

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ SAAD DAHLAB - BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des sciences de l'Eau et Environnement



Mémoire de Master

Filière : Hydraulique

Spécialité : Ressources Hydrauliques

Intitulé du mémoire :

Valorisation énergétique et élimination des boues de la station d'épuration de BARAKI W. d'ALGER

Présenté par : REBBOUH Youcef

promoteur : KARA Omar Adel

Membre du jury:

Mr. BENAZIZA Ali

MCA

President

Mr. BENSAFIA Djilali

MAA

Examineur

Année universitaire :2023-2024

Dédicace :

Au nom d'Allah le clément et miséricordieux

Je dédie ce mémoire

A mes chers parents

Pour leur soutien et leurs encouragements

A ma femme et mes enfants : Meriem, Khadidja et

EL Bara

A Mes frères et mes sœurs

A toute ma famille

A Monsieur Le Professeur **REMINE Boualem**, le père

de la **FOGARA**

A mon meilleur ami Hocine

A mes amis, mes collègues et mes camarades

A tous ceux qui me sont chers

A tous ceux qui m'ont appris une lettre

Remerciements

*Avant tout, je remercie **ALLAH, le** tout puissant, de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens pour la réalisation de ce travail.*

*Un grand merci à mon promoteur **Mr KARA Omar** pour le temps qu'il m'a accordé, Ainsi pour son Aide et ces conseils,*

*J'exprime mes sincères remerciements à l'ensemble du personnel de la STEP de BARAKI pour leurs encouragements et pour m'avoir aidé à réaliser ce travail, monsieur le directeur **HIRAOUI S**, Chef de centre **Mr BENSLIM O**, mon encadreur **AMIROUCHE A**, et les ingénieurs **MESLEM S, TAHRI T, RASSAD K**, et surtout ceux du laboratoire des analyses physicochimiques,*

*Un spéciale remerciement à l'ingénieur **SKANDRAOUI Hocine***

*Je tiens à présenter mon vif remerciement à tous les membres de jury qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail monsieur le professeur **BENAZIZA Ali** et monsieur le docteur **BENSAFIA Djilali***

Mes sincères remerciements vont également à tous les enseignants de notre département.

Enfin, je remercie mes chers parents, famille et Amis pour leur soutien inconditionnel.

Sommaire

Liste des abréviations	1
Liste des figures	2
Liste des tableaux	4
ملخص	5
Résumé	5
Abstract	5
Introduction générale.....	6
Chapitre 1 : Revue bibliographique.....	8
1. Définition des eaux usées.....	9
2. L'origine des eaux usées.....	9
1) Les eaux usées domestiques	9
2) Eaux usées industrielles.....	9
3) Eaux agricoles	10
4) Eaux de ruissellement	10
3. L'origine des boues résiduares	10
4. Les différentes étapes de traitement des eaux usées.....	11
1) Le prétraitement	11
2) Le traitement primaire	11
3) Le traitement secondaire	12
4) Traitement tertiaire.....	12
5. Généralité sur les boues.....	14
1) Définition.....	14
2) Production des boues des stations d'épurations	14
3) Caractérisation des boues	14
4) Différents types des boues.....	15
5) Les caractéristiques des boues résiduares	16
6) Les métaux lourds.....	19
6. Les différentes filières de traitement des boues.....	20
1) Epaissement	20
2) Epaissement gravitaire (décantation)	20
3) Epaissement dynamique	21
4) Stabilisation des boues.....	22
5) Conditionnement	23

Sommaire

6) La déshydratation.....	24
7. Destination finale des boues résiduaires	25
1) L'incinération.....	26
2) Valorisation énergétique.....	26
3) Valorisation agricole.....	26
Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Baraki.....	28
1. Présentation de la Zone de BARAKI :.....	29
1) Localisation de la Station d'épuration de BARAKI.....	29
2) Etude climatique.....	30
3) Le relief.....	31
4) Historique	32
2. Présentation de la station d'épuration de Baraki	32
1) Filière de l'eau	34
2) Filière traitements des boues :.....	43
Chapitre 3 : Matériels et méthodes	55
1. Matériels.....	56
1) La pompe sous vide	56
2) La rampe de filtration.....	56
3) La centrifugeuse	56
4) Thermostat	56
5) Etuve à 105° C.....	57
6) OxiTop DBO	57
7) L'incubateur.....	57
8) Multi paramètres.....	58
9) La balance.....	59
10) Le microscope.....	59
2. Méthodes	59
1) Détermination de la matière sèche dans les boues (MS) :.....	59
2) Détermination de la perte au feu de la matière sèche (MVS)	59
3) Détermination du Ph :	60
4) Détermination du titre alcalimétrique Complet TAC et du taux d'acide gras volatils AGV ..	60
3. La valorisation des boues	61
1) Les différentes voies de valorisations et d'élimination des boues.....	61
(2) La valorisation énergétique en BIOGAZ	62

Sommaire

(3) Principe du travail.....	66
4) Destination de cette énergie électrique.....	68
Chapitre 4 : Résultats et discussions	73
1. Introduction.....	74
2. Suivi de l'évolution du pH dans le digesteur en fonction du temps.....	74
3. Suivi de l'évolution des MVS dans le digesteur en fonction du temps	75
4. Suivi l'évolution de TAC en fonction du temps	75
5. Suivi l'évolution de AGV en fonction du temps.....	76
6. Suivi de l'évolution du rapport AGV/TAC en fonction du temps	77
7. Suivi l'évolution de la production des boues déshydratées en fonction du temps	78
8. Suivi l'évolution des MS dans le digesteur en fonction du temps	78
9. Suivi l'évolution des productions moyennes et journalières du Biogaz (Nm ³) et d'électricité (KWh).....	80
10. Suivi la qualité du BIOGAZ.....	80
Conclusion générale et recommandations	82
Références bibliographiques	85
Annexe 1.....	91
Annexe 2.....	93

Liste des abréviations

STEP	Station d'Épuration
DBO	Demande Biologique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
MS	Matière sèche
MVS	Matière Volatile Sèche
MES	Matière En Suspension
MO	Matière Organique
ETM	Élément des Traces Métalliques
PH	Potentiel d'hydrogène
CET	Centre d'Enfouissement technique
UV	Ultra-Violet
BM	Boue Mixte
BD	Boue Déshydratée
MV	Matière Volatile
ONM	Organisation National de la Météorologie
PR	Poste de Relevage
AGV	Acide Gras Volatile
TAC	Titre Alcalométrique Complet
TSH	Temps des Séjour Hydraulique
FAB	Filtre A Bande

Liste des figures

Figure 1 Schéma des différents types de boues dans un procédé de traitement par boues active [12].	13
Figure 2 Schéma des différents types de boues dans un procédé par boues actives [13].	16
Figure 3 Coupe longitudinale d'un épaisseur gravitaire [25].	21
Figure 4 Evacuation des boues résiduelles de STEP [44].	27
Figure 5 Situation géographique de la commune de Baraki [47].	29
Figure 6 Localisation de la STEP de BARAKI (Source Google earth).	29
Figure 7 Température horaire moyenne à Baraki [49].	30
Figure 8 Le pourcentage de jours durant lesquels divers types de précipitation sont observés [50]. .	31
Figure 9 Carte des zones homogènes de la wilaya d'Alger [50].	32
Figure 10 Schéma fonctionnel de la station d'épuration de Baraki avec la localisation du Prétraitement [SEAAAL].	34
Figure 11 Poste de relevage PR1 (Photo prise sur terrain Mars 2024).	35
Figure 12 Poste de relevage PR2 (Photo prise sur terrain Mars 2024).	36
Figure 13 Mesure de PH, la Température, la conductivité, et la teneur en hydrocarbures (photo prise sur terrain Mars 2024).	37
Figure 14 Dégrilleur grossier (photo prise sur terrain Mars 2024).	37
Figure 15 Dégrilleur Fin (photo prise sur terrain Mars 2024).	37
Figure 16 Classificateur à sables (photo prise sur terrain Mars 2024).	38
Figure 17 Dessableur déshuileur (photo prise sur terrain Mars 2024).	38
Figure 18 Décanteur primaire (photo prise sur terrain Mars 2024).	39
Figure 19 Bassin biologique ou d'aération (photo prise sur terrain Mars 2024).	40
Figure 20 Clarificateur (photo prise sur terrain Mars 2024).	41
Figure 21 Filtre à sable (photo original).	42
Figure 22 désinfection physique par UV (photo origine).	43
Figure 23 Vis recirculation des boues (photo origine).	44
Figure 24 Epaisseur (photo prise sur terrain Mars 2024).	45
Figure 25 Pré-épaisseur (photo origine).	45
Figure 26 grilles d'épaississement (photo origine).	45
Figure 27 Schéma du procédé de biométhanisation [54].	47
Figure 28 Les digesteurs (photo prise sur terrain Mars 2024).	47
Figure 29 Gazomètre souple (photo prise sur terrain Mars 2024).	47
Figure 30 Schéma de la chaine trophique de la méthanogenèse et ses différentes étapes [54].	49
Figure 31 La déshydratation Mécanique par filtre à pression (Photo prise sur terrain Mars 2024).	53
Figure 32 Zone de stockage les boues (Photo prise sur terrain Mars 2024).	53
Figure 33 Le camion pour déplacer (Photo prise sur terrain Mars 2024).	53
Figure 34 Pompe sous vide (à droite) + rampe de filtration (à gauche).	56
Figure 35 Centrifugeuse (400tr/min).	57
Figure 36 thermostat.	57
Figure 37 Étuve à 105°C.	57
Figure 38 OxiTop DBO.	57

Liste des figures

Figure 39 Incubateur à 20° C.	58
Figure 40 Multi paramètres (pH, Conductivité).	58
Figure 41 Une balance.....	59
Figure 42 Le microscope.....	59
Figure 43 Schéma des valorisations.	61
Figure 44 Schéma de principe de production du BIOGAZ.....	63
Figure 45 Composants du BIOGAZ.	64
Figure 46 Incinérateur.....	66
Figure 47 Turbine.	67
Figure 48 Turbine couplée avec un générateur.	67
Figure 49 Schéma de la production d'énergie électrique a partie de l'incinération des déchets.....	69
Figure 50 L'évolution de pH en fonction du temps.....	74
Figure 51 MVS en fonction du temps.....	75
Figure 52 évolution de TAC des boues digérées en fonction du temps.....	76
Figure 53 évolution de AGV des boues digérées en fonction du temps.	77
Figure 54 l'évolution du rapport AGV/TAC.	77
Figure 55 Production des boues déshydratées.	78
Figure 56 l'évolution de MS des boues digérées en fonction du temps.	79
Figure 57 L'évolution de la siccité des boues déshydratées.	79
Figure 58 L'évolution de la production du BIOGAZ et d'électricité en fonction du temps.	80
Figure 59 Composante du BIOGAZ (m ³).	80
Figure 60 Terrain vide dans la station	Erreur ! Signet non défini.
Figure 61 Terrain vide dans la station.	Erreur ! Signet non défini.
Figure 62 Matérielles SEAAL (potos originaux)	Erreur ! Signet non défini.
Figure 63 Désodoriseur SEAAL (photos originaux).....	Erreur ! Signet non défini.

Liste des tableaux

Tableau 1 Les différents traitements des stations d'épurations [11].	13
Tableau 2 Teneurs en éléments traces métalliques pour les boues en Algérie selon la norme NA 17671.	20
Tableau 3 Les données climatiques et géographique de zone d'étude [ONM].	30
Tableau 4 Éléments compris dans la section T1 ET T2.	33
Tableau 5 les caractéristiques principales de décanteur primaire [SEAAL].	39
Tableau 6 Valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives de eaux usées autres que domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration [52].	43
Tableau 7 Les réactions chimiques de la digestion anaérobie.	49
Tableau 8 la production journalière moyenne des boues déshydratées (2023-2024) (SEAAL).	54
Tableau 9 Paramètres des boues digérées.	62
Tableau 10 Les valeurs des composants de biogaz brute en pourcentage.	63
Tableau 11 Calculs de la production.	65
Tableau 12 Composants moyennes réels du BIOGAZ produit.	65
Tableau 13 Le bilan de puissance et consommation des équipements au niveau du digesteur (état actuel) (SEAAL).	70
Tableau 14 Le bilan de puissance et consommation des équipements au niveau du digesteur (état normal) (SEAAL).	71
Tableau 15 Paramètres physico-chimiques des boues déshydratées (SEAAL).	72
Tableau 16 Paramètres physico-chimiques des boues digérées et déshydratées [65].	74
Tableau 17 Données du projet.	81

ملخص

أجريت هذه الدراسة بهدف تبيين الحمأة المنقاة في محطة معالجة مياه الصرف الصحي ببراقى الجزائر, من أجل إستغلالها في إنتاج الطاقة الكهربائية وفقا للمرسوم رقم 04-09 المؤرخ في 28 ماي 2017

تعتبر عملية التخمر اللاهوائي للحمأة على مستوى الهاضم في ظروف معينة بكفيلة بإطلاق الغازات الحيوية, يمكننا تحويل هذه الغازات بعد سلسلة من المعالجات إلى طاقة كهربائية تغطي 40 % من إستهلاك الكهرباء للمحطة .

تعتبر هذه العملية الحل الأمثل للقضاء على هذه الحمأة والحد من التلوث ومسببات الأمراض (المياه الجوفية , البيئة, الصحة)

الكلمات المفتاحية: محطة المعالجة , الحمأة المنقاة , الهاضم , الغازات الحيوية

Résumé

Cette étude a été réalisée dans le but de valoriser les boues épurées de la station d'épuration des eaux usées de Baraki, wilaya d'Alger, afin d'utiliser ces boues pour la production d'énergie électrique en appliquant le décret n°04-09, daté le 28 Mai 2017

La fermentation anaérobie des boues au niveau du digesteur sous certaines conditions dégage le BIOGAZ. Nous pouvons transformer ce gaz après une série de traitements en énergie électrique qui couvre 40% de la consommation électrique de la station.

Ce procédé est considéré comme la solution idéale pour éliminer ces boues et réduire la pollution et les pathogènes (eaux souterraines, environnement, santé).

Mots clés : station d'épuration, boues épurées, digesteur, biogaz.

Abstract

This study was carried out with the aim of valorizing the purified sludge from the Baraki wastewater treatment plant, to use this sludge in the production of electrical energy by applying Decree No. 04-09.

Anaerobic fermentation of sludge at the digester level under certain conditions releases BIOGAS. We can transform these gases after a series of treatments into electrical energy which covers 40% of the station's electrical consumption.

This process is considered as the ideal solution to eliminate this sludge and reduce pollution and pathogens (groundwater, environment, health).

Keywords: wastewater treatment plant, treated sludge, digester, biogas.

Introduction générale

L'eau consommée ou utilisée par l'homme à l'échelle domestique ou industrielle génère inévitablement des déchets. Ces eaux usées sont recueillies par les égouts et dirigées vers les stations d'épuration afin d'être purifiées avant leur réintroduction dans le milieu naturel. [1]

L'épuration des eaux usées consiste à décanter les éléments polluants particuliers et à extraire les éléments dissous qui sont transformés en matière sédimentable suite à un traitement approprié. Ainsi, à la sortie de la station, il en résulte d'une part une eau épurée qui est rejetée dans le milieu naturel et d'autre part, il reste des sous-produits désignés sous le terme de boues résiduelles. [2]

Une station d'épuration existe pour protéger le milieu environnant notamment les ressources hydriques. Le rôle secondaire reste bien entendu la réutilisation des eaux épurées dans l'agriculture et à usage industriel ainsi que la valorisation des boues produites en agriculture. Les procédés de traitement des boues existants au niveau des stations d'épuration dépendent de l'origine et de la nature des boues produites par ces stations. Les quantités des boues produites sont très importantes et leur élimination s'avère être délicate.

Dans notre étude, et dans le cadre de la protection de l'environnement et le développement durable, notamment, le présent travail est basé sur la valorisation énergétique des boues, au moment où l'énergie est devenue une condition préalable pour le développement économique et social de tous les pays.

En raison de l'industrialisation accrue au cours des dernières décennies, il y a eu une énorme pression sur la consommation du pétrole brut, du charbon et d'autres combustibles fossiles épuisables qui sont jugés responsables de la pollution. Imposant de ce fait, la nécessité de trouver de nouvelles ressources énergétiques durables, renouvelables et propres. Parmi ces nouvelles énergies en vogue, on trouve le biogaz issu de la biométhanisation de la matière organique.

Dans la station d'épuration, Le stockage des boues au niveau de digesteur dans un milieu anaérobie, sous certaines conditions telles que la température (fermentation ou biométhanisation) fournit un mélange de gaz qui s'appelle le BIOGAZ.

Beaucoup de pays en Europe, en Asie et dans une moindre mesure en Afrique ont déjà commencé à exploiter cette énergie.

En Algérie le biogaz est produit uniquement dans les stations d'épuration des eaux usées.

Il n'y a que trois stations qui produisent le biogaz, à savoir : la STEP de Oued El Kerma (Oran), d'El Bouni (Annaba) et celle de Baraki (Alger).

La STEP de Baraki est la seule qui a un rendement efficace en biogaz. C'est ce qui a motivé notre choix pour l'étude des procédés de production et de valorisation du biogaz dans cette station.

Dans le cadre de ce travail, nous avons fait une étude sur la possibilité de valorisation de ce biogaz torché en énergie électrique renouvelable. En nous basant sur le protocole suivant : **Turbine à gaz-Générateur-Incinérateur-Turbine à vapeur-Générateur**

Ce mémoire s'articule principalement sur trois chapitres :

- Le premier est une étude bibliographique sur les différents procédés du traitement des eaux usées et des boues dans une station d'épuration.
- Le deuxième chapitre présente la station d'épuration de Baraki, puis les différents traitements des boues (fermentation, déshydratation).
- Le troisième chapitre présente les matériaux et les méthodes de travail, le projet de production d'énergie et ces résultats.
- Le quatrième chapitre porte sur les résultats et les discussions des données et du projet.

Chapitre 1 : Revue bibliographique

1. Définition des eaux usées

Les eaux usées sont des liquides de composition hétérogène, chargées de matières minérales ou organiques, pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique, elles sont un mélange de plusieurs types d'eaux et afin d'éviter la pollution, sont acheminées par un réseau d'assainissement vers une station d'épuration pour y être traitées et si possible réutilisées [1].

Les eaux usées sont toutes les eaux des activités domestiques, agricoles et industrielles chargées de substances toxiques qui parviennent dans les canalisations d'assainissement. Elles englobent également les eaux pluviales et leurs charges polluantes, contribuant au milieu récepteur à toutes sortes de pollution et de nuisance [2].

2. L'origine des eaux usées

Selon l'origine des eaux usées, quatre grandes catégories sont distinguées :

1) Les eaux usées domestiques

Les eaux usées domestiques se composent des eaux de vannes d'évacuation des toilettes, des eaux ménagères d'évacuation des cuisines et des salles de bains.

Les déchets présents dans ces eaux souillées par des matières organiques dégradables et des matières minérales. Ces substances sont sous forme dissoute ou en suspension. Les réseaux d'eaux usées aboutissent à des stations d'épuration où les eaux sont traitées [3].

Elles proviennent essentiellement :

- Des eaux de cuisine qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des légumes, des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protides) et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses ;
- Des eaux de buanderie contenant principalement des détergents ;
- Des eaux de salle de bain chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées ;
- Des eaux de vanne qui proviennent des sanitaires (WC), très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphatés et microorganisme [4].

2) Eaux usées industrielles

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont

chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine industrielle elles peuvent également contenir :

- Des graisses (industries agroalimentaires, équarrissage) ;
 - Des hydrocarbures (raffineries) ;
 - Des métaux (traitements de surface, métallurgie) ;
 - Des acides, des bases et divers produits chimiques (industries chimiques divers, tanneries) - De l'eau chaude (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
 - Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).
- Avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte, les eaux usées industrielles doivent faire l'objet d'un traitement. Elles ne sont mélangées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des stations d'épurations [5].

3) Eaux agricoles

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides. Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terres cultivées chargées d'engrais nitrés et phosphatés, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues [1].

4) Eaux de ruissellement

Les eaux de pluie ruissellent dans les rues où sont accumulés des polluants atmosphériques, poussières, détritiques, suies de combustion et hydrocarbures rejetés par les véhicules. Les eaux de pluies, collectées normalement à la fois avec les eaux usées puis déversées dans la canalisation d'assainissement et acheminées vers une station d'épuration, sont souvent drainées directement dans les rivières entraînant ainsi une pollution intense du milieu aquatique [1].

3. L'origine des boues résiduaire

Les boues des stations d'épuration sont des produits résiduaire qui résultent du traitement des eaux usées dans la station d'épuration. Les effluents urbains, comprenant les eaux résiduaire urbaine d'origine domestique et éventuellement industrielle et les eaux pluviales, subissent un traitement de dépollution avant leur rejet dans le milieu naturel. L'épuration consiste essentiellement à éliminer les pollutions organique et minérale des effluents, ce par le biais de divers prétraitements et traitements [5].

4. Les différentes étapes de traitement des eaux usées

Classiquement, le traitement des eaux usées se compose de quatre phases successives :

1) Le prétraitement

Les prétraitements visent à retirer de l'eau usée les matières qui peuvent nuire à la qualité du traitement aval ou à la pérennité des ouvrages. Ces matières sont :

- **Les objets encombrants** : Un dégrilleur retient les objets trop volumineux et encombrants qui pourraient dégrader les pompes ou obstruer les canalisations. Les dégrilleurs modernes disposent de râteaux d'évacuation des objets avec des systèmes automatisés d'ensachage des refus de dégrillage. Les refus de dégrillage sont envoyés soit en centre d'enfouissement, soit en incinération.
- **Les graisses, huiles et autres matières flottantes** : Elles sont récupérées dans un dégraisseur, ouvrage dans lequel, par diffusion de fines bulles d'air, les huiles et les graisses remontent à la surface où elles sont raclées. Les graisses perturbent les traitements biologiques en limitant la diffusion de l'oxygène dans l'eau et en gênant la décantation des boues. Par leurs propriétés chimiques, elles peuvent également être source d'odeurs nauséabondes et de colmatage des canalisations. Elles diminuent aussi les performances de la déshydratation des boues. Enfin, les substances lipidiques favorisent le développement des bactéries filamenteuses, sources de graves perturbations sur les stations
- **Les sables et les matières facilement décantables** : un dessableur récupère par décantation les sables, protégeant ainsi les ouvrages en aval d'un ensablement et les pompes d'une usure accélérée. Les sables sont évacués en CET. En station d'épuration, les prétraitements commencent par le dégrillage, puis par le dégraisseur et le dessableur qui sont le plus souvent combinés dans un même ouvrage. Les eaux usées, débarrassées des objets encombrants, des graisses et des sables, peuvent alors être dirigées vers le traitement primaire ou directement en traitement secondaire [6].

2) Le traitement primaire

Le traitement primaire consiste en une étape de décantation. Cette phase permet d'éliminer une fraction des matières en suspension, jusqu'à 60 %, et de la matière organique, de l'ordre du tiers de la DBO₅ entrante [7].

Cette pollution engendre alors les boues primaires, fortement organiques et fermentescibles qui sont envoyées vers la chaîne de traitement des boues. Le traitement primaire permet de

réduire la charge polluante arrivant au traitement secondaire mais génère un volume de boues important [8].

