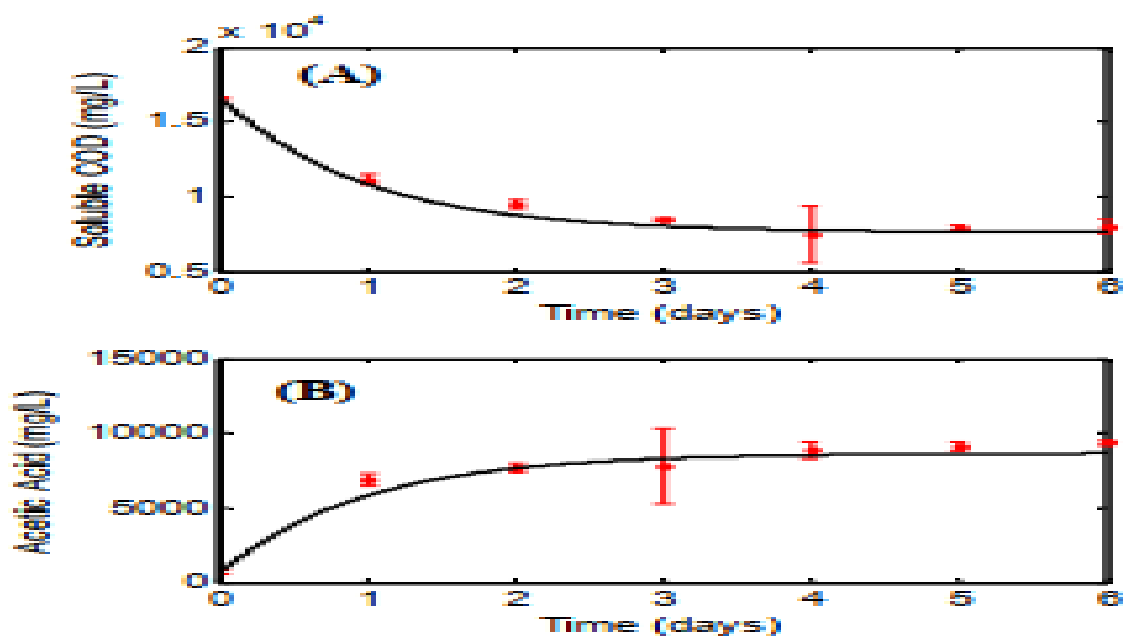


Figure IV.6 : Résultats expérimentaux et simulés de la consommation du substrat (A), de la formation de l'AA (B) à 35°C

- Les paramètres cinétiques de modèle dans condition mésophile :

Tableau IV.5 : Valeurs des paramètres cinétiques estimés à 35°C

| Paramètres | Unité | Valeur |
|-------------|-----------|--------|
| μ_{max} | 1/j | 12.89 |
| K_d | mg/L | 1.62 |
| y_{AA} | Mg-X/mg-S | 0.89 |

Tableau IV.6 : Coefficients de corrélation entre les concentrations mesurées et prédites à 35°C

| | DCOs | Acide Acétique |
|-----------------|------|----------------|
| Valeur de R^2 | 0.99 | 0.96 |

- Interprétation :

Les résultats montrent que le modèle peut également être utilisé dans des conditions mésophiles pour la prédiction des concentrations des acides produits à l'étape aciogénèse C'est ce qu'il montre

Tableau IV.6

IV.6.2) Résultats de la modélisation de la phase de la production de méthane (méthanogènes) :

- Résultats de la simulation et l'optimisation des paramètres inconnus

(Gmax et m)

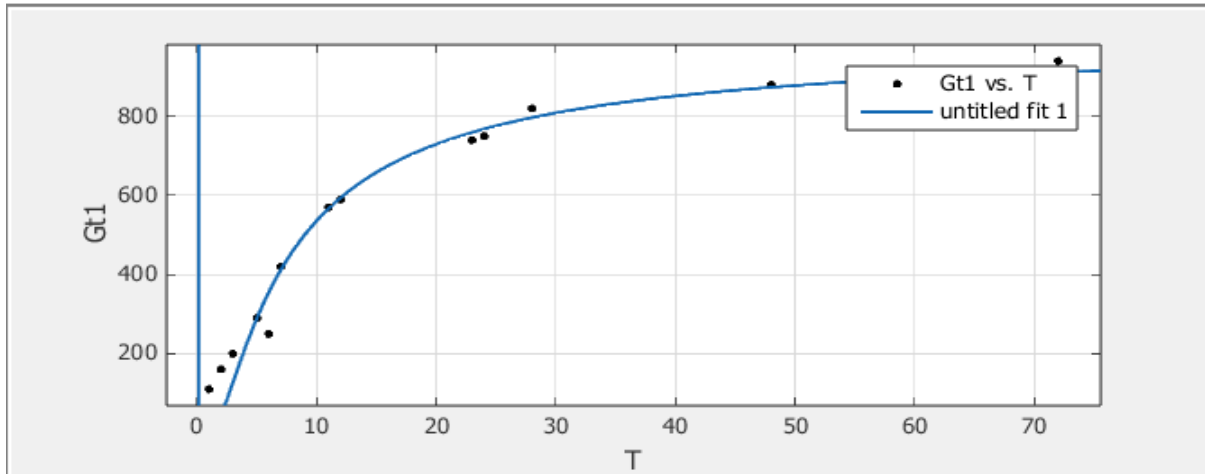


Figure IV.7 : Résultats expérimentaux et simulés de variation de quantité de biogaz Gt en fonction de temps

