

UNIVERSITE Saad DAHLAB – BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département des Sciences de l'Eau et Environnement



MEMOIRE DE MASTER

Filière : Hydraulique

Spécialité : sciences de l'Eau

Thème :

**Etude du fonctionnement de la digestion d'une station
d'épuration des eaux usées urbaine : Cas de la STEP de
Baraki (W. Alger)**

Présenté par :

M. CHADOULI Mohamed

M^{me}. BELABBAS Malika

Promotrice :

M^{me} ANSER M

Devant de jury composé de :

Président : M. BELKACEM FILALI M

Examineur : M. BENSAFIA D

Examineur : M. BESSENASSE

Promotion 2016/2017

Tous d'abord, nous tenons à remercier Dieu Tout puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour réaliser de travail.

Nous tenons à remercier notre promotrice M^{me} ANSER.M et à lui transmettre toute reconnaissance et notre gratitude pour son apport à la finalisation de ce modeste travail, par ses pertinentes critiques, ses conseils, ses corrections et suggestions et spécialement qui donne la j'aime de cette spécialité.

Nous remercions également chaleureusement les professeurs, président et les examinateurs de ce jury.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent à tous les membres de la station d'épuration des eaux usées urbaines de Baraki, surtout le chef de STEP KADRI Nabil, YAHYAOUI Saci et Mm Imen.

Ensuite nous tenons à remercier notre Co-promoteur Monsieur MIMOUNE Mohamed pour nous avoir permis d'approfondir nos connaissances dans le traitement des eaux usées avec toutes les étapes disponible dans la STEP de BARAKI ainsi que la digestion, dont laquelle porte notre travail.

Nous remercions également M^r BENSAFIA notre chef de département de science de l'eau et de l'environnement.

Enfin, nous remercions vivement nos collègues et tous les professeurs du département de sciences de l'eau et de l'environnement de la Fac de Blida 1, qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire après des nombreuses discussions.

Je tiens enfin à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Remerciements



Dédicaces

Je dédie ce travail de fin d'études à ma famille au sens large et à tout mon entourage mais tout particulièrement :

à

*Mon père Hocine et ma mère
o Allah, pardonne-la et la pitié
d'elle, mes parents qui grâce à
Dieu le tous puissant, ont fait
de moi ce que je suis.*

*Mes frères et sœurs dont je suis si fière
« Abdellah, Hamza Fatima Zohra
et leur mari Nassim)».*

*A Abdenour, Hizia, Imen, abdelmalak,
Redouane, Warda, mosaab et Zakaria.*

A mes tantes et oncles paternelle et toute la famille Chadouli.

*A mes tantes et oncles maternelle qui m'aiment beaucoup :
Ali, Naima, Rachid, Azzedine, Abderrahmane, Khaled,
S (son mari Mohamed et ses enfants : Rayan, Haithem
et Malak), et surtout a mon cher oncle Mohamed.*

*A mes grands parents (Rabah et Hlima) que Dieu leurs offre une
vie longue et pleine de bonheur.*

A mon binôme Selabbas Malika, son mari Nabil

A toute la famille Selabbas

A tout mes amis de promo et tous mes collègues de travail

*A tous le monde et surtout mes amis d'**UNIVERSITÉ DE
SAAD DAHLEB «BLIDA».***

Mohamed ...

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents,

Avec l'expression de ma haute gratitude et de mon profond respect en témoignage de leurs soutient constant et à tout les principes qu'ils m'ont inculqué et que je n'oublierai jamais.

A Mon Mari NABIL et sa famille.

A Mon frère Abdou et mes sœurs IKRAM et FERJEL.

A toute ma famille mes cousine SARA et DOUDJA et MERIEM et YOUSRA et BADIA et AMINA et HADJER .

A tous mes amis, surtout Mon binôme CHADOULI MOUHAMED .

A toute la promotion de SEE (2016/2017).

A M^e.ANSER ma promotrice.

A Monsieur BENSAFIA : chef département.

A Monsieur TAIBI : chef bureau d'étude.

A Monsieur MIMOUN MOHAMMED: responsable de LA DIGESTION la STEP de BARAKI.

A ceux qui me connaissent de près ou de loin sans cité leurs noms

Je dédie ce modeste travail.

MALIKA

Liste des abréviations

STEP : Station d'épuration.

ERU : Eaux Résiduaires Urbaines.

ERI : Eaux Résiduaires Industrielles.

CEN : Comité Européen de Normalisation.

MES : Matière en suspension.

MVS : Matière volatile en suspension.

MS : Matière sèche.

DBO : Demande biologique en oxygène.

DCO : Demande chimique en oxygène.