La décantation est optimisée par un conditionnement préalable avec un coagulant. Ce dernier est mélangé à l'eau usée (coagulation) et regroupe les particules et colloïdes faiblement décantables en floccs plus lourds (floculation) qui sont alors piégés par décantation.

La décantation lamellaire, version optimisée de la décantation classique, permet également d'améliorer la performance de cette étape et de diminuer l'emprise au sol des ouvrages. Le traitement primaire est une étape facultative dans de nombreuses STEP, les eaux usées prétraitées sont directement acheminées vers la phase de traitement secondaire [8].

3) Le traitement secondaire

Le traitement biologique des eaux usées est le procédé qui permet la dégradation des polluants grâce à l'action de micro-organismes. Ce processus existe spontanément dans les milieux naturels tels que les eaux superficielles suffisamment aérées. Une multitude d'organismes est associée à cette dégradation selon différents cycles de transformation. Parmi ces organismes, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires. Les microorganismes responsables de l'épuration s'agglomèrent sous forme de floccs et se développent en utilisant la pollution comme substrat nécessaire à la production d'énergie vitale et à la synthèse de nouvelles cellules vivantes [9].

4) Traitement tertiaire

L'expression (traitement tertiaire) peut désigner plusieurs types de traitement ou différentes fonctions en vue d'atteindre un niveau de traitement de qualité supérieure à ce que l'on pourrait normalement atteindre d'un traitement secondaire. Le traitement tertiaire peut viser un enlèvement plus poussé pour des paramètres conventionnels comme les matières en suspension ou encore certains paramètres pour lequel il y a peu d'élimination dans un traitement secondaire comme le phosphore, les nitrates...etc.

Parmi les étapes qu'on peut trouver dans un traitement tertiaire La déphosphoration, La désinfection et La dénitrification [10].

Tableau n° 1 différents traitements des stations d'épuration [11].

Traitement	Primaire	Secondaire	Tertiaire	Quaternaire
Principe	Décantation des matières Solide en suspension	Traitement biologique à l'aide de bactéries	Epuration chimique via addition de coagulants	Epuration des Agents Pathogènes via Chloration ou ozonation
Résultat	Boues de matières en suspension & eau chargée en pollution Dissolue	Boue de matières Éliminée via bactéries & eau Chargée en élément	Sédimentation Des matières Résiduaire & Eau épurée	Eau répondant aux normes pour la baignade

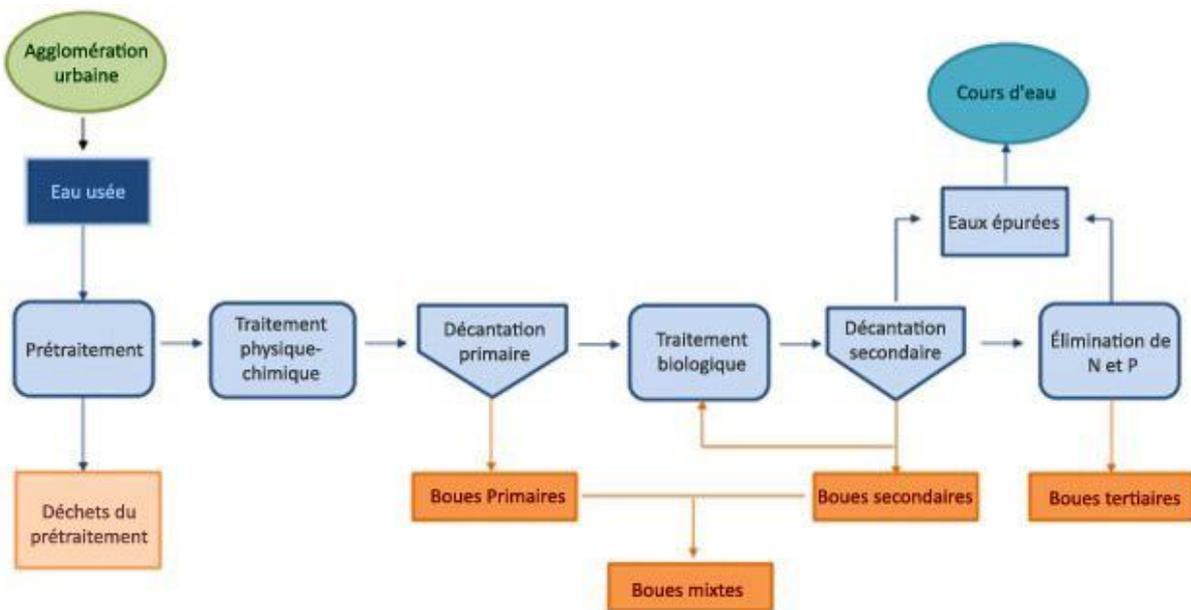


Figure n° 1 Schéma des différents types de boues dans un procédé de traitement par boues activées [12].

5. Généralité sur les boues

1) Définition

Les boues sont des résidus de traitement provenant de stations d'épuration des eaux ménagères ou des eaux d'égout communaux. Aussi résidu de curage de fosse septique. Plus généralement, tous résidu de traitement d'eau. Le terme « boues de station d'épuration des eaux usées » est le terme générique pour les différentes matières issues des processus d'épuration des eaux dans les stations d'épuration. Ces boues proviennent du traitement d'eaux ménagères, urbaines et industrielles rejetées dans les égouts publics. Dans les stations, divers autres déchets sont à prendre en compte : déchets flottant entraînés par les eaux, sable, etc. [11].

2) Production des boues des stations d'épuration

On appelle boues d'épuration les sédiments résiduels issus du traitement des eaux usées. Les boues d'épuration urbaines résultent de différent traitement des eaux usées domestiques qui proviennent de l'activité humaines et éventuellement des rejets industriels dans les réseaux des collectivités après avoir subis un prétraitement obligatoire. Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers les stations d'épuration ou elles sont traitées. En fin de traitement, à la sortie de la station, l'eau épurée est rejetée vers le milieu naturel et il reste les boues résiduelles qui sont composées d'eau et de matières sèches contenant des substances minérales et organiques.

3) Caractérisation des boues

Ces boues sont caractérisées par un certain nombre de critères définissant leur composition physique et chimique :

- Leur siccité, c'est-à-dire leur taux de matière sèche. La concentration en matières sèches est exprimée en grammes de matière par litre de boues (ou en pourcentage pour la siccité).
- Leur teneur en matière volatile ou matière organique, par opposition aux matières minérales. La teneur en matière volatiles s'exprime en pourcentage du poids des matières sèches. Elle permet d'évaluer le degré de stabilisation des boues et leur aptitude à subir divers traitements (digestion, incinération,).
- Leur teneur en matière minérale : différence entre matière sèche et matière volatile.
- Leur pouvoir calorifique inférieur qui permet d'évaluer leur aptitude à l'incinération. Il correspond à la quantité de chaleur pouvant être dégagée par une certaine masse de boue. Leur composition en matières fertilisantes (carbone organique,

phosphore, azote, oligoéléments), en éléments indésirables (traces métalliques et en composés traces organiques) et en micro-organismes.

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement appliqué. Les boues sont très riches en matière organique (50 à 70 % de la matière sèche), ce qui favorise la prolifération des microorganismes qui se multiplient et décomposent la matière organique. En absence d'une aération suffisante, la décomposition libre des composés organiques nauséabonds, ainsi que le gaz à effet de serre (gaz carbonique, méthane...). La décomposition des boues d'épuration libre également de grandes quantités d'azote (principalement sous forme de nitrate) et de phosphore. Les métaux lourds représentent, en moyenne, moins de 0,15 % de la matière sèche. La réglementation évolue avec l'efficacité croissante de la gestion des déchets et les avancées techniques de leur traitement [11].

4) Différents types des boues

A. Les boues primaires

Récupérées par simple décantation des eaux usées n'ayant pas subi de traitement, elles sont très hétérogènes, riches en matières minérales (micro- sables, terres) et contiennent de 65 % à 70 % de matières organiques putrescibles et susceptibles d'évolution. Elles sont riches en eau ; environ 90 à 95 %, et présentent une odeur fétide [11].

B. Les boues secondaires

Ce sont les boues issues des clarificateurs ou décanteurs après traitement biologique que ce soit en culture libre (boues activées) ou en culture fixées (lits bactériens disque biologiques). Elles sont donc constituées essentiellement de corps bactériens et de leurs sécrétions, elles sont de couleur sombre, très organiques (75 %) plus homogènes que les boues primaires et ont moins d'odeur que les précédentes [11].

C. Les boues physico-chimiques

Variante des boues primaires sont obtenues par adjonction de réactifs (sels de fer, d'aluminium) visant à coaguler la fraction colloïdale des matières contenues dans les eaux usées. Présentent des concentrations assez élevées, elles nécessitent une stabilisation et posent des problèmes spécifiques de destination finale du fait des ajouts de réactifs, et plus particulièrement de sels métalliques [11].

D. Les boues mixtes

Telle est l'appellation du mélange des boues secondaires avec les boues primaires. Les boues mixtes sont celles qui sont issues de la quasi-totalité des filières de traitement complètes. Les boues font l'objet de diverses phases de traitement visant à réduire leur volume, à les stabiliser et à les rendre facilement manutentionnaires pour les évacuer de la station d'épuration. Avant ces traitements, elles portent le nom de boues fraîches, terme qui recouvre généralement l'association boues primaires – boues secondaires [11].

En fonction de la qualité de l'eau à épurer, et du mode de traitement adopté, on distingue deux grandes familles :

- Les boues à caractère minéral
- Les boues à caractère organique. La stabilisation conduit aux boues digérées soit aérobies soit anaérobies.

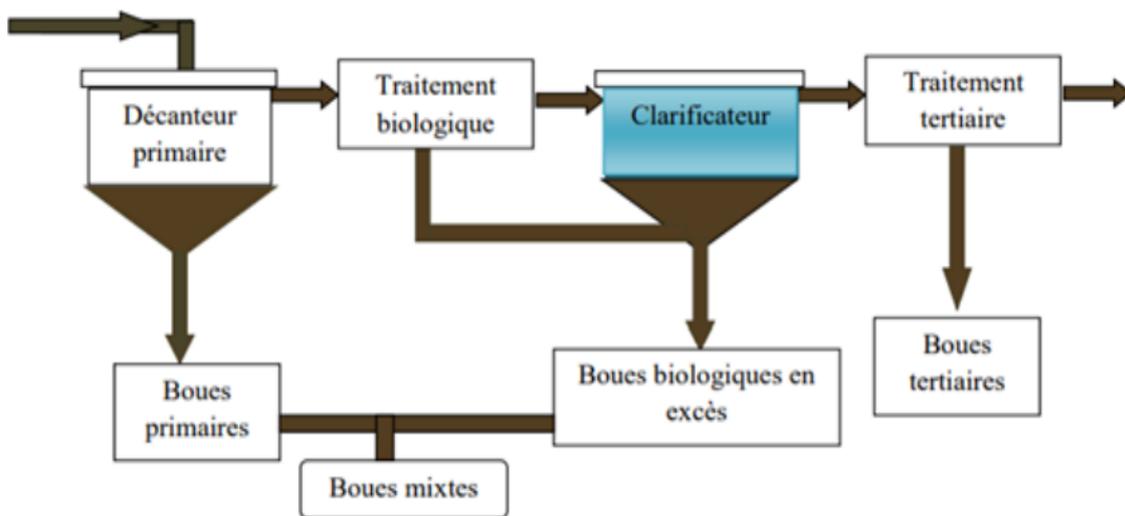


Figure n° 2 Schéma des différents types de boues dans un procédé par boues actives [13].

5) Les caractéristiques des boues résiduaires

La boue a des plusieurs caractéristiques selon les composants soit chimiques ou physiques.

5.1 Les caractéristiques chimiques des boues

5.1.1. Les matières en suspension : Elles représentent la fraction constituée par l'ensemble des particules organiques ou minérales, non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque le degré de pollution d'un effluent urbain ou même industriel [14].

5.1.2. Les matières volatiles sèches : Elles représentent la fraction organique des matières sèches et sont obtenues par calcination de ces matières sèches à 525 °C/2 h, la différence de poids entre les matières sèches à 105 °C et les matières sèches à 525 °C donne la (perte au feu) et correspondant à la teneur en matières volatiles sèches en (mg /l) d'une eau [14].

5.1.3. Les matières minérales : Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son (extrait sec) constitue à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates. Ce phénomène peut être accéléré par la présence d'une forte proportion de matière organiques consommatrices d'oxygène [14].

5.1.4. Fraction volatile (en pourcent des matières sèches) : C'est le rapport des matières volatiles (en g/l) sur les matières sèches (en g/l). Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...) [15].

5.1.5. La siccité : Les boues sont constituées d'eau et de matière sèche. La siccité est le pourcentage massique de matière sèche. Ainsi une boue avec une siccité de 10 % présente une humidité de 90%.

- Boues liquide : siccité de 0-10%.
- Boues pâteuses : siccité de 10 -25%.
- Boues solides : siccité de 25 -85%.
- Boues sèches : siccité supérieure à 85% [16].

5.1.6. Le volume de décantation : Le volume décanté pendant 30 min, doit impérativement être inférieur à 300 ml, au-delà, y a nécessité d'opérer une dilution des boues par de l'eau avant la réalisation du test [17].

5.2.Les caractéristiques biologiques des boues

Les boues résiduaires contiennent une grande quantité de microorganismes (virus, bactéries et parasites), ils sont éliminés de l'eau avec les boues qui décantent. La concentration de pathogènes peut être réduite significativement par les procédés de traitement des boues, comme la digestion anaérobie, aérobie et compostage [18].

5.2.1. Les bactéries : Dénombrer de différents types de bactéries dans les boues, une partie de celle-ci est d'origine fécale et certaines sont porteuse de germe, elles peuvent donc être pathogènes. Les classé en quatre types :

- *Aérobies stricts* qu'elles développent qu'en présence d'air, elles sont nombreuses dans les boues activées.

- *Aérobies facultatives* qui peuvent se développer en anaérobiose par consommation de l'oxygène contenue dans la matière organique (aéromonase).
- *Anaérobies facultatifs* qui peuvent supporter la présence de l'air mais ne se développent que grâce à des processus anaérobies (lactobacillus).
- *Anaérobies stricts* dont le développement ne s'effectue qu'en anaérobiose (Clostridium) [18].

5.2.2. Les virus : Trouve des entérovirus, des adénovirus adsorbés sur la matière organique solide des boues dans une proportion non négligeable environ 30% des échantillons de boues. Leur élimination n'est pas facile à mener à bien mais selon l'utilisation ultérieure des boues, il faut s'en préoccuper [18].

5.2.3. Les parasites : Trouve de très nombreux parasites dans les boues d'origine fécale ou tellurique. Les cas les plus fréquents sont les œufs d'ascaris [18].

5.2.4. Les micropolluants : Les boues contiennent, en faible quantité de nombreux produits qui peuvent être soit toxique pour les plantes, présentent des inconvénients ou même des dangers pour l'homme par l'intermédiaire des plantes [19].

5.2.5. La Composition des matières organiques : Les boues sont constituées de matières organiques complexes non dégradées. Ces dernières sont principalement constituées de quatre grandes familles : les protéines. Les lipides, et les carbohydrates (glucose) et les acides gras [19].

5.2.6. La Composition des matières minérales : Il s'agit essentiellement de ce qui nomme des métaux lourds, qui ont été très largement étudié en laboratoire et sur le terrain pour leur rôle dans le développement des cultures irriguées par des boues liquides ou solide [20].

5.3. Les caractéristiques physiques des boues :

5.3.1. La viscosité : Les boues ne sont pas des liquides newtoniens, on mesure leur viscosité en fonction de la contrainte de cisaillement, cette viscosité permet de définir leur caractères thixotropes qui est important pour leur transport [21].

5.3.2. Le pouvoir calorifique : Les teneurs en matières organique des boues leur donne une aptitude à la combustion non négligeable qui permet de l'incinérer [22].

5.3.3. Le pouvoir calorifique inférieur : Son importance est primordiale en incinération, généralement exprime par rapport aux MV, il est relié au C, H, N, O, S, par écriture de la stœchiométrie de combustion [23].

5.3.4. La masse volumique : Elle permet de calculer le volume de boue à convoier, en l'absence de mesure pour une boue liquide ou pâteuse [22].

5.3.5. Les métaux lourds : la présence de métaux lourds dans les boues entrave leur valorisation agricole et s'accompagne de coûts d'exploitation et d'investissement onéreux.

6) Les métaux lourds

A. Définition

Un métal est une matière, issue le plus souvent d'un minerai ou d'un autre métal doté d'un éclat particulier, bon conducteur de chaleur et d'électricité, ayant des caractéristiques de dureté et de malléabilité, pas biodégradable et toxique cumulatif (accumulation dans les tissus des organismes vivants), se combinant ainsi aisément avec d'autres éléments pour former des alliages utilisables dans l'industrie. La notion d'éléments des traces métalliques ou (ETM) tend à remplacer celle des métaux lourds qui a été et qui reste un concept mal défini ils associent des métaux toxiques réellement lourds avec d'autres l'étant moins [24].

B. Les métaux lourds dans les boues

L'importance des métaux lourds dans les boues dépend de l'importance des métaux lourds dans les eaux entrant en station, issues elles-mêmes de quatre origines : des activités domestiques, de l'activité urbaine, de l'activité commerciale (ex : laboratoires) et de l'activité inertielle. Cette importance est surtout liée aux effectifs (taille de la population raccordée au réseau assainissement), et au type d'activité. Les éléments traces évoluant sous différents états physiques : sous l'état particulier (matières solides décantables), sous un état colloïdal-matière solides non décantables et sous un état dissous 45%de plomb, du zinc, du cadmium, du chrome, se trouvent à l'état dissous dans les eaux usées, et sont par conséquent difficilement éliminable [21]. La concentration des métaux dans les boues dépend du type de l'eau résiduaire qui est traité, le cadmium, Chrome, plomb, Nickel, mercure, argent et zinc peuvent être présents [24].

C. La réglementation algérienne

Le tableau suivant présente la réglementation algérienne relative aux boues déshydratées dans le traitement des boues, et nous mentionnons les valeurs limites des boues déshydratés qui doivent être prises en compte dans les stations d'épuration avant de les orienter vers différents domaines de réutilisation.

Tableau n° 2 Teneurs en éléments traces métalliques pour les boues en Algérie selon la norme NA 17671.

Métaux	Valeur limite dans les boues (mg /KG de MS)
Cadmium	10
Chrome	1000
Cuivre	1000
Plomb N	800
Mercure	16
Nikel	200
Zinc	3000
Chrome + Cuivre + Nikel + Zinc	4000

6. Les différentes filières de traitement des boues

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance. Les boues résiduaires en excès sont, au moment de leur extraction du système d'épuration des eaux, un produit : Peu concentré donc occupant un grand volume. Fermentescible du fait de la forte teneur en matière organiques. Qu'il est nécessaire d'extraire régulièrement de la plupart des types de stations d'épuration [26].

1) Epaissement

L'objectif de cette étape est réduit la quantité d'eau pour diminuer le volume des boues pour les étapes suivent de traitement. Très souvent l'épaississement est réalisé par des moyens physiques telle la flottation, la centrifugation ou la mise dans des bassins pour une simple sédimentation [27]. Il existe deux types d'épaississement : l'épaississement gravitaire et Epaissement dynamique.

2) Epaissement gravitaire (décantation)

Cette technique est la plus utilisée pour la concentration des boues, elle est très répandue dans les grands stations (10000 - 100000 EH). Une hauteur de 3,5 à 4m est préconisée pour le bassin de décantation, en tenant compte du volume de stockage, afin de faciliter le tassement de la boue. La siccité des boues à la sortie de ce procédé varie de 2 à 10% selon la nature des boues traitées. Ce procédé est peu couteux (consommation énergétique de Chapitre I Etude Bibliographique 12 l'ordre de 1 à 7 k WH/t MS). Son exploitation est simple mais de faible performance sur les boues biologiques (boues très fermentescibles) avec une siccité seulement de 1,5 – 2,5%. De plus, la mise en place de l'ouvrage nécessite une surface et un volume très important. Le temps de séjour des boues dans l'épaississeur est d'environ

48 h. la performance est variable selon la nature des boues pour les boues primaire, 40-80 kg de MS/m/jour, et pour les boues biologiques : 25kg de MS/m/jour [19].

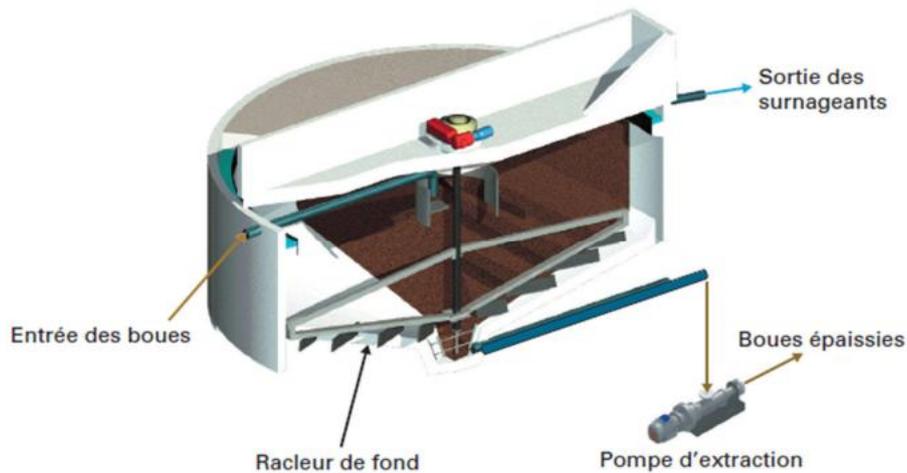


Figure n° 3 Coupe longitudinale d'un épaisseur gravitaire [25].

3) Épaississement dynamique

L'épaississement gravitaire est d'une exploitation très rudimentaire, mais n'autorise pas de performances exceptionnelles, et afin d'obtenir des boues toujours pompables mais plus concentrées, on peut recourir à l'égouttage naturel, pour cela, on doit augmenter artificiellement la taille à l'aide de poly-électrolytes, La boue préalablement floculée, est épandue sur un champ horizontal de grille fine [28].

Épaississement par flottation : Le procédé le plus utilisé en traitement des boues est l'aéroflottation qui réalise la production de microbulles d'air selon la technique de pressurisation détente (détente du fluide préalablement en contact avec de l'air comprimé à une pression comprise entre 3 et 6 bars). Pour former des attelages particule-air [29]. La concentration des boues obtenue est d'ordre 35-50 [30]

Épaississement par égouttage : À l'aide d'une toile filtrante la boue floculée est épaissie par égouttage. Cette technique est en général utilisée pour des boues biologiques d'aération prolongée [31].

Épaississement centrifuge : La centrifugation est une opération de séparation mécanique, par action de la force centrifuge, deux à trois phases entraînées dans un mouvement de rotation, dans ce type d'épaississement il est nécessaire d'introduire un peu de poly électrolyte [30].

4) Stabilisation des boues

La réalisation d'une stabilisation des boues pour le but de : – bloquer les fermentations, – la destruction de micro-organisme pathogène. – Augmenter la siccité, particulièrement en cas de mis en décharge Cette stabilisation s'effectue par plusieurs voies (biologique, chimique et thermique) [32].