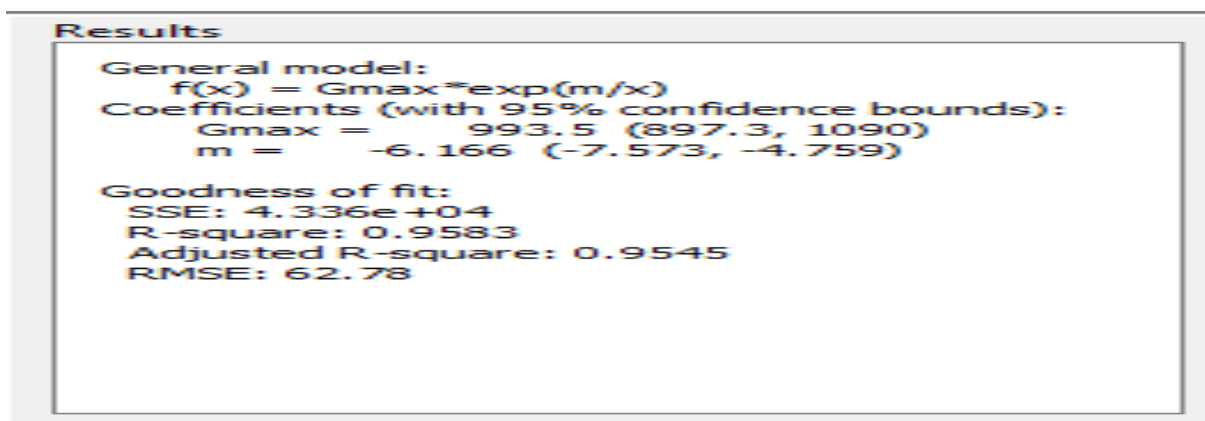


Figure IV.8: résultats des paramètres optimiser de notre modèle

- **Interprétation :**

Figure IV.7 montre que les résultats de la simulation sont cohérents avec les résultats expérimentaux contour. Les valeurs de meilleur ajustement de ce modèle sont présentées dans la Figure IV.8. D'après la courbe de Figure IV.7 il existe une bonne corrélation entre les résultats Mesure réelle et valeur prédite du modèle C'est ce qu'il montre Figure IV.8 avec un ($R^2 = 0.95$). Deux courbes À peu près la même forme, alors nous pouvons valider notre modèle

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Les résultats de l'Application de G_{max} dérivé de la fonction spécifique

$$G_t = G_{max}(1 - e^{-k_0 \cdot t})$$

Avec $G_{max} = 990$

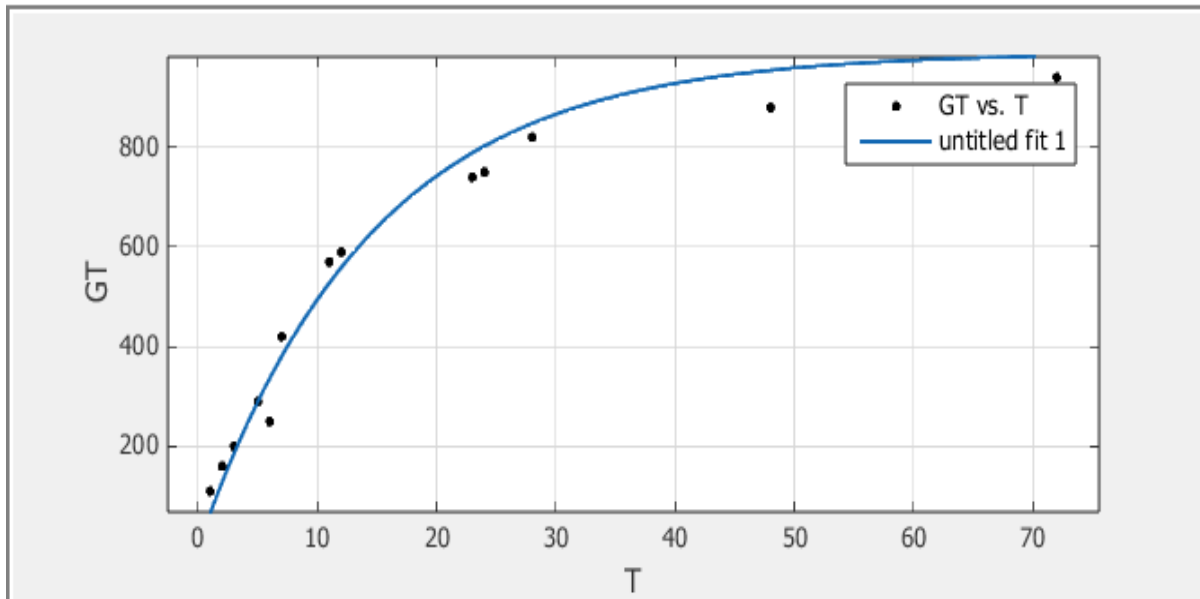


Figure IV.9: Résultats expérimentaux et simulés de la variation de quantité de la fonction GT en fonction de temps de model de premier ordre