UV : Ultraviolet.

pH : Potentiel d'hydrogène.

FV : Fraction volatile

PR : Poste de relevage.

SRG : station de relevage.

AGV : Acide gras volatile.

TAC : Titre alcalométrique complet.

TSH : Temps de séjour hydraulique.

OMS : Organisation mondiale de la santé.

MEH : Matière extractible à l'hexane.

PPM : Particule par million.

ONM : Office nationale de la météorologie.

ATEX : Atmosphère explosif.

Liste des Figures

Figure	Nom	Page
Figure I.1:	Les prétraitements	5
Figure I.2:	Le lit bactérien	8
Figure I.3:	Disque biologique	8
Figure I.4:	Le Principe du traitement biologique	9
Figure I.5:	Le lagunage naturel	10
Figure I.6:	Le lagunage aéré	10
Figure I.7:	Epandage	10
Figure II.1:	Le principe de la digestion anaérobie	19
Figure III.1:	Carte représentant la commune de BARAKI et ses limitrophes	28
Figure III.2:	Localisation de la STEP de BARAKI	29
Figure III.3:	Valeurs des températures de l'air en degré Celsius	30
Figure III.4:	Histogramme représentant les valeurs des précipitations en mm	31
Figure III.5:	Climagramme d'Emberger (ONM 2000-2010)	32
Figure III.6:	Délimitation de la STEP de BARAKI	32
Figure III.7:	Schéma de la filière traitement de l'eau	34
Figure III.8:	Poste de relevage PR1	34
Figure III.9:	Poste de relevage PR2	34
Figure III.10:	Mesure de PH, la Température, la conductivité, et la teneur en hydrocarbures	35
Figure III.11:	Dégrilleurs mécanique fin et grossier	36
Figure III.12:	préleveur d'échantillons a l'entrée	37
Figure III.13:	Classificateur à sables	37
Figure III.14:	dessableur déshuileur	38
Figure III.15:	Décanteur primaire	39
Figure III.16:	Bassin biologique ou d'aération	39
Figure III.17:	Clarificateur	40
Figure III.18:	Lit de sable	41
Figure III.19:	Vis recirculation des boues	42
Figure III.20:	Epaisseur	42

Figure III.21:	Pré-épaisseur	43
Figure III.22:	Schéma générale de la filière de digestion des boues	44
Figure III.23:	les digesteurs	44
Figure III.24:	Coupe verticale monteront l'alimentation en boue du digesteur	45
Figure III.25:	Vasques et conduites d'alimentation des boues dans le digesteur	45
Figure III.26:	Echangeur de chaleur de la STEP de BARAKI	46
Figure III.27:	Schéma de la filière de la digestion des boues de la STEP de Baraki	46
Figure III.28:	Gazomètre souple	47
Figure III.29:	Torchère	47
Figure III.30:	Pot de purge	47
Figure III.31:	La déshydratation Mécanique par filtre à pression	48
Figure V.1:	L'évolution de la température en fonction des dates de prélèvement	53
Figure V.2:	L'évolution de pH en fonction des dates de prélèvement	54
Figure V.3:	Variation des MVS des boues en fonction des dates de prélèvement	55
Figure V.4:	Variation de taux d'élimination des MV des boues en fonction des dates de prélèvement.	56
Figure V.5:	Variation de l'AGV en fonction des dates de prélèvement	57
Figure V.6:	Variation de TAC en fonction des dates de prélèvement	58
Figure V.7:	Variation de rapport AGV/TAC en fonction des dates de prélèvement	59
Figure V.8:	La variation de pression en fonction des dates de prélèvement	60
Figure V.9:	La variation de biogaz de digesteur 1 en fonction des dates de prélèvement	61
Figure V.10:	La variation de biogaz de digesteur 2 en fonction des dates de prélèvement	61

Liste des tableaux

Tableau	Nom	Page
Tableau III.1:	Les coordonnées géographiques de la période (2000-2010)	29
Tableau III.2:	Les valeurs des moyennes des températures de la période (2000 – 2010)	30

ملخص:

لقد سمح هذا العمل بدراسة سير مرحلة التخمير بمحطة معالجة مياه الصرف الصحي ببراقى. تم رصد سير هذه المرحلة على مختلف المعايير، وهي قياس درجة حرارة pH, TAC, AGV, MVS وكذلك إنتاج الغاز الحيوي. سمحت النتائج التجريبية بإظهار ان مختلف إعدادات التشغيل ضمن معايير التحلل اللاهوائي . نحصل على تكوين مثالي للغاز الحيوي 72% CH₄ . CO₂ % 27 . H₂S ppm 177-910. أثار من O₂ و NH₃ .