A. Voie biologique

La réalisation de la stabilisation des boues par voie biologique peut être réalisée à l'aide d'une digestion aérobie ou bien une digestion anaérobie [28] :

Digestion aérobie : C'est par une aération prolongée des boues, que l'on parvient à poursuivre le développement des micro-organismes au-delà de la période de synthèse des cellules, et d'épuisement de substrat. La stabilisation aérobie est fortement influencée par la température et la durée de séjour des boues en aération, [29]. Le taux de réduction des matières organiques varie entre 20 à 35 % [30].

Digestion anaérobie : La digestion anaérobie, se réalise par fermentation méthanique des boues dans des cuves fermées (digesteur), à l'abri de l'air. Elle permet d'atteindre des taux de réduction des matières organiques de 45 à 50 % [33].

Pendant la digestion anaérobie on distingue deux phases, la première c'est la phase de liquéfaction pendant laquelle les matières organiques complexes sont converties à l'aide de enzymes extra et intracellulaire en simples molécules (acides aminés, acides gras et surtout acides volatiles (formique, propénoïque, butyrique...), et la deuxième phase où les acides volatiles sont consommés par les bactéries méthaniques et transformés en eau et gaz carbonique [29].

Pour une bonne digestion, des boues se caractérisent par un pH présent dans la gamme de (6,8 et 7,8) et une concentration en acides volatils inférieure à 1g/l, et une bonne production de gaz contenant 70% de méthane [34].

B. Voie chimique

Ce traitement est basé sur la variation de pH des boues en utilisant des substances chimiques (la chaux, acide nitrique) dont le pH extrême (pH très acide ou pH très basic) afin de bloquer l'activation des germes pathogènes [35].

Stabilisation à la chaux : Le réactif utilisé est essentiellement la chaux, cette dernière permet d'attendre un pH=12 au moins pendant 3 mois conférant une action stabilisatrice par inactivation des germes [36]

Sous sa forme CaO elle permet en outre, en réagissant avec l'eau des boues, deux actions supplémentaires Une action déshydratante poussée d'une part par transformation d'une partie de l'eau libre des boues en eau combiné à la chaux, d'autre part par effet évaporatif par l'effet de la réaction exothermique dégageant 1 160 KJ/Kg CaO [37]

Stabilisation des boues aux nitrites (procédé SAPHYR, OTV) : Ce procédé chimique s'effectue en phase liquide, préférentiellement sur des boues épaissies, ces dernières sont admises dans un milieu acide maintenu à un pH entre 2 et 4. Elles sont alors soumises pendant 1 heure à l'action des ions nitrites NO_2^- [35].

Il s'ensuit une destruction des composés réduits odorants (H_2S , mercaptans...), mais également une inactivation des germes responsables de la dégradation des matières organiques. On aboutit à une stabilisation de la boue dans la mesure où celle-ci peut être stockée [36].

C. Voie thermique

Elle peut être assurée soit par une pasteurisation des boues liquides par passage à la température de 70°C pendant une trentaine des minutes, ou bien par séchage thermique partiel ou poussé, ce qui permet de conserver les matières organiques portées à une température de l'ordre de 80 à 100°C ou bien par autoclavage c'est-à-dire cuisson des boues sous pression équilibrante à 180 – 220 °C pendant une durée de 30 - 90 minutes, et la destruction des germes est évidemment totale [38].

5) Conditionnement

C'est impératif pour rendre l'opération de déshydratation mécanique économiquement réalisable. Ce conditionnement a pour objet de réduire entre autres la stabilité colloïdale des espèces particulières, de favoriser la libération d'eau ou en réduire l'énergie de liaison avec les espèces particulières. Dans le cas où le conditionnement n'a pour seul objet que de faciliter la déshydratation des boues (sans stabilisation sanitaire ou biologique), seule la voie chimique est pratiquée. Ce conditionnement chimique se fait par apport de coagulants minéraux (sels de Fer ou d'Aluminium) et/ou de poly-électrolytes généralement de synthèse. Il se fait conventionnellement dans des cuves où le mélange est parfaitement contrôlé pour favoriser le contact et la restructuration des espèces en suspension. Ce contact peut nécessiter une régulation de pH. Leurs inconvénients sont leur coût et leur devenir dans le cas d'épandage

des boues pour des composés qui peuvent présenter une biodégradabilité lente, voire une migration progressive vers les nappes d'eau ou les végétaux [39].

6) La déshydratation

La déshydratation qui correspond à une augmentation forte de siccité, modifie l'état physique des boues, celles-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide. Il existe deux procédés principaux, le procédé filtre bande et le procédé filtre presse. Pour le procédé filtre bande, les boues sont déversées entre deux bandes continues verticales de toiles synthétiques se déroulant entre deux rouleaux presseurs puis acheminées vers une aire de stockage. Pour le deuxième procédé, les boues sont injectées dans des filtres presses [40].

A. La déshydratation mécanique

Dans les stations d'épuration, l'étape de traitement finale des boues est leur déshydratation afin d'éliminer un maximum d'eau. Une teneur en matière sèches située entre 15 et 35% est obtenue. Les boues contiennent encore jusqu'à 85% d'eau. Il est donc impératif d'optimiser cette étape afin d'assurer la plus grande élimination possible d'eau. Les procédés de déshydratation généralement utilisés sont le filtre à bandes presseuses, le filtre presse et la centrifugeuse [41].

Filtres rotatifs : Sont les plus largement utilisés, ces appareils comportent un tambour tournant autour d'un axe horizontal, et dont la partie inférieure plonge dans le bac de filtration, où sont pompées des boues à filtrer. Le tambour se trouve sous vide et est équipé d'un tissu filtrant, sur lequel les solides des boues sont déposés et retenus sous l'effet d'aspiration créé par le vide. Il se forme ainsi. Sur le tissu filtrant, un gâteau cohérent qui. Après son émergence, subit un séchage complémentaire. Dans la dernière partie de sa rotation ce gâteau est ameubli par une chasse d'air comprimé, pour être finalement enlevé par un racloir [28].

Filtre à disque : La surface filtrante est partagée en un certain nombre de disques filtrants de forme circulaire, ceux à l'intérieur et auxquels on applique un vide, ces disques sont montés sur un axe horizontal, et tournent verticalement dans un bac, dans les filtres à disques, l'enlèvement du gâteau se fait également à l'aide de racloirs [28].

Filtre à bandes presseuses : C'est la filtration sous pression progressive, de 0,3 à 1 bar : comprime la boue au moyen de rouleaux entre une bande filtrante et une bande presse. Le processus comporte les étapes suivantes : la floculation avec des poly-électrolytes, l'égouttage sur un support filtrant de l'eau interstitielle libéré et le pressage de la boue drainée, entre deux toiles qui la compriment progressivement [41].

Filtre à presse : c'est un appareil qui permet de filtrer des boues en chambre étanche sous des pressions de l'ordre de 5 à 15 bars il fonctionne en discontinu [41].

La centrifugeuse : peut être assimilée à une sédimentation accélérée. La centrifugation est précédée d'un conditionnement à l'aide de polymères de synthèse aboutissant à une boue floculée [41].

B. Déshydratation naturelle

Le système consiste à sécher les boues à l'aire libre sur lits de séchage drainés.

C. Séchage

C'est une déshydratation quasi-totale des boues par évaporation de l'eau qu'elles contiennent ; la réduction de volume qui en résulte est conséquente [42]

Lits de séchage : Ce procédé consiste à répartir les boues à déshydrater sur une surface drainante (Composée de plusieurs couches de gravier et de sable de granulométries variables), à travers laquelle s'écoule l'eau interstitielle. Ces lits de séchages sont mis sous serre pour tirer parti du phénomène d'évaporation naturelle et l'accélérer par les rayons du soleil. On parle alors de séchage solaire Une autre variante de ce procédé consiste à mettre les lits de séchage sous couvert végétal (roseaux), ce qui permet de s'affranchir des conditions climatiques. Ce procédé est appelé lits à macrophytes. En sortie des lits de séchage, les boues sont solides, d'une siccité d'environ 35 à 40 % [42].

Séchage thermique : Le séchage thermique des boues revêt un effet temporaire de stabilisation (par absence d'eau), persistant aussi longtemps que les boues ne sont pas humectées. L'intérêt du séchage (réduction des volumes, réduction des odeurs, meilleure manutention) est d'élargir l'éventail des solutions pour les boues et d'en faciliter leur utilisation et l'accès aux filières agronomiques [43].

Séchage solaire : Ce procédé est basé sur l'utilisation des lits de séchage sous serre, ce qui permet de garder la chaleur, d'avoir une température de l'air et des boues plus élevée, mais également d'accélérer le séchage par les rayons du soleil [41].

7. Destination finale des boues résiduaires

L'évacuation des boues d'épuration apparaît comme la phase la plus délicate de l'épuration des eaux usées. Il s'agit de se débarrasser de ces résidus par des procédés provoquant le minimum de nuisances tout en limitant les frais de l'opération [44].

Pour la destination finale de boues déshydratées, on pourra (en fonction des propriétés économiques) envisager soit l'incinération, la valorisation énergétique ou la valorisation agricole.

1) L'incinération

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles nommées cendres. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même ou pour le chauffage urbain ou industriel. Les résidus de l'incinération (Mâchefer) sont utilisables pour les travaux publics. Les boues seules ne sont pas auto combustibles, elles nécessitent des fours spéciaux et un mélange avec d'autres déchets ménagers [45].

L'élimination des cendres et des mâchefers exigent une décharge contrôlée de classe 1 ou une unité d'inertie. Cette technique reste aussi néfaste de point de vue écologique et environnemental puisqu'elle contribue en plus du gaspillage de matières organiques utiles pour le sol à la diffusion de gaz très toxiques (NO, CO, SO, dioxine, etc.) qui ont fait l'objet de réglementation spécifique [45].

2) Valorisation énergétique

La valorisation énergétique est un procédé qui permet de valoriser des matières organiques en produisant une énergie renouvelable (électricité, chaleur). La valorisation énergétique (méthanisation ou pyrolyse) des boues participe de manière évidente à la protection de l'environnement [45].

3) Valorisation agricole

La valorisation agricole des boues résiduelles peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer Les cycles biogéochimiques (C, N, P...), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges [45].

Les boues résiduelles peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais [24]. Cependant, deux contraintes principales peuvent limiter l'utilisation directe des boues résiduelles comme amendements pour le sol soit ; les éléments traces métalliques et les microorganismes pathogènes De plus, d'autres micropolluants peuvent se trouver dans ces boues tels que ; des résidus de pesticides, PCB, HAP. Nanoparticules, etc. A cet effet, des

prétraitements de boues avant épandage s'imposent comme par exemple le compostage et/ou vermis compostage qui prennent une considération particulière ces dernières décennies [45].

Le compostage : Le compostage est un processus de décomposition et de transformation « contrôlées » de déchets organiques sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie. L'utilisation du compost permet une amélioration de la qualité physique et chimique du sol et a des effets bénéfiques sur la faune du [46]

Le vermicompostage : Le terme vermicompostage (lombricompostage) se réfère à l'utilisation de vers de terre pour composter les résidus organiques. Les vers de terre peuvent consommer pratiquement tous les types de matières organiques et peuvent absorber l'équivalent de leur propre poids par jour. Les excréments (turriculés) des vers de terre sont riches en nitrate, et en formes disponible de P, K, Ca, Mg [46].



Figure n° 4 Evacuation des boues résiduelles de STEP [44].

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Baraki

1. Présentation de la Zone de BARAKI :

La zone d'étude est une commune de la plaine de la Mitidja, elle se situe à 15 km au sud de la capitale (Alger), à 13 km de la mer et à 40 km à l'est de Blida. Elle est considérée comme une ville importante des communes de sud d'Alger.

La commune de Baraki est délimitée au Nord par El Harrach, au Nord-Ouest par la commune de Gué de Constantine, à l'ouest par les communes de Saoula et Birtouta, à l'est par la commune Les Eucalyptus et au sud par la commune de Sidi Moussa [47].



Figure n° 5 Situation géographique de la commune de Baraki [47].

1) Localisation de la Station d'épuration de BARAKI

La station d'épuration de Baraki est la station principale d'épuration des eaux usées d'Alger et la deuxième plus grande installation de son genre en Algérie [47].

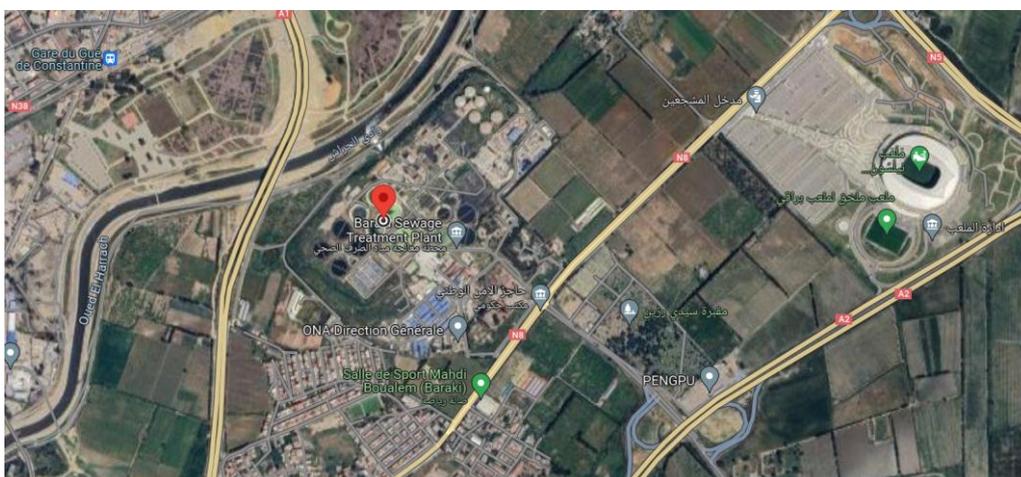


Figure n° 6 Localisation de la STEP de BARAKI (Source Google earth).

2) Etude climatique

A. Climat

Le climat est de type méditerranéen caractérisé par deux saisons principales, Un hiver rigoureux avec précipitation maximale pendant les mois froids de l'année de Décembre à Février, Un été chaud et sec avec des mois arides comme Juin, Juillet et Aout et précipitations quasiment nulles.

En raison de l'absence d'une station météorologique à BARAKI, nous avons utilisé la station de DAR EL BEIDA (ONM) comme station de référence, qui s'éloigne 12 km de notre zone d'étude, ce choix de station nous a permis l'extrapolation des données climatiques et géographiques [48].

Tableau n°3 Les données climatiques et géographiques de zone d'étude [ONM].

Étude	Altitude	Latitude	Longitude
Zone d'étude	25 m	36° 69 N	03° 10 E
DAR EL BEIDA	29 m	36° 71 N	03° 20 E

B. La Température Et la Précipitation de la zone d'étude

À Baraki, les étés sont très chauds, lourds, secs et dégagés dans l'ensemble et les hivers sont longs, frais, venteux et partiellement nuageux. Au cours de l'année, la température varie généralement de 6 °C à 32 °C et est rarement inférieure à 2 °C ou supérieure à 36 °C [49].

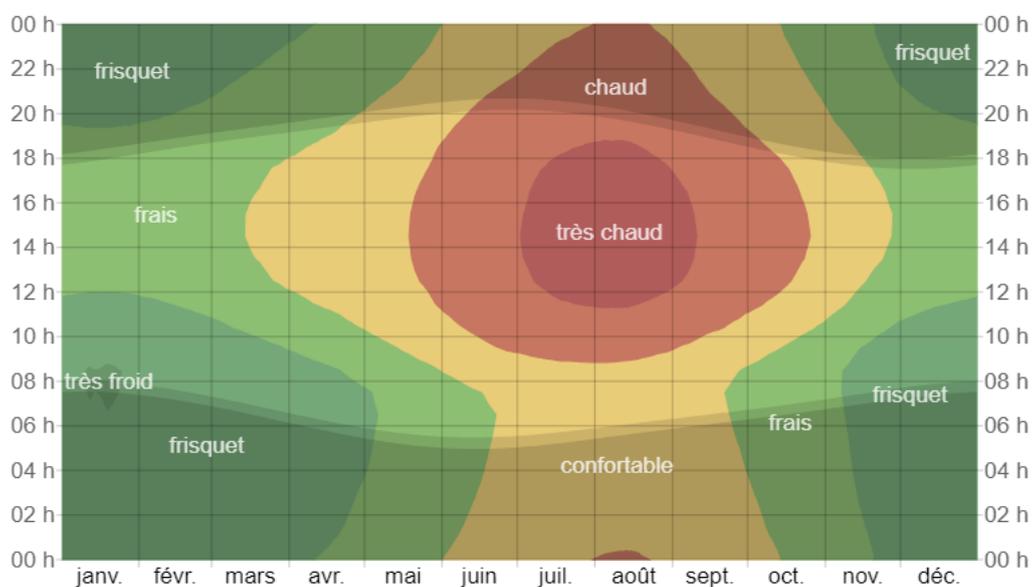


Figure n° 7 Température horaire moyenne à Baraki [49].

La saison connaissant le plus de précipitation dure 7-9 mois, du 21 septembre au 17 mai, avec une probabilité de précipitation quotidienne supérieure à 15 %. Le mois ayant le plus grand nombre de jours de précipitation à Baraki est *novembre*, avec une moyenne de 7,8 jours ayant au moins 1 millimètre de précipitation.

La saison la plus sèche dure 4,1 mois, du 17 mai au 21 septembre. Le moins ayant le moins de jours de précipitation à Baraki est *juillet*, avec une moyenne de 0,8 jour ayant au moins 1 millimètre de précipitation.

Pour les jours de précipitation, nous distinguons les jours avec *pluie seulement*, *neige seulement* ou un *mélange* des deux. Le mois avec le plus grand nombre de jours de *pluie seulement* à Baraki est *novembre*, avec une moyenne de 7,8 jours. En fonction de ce classement, la forme de précipitation la plus courante au cours de l'année est de la *pluie seulement*, avec une probabilité culminant à 29 % le 18 novembre [49].

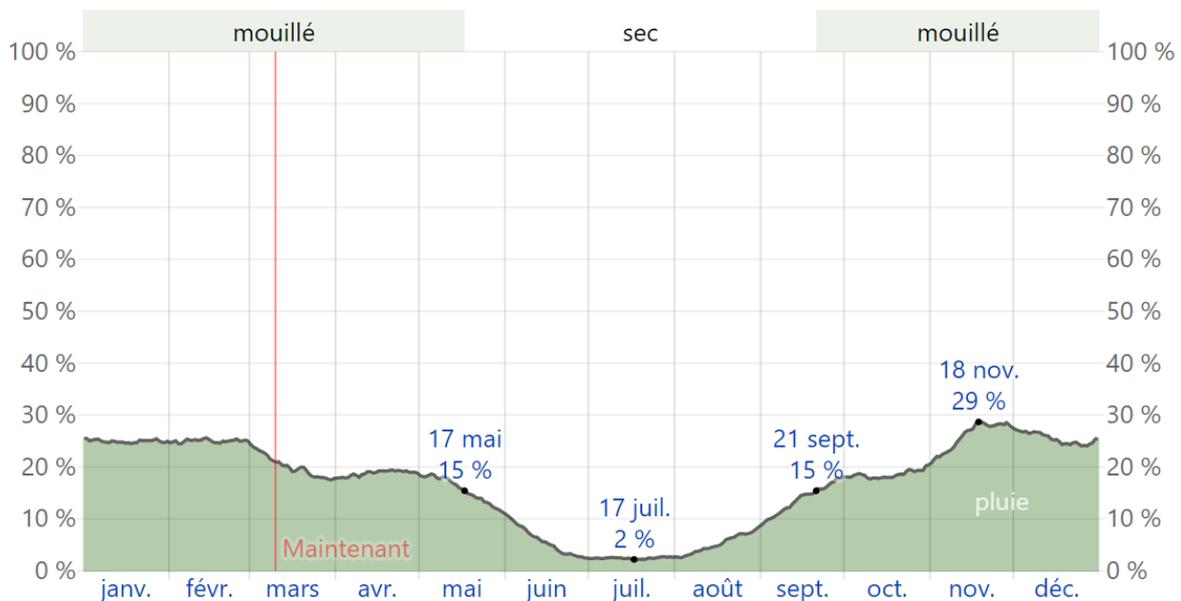


Figure n°8 Le pourcentage de jours durant lesquels divers types de précipitation sont observés [50].

3) Le relief

Trois grandes zones homogènes composent la morphologie de son territoire :

- La zone urbaine du grand Alger.
- La zone homogène du sahel.
- La zone Mitidja centre-est [50].

Deux grands ensembles physiques caractérisent le relief de la wilaya d'Alger : Le Sahel et la Mitidja.

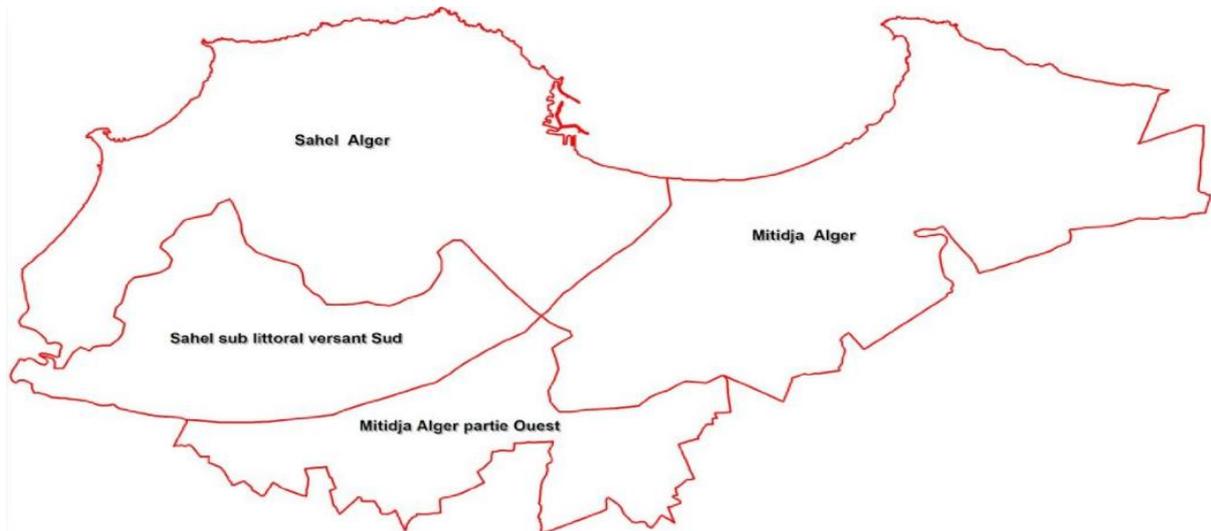


Figure n°9 Carte des zones homogènes de la wilaya d'Alger [50].