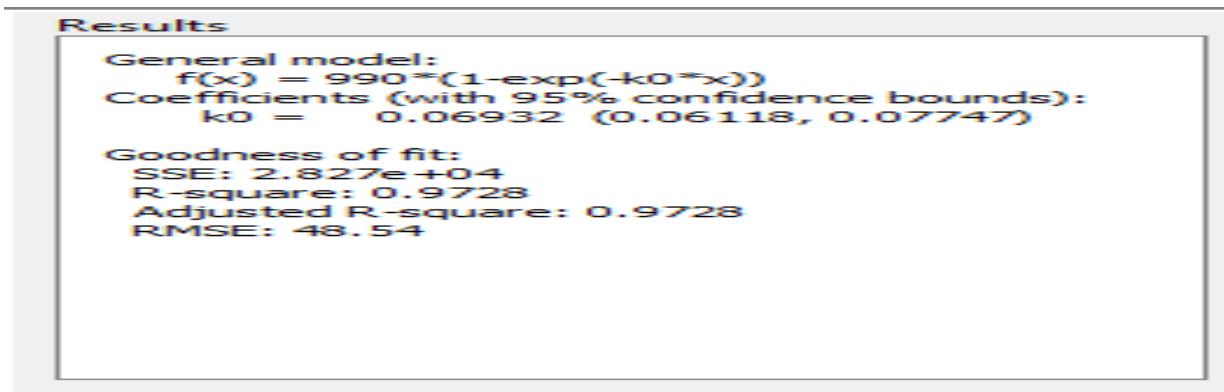


Figure IV.10: Résultats de l'optimisation pour la fonction linéaire de GTL en fonction de temps

- **Interprétation :**

(Figure IV.9) montre que les résultats de la simulation sont cohérents avec les résultats expérimentaux contour. Les valeurs de meilleur ajustement de ce modèle sont présentées dans Figure IV.10. D'après la courbe de Figure IV.9 il existe une bonne corrélation entre les résultats Mesure réelle et valeur prédite du modèle C'est ce qu'il montre Figure IV.10 avec un ($R^2 = 0.99$). Deux courbes À peu près la même forme, alors nous pouvons valider notre modèle $G_t = G_{max}(1 - e^{-0.07 \cdot t})$

Chapitre IV : Résultats et discussion

- Résultats estime par le modèle :

Tableau IV.7 : Résultats estime par le modèle de l'expérience et le modèle du premier ordre

| T(h) | G_t (cm3) | $G_t = G_{max} * e^{m/t}$ | $G_t = G_{max}(1 - e^{-k_0*t})$ |
|------|--------------|---------------------------|---------------------------------|
| 1 | 110 | 2 | 66 |
| 2 | 160(+/-) 5 | 45 | 129 |
| 3 | 200(+/-) 5 | 127 | 187 |
| 5 | 290 | 288 | 292 |
| 6 | 350(+/-) 5 | 354 | 339 |
| 7 | 420(+/-) 30 | 410 | 383 |
| 11 | 570(+/-) 50 | 565 | 531 |
| 12 | 590(+/-) 60 | 592 | 562 |
| 23 | 740(+/-) 70 | 757 | 792 |
| 24 | 750(+/-) 60 | 765 | 805 |
| 28 | 820(+/-) 100 | 794 | 850 |
| 48 | 880(+/-) 110 | 870 | 955 |
| 72 | 940(+/-) 120 | 908 | 983 |

Chapitre V :
Etude
environnementale et
économique :

Chapitre VI : Etude environnementale et économique :

Chapitre V : Etude environnementale et économique :

V-1) Etude environnementale :

A l'heure actuelle, l'impact environnemental constitue un critère de décision de sélection pour la technologie. Afin d'évaluer l'impact environnemental de notre projet, nous pouvons voir trois facteurs qui affectent positivement l'environnement à tous égards, et cela se reflète également positivement sur notre projet car pour le moment tous les projets se dirigent vers une énergie verte respectueuse de l'environnement.