الكلمات الرئيسية:

محطة معالجة مياه الصرف الصحي، التخمير، اللاهوائي، الغاز الحيوي، قابل للتخمير، معدل إزالة المواد غير المتبخرة.

Résumé :

Ce travail consiste à étudier le fonctionnement de la digestion de la station d'épuration des eaux usées urbaines de Baraki. Le suivi de fonctionnement de la digestion a porté sur différents paramètres, à savoir, la mesure de la température, du pH, TAC, AGV, MVS et la production du biogaz. Les résultats expérimentaux ont permis de montrer que les différents paramètres de fonctionnement sont dans les normes d'une digestion anaérobie. Nous obtenons une bonne composition de biogaz (72% CH₄, 27 % CO₂, 177-910 ppm H₂S, des traces de O₂ et NH₃).

Mots clés :

Station d'épuration (STEP), digestion, anaérobie, biogaz, fermentescible, taux d'élimination des MV.

abstract:

This work allowed studying the digestion functioning of the urban wastewater purification plant of Baraki. The following up of the digestion functioning was focused on various parameters/factors, namely, the temperature measurement of pH, TAC, AGV, MVS and the biogas production.

The experimental results are allowed to show that the different functioning parameters are within the norms of anaerobic digestion.

We get/obtain a good biogas composition (72 % CH₄, 27% CO₂, 177-910 ppm H₂S, trace of O₂ and NH₃).

Key words:

Waste water purification plant, digestion, anaerobic, biogas, fermentable, elimination rate of VS.

Sommaire

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale1

CHAPITRE I: Les boues des stations d'épuration

I.1. Introduction.....3

I.2. Définition et origine des boues d'épuration3

I.3. Origine et procédés d'épuration des eaux usées3

I.3.1. Origine des eaux usées urbaines3

I.3.1.1. Les eaux usées domestiques.....3

I.3.1.2. Les eaux pluviales4

I.3.1.3. Les eaux usées industrielles4

I.3.1.4. Les matières de vidange4

I.3.2. Les procédés des eaux usées urbaines.....4

I.3.2.1. Les prétraitements.....5

I.3.2.1.1. Dégrillage5

I.3.2.1.2. Dessablage – Déshuilage6

I.3.2.2. Traitement Primaire.....6

I.3.2.2.1. Les traitements physico-chimiques6

I.3.2.2.2. Décantation primaire.....6

I.3.2.3. Traitement Secondaire7

I.3.2.3.1. Traitement biologique7

I.3.2.3.1.1. Les procédés intensifs7

I.3.2.3.1.2. Les procédés extensifs.....9

I.3.2.4. Traitements tertiaires.....10

I.3.2.4.1. Désinfection10

I.4. Traitement des boues11

I.4.1. Les différents types de boues.....11

I.4.1.1. Les boues industrielles.....11

I.4.1.2. Les boues primaires.....11

I.4.1.3. Les boues biologiques ou secondaires11

I.4.1.4. Les boues physico-chimiques12

I.4.1.5. Les boues mixtes	12
I.4.1.6. Les boues d'aération prolongée.....	12
I.5. Caractéristiques des boues.....	12
I.5.1. Caractéristiques physico-chimiques	12
I.5.1.1. Matière sèche MS et siccité S	12
I.5.1.2. Matières en suspension MES.....	12
I.5.1.3. Fraction volatile FV (en % des MS)	12
I.5.1.4. Indice de boue SVI (Sludge Volume Index)	13
I.5.2. Caractéristique biologique	13
I.5.2.1. Composition des matières organiques.....	13
I.5.2.2. Composition des matières minérales.....	13
I.5.2.3. Les Micropolluants	13
I.5.3. Caractéristiques physiques	13
I.5.3.1. Aptitude au convoyage et au stockage	13
I.5.3.2. Masse volumique	13
I.5.3.3. Viscosité	14
I.5.3.4. Granulométrie	14
I.6. Filières de traitement des boues d'épuration	14
I.6.1. L'épaississement.....	14
I.6.1.1. Les épaisseurs gravitaires.....	15
I.6.1.2. Les épaisseurs stockeurs.....	15
I.6.2. La stabilisation des boues.....	15
I.6.3. Conditionnement des boues	15
I.6.4. Déshydratation des boues.....	16
I.7. Filière d'élimination des boues	16
I.7.1. La mise en décharge contrôlée	16
I.7.2. Incinération	17
I.7.3. Epannage directe sur le sol.....	17

CHAPITRE II: La digestion des boues

II.1. Définition de la digestion	18
II.2. Principe de la digestion anaérobie	18
II.2.1. Les conditions optimales pour la digestion anaérobie	18
II.2.2. Les étapes de la digestion anaérobie.....	19
II.2.2.1. Hydrolyse	20
II.2.2.2. L'acidogenèse	20