La partie Est de la Mitidja, appelée communément Mitidja de l'Est dont l'altitude varie de 0 à 50 mètres, est traversée par les oueds Hamiz et Reghaia. La pente est quasi nulle soit de 0% à 3%. Le sahel est constitué par des collines dont l'altitude moyenne est de l'ordre de 250 mètres. Le point culminant est à 420 m dans le massif de Bouzaréah. La pente, quant à elle, varie de 3% à 12 %. Ces mêmes collines du sahel appelées aussi « bourrelet d'Alger » séparent la plaine de la Mitidja de la Méditerranée dans sa partie Ouest. Du point de vue litho stratigraphique, trois ensembles géologiques affleurent dans la wilaya d'Alger, il s'agit : - Des terrains quaternaires dans la Mitidja et sur le littoral. - Pliocène dans le Sahel. - Les terrains métamorphiques dans le massif de Bouzaréah [50].

4) Historique

Sur la base du Schéma Général d'Assainissement d'Alger élaboré en 1975 par le Consortium Kiteellberger Inco (CKI) a été défini un Plan Directeur d'Assainissement des eaux usées dans le Grand Alger, approuvé par Décret Présidentiel en mars 1976. Ce plan définit les grandes lignes du système d'assainissement d'Alger : limites des bassins versants de traitement des eaux usées ; tracé des collecteurs principaux ; implantation des stations de relevage et de traitement des eaux résiduaires. Il prévoyait notamment l'implantation de trois stations d'épuration pour desservir la zone du projet : celle de El Harrach (Baraki) pour la partie centrale et celles de Beni Messous et Reghaia respectivement pour les secteurs Ouest et Est [51].

2. Présentation de la station d'épuration de Baraki

La mise en service de la STEP de Baraki date de 1989 ; elle n'a plus fonctionné pendant deux décennies, jusqu'à sa réhabilitation en 2009, au début de son fonctionnement, la station avait une capacité épuratoire a 900 000 EH. En 2015, la station a doublé sa capacité à 1.8 Million

EH. Cette station traite les eaux de quelques communes d'Alger pour une moyenne théorique de 298 800 m³ /jour.

La station d'épuration de « BARAKI » forme la chaîne de traitement suivante :

- Deux Stations de relevage PR1 & PR2.
- Dégrillage grossier mécanisé.
- Dégrillage fin mécanisé.
- Dessablage/déshuilage.
- Aération biologique.
- Station de pompage des boues recyclées et de boues activées en excès
- Décantation secondaire.
- Ouvrage de rejet.
- Epaississement des boues.
- Stabilisation anaérobie des boues par digestion.
- Formation et traitement du biogaz.
- Déshydratation mécanique et stockage des boues [48].

Tableau n° 4 Éléments compris dans la section T1 ET T2.

N°	Ouvrage	Nombre (T1+ T2)
1	PR01	3 Vis
2	PR02	4 Vis
3	Dégrilleurs	4
4	Dessableur	4+4
5	Décanteurs primaires	4+4
6	Bassins d'aération	4+4
7	Clarificateurs	4+4
8	Filtration	7
9	Epaississeurs	2
10	Digesteurs	3+3
11	Gazomètres	1+1
12	Torchère	1+1
13	Déshydratations	6+6
14	Epaississement mécanique	4

La STEP de BARAKI est de type Boues activées à moyenne charge, elle se compose de deux filières :

1) Filière de l'eau

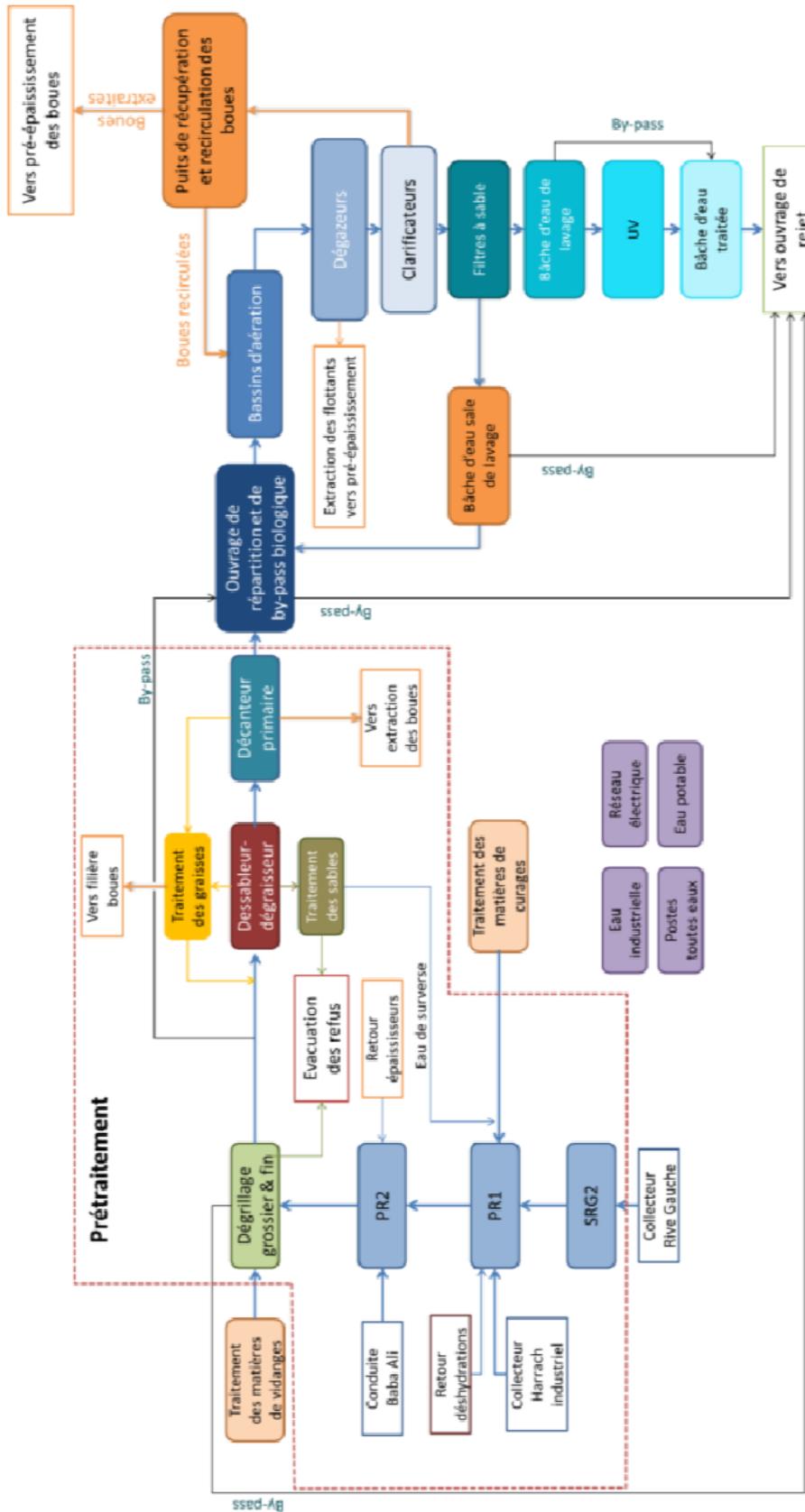


Figure n°10 Schéma fonctionnel de la station d'épuration de Baraki avec la localisation du Prétraitement [SEAAL].

A. Poste de relevage PR1

L'alimentation en eau de la station d'épuration des eaux usées se fait via des vis et des pompes, qui transportent l'eau jusqu'au poste de dégrillage, puis à travers les différentes étapes du processus de traitement.

Ensuite, l'eau est relevée afin de garantir un écoulement gravitaire tout au long des étapes suivantes du traitement, jusqu'à atteindre le traitement tertiaire.

Sources d'arrivée à PR1 : Par pompage via PR36 ; EL Harrach.



Figure n° 11 Poste de relevage PR1 (Photo prise sur terrain Mars 2024).

B. Poste de relevage PR2

Les eaux usées issues de plusieurs sources convergent vers la station de pompage PR2 pour un traitement initial. Ces sources comprennent :

- Station de pompage PR1 : Les eaux pompées initialement depuis cette station.
- Conduite Baba Ali : L'eau arrive par écoulement gravitaire via le collecteur Baba Ali.
- Retours épaisseurs : Les eaux provenant des épaisseurs, où une partie de l'eau est extraite pour réduire le volume des boues.

Ces eaux, après un premier dégrillage très grossier à PR2, sont relevées à l'aide de vis de relevage et de pompes, puis dirigées vers le poste de dégrillage pour des étapes de traitement plus fines.

Sources d'arrivée à PR2 : Par pompage via PR01, gravitaire (Collecteur baba Ali) et Retours épaisseurs.



Figure n°12 Poste de relevage PR2 (Photo prise sur terrain Mars 2024).

C. Prétraitement

Le prétraitement a pour objectifs d'éliminer les corps étrangers et une partie des matières en suspension (MES) dans l'eau brute, avant le traitement biologique et la filtration tertiaires.

Différentes mesures en phase de prétraitement

- **Mesure de pH** : Seuil pH bas = 6,0 et seuil pH haut = 9,0
- **Mesure de conductivité des eaux brutes** : Mesure la conductivité des eaux brutes provenant du poste de relevage PR2. Seuil Conductivité haut : 2500,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- **Mesure de la teneur d'hydrocarbures** : Un instrument de mesure de la teneur d'hydrocarbures est prévu pour la détection d'une teneur exceptionnellement élevée en hydrocarbures, qui peut apparaître lorsqu'il y a une introduction de combustibles dans le réseau des émissaires. [48]



Figure n°13 Mesure de PH, la Température, la conductivité, et la teneur en hydrocarbures (photo prise sur terrain Mars 2024).

a) Dégrillage

Le dégrillage est destiné à piéger les matières plus ou moins volumineuses et les déchets de toutes sortes de taille supérieure de 60 mm puis de 20 mm, contenus dans le canal d'admission.

- (03) dégrilleurs grossiers de 60 mm d'entrefer.
- (03) dégrilleurs fins de 20 mm d'entrefer.
- Vitesse de passage max : 0 ,24 m/s.



Figure n°14 Dégrilleur grossier (photo prise sur terrain Mars 2024).



Figure n°15 Dégrilleur Fin (photo prise sur terrain Mars 2024).

b) Classificateur à sable

Le classificateur à sable permet essentiellement de séparer l'eau du sable revenant du dessableur.



Figure n°16 Classificateur à sables (photo prise sur terrain Mars 2024).

c) Dessablage-déshuilage

Dans cet ouvrage, les sables contenus dans les eaux usées tombent au fond du bassin et sont aspirés.

Les graisses sont raclées à la surface puis acheminées vers le traitement des graisses.

- (04) Dessableurs-déshuileurs de volume (unitaire) = 960m.
- (05) SUPPRESSURS : Q (unitaire) = 2560 Nm³/h.
- (04) pompes à sable : Q (unitaire) = 188 m/h.
- (03) classificateurs à sable.



Figure n°17 Dessableur déshuileur (photo prise sur terrain Mars 2024).

D. Traitement primaire

a) Décantation primaire

Le décanteur primaire permet de piéger une première partie de la pollution particulaire et de produit des boues primaires. L'eau décantée est recueillie en surface par des goulottes et dirigée vers le traitement biologique.

- (04) Décanteurs primaires de Q (unitaire) = 7200 m³/h.
- (06) Pompes à boue : Q (unitaire) = 400 m³/h.
- (04) Pompes à flottants : Q (unitaire) = 17 m³ /h.



Figure n° 18 Décanteur primaire (photo prise sur terrain Mars 2024).

L'ouvrage compris dans la section :

Tableau n° 5 les caractéristiques principales de décanteur primaire [SEAA].

Ouvrage	Caractéristique	Valeur
Décanteur primaire	Surface totale requise	9 960 m ²
	Surface unitaire	2 463 m ²
	Diamètre	56 m
	Hauteur d'eau droite minimale	2 ,6m

E. Traitement biologique (secondaire)

a) Bassin d'aération

Il est connu comme le cœur battant de la station des eaux usées. Le bassin d'aération assure l'oxygénation et le brassage des boues activées afin d'éliminer les matières organiques à l'aide des micro-organismes présents dans l'eau

- (04) Bassin d'aération de volume (unitaire) = 18000 m³.
- (06) Turbocompresseurs de capacité totale d'oxygénation = 95760 Nm³/h.



Figure n°19 Bassin biologique ou d'aération (photo prise sur terrain Mars 2024).

b) Clarificateur (Le Décanteur secondaire)

Pendant le processus d'épuration, les micro-organismes se développent sous la forme de flocons de boue. Ceux-ci sont ensuite séparés par clarification pour produire de la boue biologique en excès et de l'eau clarifiée.

- (08) Clarificateurs volume (unitaire) = 8900 m³
- (06) Vis recirculation : Q (unitaire) = 3150 m³ /h
- (04) Pompe d'extraction : Q (unitaire) = 17 m³ /h



Figure n° 20 Clarificateur (photo prise sur terrain Mars 2024).

F. Traitement tertiaire

Ce traitement a pour objectif principal d'améliorer la qualité bactériologique par l'utilisation des UV et les filtres à sable.

a) Filtration à sable

La filtration sur sable permet d'intercepter les dernières particules visibles à l'œil nu de l'eau à traiter, l'eau est distribuée au-dessus du sable par le déversoir d'entrée.

- (07) Filtres à sable AQUAZUR V.
- Débit maximum à traiter : 9350 m³ /h.
- (04) Pompe d'alimentation : Q (unitaire) = 3117m³/h.



Figure n°21 Filtre à sable (photo original).

b) Désinfection physique par UV

La désinfection par UV est un procédé physique qui neutralise instantanément les micro-organismes exposés à des lampes UV immergées dans l'effluent.

- Transmittance en entrée de la désinfection = 60 %.
- Dose théorique : 22.7 MJ/ Cm².
- 04 Canaux de 08 modules.
- 288 Lampes.



Figure n° 22 désinfection physique par UV (photo origine).

A la sortie de rejet les paramètres de pollution sont conformes aux normes à la réglementation Algérienne.

Tableau n° 6 Valeurs limites maximales de la teneur en substances nocives de eaux usées autres que domestiques au moment de leur déversement dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration [52].

Paramètres	Valeurs limites maximales (mg /l)
Azote global	150
DBO ₅	500
DCO	1000
MES	600
Phosphore total	50
Température	≤30°C
pH	5 ,5-8,5

2) Filière traitements des boues :

À la sortie des filières de traitement des eaux, les boues contiennent environ 95-99% d'eau. Le traitement des boues consiste à diminuer leur teneur en eau ou augmenter leur siccité afin de réduire leur volume et leur charge fermentescible. L'épaississement, la déshydratation et la stabilisation sont les étapes de ce traitement [53].

A. Recirculation et extraction des boues

La recirculation et l'extraction des boues dans les stations d'épuration des eaux usées sont essentielles pour maintenir un équilibre optimal dans le processus de traitement. L'objectif est d'assurer une concentration appropriée de bactéries dans le bassin d'aération, mesurée généralement par la concentration des boues en kg de matière volatile (MV). Pour trouver cet équilibre, le système est composé de 2 éléments :

a) La recirculation

Afin de maintenir suffisamment de bactéries dans le bassin, de la boue activée est recirculée du fond des clarificateurs, par l'intermédiaire des puits de récupération des boues.

b) L'extraction

Les bactéries étant dans des conditions idéales de développement (présence de pollution de l'O₂), elles se développent rapidement. Il est donc nécessaire d'en extraire une partie [SEAL].



Figure n°23 Vis recirculation des boues (photo origine).

B. Epaissement des boues

La fonction première de l'épaississement des boues est de réduire leur volume. L'épaississement des boues se fait par :

- Décantation avec la séparation de la phase solide et de la phase liquide.
- Epaissir les boues de 10 g/l à 60 g/l.
- Envoyer les boues dans la bêche de pompage des boues épaissies.



Figure n°24 Epaisseur (photo prise sur terrain Mars 2024).

a) pré-épaisseur

Les boues produites lors du traitement biologique sont envoyées dans un pré épaisseur par pompage.

Les boues biologiques extraites des clarificateurs entrent dans le pré épaisseur à une concentration de 3 g/L dans le pré épaisseur.

La boue épaissie est raclée au fond du pré épaisseur puis extraite par des pompes et envoyées vers les grilles d'épauissement.

L'épauissement se fait avec ajout de réactifs pour augmenter la concentration des boues biologiques de 3 g/l à 10 g/l [SEAAL].



Figure n°25 Pré-épaisseur (photo origine).



Figure n°26 grilles d'épauissement (photo origine).

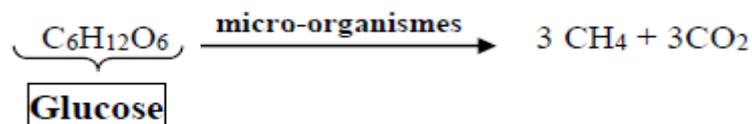
b) La bâche mixte

Dans cet ouvrage où se rencontrent 70% des boues primaires venant de l'épaississeur pour se mélanger avec 30% des boues secondaires venant du pré-épaississeur, En sortie de la bâche mixte le produit aura une concentration de 50 à 60 g.l en MES [48].

C. Digestion anaérobie et production de biogaz

La digestion anaérobie consiste en une série d'opérations de dégradations biologiques des matières organiques qui se produisent en l'absence d'oxygène. Les produits résultants de la dégradation biologiques, peuvent être classés en deux catégories, le biogaz et le digestat [54].

La digestion anaérobie est une solution de production d'énergie renouvelable et un procédé de traitement des matières organiques par fermentation. C'est une action qui vise la production du biogaz en grande quantité à travers un processus industriel [54]. Ce phénomène correspond d'un point de vue biochimique à la réduction des molécules organiques partiellement oxydées selon la réaction suivante :



a) Principe de la digestion anaérobie

La boue mixte arrive au digesteur primaire en circulant dans l'échangeur thermique qui est alimenté par des chaudières pour augmenter sa température à 37 °C. Elle est réinjectée par la suite dans le digesteur afin de passer une période d'environ 21 jours (temps de séjour). Ces digesteurs sont équipés d'un système de brassage pour assurer une bonne agitation de la boue, les bactéries dégradent la matière organique et libèrent des biogaz.

A la fin de cette étape, la boue sera partiellement digérée et envoyée vers le digesteur secondaire ayant comme rôle :

- Stocker les boues avant déshydratation.
- Supporter la cloche gazométrique.
- Achever le dégazage des boues.

Le stockage du biogaz se fait dans un gazomètre séparé des digesteurs, un système d'aspiration permet d'extraire le biogaz du digesteur [55].

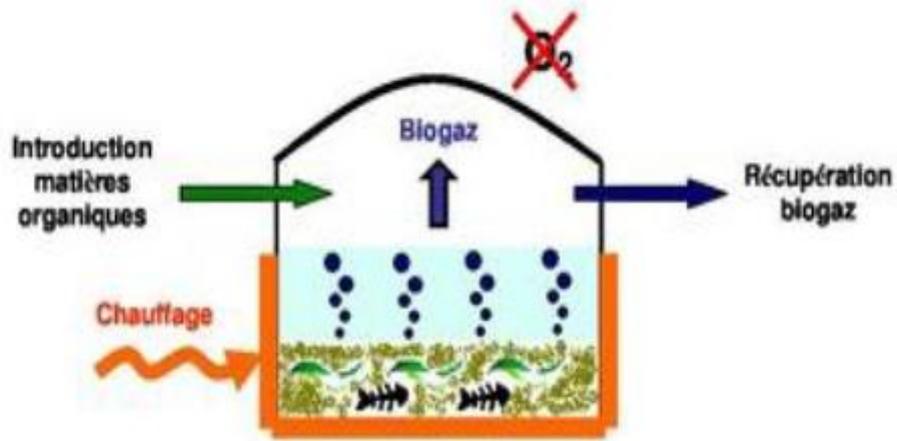


Figure n° 27 Schéma du procédé de biométhanisation [54].

Nombre :

- (06) Digesteurs avec un totale de V (journalier) = 2199 m³ /J.
- (05) pompes d'alimentation : Q (nominal) =65m³ /h.
- (03) pompe d'extraction de boue digéré : 90m³ /h.



Figure n°28 Les digesteurs (photo prise sur terrain Mars 2024).



Figure n° 29 Gazomètre souple (photo prise sur terrain Mars 2024).

b) Conditions optimales de la digestion anaérobie

La production de biogaz nécessite des conditions particulières de température, de potentiel d'oxydoréduction, de pH, d'absence d'inhibiteurs et de concentration en ammoniac (NH₃) [54].

L'anaérobie est une condition impérative au développement de la flore méthanogène [56]. Le potentiel d'oxydoréduction du milieu doit être de l'ordre de -300 mV [54].

Le pH optimal se situe autour de 7. Si le pouvoir tampon du milieu en fermentation est insuffisant, il peut résulter une acidification du milieu par accumulation d'acides gras volatils [57].

L'absence d'inhibiteurs de fermentation est de rigueur. L'excès de sels conduit à une conductivité élevée, la présence de certains métaux lourds toxiques (cadmium, mercure,) causent également des dysfonctionnements du procédé de bio méthanisation.

Facteur de stimulation biochimique à faible concentration, l'azote ammoniacal devient inhibiteur de méthanogènes au-delà de 3g. l⁻¹. Toutefois, la forme non ionisée semble être toxique. Certaines expériences mettent en évidence une adaptation des microorganismes jusqu'à 5 g. l⁻¹. d'azote ammoniacal [54].

Le rapport C/N ne doit jamais être supérieur à 35 avec un optimum de 30. Au-dessous, la production de gaz sera plus lente. La concentration en acides gras volatils (AGV) varie entre 1,66 méq. l⁻¹. et 8,33 méq. l⁻¹. [58].

c) Etapes de la digestion anaérobie

La digestion anaérobie se réalise en absence d'oxygène, ce qui permet de stabiliser les matières organiques en les transformant le plus complètement possible en méthane et en dioxyde de carbone. C'est le résultat d'une activité microbienne complexe qui se divise en quatre étapes principales :

- Hydrolyse.
- Acidogenèse.
- Acétogenèse.
- Méthanogenèse.

Pour mener à bien une digestion, il est nécessaire d'avoir des vitesses de réactions équilibrées pour ne pas inhiber une des étapes.

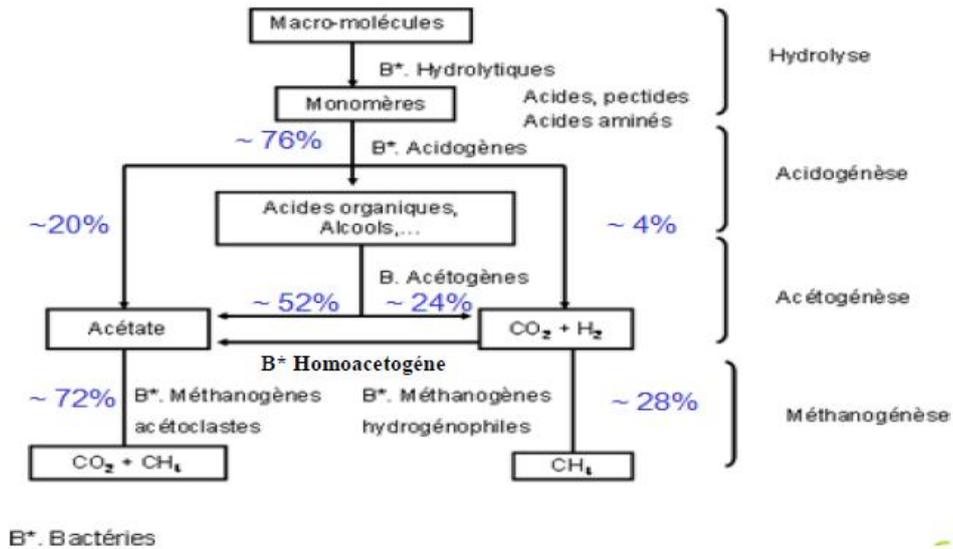
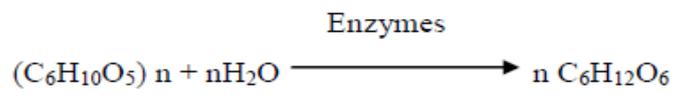


Figure n°30 Schéma de la chaîne trophique de la méthanogénèse et ses différentes étapes [54].