- Cas du compost :
Le compost que l'on peut obtenir est estimé au tiers de la masse de substrats disponible alors que :
on va gagner de $600 * 1/3 = 200$ t
- Cas du CO₂ évité :
Une estimation à partir d'une autre station en Cameron une quantité évitée de 700,93 tonnes équivalent de CO₂
- Cas d'énergie verte :
La production plus de 1 Gwh d'énergie verte qui est valorisable de plusieurs façons

V -2) Etude économique :

Nous étudierons séparément les coûts d'investissement, les coûts d'exploitation et les coûts d'entretien et de maintenance pour calculer le prix de [KWh] produit par le digesteur produit par un moteur à biogaz

- **Le coût de l'énergie nivelé :**

De manière générale, le calcul du coût de production de l'énergie suit les mêmes règles que les solutions traditionnelles. Le coût d'électricité nivelé (LEC) est l'indicateur le plus couramment utilisé pour des nombreux autres domaines. Le système est calculé comme suit

$$\blacksquare \quad LEC = \frac{C_{rf}K_{invest} + K_{O,M} + K_{fuel}}{E_{net}}$$

$$\blacksquare \quad C_{rf} = \frac{K_d(1+K_d)^n}{(1+K_d)^n - 1} + K_{insurance}$$

C_{rf} : Le facteur de récupération du capital

K_{invest} : Coût investissement

$K_{insurance}$: Taux d'assurance net

K_d : Taux d'intérêt net = 8%

n : durée de vie du système = 30 ans

Chapitre VI : Etude environnementale et économique :

$K_{O,M}$: Coût annuel d'exploitation et de maintenance

K_{fuel} : Coût annuelle en carburant

E_{net} : Énergie net produite par le système

Les valeurs indiquées sont celles utilisées par la banque mondiale dans son rapport :

(Strategy for the Market Development of Concentrating Solar Thermal Power.) [57]

- **Estimation de cout d'investissement :**

Le (Tableau V.1) suivant représente l'estimation de cout des différentes composantes du

Digesteur anaérobie

Tableau V.1 : l'estimation de cout des différentes composantes du système (le digesteur et leur composant)

| Composant | Coût unitaire (DZD) | Nombre | Coût total (DZD) |
|-------------------|---------------------|--------|------------------|
| Digesteur | 6 000 000 | 01 | 6000 000 |
| Pompe | 70 000 | 02 | 140 000 |
| Echangeur AIR/EAU | 100 000 | 01 | 100 000 |
| Régulateur | 36 000 | 01 | 36 000 |
| Agitateur | 12 0000 | 02 | 240 000 |
| Tuyauterie | 4 000 | 10 | 40 000 |
| Le pH-mètre | 80 000 | 01 | 80 000 |
| Monomètre | 60 000 | 01 | 60 000 |
| Le thermomètre | 20 000 | 03 | 60 000 |
| Total | | | 7016000 |

- **Estimation de cout de maintenance**

Le tableau suivant représente l'estimation de cout de maintenance annuelle

Il est estime de 1 centime € pour la journée alors que 1.5 DA par jour

Tableau V.2: l'estimation de cout de maintenance annuelle

| Composant | Coût unitaire (DZD) | Nombre | Coût total (DZD) |
|---------------------------------|---------------------|--------|------------------|
| Digesteur (le moteur thermique) | 500000 | 1 | 500000 |
| Total | | | 500000 |

Chapitre VI : Etude environnementale et économique :

- **Énergie net produite par le système :**

$E_{net} = 400000 [KWh]$ (Déjà calculé dans le chapitre précédant)

$$E_{net} = 40 * 10^4 [KWh]$$

- **Coût annuelle en carburant :**

Le Coût annuel de l'électricité (7DZD / kWh)

Notre installation donne une fraction de satisfaction annuel de 80 % cela implique que en utilisant le conventionnel pour satisfaire les besoins qui est de 20 %.

$$K_{fuel} = \left(\frac{E_{net} * 0.2}{0.3} \right) * 7$$

$$K_{fuel} = 1866666.66 [DZD]$$

- **Le LEC a l'aide de la biomasse : [58]**

$$LEC = \frac{C_{rf} K_{invest} + K_{O,M} + K_{fuel}}{E_{net}}$$

$$LEC = \frac{(0.102) * (7000000) + 500000 + (1866666.66)}{400000}$$

$$LEC = 7.7 [DZD]$$

Donc le prix du [KWh] produit par le solaire est de 7.7 [DZD].

V-3) La rentabilité de projet : [49]

Par définition, la valeur actuelle nette (VAN) : c'est la comparaison entre les dépenses initiales de l'investissement et les revenus attendus (VAN=) pendant la durée de l'investissement.

$$VAN = \sum_{i=0}^n CF(1+t)^n - I_0$$

La VAN mesure l'avantage absolu susceptible d'être retiré d'un projet d'investissement.

* I_0 : Montant de l'investissement initial (supposé engager en début de période).

* **CF** : Cash-flow.

* **n** : Durée de crédit

Chapitre VI : Etude environnementale et économique :

Préparation :

Avant de faire le calcul de la VAN du projet, on doit suivre les instructions suivantes :

- * Le cout de l'investissement initial I_0 .
- * Les futures sortie d'argent du projet, le Cash-flow à venir sera le même chaque année (encaissement, décaissement). Le Cash-flow varie d'un projet à l'autre.
- * Le taux d'actualisation (t) prévu pour le projet, est donné par la banque.
- * Le nombre d'année (n) pendant lesquels on va évaluer la rentabilité du projet.
- * Le prix du digesteur = 7000 000 DA = I_0 .
- * Taux d'actualisation = 10% = t . [43]
- * L'encaissement = 2800000 (pour la vente d électricités) + 2000000da (pour la vente de compostât) + 1000000 DA. (Pour le co2 éviter)
- * Décaissement = 2000000 DA. (Les frais de fonctionnement du digesteur+les autres frais).
- * Cash-flow = Encaissement – Décaissement = (3800000 DA)

Tableau V.3 : Calcul de la valeur actuelle net.

| Van | $\sum_{i=0}^n CF(1+t)^n - I_0$ |
|---------|--------------------------------|
| VAN_0 | -7000000 |
| VAN_1 | -2820000 |
| VAN_2 | -2400000 |
| VAN_3 | -1942200 |
| VAN_4 | -1436520 |
| VAN_5 | -880062 |
| VAN_6 | -260800 |
| VAN_7 | 405100 |

Tableau V.3 : montre la valeur de la VAN (valeur actuelle nette) obtenue au cours de l'étude Rentabilité, on voit que notre projet est rentable dès la 7ème année

Conclusion :

La valorisation énergétique du biogaz prouve que le procédé est avantageux, pour cette raison Nous vous recommandons d'installer un digesteur

Conclusion

La digestion anaérobie apparaît donc comme une étape de traitement des boues très intéressante dans le cadre du développement des filières d'éliminations et de recyclages adaptées et fiables. Aujourd'hui, presque tous les opérateurs maîtrisent la technologie des digesteurs de biogaz. Ils soulignent tous l'absence d'odeur des boues digérées.

Les recherches menées dans le cadre de la valorisation des boues en station d'épuration nous ont permis de reconnaître la simplicité du procédé, mais aussi les limites de ce dispositif. Dans notre cas, plusieurs facteurs ont conduit à la conclusion que la méthanisation n'est pas actuellement économiquement rentable à cause de la disponibilité du gaz et du pétrole ce qui n'a pas encouragé l'état à développer cette nouvelle source d'énergies

Mais dans notre vision les résultats des études menées sur ce type d'énergies renouvelable devriez inciter l'état à développer les recherches sur ces nouvelles sources d'énergies sachant surtout que les hydrocarbures sont des sources d'énergies non renouvelables.

- Si on peut valoriser les boues primaires avant le traitement de ces boues par les stations d'épurations ou si les chercheurs développent un moyen pour récupérer le biogaz perdu pendant les traitements au niveau de la station (la dégradation de la matière organique) Ce projet passera d'un échec à un succès à tous les égards.
- Les résultats obtenus ont montré l'existence de réelles opportunités pour la durabilité de la gestion des boues d'épuration qui profitera à l'économie des énergies fossiles et à la préservation de l'environnement
- Les résultats obtenus pourraient aussi permettre d'économiser 33 % de la consommation d'électricité dans la station d'épuration. Cela contribue beaucoup au projet très prometteur de la transition énergétique.
- Tout cela permet non seulement de réduire et stabiliser les déchets, mais aussi de diminuer les émissions de gaz à effet de serre, tout en fournissant une énergie renouvelable.

Enfin ce projet nous a permis de nous familiariser avec le biogaz, source d'énergie renouvelables et inépuisables toujours disponible et fortement prometteuse tant au niveau économique qu'écologique ce qui devrait inciter l'état à s'y intéresser beaucoup.

Annexe A

- ❖ les données collectées à partir de la station d'épurations de la Wilaya de Tipaza pour les quatre années (2017-2018-2019-2020)

| | | Quantite de boue humide (T) | Siccité (%) | Quantité de boue réelle MS (T) | matières volatiles sèches MVS (%) |
|-------------|-------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 2017 | Janv. | 246,82 | 21,10 | 50,58 | 43,25 |
| | Févr. | 120,17 | 23,03 | 28,09 | 38,28 |
| | Mar | 209,15 | 20,86 | 43,24 | 44,5 |
| | Avr | 244,62 | 19,41 | 47,43 | 52,75 |
| | Mai | 225,86 | 19,87 | 46,87 | 54 |
| | Juin | 385,66 | 19,81 | 74,80 | 52,6 |
| | Juil. | 399,27 | 19,01 | 73,72 | 57,5 |
| | Août | 464,91 | 18,65 | 82,35 | 57,6 |
| | Sept | 363,46 | 18,17 | 62,18 | 60,5 |
| | Oct. | 228,84 | 18,12 | 40,29 | 58,5 |
| | Nov. | 189,99 | 19,41 | 35,22 | 59,2 |
| | Déc. | 99,50 | 19,95 | 19,84 | 57,27 |