Hydrolyse : Lors de l'hydrolyse, les macromolécules organiques (déchet solide) sont transformées en petites molécules solubles, à l'origine du jus de fermentation, on parle de solubilisation des matières organiques : par exemple, la cellulose est transformée en glucose, où les enzymes joueraient le rôle de catalyseur [59].

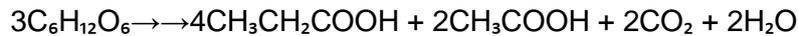


Acidogénese : Elle transforme les molécules simples par l'action des bactéries en acides de faibles poids moléculaire, tel que l'acide lactique ou les acides gras volatils de 2 à 5 atomes de carbone (Acétate, propionate, butyrate...), parallèlement sont produits des alcools de faibles poids moléculaires, tel que l'éthanol, le bicarbonate (HCO_3^-) et l'hydrogène moléculaire (H_2) [59]. En considérant le glucose comme substrat de référence on représente l'acidogénese par les équations suivantes :

Tableau n° 7 Les réactions chimiques de la digestion anaérobie.

Produits	Réactions
Propionate	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$
Butyrate	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{H}_2 + 2\text{CO}_2$
Ethanol	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 2\text{CO}_2$
Lactate	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$
Acétate	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2$

D'après l'IWA (2002), la réaction (3) ne serait jamais observée et il faudrait à la place considérer la production couplée de propionate et d'acétate selon la réaction :



La voie dominante (les AGV) dépend de plusieurs facteurs tels que la concentration en substrat, le pH et la concentration en hydrogène dissout [60]. Sous une charge organique très élevée, la production de lactate devient significative [61]. A bas pH (inférieur à 5) la production de l'éthanol est élevée, alors qu'à pH plus faible (inférieur à 4) il y a une forte production des acides gras volatils (AGV) [62].

Acétogénèse : Tous les produits résultants de l'étape de liquéfaction ou fermentation, autre que l'acétate (CH_3COO^-), le bicarbonate (HCO_3^-) et l'hydrogène moléculaire (H_2), nécessitent une transformation supplémentaire avant de pouvoir effectivement produire du méthane. C'est ici qu'interviennent les bactéries réductrices céto-gènes et les bactéries sulfato-réductrices, productrices d'hydrogène, et d'hydrogène sulfuré (H_2S) [63].

Méthanogènes : La méthanogénèse constitue l'étape de réduction finale du processus de méthanisation, elle est considérée comme l'étape limitant du processus de dégradation des composés dissouts [64].

Les méthanogènes hydrogénotrophes : $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

Les méthanogènes acétoclastes : $HCOOH + 3H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$ Dans les digesteurs anaérobies, environ 60 à 70 % du méthane est produit par les méthanogènes acétoclastes [65].

d) Paramètres influençant la digestion anaérobie

La digestion anaérobie est un phénomène naturel dont les réactions sont connues et peuvent être contrôlées. Toutefois, la production de gaz, ses caractéristiques et l'efficacité de la fermentation nécessitent certaines conditions et peuvent varier selon plusieurs facteurs.

- **pH** : Il est fondamental pour le bon fonctionnement des réacteurs. Un pH stable indique un système en équilibre et une méthanisation performante, les bactéries méthanogènes sont très sensibles aux variations de pH, même les petites altérations peuvent menacer la production du biogaz. Le contrôle de l'alcalinité est important afin de maintenir le pH du digesteur entre 5,5 et 8,5. Les valeurs idéales pour les microorganismes méthanogènes varient entre 7,0 et 7,2, la chute du pH en dessous de 5,0 est mortelle pour ces micro-organismes Acétogénèse et méthanogénèse [66].
- **Température** : Les micro-organismes sont répartis en trois catégories, selon la plage de température à laquelle leur croissance est optimale :

- ✓ Micro-organismes psychrophiles : (température variant de 6 à 20°C, avec un optimum de croissance de 15°C).
- ✓ Micro-organismes mésophiles : (température variant de 25 à 45°C, avec un optimum de 37°C).
- ✓ Micro-organismes thermophiles : (température supérieure à 45°C, avec un optimum de 60°C).

L'augmentation de la température présente plusieurs avantages [67] :

- ✓ Augmentation de la solubilité des composés organiques qui les rendent plus accessibles aux micro-organismes.
 - ✓ Accélération du processus de conversion, donc le réacteur peut être plus petit et peut fonctionner avec un plus faible temps hydraulique de rétention (HRT).
 - ✓ Augmentation du taux de mortalité des bactéries pathogènes particulièrement en condition thermophile, ce qui diminue le temps requis pour la réduction des pathogènes.
- **Rapport C/N** : Le rapport entre le carbone et l'azote présent dans la matière organique est important pour le bon fonctionnement du digesteur. Des études indiquent que la proportion désirable se situe entre 20 et 30, 25 étant le ratio idéal. Par conséquence une augmentation de l'apport en azote peut mener à une production accrue d'ammoniac, ce qui peut nuire aux microorganismes et bloque la biométhanisation [68].
 - **Degré d'humidité** : L'humidité a une grande influence sur l'action des bactéries. Des taux d'humidité supérieurs à 60 % augmentent la production de biogaz, qui atteint un maximum avoisinant 80 %. Au-delà de ce pourcentage, la production se stabilise dans ce plateau élevé [65].
 - **Agitation** : Le système d'agitation doit être suffisamment performant pour avoir un contact entre la biomasse épuratrice et le substrat, pour maintenir une température homogène et pour libérer le biogaz formé [63].
 - **Le temps de séjour hydraulique** : En ce qui concerne le temps de séjour hydraulique (TSH), il doit être suffisamment long pour éviter le lessivage des micro-organismes épurateurs. Ainsi, il est nécessaire que le temps de séjour hydraulique soit supérieur au temps de génération de nouveaux micro-organismes, en particulier des méthanogènes (micro-organismes les plus lent). En culture libre, le TSH est équivalent au temps de rétention des micro-organismes, et peut être fixé entre 10 et 60 jours : en général il est fixé entre 20 – 25 jours En système à biomasse fixée, le temps de séjour hydraulique est dissocié du temps de rétention et peut être diminué (1 à 10 jours) [63].

- **Alcalinité (TAC)** : L'alcalinité mesure le pouvoir tampon dans le digesteur et donc sa capacité à maintenir un pH stable. En digestion anaérobie, l'alcalinité dépend principalement de la concentration en bicarbonate (HCO_3^-), en AGV et parfois en ammonium, si l'effluent à traiter est riche en azote. Dans ce dernier cas, l'azote est réduit en grande partie en ammonium (NH_4^+) qui est un acide faible. Dans tous les cas, c'est le bicarbonate qui assure la plus grande part de l'alcalinité [69].
- **Acides gras volatils** : La détermination de la concentration en AGV permet de s'assurer que les réactions sa dégradation de déroulent correctement.

Les AGV sont les intermédiaires les plus importants de la digestion anaérobie. Ils sont produits au cours de l'acidogénèse pour être ensuite convertis soit directement en méthane dans le cas de l'acétate au cours de la méthanogénèse, soit en acétate ou en hydrogène au cours de l'Acétogénèse dans le cas des autres AGV. Leurs accumulations dans le digesteur traduit un dysfonctionnement de la méthanisation qui s'accompagne d'une baisse du pH et d'une augmentation de la concentration en hydrogène pouvant mener à une inhibition de la méthanogénèse [69].

D. La déshydratation des boues

La déshydratation permet de diminuer la teneur en eau des boues. Les boues sortent de l'atelier de déshydratation avec une siccité moyenne de 25%. Les filtrats, quant à eux, sont retournés en tête de la station (PR01).

Le filtre à bande est constitué principalement de deux toiles séparées tirées par un ensemble de rouleau cylindre. Des forces de pression sont appliquées sur les boues passant entre les toiles pour se débarrasser de ses eaux [SEAAL].

- (12) Filtre à bandes de Q (unitaire) = 825 Kg MS /h.
- (06) pompes d'alimentation T1 de Q (max) = 40 m³ /h.
- (06) pompes d'alimentation T2 de Q (max) 25 m³ /h.



Figure n°31 La déshydratation Mécanique par filtre à pression (Photo prise sur terrain Mars 2024).

E. Production des boues déshydratées

La production journalière des boues déshydratées est théoriquement de 100 à 150 T/j, en pleine capacité (les deux tranches T1 et T2). Actuellement, la production est inférieure car, la première tranche (T1) ne fonctionne pas, et la deuxième tranche (T2) fonctionne partiellement avec 3 FAB (Filtre à Bande), Sachant que ces machines (FAB) s'arrêtent parfois pour des interventions préventives et de maintenance mécanique. Voir moins tout dépend la disponibilité avec un débit moyen de 20 à 25 m³/h/FAB.

La tranche 01 est en cours de réhabilitation (l'entreprise COSIDER est en place), donc un volume pareil 50-75 T/j est un volume important (50% de production des boues déshydrater) dont sa valorisation nous permettra de gagner et créer une source pérenne comme matière première pour l'utiliser dans les défèrent secteur de quotidien à autre domaines (l'agriculture, valorisation énergétique...).



Figure n° 32 Zone de stockage les boues (Photo prise sur terrain Mars 2024).



Figure n° 33 Le camion pour déplacer (Photo prise sur terrain Mars 2024).

Chapitre 2 : Présentation de la station d'épuration de Baraki

Pour valoriser cette boue, Il faut faire une bonne étude analytique, et c'est l'objectif du prochain chapitre.

Tableau n°8 la production journalière moyenne des boues déshydratées (2023-2024) (SEAL).

MOIS	PRODUCTION MOYENNE DES BOUES(T/j)
Janvier	22.3
Février	8
Mars	44
Avril	66
Mai	44
Juin	34
Juillet	23 .3
Aout	13.7
Septembre	31.4
Octobre	32.5
Novembre	56.3
Décembre	44
Janvier	40
Février	50
Mars	55

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

1. Matériels

Nous avons utilisé les appareils suivants :

1) La pompe sous vide

C'est un type de pompe permettant de faire le vide, c'est-à-dire d'extraire l'air ou tout autre gaz contenu dans une enceinte close, afin d'en diminuer la pression.

2) La rampe de filtration

C'est un dispositif utilisé pour le contrôle microbiologique des liquides grâce à une ou plusieurs membranes de filtration. Cette méthode de filtration permet de la numérisation microbienne grâce à une croissance bactérienne de base



Figure n° 34 Pompe sous vide (à droite) + rampe de filtration (à gauche).

3) La centrifugeuse

C'est un appareil destiné à imprimer une force centrifuge, grâce à un mouvement de rotation, à un mélange généralement liquide/solide. La force centrifuge est une accélération qui s'exerce vers l'extérieur de l'axe de rotation et permet la sédimentation au fond du tube des particules les plus lourdes, le liquide plus léger surnageant.

4) Thermostat

Ils se caractérisent par des petits volumes de liquide actif et des pompes puissantes qui permettent un changement de température rapide pour les applications externes.



Figure n°35 Centrifugeuse (400tr/min).



Figure n°36 thermostat.

5) Etuve à 105° C

C'est un appareil de chauffage fonctionnant le plus souvent à la pression atmosphérique, particulièrement adaptée au séchage des granulats à 105 ° C.



Figure n°37 Étuve à 105°C.

6) OxiTop DBO

Il mesure la demande biochimique en oxygène (mesure de DBO).



Figure n°38 OxiTop DBO.

7) L'incubateur

C'est une enceinte thermostatée dans le laboratoire. Il est généralement réglé à 20 °C et équipé d'une arrivée de CO₂.



Figure n° Incubateur à 20° C.

8) Multi paramètres

C'est un appareil de mesure plusieurs paramètre dans une solution (le pH ou la conductivité).



Figure n°39 Multi paramètres (pH, Conductivité).

9) La balance

Elle peut mesurer la masse avec une grande précision



Figure n°40 Une balance.

10) Le microscope

Il permet d'observer des objets trop petits, microscopiques, pour être observé à l'œil nu.



Figure n°41 Le microscope.

2. Méthodes

1) Détermination de la matière sèche dans les boues (MS) :

L'échantillon de boue est séché jusqu'à l'obtention d'une masse constante, dans une étuve à 105 °C. La différence en masse, avant et après séchage, permet de calculer la teneur en matière sèche (Norme NF EN 12880).

$$MS \text{ (mg. l}^{-1}\text{)} = ((m3 - m1) / (m2 - m1)) * 1000$$

m1 : la masse de la capsule vide en gramme.

m2 : la masse de la capsule vide et son contenu en gramme.

m3 : la masse de la capsule vide et son contenu en gramme après séchage et refroidissement.

2) Détermination de la perte au feu de la matière sèche (MVS)

L'échantillon de boue séchée est calciné dans un four à 550 °C pendant au moins 60 minutes. La différence de masse avant et après calcination est utilisée pour calculer la perte au feu. Pour la majorité des boues, la détermination des matières volatiles est une évaluation approchée de la matière organique (Norme NF EN 12879).

La perte au feu, exprimée en pourcentage, est calculée à partir de la formule suivante :

$$\text{MVS (\%)} = (\text{ms} - \text{mc}) / (\text{ms} - \text{mv})$$

ms : Poids du creuset et de la matière sèche, en gramme.

ms : poids du creuset et de la matière sèche calcinée, en gramme.

ms : poids du creuset vide, en gramme.

3) Détermination du Ph :

Par définition, le pH est la différence de potentiel existant entre une électrode de mesure et une électrode de référence plongeant dans une même solution. Une telle différence est mesurée sous agitation magnétique à l'aide d'un multi-paramètre (Hach lange) (Norme NA. 751/1990).

4) Détermination du titre alcalimétrique Complet TAC et du taux d'acide gras volatils AGV

(Norme AFNOR NF T90-105)

A. Protocole

- Mesurer 25 ml de boue. Faire une centrifugation à 5000 tours/min pendant 10 minutes.
- Recueillir le surnageant dans un bécher de 400 ml.
- Reprendre le culot avec 50 ml d'eau distillé en ayant soin de rien perdre de la partie solide.
- Centrifuger à nouveau à 5000 tours/min pendant 10 minutes et recueillir dans le bécher la partie surnageante.
- Répéter encore une fois cette opération de lavage du culot.
- Le liquide recueilli contient notamment les bicarbonates et les acides volatils solubles.

B. Mesure du TAC

Le pH initial du liquide récupéré est mesuré à l'aide d'un multi-paramètre. Ce même paramètre est réajusté à 4 par l'ajout d'une solution de H₂SO₄ (0,1 N), en notant le volume obtenu en (ml).

$$\text{TAC} = (V * 0,1 * 1000 / 25 = V * 4 \text{ en méq. l}^{-1})$$

Où :

$$\text{TAC} = V * 4 * 0,05 \text{ en g. l}^{-1} \text{ de CaCO}_3$$

C. Mesure des AGV

Pour mesurer les AGV, une solution de H₂SO₄ (0,1 N) est ajoutée au liquide récupéré jusqu'à l'obtention d'un pH = 3,5. Le mélange est porté à ébullition pendant 3 minutes. Après son refroidissement, le pH du mélange est réajusté à 4 par l'ajout d'une solution de NaOH, (0,1N). Nous désignons par V₂ le volume obtenu. Le réajustement du pH continue jusqu'au pH = 7, ainsi le nouveau volume V₃ est enregistré également.

$$AGV = (V_3 - V_2) * 0,1 * 1000 / 25 = (V_3 - V_2) * 4 \text{ en méq.}$$

Où :

$$AGV = (V_3 - V_2) * 4 * 0,06 \text{ en g. l}^{-1} \text{d'acide acétique}$$

3. La valorisation des boues

C'est l'ensemble des techniques et des moyens mis en œuvre pour transformer les boues produites lors du traitement des eaux en vue de leur utilisation subséquente à des fins agricoles, horticoles ou énergétiques

1) Les différentes voies de valorisations et d'élimination des boues

Après avoir subi les différents traitements, les boues peuvent être traitées de différentes façons.

- **Valorisation agricole** : l'épandage et le compostage.
- **Valorisation énergétique** : la méthanisation.
- **Elimination des boues** : incinération et mise en décharge.

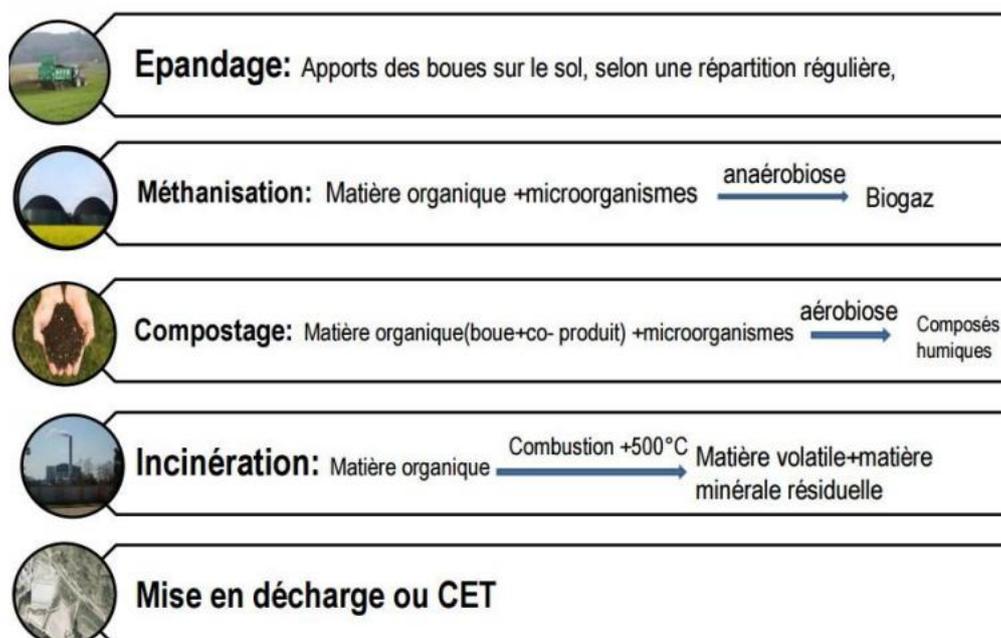


Figure n°42 Schéma des valorisations.

Le tableau suivant représente les résultats d'analyses des échantillons des boues stabilisées au niveau du digesteur.

Tableau n°9 Paramètres des boues digérées.

Mois	MVS %	MS g/l	AGV moy(méq/l)	TAC moy (méq/l)	pH	AGV/TAC
Octobre	44.8	38.87	5.2	45.8	7.16	0.11
Novembre	49.63	30.32	4.98	44.7	7.01	0.11
Décembre	47.33	28.79	5	46	7.02	0,1
Janvier	48	39	5.02	44	7.06	0.11
Février	47	34.11	4.40	44	7.05	0.1
Mars	46.2	43.6	4.80	47.9	7.06	0.1

2) La valorisation énergétique en BIOGAZ

A. Objectif

- Notre travail vise à valoriser la boue produite après une série des traitements d'épuration des eaux usées et des boues épurées
- Valoriser l'énergie biogaz, thermique ou cinétique en énergie électrique
- Transformer le Biogaz à énergie électrique
- Construire une station de production d'énergie électrique pour alimenter au moins 40 % de la station, et atteindre l'autosuffisance
- Réduire les couts de la consommation d'énergie électrique estimée à plusieurs centaines de millions de dinars annuellement à la station, dans le cadre du développement durable
- Protéger la nappe des lixiviats des boues stockées, aux saisons des ruissellements
- Protéger l'homme et l'environnement des risques de pollution et des contaminations

B. Projet

Au niveau de la digestion, la boue passe par plusieurs réactions chimiques, mentionnées précédemment et sous certaines conditions, ces réactions produisent un groupe des gaz qui s'appelle le BIOGAZ.

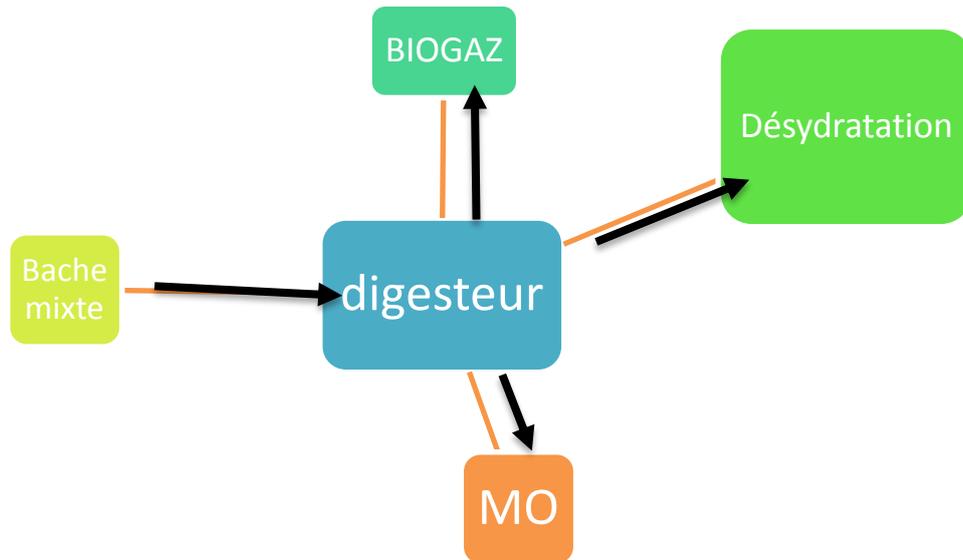


Figure n°43 Schéma de principe de production du BIOGAZ.

C. Composition du biogaz brut

Le biogaz est principalement composé de méthane (55 à 80 %) mais aussi de dioxyde de carbone (CO₂) et de quantités variables de vapeur d'eau et de sulfure d'hydrogène (H₂S)

Tableau n°10 Les valeurs des composants de biogaz brute en pourcentage.

Composé	Concentration moyenne (%)
CH ₄	55 à 80
CO ₂	20 à 40
H ₂ S	0 à 1.5
NH ₃	2 à 6
H ₂ O	0.1 à 2

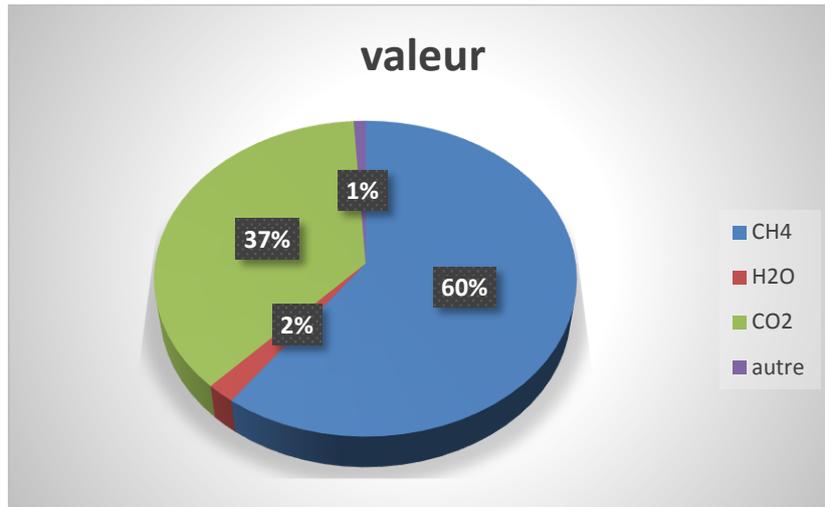


Figure n°44 Composants du BIOGAZ.