| | | Quantite de boue humide (T) | Siccité (%) | Quantité de boue réelle MS (T) | matières volatiles sèches MVS (%) |
|-------------|-------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 2018 | Janv. | 108,05 | 20,16 | 21,68 | 49,75 |
| | Févr. | 152,07 | 20,16 | 30,58 | 56,2 |
| | Mar | 190,41 | 19,53 | 36,88 | 58,33 |
| | Avr | 209,73 | 21,09 | 43,54 | 57,75 |
| | Mai | 132,20 | 21,36 | 28,32 | 59,2 |
| | Juin | 187,79 | 22,66 | 41,83 | 53,8 |
| | Juil. | 152,87 | 22,05 | 33,70 | 53,5 |
| | Août | 227,80 | 21,76 | 49,04 | 62,2 |
| | Sept | 118,06 | 22,15 | 25,89 | 47,75 |
| | Oct. | 165,56 | 22,24 | 36,55 | 56,6 |
| | Nov. | 207,12 | 20,38 | 43,02 | 57,8 |
| | Déc. | 205,06 | 20,27 | 40,66 | 59 |

| | | Quantite de boue humide | Siccité (%) | Quantité de boue réelle MS (T) | matières volatiles sèches MVS (%) |
|-------------|-------|-------------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 2019 | Janv. | 237,62 | 20,24 | 46,59 | 44,82 |
| | Févr. | 195,28 | 20,90 | 41,16 | 39,5 |
| | Mar | 223,80 | 19,34 | 42,45 | 46,33 |
| | Avr | 310,84 | 19,35 | 58,70 | 47 |
| | Mai | 276,39 | 19,10 | 52,51 | 46,4 |
| | Juin | 393,41 | 17,46 | 68,34 | 56,28 |
| | Juil. | 301,00 | 16,80 | 43,86 | 55,29 |
| | Août | 255,79 | 17,58 | 44,34 | 60,6 |
| | Sept | 231,95 | 17,83 | 40,34 | 62,38 |
| | Oct. | 224,95 | 17,11 | 38,17 | 55,21 |
| | Nov. | 213,89 | 16,45 | 34,70 | 58,5 |
| | Déc. | 209,42 | 18,06 | 37,87 | 56 |

| | | Quantite de boue humide | Siccité (%) | Quantité de boue réelle MS (T) | matières volatiles sèches MVS (%) |
|-------------|-------|-------------------------|-------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| 2020 | Janv. | 168,42 | 16,70 | 30,20 | 57,5 |
| | Févr. | 230,73 | 16,61 | 38,32 | 56,72 |
| | Mar | 218,89 | 16,30 | 35,50 | 57 |
| | Avr | 229,01 | 16,93 | 38,64 | 52 |
| | Mai | 132,61 | 17,36 | 25,20 | 51,2 |
| | Juin | 205,14 | 16,38 | 35,96 | 53,47 |
| | Juil. | 255,38 | 16,29 | 41,30 | 61,32 |
| | Août | 209,47 | 16,32 | 33,57 | 57,47 |
| | Sept | 209,51 | 16,47 | 34,10 | 57,01 |
| | Oct. | 379,09 | 16,81 | 63,62 | 50 |
| | Nov. | 411,01 | 16,66 | 67,47 | 53,75 |
| | Déc. | 315,60 | 16,23 | 51,24 | 54,2 |

***la Siccité** : Les boues sont constituées d'eau et de matières sèches. La siccité est le [pourcentage massique](#) de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90 %.

***matières volatiles sèches(en suspension)MVS** : Une matière volatile en suspension (**MVS, MVES** ou **VSS**) est une fraction organique des **MES** pouvant être obtenue par différence massique entre un échantillon de MES et les résidus obtenus suivant un passage au four à 550 °C.

REFERANCE BIBLIOGRAPHIE :

- [1]- J-H Ferrasse, I. Seyssiecq, N. Roche. Les procédés de gazéification comme alternative pour la valorisation de boues de stations d'épuration des eaux usées. *Déchets Sciences et Techniques*, INSA de Lyon 2003, 30, pp.20-24.
- [2]- K. Hadri, M. Khelafi, A. Boulal et N. Nedjah. Conception et réalisation d'un digesteur solaire de type batch. *Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen* (2007) 97 – 100
- [3]- Derbal, K., Bencheikh-lehocine, M., Cecchi, F., Meniai, A.-H., & Pavan, P. (2009). *Application of the IWA ADM1 model to simulate anaerobic co-digestion of organic waste with waste activated sludge in mesophilic condition. Bioresource Technology*, 100(4), 1539–1543.
- [4]- F. Yahiaoui ,K. Benrachedi ,N. Lahouel. Contribution à l'étude de la production d'un biocarburant à partir de la boue des stations d'épuration des eaux usées. *Revue des Energies Renouvelables SIENR'12 Ghardaïa* (2012) 229 – 232
- [5]- Kalloum, S., Iddou, A., Khelafi, M. and Touzi, (2013) "Utilisation du procédé de la digestion anaérobie pour le traitement des boues des stations d'épuration des eaux usées", *Journal of Renewable Energies*, 16(4), pp.611-618. Available at: <https://revue.cder.dz/index.php/rer/article/view/404> (Accessed: 22 October 2021)
- [6]- YAHIAOUI Fatiha. Methanisation des boues des zones arides et semi-arides. Division Application des Energies Renouvelables dans les Milieux Arides et Semi Arides –URAER. N° 31 2014
- [7]- Hicham, S., Abdelkader, T., Amina, Y., & Didi, O. E. M. (2015). *Microbiological Study of the Anaerobic Digestion of Sludge from the Purifying Plant Wastewater from the City of Touggourt, Southeast of Algeria. Energy Procedia*, 74, 172–176.
- [8]- Withanage Don Chanaka Udayanga. (2019). Valorisation of sewage sludge through pyrolysis: product properties and immobilisation of heavy metals. Doctoral thesis, Nanyang Technological University, Singapore
- [9]- Dupont, G., Delteil, C., Camel, V., & Bermond, A. (1999). *The determination of polychlorinated biphenyls in municipal sewage sludges using microwave-assisted extraction and gas chromatography-mass spectrometry. The Analyst*, 124(4), 453–458.
- [10]- Seleem E. Gaber . Extraction of certain heavy metals from sewage sludge using different types of acids. Department of Chemistry, Faculty of Science, Cairo University, Egypt. *Biokemistri* Vol. 23, No. 2011, pages 41-48
- [11]- Zhang, Z., & Chen, Y. (2019). *Effects of microplastics on wastewater and sewage sludge treatment and their removal: A review. Chemical Engineering Journal*, 122955.
- [12]- Ing. A. Gascard. La valorisation du biogaz de décharge et le traitement du biogaz par la trigénération. *Revue scientifique des ISILF n°19*, 2005.
- [13]- Tarsida Nicolas Wedraogo. Valorisation du biogaz par purification et par reformage. *Alimentation et Nutrition*. Université de Lorraine, 2014. Français.
- [14]- Guo, X., Liu, J., & Xiao, B. (2014). *Evaluation of the damage of cell wall and cell membrane for various extracellular polymeric substance extractions of activated sludge. Journal of Biotechnology*, 188, 130–135.
- [15]- Zhang, Gong, j Deng, Y. (2017). *Direct conversion of sewage sludge to electricity using polyoxometalate catalyzed flow fuel cell. Energy*, 141, 1019–1026
- [16]- Zeghoud M., 2014: Etude de système d'épuration des eaux usées urbaines par lagunage naturel de village de Méghibra ; mémoire de fin d'étude de Master en hydraulique Université d'El-Oued.
- [17]- FAO., 2003 :L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, p65
- [18]- Metahri., 2012 : élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou. P17, 20, 22, 27, 63, 72, 73 et 74
- [19]- Rejesk F., 2005 : Analyse des eaux ; aspects réglementaires et techniques documentaires techniques pédagogique d'aquitaine; centre régional de
- [20]- G. Grosclaude, G. Brulé. L'eau et l'agroalimentaire. *L'eau: usages et polluants*, INRA Editions, 1999, Un Point sur... - INRA, 2-7380-0864-X.
- [21]- Aussel H., Dornier G., Galtier Y., Puzin M., Causse F., 2004 : Le traitement des eaux usées. Institut de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. ED 5026.

- [22]- TALEB Mohamed. Amine. MESSIKH Houssam. ETUDE DE LA PRODUCTION DE BIOGAZ DANS LA STATION D'EPURATION DE BARAKI .mémoire master 2. Département : Ecologie et Environnement
- [23]- Rodier J., Bazin C., Bourtin J.P., Chambon P., Champsaur H., Rodi L., 2005 : L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Ed. Dunod, Paris 8^{ème} édition, p1383
- [24]- Elskens M., 2010 : Analyse des eaux résiduaires, Mesure de la pollution. Techniques de l'ingénieur, P4200v2
- [25]- GOMELLA C. et GUERREE H. (1978). Le traitement des eaux publiques industrielles et privées. Editions Eyrolles.
- [26]- Allen J., Choate J., Mckim M., 1994 : Surveillance de qualité des eaux de surface. Guide à l'intention des citoyens. Des étudiants et des communautés du Canada atlantique, p103
- [27]- Xanthoulis D., 1983 : Valorisation agronomique des eaux usées des industries agro-alimentaires. Tribune de l'eau n°:563/3. Ed. CEBEDOC, p 27-32
- [28]- Tarmoul F., Sodi M ;2007 : Mémoire, « Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel ». Tribune de l'eau n°:563/3. Ed. CEBEDOC, p 27-32.
- [29]- Cauchi. , Hyvrard., Nakache., Schwartzbrod., Zagury., Baron., Carre., Courtois., Denis., Dernat., Larbaigt., Derangere., Martigne., Seguret., 1996 : Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 2 : 81-118
- [30]- Asano T., 1998: Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, p1475
- [31]- CSHPF., 1995 : Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines, p22
- [32]- Baumont S., Camard J.P., Lefranc A., Franconi A., 2004 : Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île de France. Rapport ORS, p220
- [33]- ANGELIQUE L., (2002), *Biométhanisation*, Laboratoire de Génie Chimique, Département de Chimie Appliquée, Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège – Haute Ecole Charlemagne – Hemes.
- [34]- HESS J., (2007), *Modélisation de la qualité du biogaz produit par un fermenteur méthanogène et stratégie de régulation*, thèse de doctorat, Université de Nice - Sophia Antipolis – UFR Sciences
- [35]- USAMA ZAHER, DAE-YEOL CHEONG, BINXIN WU ET SHULIN CHEN, (2007), *Producing Energy and Fertilizer From Organic Municipal Solid Waste*, Washington state department of ecology, Washington state university
- [36]- TCHOUATE HETEU P. et MARTIN J. (2003), *Conversion biochimique de la biomasse : Aspects technologiques et environnementaux*, Working Paper n°3, UCL Université Catholique de Louvain
- [37]- RECORD, (2003), *Traitement des déchets organiques - état de l'art*, ETUDE N° 01-0221/1A et 01-0408/1A
- [38]- Mata-Alvarez, J. (2003) Fundamentals of the Anaerobic Digestion Process. In: Mata-Alvarez, J., Ed., Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, IWA Publishing Company, Amsterdam, 202-209.
- [39]- Harzevili, F.D., & Hiligsmann, S. (Eds.). (2017). Microbial Fuels: Technologies and Applications (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781351246101>
- [40]- www.biogaz-energie-renouvelable.info