D. L'équivalence énergétique du biogaz

La production d'énergie à partir de Biogaz dépend au gaz de méthane (CH₄), pour calculer la production d'énergie, nous devons d'abord calculer la masse de matière organique dans le digesteur.

Remarque : avant de faire les calculs finals ; il faut noter que le fonctionnement de la station le moment d'étude est environ 50% (T2)

- $MES (kg) = \text{Débit BM} (m^3/j) \times C \text{ MES} (kg/m^3/j)$.
- $MES (kg) \times \% \text{ MVS} = \text{MO vers digesteur} (Kg \text{ MS}/j)$.
- $1 \text{ Kg MO} = 0.6 \text{ Nm}^3 \text{ BIOGAZ}$.
- $1 \text{ Nm}^3 \text{ BIOGAZ} = 6 \text{ KWh d'électricité}$. [72]

Le tableau n°11 présente la production moyenne journalière du biogaz et énergie électrique :

Tableau n°11 Calculs de la production.

MOIS	Concentrat ion moy MES (kg/m ³ /j)	Débit (moy) de boues mixtes (m ³ /j)	MES (moy) (Kg)	% MVS (moy)	Quantité (moy) de boue épaissie mixte envoyée vers les digesteurs Kg de MS/j	Producti on (moy) de BIOGAZ (Nm ³)	Production (moy) d'électricit é (KWh/j)
Octobre	33,1	276	9135,6	48,8	4458,1	2674,8	16049
Novembre	32,9	600	19740	53,5	10560,90	6336,54	38019,2
Décembre	42,1	478,7	20153,3	54,4	10963,3	6577,9	39467,4
Janvier	37,7	413.9	15604,03	56,6	8831,8	5299,08	31794,48
Février	39,6	253	10018,8	47,5	4758,9	2855,34	17132,04
Mars	53,16	173	9196,68	44	4046,5	2427,9	14567,4
Moyenne						4361,9	26171,6

E. Analyse du BIOGAZ et contrôle de la qualité

L'analyse du biogaz et le contrôle de sa qualité est une étape indispensable dans le développement de tout projet de méthanisation. Comme la composition du biogaz peut évoluer au cours du temps, il est nécessaire de contrôler la qualité régulièrement. Les opérateurs doivent analyser généralement les composés suivants (CH₄, CO₂, NH₃, H₂S et H₂O). Leur quantité doit être vérifiée avant et après les systèmes de traitement.

L'utilisation du biogaz pour l'obtention d'énergie est due à sa teneur élevée en méthane (CH₄). Le tableau suivant montre les quantités moyennes journalières des composés du biogaz produit estimé à la période d'étude :

Tableau n°12 Composants moyennes réels du BIOGAZ produit.

Mois	CH ₄ (m ³)	CO ₂ (m ³)	H ₂ O (m ³)	H ₂ S (m ³)
Octobre	1604.88	989.676	53.49	26.74
Novembre	3801.924	2344.51	126.73	63.36
Décembre	3946.74	2433.82	131.558	65.77
Janvier	3179.448	1956.39	105.98	52.99
Février	1713.204	1056.4	57.1	28.55
Mars	1456.74	898.32	48.558	24.27

3) Principe du travail

A. Incinérateur

Les modèles d'incinérateurs de boues de grande capacité varient en termes de conception et de capacités. Ils vont des modèles simples sans dispositifs de post-combustion et de purification des gaz aux modèles avancés avec fours rotatifs, systèmes de post-combustion et contrôle de la pollution de l'air. Ces incinérateurs avancés peuvent traiter divers types de déchets, y compris les pesticides organiques, avec une efficacité de destruction allant de 90 % à 99,99995 %. Les capacités varient de 0,5 à 7 tonnes par heure, fonctionnant en continu pendant 24 heures. Ils peuvent notamment traiter des solides, des liquides, des sols contaminés et des déchets emballés, garantissant ainsi une élimination sûre et efficace.



Figure n°45 Incinérateur.

B. Turbine à gaz

Les turbines à gaz sont largement utilisées pour la production d'électricité. Elles sont couplées à un alternateur pour générer de l'électricité. La puissance des turbines à gaz pour la production d'électricité varie de quelques centaines de kilowatts à plus de 300 MW, atteignant même 570 MW en 2022. Les plus grosses turbines sont souvent associées à des turbines à vapeur dans des cycles combinés, permettant d'atteindre des rendements globaux dépassant 60%.

Les images montrent différents modèles de turbines à gaz utilisées dans des centrales électriques. On peut voir des turbines à gaz en fonctionnement, en cours de maintenance, ainsi que des schémas et diagrammes techniques expliquant leur fonctionnement.

En résumé, les turbines à gaz sont des équipements clés pour la production d'électricité, permettant d'atteindre de hauts rendements énergétiques grâce à leur intégration dans des cycles

C. Turbine à vapeur

C'est une machine qui utilise la vapeur pour produire un travail mécanique de rotation. Elle est souvent couplée à une génératrice électrique pour produire de l'électricité. Les turbines modernes, comme celles de Sir Charles Parsons, sont efficaces, principalement utilisées dans les centrales électriques. Elles nécessitent une alimentation en vapeur adéquate pour fonctionner efficacement, et des dispositifs de sécurité sont essentiels pour prévenir les dommages. Les turbines à vapeur axiales, comme l'ET 851, sont des exemples de turbines utilisées avec des générateurs pour former des centrales thermiques complètes.



Figure n°46 Turbine.



Figure n°47 Turbine couplée avec un générateur.

D. Transférer du biogaz en énergie électrique

A partir de la dégradation de la matière organique par des bactéries anaérobiques (fermentation des boues) au niveau du digesteur, le volume du Biogaz produit est valoriser en énergie électrique.

Nous choisissons Une turbine à gaz couplé avec un générateur dépend la production moyenne journalière du biogaz disponible (4361,9 N m³/j (moy)), se tourne sous pression de ce biogaz, cette turbine va transformer cette énergie cinétique à une énergie électrique estimée par 26171,6Kw/j.

4) Destination de cette énergie électrique

La mise en marche de l'incinérateur avec énergie électrique produite à partir du générateur qui va transformer le biogaz en KW : un incinérateur sera inflammé en utilisant cette énergie 582KWh.

C I (Jour) = 582KWh × 24H ≈ 14000Kwh/j (l'incinérateur se fonctionne 24h/24) et sera alimenter dans une chambre de combustion par les boues déshydratées (elles doivent être déshydratées pour réduire leur teneur en eau et augmenter leur pouvoir calorifique), en continu 24H/24 d'une façon régulière pour garantir la combustion qui va créer une grande chaleur (800 – 1200 °C), cet incinérateur a une capacité de bruler 6T/H des boues déshydratées (6×24h=144 T/j)

Remarque : il existe plusieurs autres types d'incinérateurs selon la capacité de la combustion (50-100 KG, 1T, 2T ...).

- **Systeme des traitements et techniques** : La chaleur dégagée par la combustion continue porte la température de la vapeur d'eau, à une énergie thermique 500000 Kcal produit à son tour une pression de 165 bars, cette vapeur produite est détendue dans des turbines couplées avec un générateur pour produire une électricité
- Cette vapeur surchauffée peut-être utiliser pour alimenter le réseau de chauffage urbaine dans les emmeubles de la Station
- Un générateur électrique est un dispositif permettant de produire de l'énergie électrique à partir d'une autre forme d'énergie.
- Les fumées des combustions doivent être traitées pour éliminer les polluants comme les oxydes de soufre et d'azote avant d'être rejeter dans l'atmosphère

L'incinération traditionnelle cause des dommages sur l'atmosphère, les fumés non traités comme le chlore gazeux provoque les pluies acides, ces dernières peuvent polluées l'air et la nappe des eaux

- Les résidus de cette combustion sont aussi : une grande partie de gaz de CO₂ et la vapeur d'eau, et des résidus solides, des métaux lourds recyclables et une grande partie de mâchefer (CET)
- L'électricité produite estimée par 600 KWh (600 ×24H=14400KWh/j) peut être consommée directement sur le site de la station d'épuration, permettant ainsi une autonomie énergétique
- La consommation moyenne de l'énergie électrique à la station d'épuration de BARAKI est environ 34844,43 KWh/J,
- Cette valorisation énergétique des boues permet de profiter de la nécessité de les éliminer, tout en produisant une énergie renouvelable et en améliorant le bilan environnemental de la station d'épuration

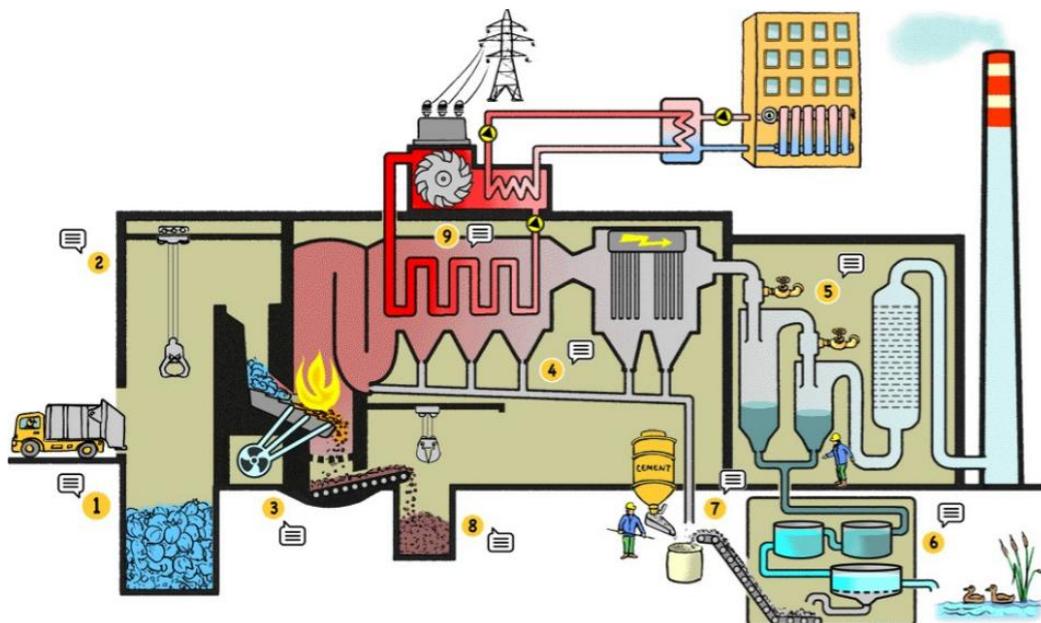


Figure n°48 Schéma de la production d'énergie électrique à partir de l'incinération des déchets.

1 : transport des déchets

2 : le grappin va saisir les déchets pour les placer dans le four

3 : incinération des déchets

4 : traitement des résidus d'épuration des fumées

5 : traitement des fumées (certaines molécules sont encore présents)

6 : traitement de l'eau utilisée pendant le processus dans la station d'épuration, et l'eau dépolluée est rendue à la nature

7 : Récupération des cendres et poussières pour les utiliser à la production de ciment ou fertilisation

8 : Récupération et refroidissement des mâchefer

9 : Production d'énergie

Le tableau suivant représente Le bilan de puissance et consommation des équipements au niveau du digesteur (TRANCHE 2 : quelque équipement sont en panne) dans l'état actuelle.

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

Tableau n°13 Le bilan de puissance et consommation des équipements au niveau du digesteur (état actuel) (SEAL).

Équipement	Puissance (KW)	Ampérage(A)	Qte	KW	A
POMPE BOUES DIGEREES	18.5	50	1	18.5	50
POMPE REFROIDISSEMENT COMPRESSEURS BIOGAZ	5.5	11	1	5.5	11
VENTILATEUR AEROREFRIGERANT EAU DE REFROIDISSEMENT	4	9	1	4	9
VENTILATEUR EXTRACTION CALORIE COMPRESSEUR BIOGAZ	0.75	1.5	1	0.75	1.6
VENTILATEUR EXTRACTEUR CALORIE	0.55	1.5	1	0.55	1.6
COFFRET MANUTENTION COMPRESSEURS BIOGAZ	2	16	0	0	0
COMPRESSEURS BIOGAZ	90	166	1	90	166
VENTILATEUR SOUFFLANTE GAZOMETRE	5.5	11	1	5.5	11
COFFRET ELECTRIQUE TORCHERE	2	16	0	0	0
POMPE ALIMENTATION FUEL CHAUDIERE	0.18		0	0	0
COMPRESSEUR BOOSTER BIOGAZ	4	9.5	0	0	0
VANNES POLICE BIOGAZ		4	0	0	0
ADOUUCISSEUR D'EAU		16	0	0	0
VANNE 3 VOIES EAU CHAUDE CHAUDIERE D ET E		4	0	0	0
COFFRET ELECTRIQUE CHAUDIERE		16	0	0	0
POMPE CIRCULATION EAU CHAUDE CHAUDIERE	2.2		1	2.2	0
POMPE RECIRCULATION BOUES DIGESTEUR PRIMAIRE	18.5	35	1	18.5	35
POMPE EAU CHAUDE ECHANGEUR DIGESTEUR PRIMAIRE	5.5	10.8	1	5.5	10.8
POMPE EGOUTTURES ZONE POTS DE PURGE	2.2	5		2.2	5
	Somme KW			153.2	301

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

- Les équipements utilisés au niveau de la digestion, ont besoin de 154 KW/h, ces équipements se fonctionnent 16 h/J (de 08 :00H à 00 :00 H)
- Les besoins moyens journalières d'énergie électrique = $154 \times 16 = 2464$ KW
Retour au tableau de production d'électricité, la production minimale est environ 14567.4 KWh ≥ 2464 KWh
- Dans l'état normale où tous les équipements fonctionnent dans le TRANCHE 2, le bilan de puissance et consommation s'élève jusqu'à 222 KWh
- Les besoins moyens journalière d'énergie électrique = $222 \times 16H = 3552$ KW

Tableau n°14 Le bilan de puissance et consommation des équipements au niveau du digesteur (état normal) (SEAAL).

Equipements	Puissance(KW)	Ampérage(A)	Qte	KW	A
POMPE BOUES DIGEREES	18,5	50	2	37	100
POMPE REFROIDISSEMENT COMPRESSEURS BIOGAZ	5,5	11	2	11	22
VENTILATEUR AEROREFRIGERANT EAU DE REFROIDISSEMENT	4	9	2	8	18
VENTILATEUR EXTRACTION CALORIE COMPRESSEUR BIOGAZ	0,75	1,6	1	0,75	1,6
VENTILATEUR EXTRACTEUR CALORIE	0,55	1,6	3	1,65	4,8
COFFRET MANUTENTION COMPRESSEURS BIOGAZ	2	16	1	2	16
COMPRESSEURS BIOGAZ	90	166	1	90	166
VENTILATEUR SOUFFLANTE GAZOMETRE	5,5	11	2	11	22
COFFRET ELECTRIQUE TORCHERE	2	16	1	2	16
POMPE ALIMENTATION FUEL CHAUDIERE	0,18		2	0,36	0
COMPRESSEUR BOOSTER BIOGAZ	4	9,5	2	8	19
VANNES POLICE BIOGAZ		4	1	0	4
ADOUCCISSEUR D'EAU		16	1	0	16
VANNE 3 VOIES EAU CHAUDE CHAUDIERE D ET E		4	1	0	4
COFFRET ELECTRIQUE CHAUDIERE		16	2	0	32
POMPE CIRCULATION EAU CHAUDE CHAUDIERE	2,2		2	4,4	0
POMPE RECIRCULATION BOUES DIGESTEUR PRIMAIRE	18,5	35	2	37	70
POMPE EAU CHAUDE ECHANGEUR DIGESTEUR PRIMAIRE	5,5	10,8	0	0	0
POMPE EGOUTTURES ZONE POTS DE PURGE	2,2	5	4	8,8	20
	Somme KW			221,96	531,4
	Somme KVA			277,45	

Pour une bonne production de biogaz, il est nécessaire de suivre l'évolution des différents paramètres qui peuvent influencer sur la digestion anaérobie, parmi ces paramètres le pH, le TAC, les AGV.

- Pour brûler les boues dans l'incinérateur, la siccité des boues déshydratées doit être dans les conditions de combustion (siccité, humidité).

Tableau 15 : paramètres physico-chimiques des boues déshydratées (SEAAL)

Chapitre 3 : Matériels et méthodes

Tableau n°15 Paramètres physico-chimiques des boues déshydratées (SEAAL).

Mois	Siccité moy(%)	MVS moy (%)	Métaux lourds (mg/kg)										
			Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Hg	Cr+Cu+Ni+Zn
Octobre	28,4	41,61	<4	<4	83,6	184,8	14964	128,8	52,4	59,2	1476	<4	1796,8
Novembre	25,57	50,55	<4	7,2	85,6	158,8	13712	118,4	50	52,8	14,68	<4	1762,4
Décembre	25,05	47,83	<4	<4	18,4	41,6	5136	40	6,4	<4	50,8	39,6	574,4
Janvier	24,81	47,33	<4	<4	55,6	96	11780	100	19,6	27,2	846,4	41,6	1017,6
Février	23,53	49,1	<4	<4	108,72	145,51	21429	182,8	56,66	45,39	560,98	<4	871,87
mars	25,53	47,11	<4	<4	75,154	115,49	15983,4	145,51	50,381	47,992	373,86	<4	614,89

Chapitre 4 : Résultats et discussions

1. Introduction

Pour une bonne production de biogaz, il est nécessaire de suivre l'évolution des différents paramètres qui peuvent influencer sur la digestion anaérobie, parmi ces paramètres le pH, le TAC, les AGV ...etc.

Le tableau suivant qui représente les valeurs normales des Caractéristiques physico-chimiques des boues mixtes et digérées.

Tableau n° 16 Paramètres physico-chimiques des boues digérées et déshydratées [65].

Paramètres	Boues digérée	Boues déshydratées
MS (%)	/	46
MVS (g/l)	49	40
MES (g/l)	75	/
pH	6.69	7.02
AGV (még/l)	/	9.6
TAC (még/l)	/	67.2
La siccité (%)	/	15-40

2. La variation du pH dans le digesteur en fonction du temps

La **Figure 50** : montre que la valeur du pH varie entre 7.01 et 7.17, valeurs permettant le bon fonctionnement du digesteur, ceci est dû à la stabilité des réactions entre les différentes.

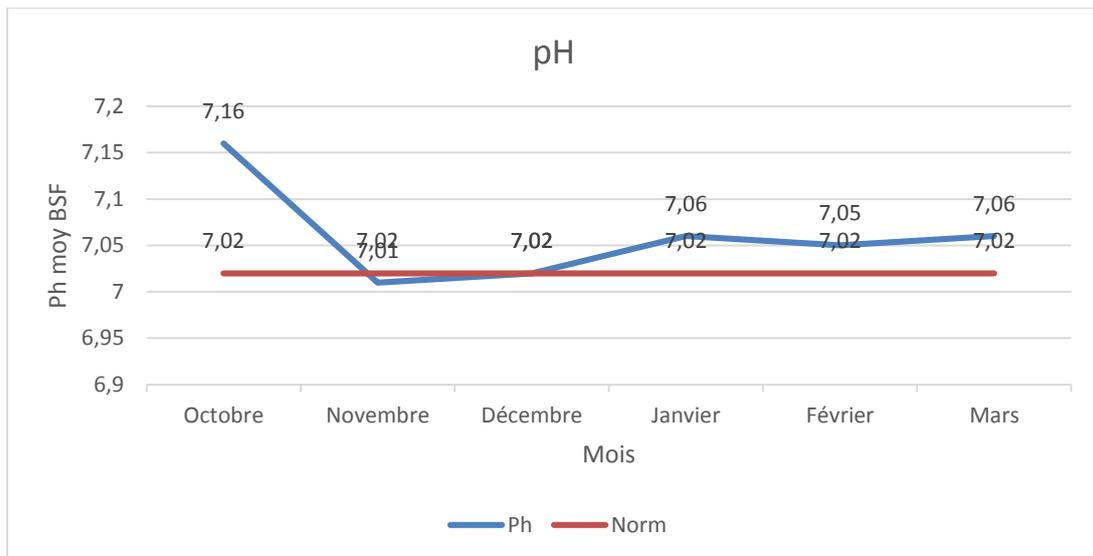


Figure n°49 variation du pH en fonction du temps.

3. variation des MVS dans le digesteur en fonction du temps

La masse des matières particulaires est estimée en pourcentage pour différencier entre le taux de boues mixtes et le taux de boues digérées. La différence entre les MVS des boues mixtes et des boues digérées correspond au taux d'abattement dans le digesteur.

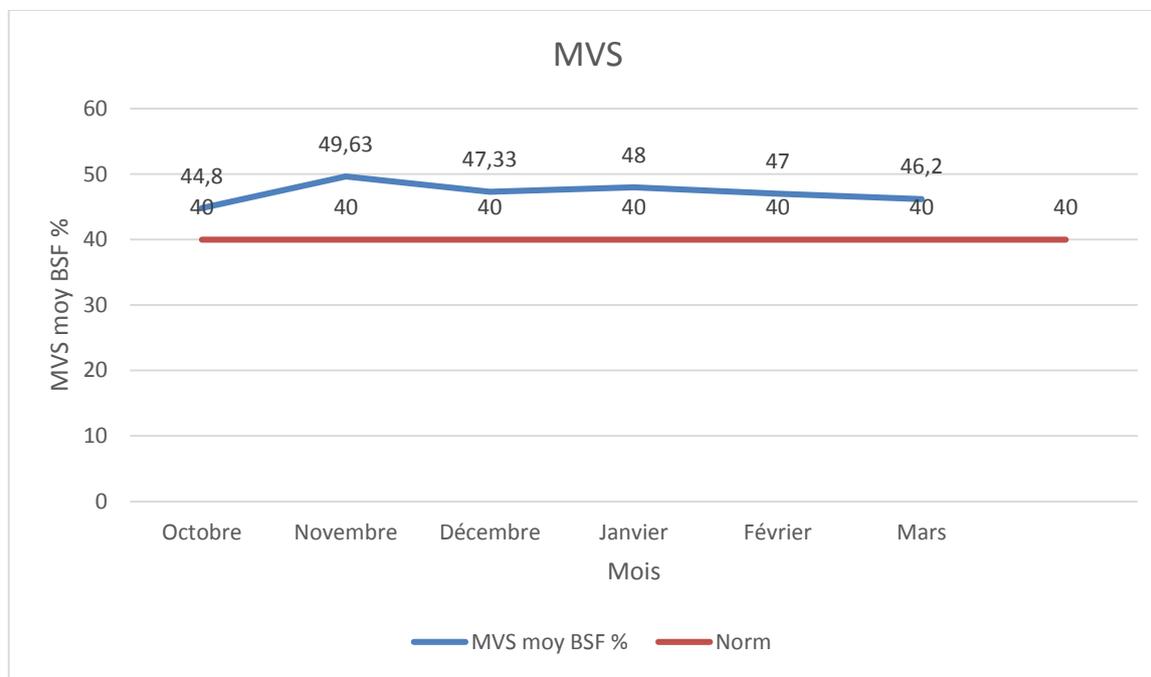


Figure n° 50 MVS en fonction du temps.