- [41]- J. de Hullu, J.I.W. Maassen, P.A van Meel, S. Shazad, J.M.P. Vaessen, L. Bini, J.C Reijenga, "Comparing different biogas upgrading techniques", Eindhoven University of technology, 3 Juillet 2008.
- [42]- B.MOUNIA..CONTRIBUTION A L'ELABORATION D'UN DISPOSITIF PRODUISANT DU BIOGAZ-METHANE-. MEMOIRE DE MASTER. DEPARTEMENT ALIMENTATION EN EAU POTABLE .2015
- [43]- k.LOUBNA.(2015). VALORISATION ÉNERGETIQUE DES BOUES DE LA STATION D'ÉPURATION DE BOUMERDES.FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR DEPARTEMENT ÉNERGÉTIQUE boumerdas.
- [44]- Qualité du bio-méthane pour l'injection dans le réseau de distribution, Colloque ATEE 12-13 octobre 2010.
- [45]- S.Igoud 2016.Sustainable Management of Sewage Sludge Conditioning and Valorization. chapter 50
- [46]- Pierre HERPIN, Vincent DUBOIS, valorisation des boues de la station d'épuration en biogaz, dans le cadre du BEIERE 2004-2005.
- [47]- Solagro, EDF & Ademe, 2001. From biogas to energy, an european overview : regulatory, fiscal, economic and political context for développement. Toulouse, Solagro.
- [48]- Product Catalogue. (2010). Capstone Turbine Corporation. Documentation technique microturbine a biogaz. Capstone.
- [49]- Marcel Guillaume GWOGON(2013). ETUDE DE FAISABILITE SUR LA PRODUCTION DE L'ELECTRICITE A PARTIR DU BIOGAZ A EDEA (CAMEROUN).
- [50]- Batstone, Damien J, J Keller, Irini Angelidaki, SV Kalyuzhnyi, SG Pavlostathis, A Rozzi, WTM Sanders, H Siegrist et VA Vavilin. 2002. « The IWA Anaerobic Digestion Model No 1(ADM 1) ». *Water Science & Technology*, vol. 45, no 10, p. 65-73
- [51]- Donoso-Bravo, Andres, Johan Mailier, Cristina Martin, Jorge Rodriguez, Cesar Arturo Aceves-Lara et Alain Vande Wouwer. 2011. « Model selection, identification and validation in anaerobic digestion: A review ». *Water Research*, vol. 45, no 17, p. 5347-5364
- [52]- Kiely, G, G Tayfur, Cs Dolan et K Tanji. 1997. « Physical and mathematical modelling of anaerobic digestion of organic wastes ». *Water Research*, vol. 31, no 3, p. 534-540.
- [53]- Kothari, Richa, A K. Pandey, S. Kumar, V V. Tyagi et S K. Tyagi. 2014a. « Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 39, no 0, p. 174-195
- [54]- Merkel, Wolf, et Karlheinz Krauth. 1999. « Mass transfer of carbon dioxide in anaerobic reactors under dynamic substrate loading conditions ». *Water research*, vol. 33, no 9, p. 2011-2020
- [55]- Redzwan, G., & Banks, C. (2004). *The use of a specific function to estimate maximum methane production in a batch-fed anaerobic reactor. Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 79(10), 1174–1178.
- [56]- Arras, Wassila (2017). Étude expérimentale et modélisation de la digestion anaérobie des matières organiques résiduelles dans des conditions hyperthermophiles. Thèse de doctorat électronique, Montréal, École de technologie supérieure.
- [57]- *cour de pr.merzouk (conversion thermodynamique solaire) .département des énergies renouvelables .USDBLIDA 2009*
- [58]- *facture sonalgaz 2021*