La figure 51 : représente la variation des MVS des boues digérées en fonction du temps. Les MVS des boues mixtes introduits au début et pendant toute l'expérience est de 49% et pour les boues digérées elle varie entre 44% et 49%.

Nous observons que le taux des matières volatiles des boues mixtes est toujours supérieur à celui des boues digérées. Cette différence est transformée en biogaz suite à la dégradation des MVS au niveau du digesteur, elle correspond au taux d'abattement.

4. Variation de TAC en fonction du temps

Le titre alcalimétrique complet dans le digesteur influe directement sur le rendement de la digestion ainsi que sur la qualité et le volume du biogaz produit. Il est optimal entre valeurs 50 méq. l⁻¹ et 220 méq. l⁻¹. [70]

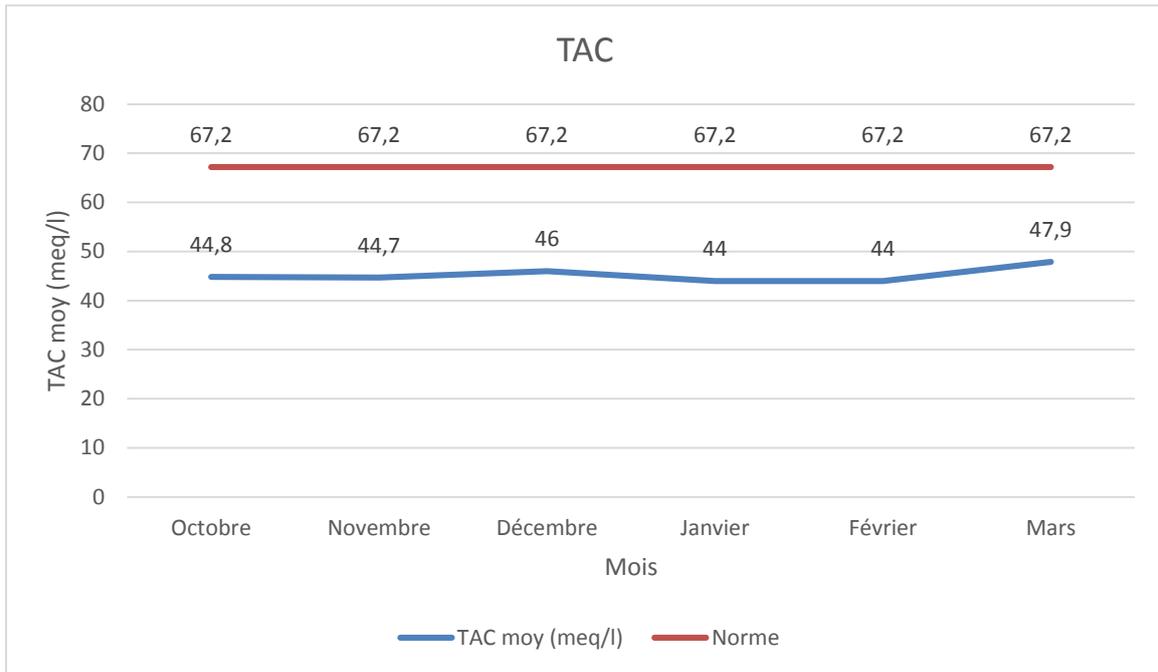


Figure n° 51 variation de TAC des boues digérées en fonction du temps.

La figure 52 représente l'évolution du TAC en fonction du temps. Nous constatons que le TAC varie entre 43.96 méq. l⁻¹ et 47.9 méq. l⁻¹, ceci implique une production optimale en biogaz. La variation du TAC est due à l'augmentation du pH causé par la formation de l'ammonium.

5. Suivi l'évolution de AGV en fonction du temps

Le changement de la concentration des acides gras volatiles dans le digesteur influe directement sur le rendement de la digestion ainsi que sur la qualité et le volume du biogaz produit. En effet, l'accumulation des AGV entre la phase acidogène et la phase méthanogène implique un déséquilibre dans le rendement du biogaz. La production du méthane est optimale pour une concentration en AGV comprise entre 1,66 méq. l⁻¹ et 8,33 méq. l⁻¹ [58].

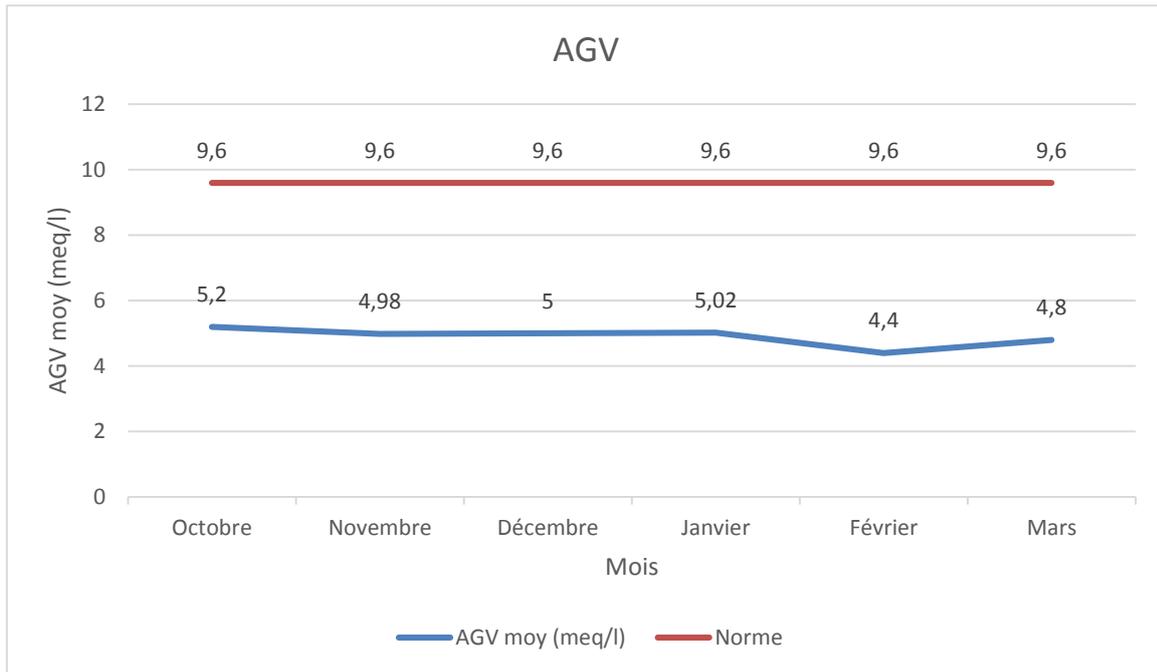


Figure n° 52 évolution de AGV des boues digérées en fonction du temps.

La **figure 53** : **présente** la variation des AGV en fonction du temps. Nous remarquons que le taux des AGV varie entre 4.4 méq. l⁻¹ et 5.2 méq. l⁻¹, ce qui permet une production optimale de méthane. Cette variation est due à l'alimentation en continue de la boue.

6. Variation du rapport AGV/TAC en fonction du temps

La Figure **54** : montre que le rapport AGV/TAC < à 0,2 est due à une bonne maitrise des paramètres de la digestion vis-à-vis du chauffage régulier et de l'agitation en continue.

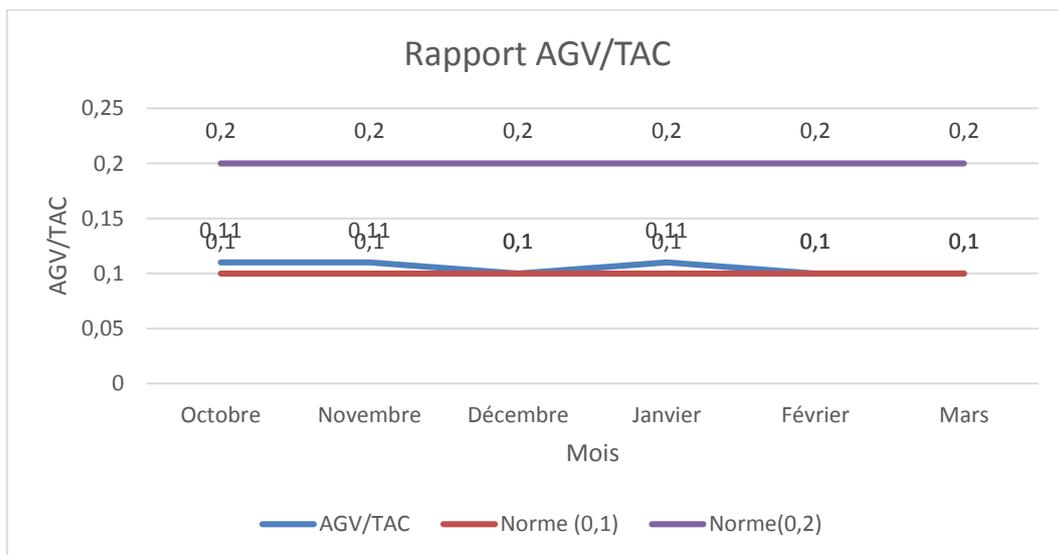


Figure n° 53 variation du rapport AGV/TAC.

L'augmentation du rapport AGV /TAC engendre l'augmentation de pH, ce phénomène est appelé le dépassement alcalin ; par contre, la diminution de ce rapport engendre une diminution du pH.

En effet, lorsque le rapport AGV/TAC est compris entre 0,1 et 0,2, il permet une production optimale de biogaz, du fait du bon fonctionnement de la digestion anaérobie. [71]

7. Suivi l'évolution de la production des boues déshydratées en fonction du temps

La figure 55 montre un histogramme représente la production des boues déshydratées à la période d'étude

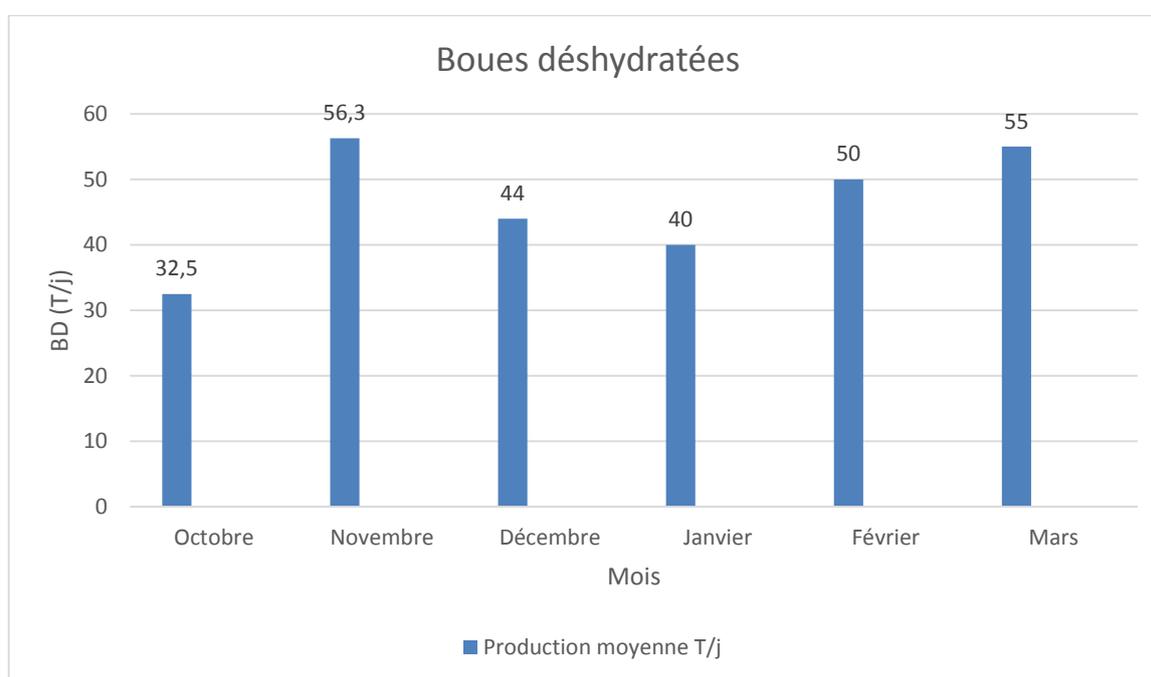


Figure n°54 Production des boues déshydratées.

Nous observons que la production est variée entre (32 et 56) T/J, ces valeurs sont inférieures aux valeurs réelles de la production à 50%, cette diminution est due au dysfonctionnement de Tranche 1

8. Suivi l'évolution des MS dans le digesteur en fonction du temps

La figure 56 montre l'évolution de la matière sèche dans les boues déshydratées dirigées vers la combustion

Nous observons que la MS varie entre 28,79 g/l et 38,87 g/l, ce qui permet d'une bonne incinération, Cette variation est due aux bonnes opérations dans le digesteur, et le bon fonctionnement des filtres à bandes et au niveau de la salle de déshydratation

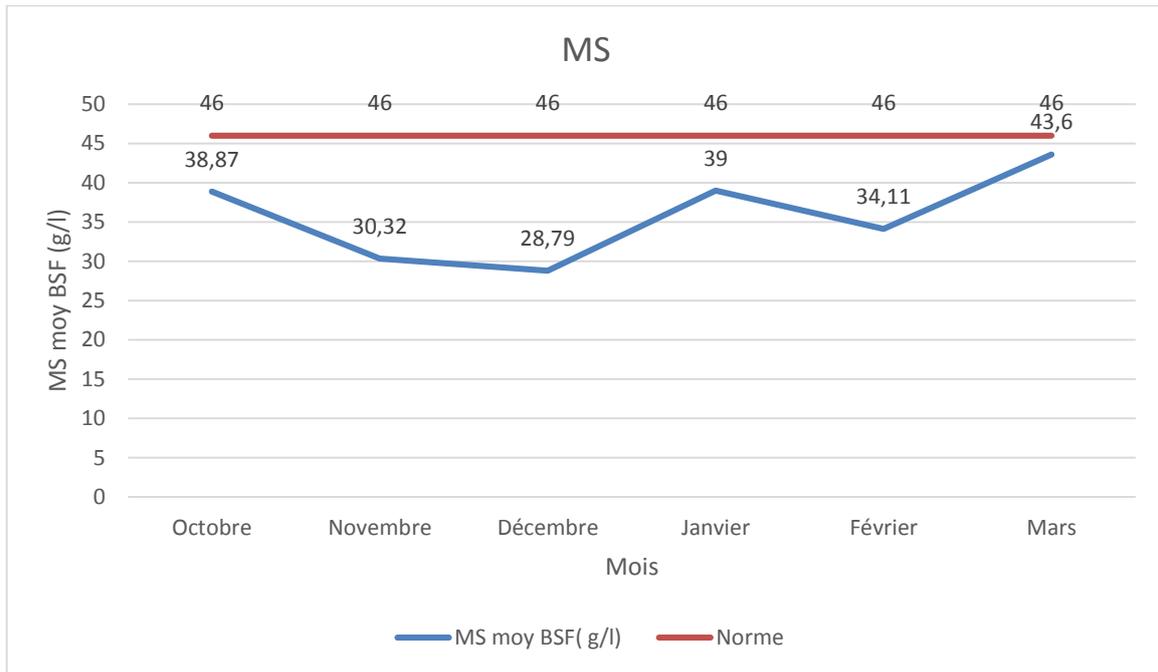


Figure n°55 l'évolution de MS des boues digérées en fonction du temps.

Suivi l'évolution de la siccité des boues déshydrater :

La figure 57 : montre que la valeur de siccité de la boue déshydratée est entre 23.53% et 28.4%, valeur présente une humidité entre 70 à 76 % permettant d'une bonne combustion dans l'incinérateur, alors qu'une siccité entre 25% et 45% garantie de faire bruler la boue.

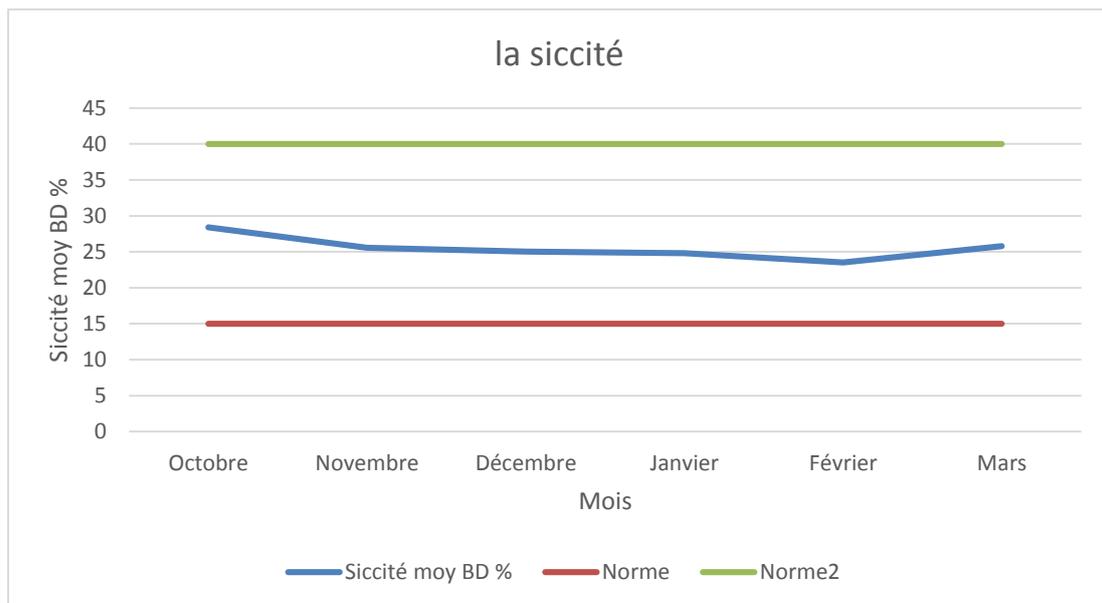


Figure 56 L'évolution de la siccité des boues déshydratées.

9. Suivi l'évolution des productions moyennes et journalières du Biogaz (Nm³) et d'électricité (KWh)

Nous observons que la production moyenne du BIOGAZ dans la période d'étude est entre 2427.9 Nm³ et 6577.9 Nm³

Le volume du BIOGAZ est responsable à la quantité d'énergie électrique

1 Nm³ BIOGAZ = 6 KW

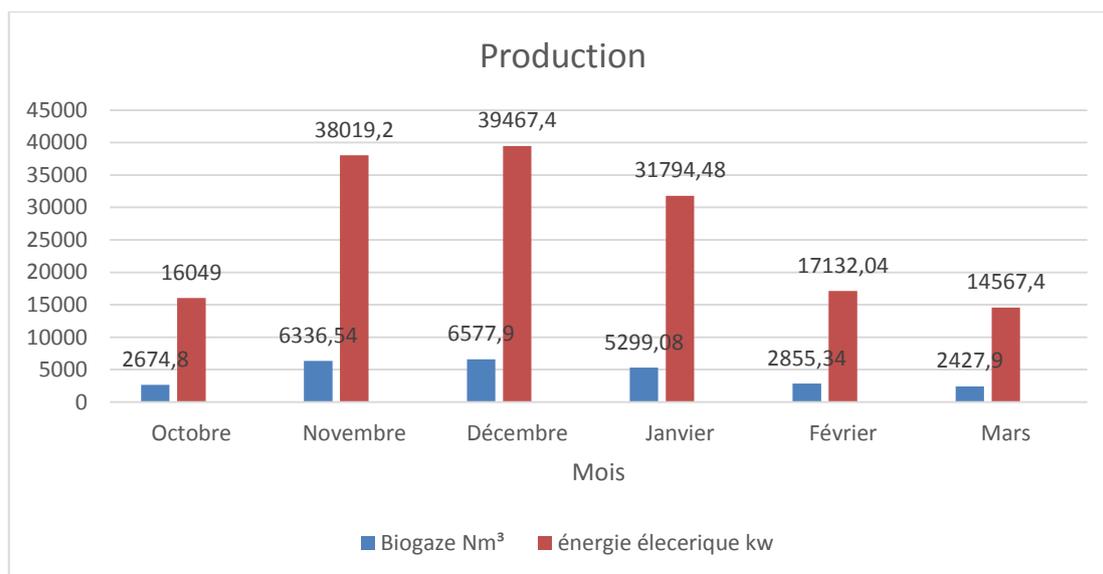


Figure 57 L'évolution de la production du BIOGAZ et d'électricité en fonction du temps.

10. Suivi la qualité du BIOGAZ

La qualité du BIOGAZ dépend à la quantité de gaz de méthane CH₄ existé dans ce BIOGAZ

L'histogramme suivant représente les composants du biogaz à partir de leurs pourcentages

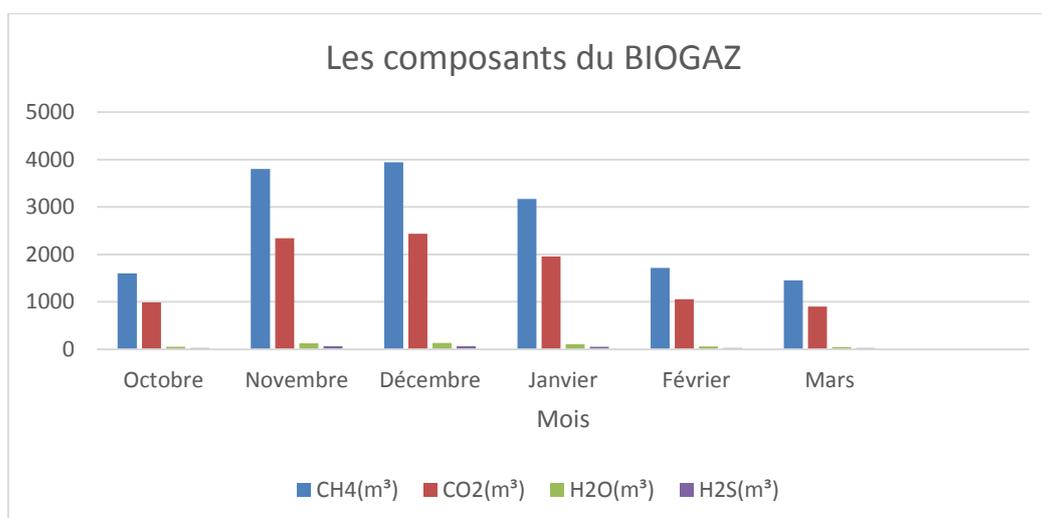


Figure 58 Composante du BIOGAZ (m³).

Nous observons que le méthane est représenté par le pourcentage le plus élevé de composants

Plus le volume du méthane est élevé, la qualité du BIOGAZ s'augmente, et la production d'électricité s'améliore.

Il faut noter que 50% des filtre à bandes sont sous réhabilitation, on pourra plu tard enregistrer des valeurs plus élevées de la siccité lorsque tous les équipements seront complètement prêts pour le processus de séchage.

Le tableau suivant résume les chiffres de notre projet

Tableau 17 Données du projet.

	Par heure	Par jour
Qnt Boues déshydratées	/	100-150 T
Qnt brulé (Combustion)	6 T	144 T
Température	800 – 1200 °C	/
Énergie thermique	500000 Kcal	/
Pression vapeur	135 Bar	/
Production d'électricité	600 KWh	14400 KW/j
Consommation des équipements de digestion	154 KWh	3700 KW/j

Conclusion générale et recommandations

- Après l'estimation des données du projet, l'incinération ou le traitement thermique consiste à faire brûler les déchets (boues) pour les transformer en énergie et les éliminer.
- Il s'agit donc d'une combustion qui dégage la chaleur sous conditions disponibles, et la transformer en énergie électrique.
- Le BIOGAZ produit après la fermentation des boues mixtes au niveau de digesteur estimé par 4361,9 Nm³ sera transformé en énergie électrique (26,171 MW) suffisante pour démarrer l'incinérateur pour faire brûler les boues déshydratées.
- Consommation moyenne de l'incinérateur= 14 MWj < 26,171MWj
- L'énergie électrique produite à partir du biogaz, est suffisante pour alimenter l'incinérateur choisis ou un autre plus grand dépend les besoins.
- Notre projet consiste à éliminer les boues stockées dans la station d'épuration des eaux usées de Baraki, dans une moyenne supérieure à 140 T des boues par jour.
- Pour alimenter les équipements de la digestion par électricité, il faut fournir 3 .700 MW/j, alors qu'on peut produire environ 14.400 MW/j en fonction de la conversion du vapeur chaudes en énergie électrique.

On peut alimenter la digestion donc par 25% de l'énergie produite, le reste de cette énergie est suffisant pour alimenter l'éclairage, ou alimenter d'autre filière dans la station.

- La consommation moyenne journalière d'électricité a la période d'étude est 37,203 MWh/J (tableau annexe 2)
- Pour couvrir la consommation électrique à la station, il faut fournir la moyenne de 34,844 MW/J alors qu'on peut produire environ 14,4 MWh/J après la combustion au niveau de l'incinérateur

On peut alimenter la station donc par 38,7 % de l'énergie produite

Si on compare la production électrique à partir du BIOGAZ, la moyenne de production 26171 KWh/j

On peut donc alimenter la station par 70% des besoins énergétique a partir de la production électrique du BIOGAZ

- Disponibilité du terrain dans la station permet de constituer le projet, et des grands équipements pour la construction locale (les figures suivantes).

- Dans le cas d'un manque de la matière Boues Déshydratées pour la combustion, il sera possible d'importer les boues stockées dans les autre station (Reghaia, Beni Messous...)
- Dans l'état de notre étude, les chiffres et les valeurs sont inférieurs aux valeurs réelles, car la première tranche T1 ne note aucun chiffre à cause des travaux des réparations et des entretiens.
- Dans le cadre de diminuer l'effet de serre, les gaz et les fumés dégagé par cet incinérateur seront traités avant de les rejeter dans l'atmosphère, par des traitements spécialisés
- Raccorder le système d'incinérateur avec le désodoriseur (élimination des odeurs) pour traiter les fumées de combustion (le chlore, la chaux et le bicarbonate)

- Atteindre une autosuffisance dans le domaine de l'énergie électrique.
- Atteindre un développement durable dans le cadre de fournir l'énergie et protéger l'environnement et même la nappe des lixiviats des boues stockées dans la station, surtout qu'il n'existe pas une zone de protection.

Projets successifs dans d'autres pays

Cas de la Turquie

La plus grande station de produire l'énergie à partir des déchets

Lieu : Istanbul

Capacité de production : 35 MW

Principe

Stocker les déchets urbains dans une grande chambre sous-sol dans les conditions anaérobiques, et aspirer les gaz émis par la fermentation des déchets dans des conduites, diriger vers la combustion pour démarrer des grands moteurs pour transformer l'énergie cinétique à électrique.

Valorisation : 1 million Tonne des déchets = 1 MW d'électricité → 10% des besoins d'énergie quotidiens à Istanbul = 1 million habitants.

Objectifs

- Production d'énergie.
- Principalement, éliminer le gaz de méthane CH₄ pour une bonne combustion.
- Éliminer les grands volumes des déchets.
- Éliminer les gaz à effet de serre.
- Empêcher l'absorption de CO₂ dans l'atmosphère.
- La conscience à protéger les réseaux d'assainissement d'exposer les déchets non recyclables ou dangereux.

Références bibliographiques

[1] Mr METAHRI M, S,2012 : Elimination simultanée de la pollution Azotée et Phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP de la ville de Tizi-Ouzou. Thèse de Doctorat, option : Génie des procédés. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[2] ABIBSI Nadjat, 2011, Réutilisation des eaux usées épurées par filtres plantés (Phytoépuration) pour l'irrigation des espèces verts. Application à un quartier de la ville de Biskra. Mémoire de Magister en Hydraulique, option : Hydraulique Urbaine. Université Mohamed Khider, Biskra.

[3] « Dictionnaire de l'environnement », Dictionnaire Environnement, 2010. https://www.dictionnaire-environnement.com/eau_usee_non_traitee_ID5307.html

[4] F. REJSEK, Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine, 2002.

[5] CHAHIDI ELOUAZZANI D. KHALIFA M. CHRISTIAN B., (2013). Etude préliminaire de la valorisation des boues de papeterie comme matières premières secondaires dans les mortiers de ciment Portland, Nature & Technologie. P : 18.

[6] KOURDACHE HAYAT, (2021) Etude et Valorisation des boues issues des stations d'épurations & des Procédés industriels de la Région Ouest d'Algérie. (These de doctorat).

[7]. N.H. RODRÍGUEZ ET AL., The effect of using thermally dried sewage sludge as an alternative fuel on Portland cement clinker production. J. Clean. Prod. 52, 94 -102 (2013).

[8]. E. MOKRZYCKI, A. ULIASZ-BOCHEŃCZYK, M. SARNA, Use of alternative fuels in the Polish cement industry. Appl. Energ. 74,101-111 (2003).

[9] BOUMEDIENE AMINE, (2013), (bilan de suivi des performances de fonctionnement d'une station d'épuration a boues activées : cas de la STEP AIN EL HOUTZ). Mémoire de licence en hydraulique, Université Abou-BakrBelkaid de Tlemcen.

[10] Guide pour l'étude des technologies conventionnelles de traitement des eaux usées d'origine domestique. Gouvernement du Québec. (2002).

[11] DJEGHABA M, BENHELIMA S ET BELOUADAH H, 2020, Valorisation et élimination de la boue Des eaux usées de l'usine Lafarge ciment de M'sila (LCM), thèse de Master

- [12] <https://condorchem.com/fr/> traitement des eaux usées et les émissions atmosphériques
- [13] (TELLI, 2013) TELLI S.M., 2013. Etude sur la valorisation par séchage solaire Des boues d'épuration des Eaux urbaines - cas de la station d'Office Nationale d'Assainissement (ONA)-Tlemcen Mémoire de Master. Université Abou Bekr Belkadi-Tlemcen, 174 p.
- [14] DUGUET J-P., (2006). Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine. 1 ère édition. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'Environnement) p : 474
- [15] DUDKOW S., (2001). L'épandage agricole des boues de STEP
- [16] ASMAHANE B., (2011). Valorisation des poussières de four à ciment dans le procédé solidification/stabilisation des déchets
- [17] RODIER J., (2009). Analyse de l'eau, 9 -ème édition DUNOD. P : 1600
- [18] TAUZIN C. JUSTE C., (1986). Effet de l'application à long terme de diverses
- [19] FAVREAU G., (2011). Traitement et valorisation des boues de station d'épuration.
- [20] KOLLER E., (2009). Traitement des pollutions industrielles, Eau, Air, Déchets, Sols, Boues ». Technique et ingénierie, Série environnement et sécurité ; 2ème édition DUNOD. P : 569.
- [21] SEDKI A., (1995). Etude éco-toxicologique de la contamination. Thèses Doctorat. Etat, Université. Cadi Ayyad, Fac. SCI. Semlalia, Marrakch, Maroc. P : 140
- [22] Association Française pour l'Etude des Eaux (AFEE). (1974). Utilisation agricole des boues d'origine urbaine. P : 107.[23] SLIMANI K., (2007). Suivi d'une boue dans une station d'épuration des eaux usées urbaine. Université M. B. Boumerdes. P: 123
- [24] ECKENFELDER W., (1989). Industrial water pollution control. And Ed. MCGraw Hill Book Co. P: 400
- [25] MAZOUNI A ET RAMDANI A, Traitement ET valorisation des boues de station d'épuration d'Oued D'Hous.la ville de Brouira. Mémoire de Master (2017)
- [26] ROULA S., (2005). Caractérisation physico-chimiques et valorisation des boues résiduelles urbaines pour la confection de substrats de culture en pépinière hors –sol. Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Magister. Université Colonel El Hadj Lakhdar Batna.115p

[27] BOEGLIN J-C., (2000). Traitement et destination final des boues résiduaire. MAZOUNI ABDELKRIM & RAMDANI AMAR, 2017, Traitement et valorisation des boues de station d'épuration d'Oued D'Hous.la ville de Bouira.

[28] : MLE BOUKEBECHE NESSRINE, 2016, Caractérisations des boues de la station d'épuration de Baraki

[29] E. KOLLER, Traitement des pollutions industrielles, 628 54 KOL, paris, 2004.

[30] A. WILFRIED, Valorisation des boues de stations d'épuration, fluviales et marines, thèse de doctorat, école des mines de Douai, France, 2016

[31] BELGHAOUTI TAYEB : Caractérisation physico-chimique et valorisation d'une boue de station d'épuration. Mémoire de Magister en hydraulique, Université des Sciences et de la technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, (2013), 108 p

[32] A. AZZABI, Influence des boues résiduaire sur le comportement d'une culture sous-jacente à Touggourt, mémoire de magistère, université kasdi Merbah, Ouargla, 201

[33] S. PEREZ FABIEL, Etude de la biodégradabilité de boues secondaires soumises à un traitement thermique à 65°C et du couplage digestion anaérobie et digestion thermophile aérobie pour la réduction de boues, thèse de doctorat, l'institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2009

[34] F. LADJEL, Perspective de valorisation agricole ou énergétique des boues issues des STEP, article scientifique, office national de l'assainissement, Oran, 2014

[35] M. ANDRE, Stabilisation et traitement électrochimique des boues d'épuration municipales et industrielles, projet de fin d'étude, université du Québec institut national de la recherche scientifique eau, terre et environnement, 2004

[36] A. GAÏD, Traitement des boues, technique d'ingénieur, C 5 221, France. 2008. o AMORCE, Boues de Station d'Épuration : Techniques de traitement, Valorisation et Elimination, Série Technique-DT 51, 2012

[37] J. ZHANG, Procédé de traitement anaérobie des boues et de valorisation du biogaz, thèse de doctorat, L'institut national polytechnique de lorraine, 2011.

[38] M. PIMOR, Suivi de fonctionnement d'installation de séchage thermique de boues résiduaire urbaines, projet de fin d'étude, université des mines Douai France, 2003.

- [39] CERRA I., DESAGNAT M., (2014). Traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités.38p.
- [40] CHERIFI M., (2013). Décontamination électrocinétique d'une boue d'eau potable contenant de l'aluminium, Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar. P111
- [41] AMORCE., (2012). Gestion des boues de stations d'épuration, Co-traitement avec les déchets ménagers, DT 52, France
- [42].<http://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/traitement-des-boues/origine-natureboues.php4> (consulté le 23.03.2015). Fartas K, Laouissi H et Zouaimia S, 2015, Thème : Etude Microbiologique Des Boues Des Eaux Usées De La Ville De Guelma
- [43] KAROUN S., (2008). Effets Des Boues Résiduelles Sur Le Développement Des Semis Du Chêne Liège (Quercus Suber L.). En Vue De L'obtention Du Diplôme De Magistère. Université Mentouri Constantine.244p.
- [44] BENNALI, N, (2013). Mise en évidence des œufs d'helminthes dans les boues d'épuration de la station de Béni Messous et Baraki en vue de leurs valorisations agricoles, Université de Blida, 57p.
- [45] BOUALLEGUE M (2010), Synthèse technique <des métaux dans les boues de station d'épuration ? Conséquences, origines et prévention> institut des sciences et industries de l'environnement.
- [46] SUBLER S, EDWARD C.A. and METZGER J. D 1998.Composting vermicompost and com-post. Biocycle 39 : P63-66
- [47] DJEMIL Wafa 1, HANNOUCHE MANI1, ABOUR FELLA 2 ET BELKSIER MOHAMED SALAH, LA REUTILISATION DES EAUX USEE EPUREES EN AGRICULTURE CAS DE LA STATION DE BARAKI ALGER, Thés de master (2012)
- [48] CHADOULI M et BELABBAS M, Etude du fonctionnement de la digestion d'une station d'épuration des eaux usées urbaine : Cas de la STEP de Baraki (W. Alger), Thés de master (2017)
- [49] <https://fr.weatherspark.com/>, Climat et moyennes météorologiques tout au long de l'année pour Baraki
- [50] LOUAGUENOUNI K, Suivi de la qualité des eaux usées traitées de la STEP de BARAKI pour une réutilisation agricole, Thés de master (2017)
- [51] « rapport préliminaire » rédigé par bureau Kitellberger consulte GMBH.

- [52] Journal officiel de la république algérienne N°36, (27 Jomada ethania1430), (21 Juin 2009)
- [53] AFGANE R, Valorisation des boues de la station d'épuration des eaux usées Fès (STEP-Fès), 2016
- [54] MOLETTA 2008, R : Procédés biologique anaérobies, Dans gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires, Technique et documentation, Editions Lavoisier, Paris
- [55] LE GUEN G., 2003 : L'accompagnement des projets de méthanisation. Mémoire fin d'études. Ecole d'ingénieur en agriculture. 60 p.
- [56] DELBES C., 2000 : Diversité et dynamique structurales et fonctionnelles
- [57] EDELINE, F : L'épuration biologique des eaux. Théorie & technologie des réacteurs (1997).
- [58] ADLER E., 2010 : Digestion des boues des stations d'épuration, enjeux techniques et applications. *ACEF water et environnement*, 72 p.
- [59] HESS, 2007 J : Modélisation de la qualité du biogaz produit par un fermenteur méthanogène et stratégie de régulation en vue de sa valorisation. Université de Nice, 52p
- [60] Balk, M., Weijima, J. ans stams, A.J.M: Thermotogalettingaespnov., (2002). A novel thermophilic, methanol-degrading bacterium isolated from a thermophilic anaerobic reactor *International Journal of Systematic and Evolution Microbiology* 52, 1361-1368.
- [61] MATTIASSON, B. 2004: Anaérobic digestion generates fatty acids, *Industrial Bioprocessing*, 26, (6), 8-9.
- [62] REN, N., WANG, B. AND HUANG, J.H. 1997: Ehanol-type fermentation from carbohydrate in high rate acidogenic reactor. *Biotechnology and Bio engineering*, 54, (5), 428-433.
- [63] BOUGRIER, C. 2005 : Optimisation du procédé de méthanisation par mise en place d'un co traitement physico-chimique : Application au gisement de biogaz représenté par les boues d'épuration des eaux usées. Génie des procédés, INSA, Toulouse, p 276 CEDEBOC Editeur, Paris.
- [64] KASPAR H.F., WUHRMANN K., 1978: Kinetics Parameters and Relative Turnovers of Some Important Catabolic Reactions in Digesting Sludge. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 36, no 1, p. 1–7.

[65] DEGUMENT. 2005 : Mémento technique de l'eau, 10 -ème Edition, Tome 1 et 2, Edition Lavoisier, Paris.

[66] OSTREM K., 2004: greening waste: anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid waste. Mémoire de maitrise, Columbia University, New York

[67] MATHIOT, S., ESCOFFIER, Y., EHLINGER, F., COUDERC, J. P., LEYRIS, J. P. AND MOETTITA, R. 1992: Control parameter variation in an anaerobic fluidised bed reactor subject to organic shockloads. *Water Science and Technology*, 25, (7), 93-101

[68] M. Giroux et P. Audesse : Comparaison de deux méthodes de détermination des teneurs en carbone organique, en azote total et du rapport C/N de divers amendements organiques et engrais de ferme, *agrosol*, Décembre 2004, vol. 15, no 2

[69] BOE, K., BATSTONE, D. J., STEYER, J.P. AND ANGELIDAKI, I : Comparison of process parameters for monitoring and control of the biogas process, Manuscript (2006).

[70] DEGREMONT., 1989 : Mémento technique de l'eau, 9 -ème Edition, Tome 1 et 2, *Éditions Lavoisier*, Paris.

[71] DEGUMENT S., 2016 : Website available at www.degremont.com/en/know.how/municipal-water-treatment/revse/hollow-fibre-membrane-bioreactor-ultrafor-5p/accessed march 3,2016.

[72] Fatima Zahra Zerouati , *Ministre de l'Environnement et des Énergies Renouvelables*

Annexe 1

2 Ramadhan 1438 28 mai 2017	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 31	9
<p>« Tarif d'achat garanti » : Prix de cession du kwh issu de la procédure d'appel d'offres visée à l'article 2 ci-dessus, pour l'achat de l'électricité produite à partir des installations de production d'électricité bénéficiant du régime spécial.</p>	<p>Les valeurs des termes de la formule ci-dessus et les spécifications techniques correspondantes sont fixées par arrêté du ministre chargé de l'énergie ».</p>	
<p>..... (le reste sans changement) ».</p>	<p>Art 5. — Les dispositions de l'article 5 du décret exécutif n° 13-218 du 9 Chaâbane 1434 correspondant au 18 juin 2013, susvisé, sont complétées et rédigées comme suit :</p>	
<p>Art 4 — Les dispositions de l'article 4 du décret exécutif n° 13-218 du 9 Chaâbane 1434 correspondant au 18 juin 2013, susvisé, sont modifiées, complétées et rédigées comme suit :</p>	<p>« Art. 5. — Nonobstant l'alimentation de secours, le producteur désireux de bénéficier du tarif d'achat garanti, doit satisfaire ses besoins en électricité, sans recourir à l'alimentation à partir des réseaux électriques ».</p>	
<p>« Art. 4. — Les dispositions du présent décret s'appliquent à l'électricité produite par des installations de production de l'électricité à partir des sources d'énergie renouvelable ou de cogénération, objet de l'appel d'offres, visé à l'article 2 ci-dessus. Elles concernent l'électricité produite à partir de :</p>	<p>Art 6. — Les dispositions de l'article 6 du décret exécutif n° 13-218 du 9 Chaâbane 1434 correspondant au 18 juin 2013, susvisé, sont modifiées et rédigées comme suit :</p>	
<p>1 - Toute installation utilisant les filières suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> — solaire photovoltaïque et thermique ; — éolienne ; — géothermie ; — valorisation des déchets ; — petite hydraulique ; — biomasse. 	<p>« Art. 6. — Le producteur d'électricité retenu dans le cadre de la procédure d'appel d'offres visée à l'article 2 ci-dessus, bénéficie du tarif d'achat garanti, issu de ladite procédure d'appel d'offres, après avoir obtenu les autorisations exigées par la réglementation en vigueur ».</p>	
<p>2- Toute installation hybride existant à la date de publication du présent décret au <i>Journal officiel</i> et dont la production annuelle d'électricité à partir de sources d'énergies renouvelables atteint au minimum 5% de sa production totale annuelle. Dans ce cas, le tarif d'achat garanti est issu de la procédure d'appel d'offres visée à l'article 2 ci-dessus.</p>	<p>Art 7. — Les dispositions de l'article 8 du décret exécutif n° 13-218 du 9 Chaâbane 1434 correspondant au 18 juin 2013, susvisé, sont modifiées et rédigées comme suit :</p>	
<p>3- Toute installation de cogénération qui répond aux critères suivants :</p> <p>a) la puissance installée aux conditions ISO ne doit pas dépasser les 12 MW ;</p> <p>b) l'installation de cogénération doit assurer des économies d'énergie primaire, calculées conformément à la formule ci-dessous.</p>	<p>« Art. 8. — Les quantités d'électricité produites par l'installation du producteur et consommées par les équipements fonctionnels intervenant dans le processus de production d'électricité de cette dernière, sont exclues du bénéfice du tarif d'achat garanti.</p>	
<p>L'économie relative de gaz naturel est définie par la formule suivante :</p>	<p>Le tarif d'achat est garanti pour toute la durée du contrat d'achat issu de la procédure d'appel d'offres, visée à l'article 2 ci-dessus.</p>	
$Ep = [1 - Q / [E / (1 - t) \eta_{cc} + C / \eta t]] 100$	<p>Le contrat d'achat de l'électricité est conclu entre le producteur d'électricité à partir de sources d'énergies renouvelables et l'opérateur système ou tout autre opérateur concerné, tel que prévu par le décret exécutif n° 17-98 du 29 Joumada El Oula 1438 correspondant au 26 février 2017, susvisé ».</p>	
<p>Où :</p> <ul style="list-style-type: none"> — Ep est l'économie relative de gaz naturel ; — Q est l'énergie primaire consommée (en kwh PCI) ; — E est l'énergie électrique produite (en kwh) ; — t est la valeur des pertes en ligne, exprimée en pourcentage ; — η_{cc} est le rendement électrique d'un cycle combiné ; — C est l'énergie thermique effectivement utilisée (en kwh) ; — η est le rendement de la chaudière classique utilisée dans une installation séparée, exprimé en pourcentage. 	<p>Art 8. — Les dispositions de l'article 10 du décret exécutif n° 13-218 du 9 Chaâbane 1434 correspondant au 18 juin 2013, susvisé, sont modifiées, complétées et rédigées comme suit :</p>	
	<p>« Art. 10. — Le surcoût généré par la production d'énergie renouvelable ou de cogénération est déterminé sur la base des prix journaliers suivants :</p>	
	<ul style="list-style-type: none"> — le prix moyen du kwh du marché de l'électricité, qui prendra en compte les coûts de l'électricité produite à partir des installations de production conventionnelle et celles renouvelable ou de cogénération ; 	

Annexe 1

Électricité			
2023	Consommation électrique moyenne KWh / j	2024	Consommation électrique moyenne KWh / j
Janv.	33 619	Janv.	36 800
Févr.	31 952	Févr.	36 983
Mar	32 786	Mar	37 133
Avr	35 742	Avr	34 941
Mai	35 160	Mai	
Juin	34 879	Juin	
Juil.	34 023	Juil.	
Août	34 029	Août	
Sept	27 164	Sept	
Oct.	39 200	Oct.	
Nov.	35 600	Nov.	
Déc.	37 500	Déc.	

Le bilan de la consommation moyenne journalière d'électricité à la station d'épuration de baraki

Annexe 2



Figure n° 59 Terrain vide dans la station



Figure n°60 Terrain vide dans la station.

- Disponibilité des machines et des équipements pour le démarrage du projet



Annexe 2



Figure n°61 Matérielles SEAL (photos originaux)



Figure n°62 Désodoriseur SEAL (photos originaux).