II.2.2.3. L'acétogénèse	20
II.2.2.4. La méthanogénèse	20
II.3. paramètres influençant la digestion	21
II.3.1 La température	21
II.3.2. Le temps de séjour hydraulique	21
II.3.3. Le pH.....	21
II.3.4. La nature des boues à digérer	21
II.3.5. La présence de toxiques et d'inhibiteurs :.....	22
II.3.6. L'agitation	22
II.4. Les dysfonctionnement d'un digesteur.....	22
II.4.1. Baisse du pH	23
II.4.2. Débit d'alimentation	23
II.4.3. Température	23
II.4.4. Entrée d'air	23
II.4.5. Brassage	24
II.4.6. Moussage.....	24
II.4.7. Toxiques	24
II.4.7.1. AGV > 300 mg/l.....	24
II.4.7.2. Oxygène.....	25
II.4.7.3. Azote ammoniacal NH ₃	25
II.4.7.4. Métaux lourds	25
II.4.7.4. Autres	25
II.4.8. Ensablement.....	26
II.4.9. Surpression hydraulique.....	26
II.5. Caractéristiques du biogaz.....	27
II.5.1. Les caractéristiques moyennes du biogaz.....	27
II.5.2. Composition moyenne du biogaz.....	27
II.5.2.1. Composition chimique	27
II.5.3.2. Production de chaleur	27
CHAPITRE III: Présentation de la station d'épuration de Baraki	
III.1. Présentation de la ville de BARAKI.....	28
III.1.1. Localisation de la ville de BARAKI.....	28
III.1.2. Etude climatique.....	29
III.1.2.1. Climat	29
III.1.2.2. Température	29

III.1.2.3. Précipitation	30
III.1.2.4. Climagramme d'Emberger (Quotient pluviométrique)	31
III.1.3. Géologie et géomorphologie	32
III.1.4. Pédologie.....	32
III.1.5. Hydrologie et hydrogéologie	33
III.2. Présentation de la station d'épuration de Baraki	33
III.2.1. Filière de l'eau	34
III.2.1.1. Poste de relevage PR1.....	34
III.2.1.1.1. Description de l'installation.....	34
III.2.1.2. Poste de relevage PR2.....	34
III.2.1.2.1. Description de l'installation.....	34
III.2.1.3. Les prétraitements.....	35
III.2.1.3.1. Instrumentation:.....	35
III.2.1.3.2. Le Dégrillage.....	36
III.2.1.3.2.1. Description de l'installation.....	36
III.2.1.3.2.2. Préleveur d'échantillons	36
III.2.1.3.2.3. Classificateur à sables.....	37
III.2.1.3.3. Dessablage-déshuilage	37
III.2.1.3.3.1. Fonction principale.....	37
III.2.1.3.3.2. Description de l'installation.....	38
III.2.1.4. Traitement primaire	38
III.2.1.5. Traitement biologique (bassin d'aération).....	39
III.2.1.6. Clarificateur et ouvrage de rejet.....	39
III.2.1.6. Traitement tertiaire.....	40
III.2.2. Filière traitements des boues	41
III.2.2.1. Recirculation et extraction des boues.....	41
III.2.2.1.1. Pompes à boues en excès.....	41
III.2.2.1.2. Vis recirculation des boues	41
III.2.2.2. Epaissement des boues	42
III.2.2.3. Le pré-épaisseur	42
III.2.2.4. La bêche mixte	43
III.2.2.5. Digestion anaérobie des boues	43
III.2.2.5.1. Alimentation en boue du digesteur	44
III.2.2.5.2. Recirculation et réchauffage des boues.....	45
III.2.2.5.3. Extraction des boues du digesteur secondaire	46
III.2.2.5.4. Agitation des boues.....	47

III.2.2.5.5. Stockage et valorisation du biogaz	47
III.2.2.6. Conditionnement des boues.....	47
III.2.2.7. La déshydratation des boues	48

CHAPITRE IV: materiels et méthodes

Introduction.....	49
IV.1. Matériels	49
IV.1.1. Appareillage.....	49
IV.1.2. Verrerie.....	49
IV.1.3. Réactifs et solutions	49
IV.2. Méthodologie	50
IV.2.1. Mode de prélèvement des boues digérées et les boues mixtes	50
IV.2.2. Méthodes d'analyse	50
IV.2.2.1. Température	50
IV.2.2.2. pH	50
IV.2.2.3. MVS	50
IV.2.2.4. Le taux d'élimination des MV	50
IV.2.2.5. AGV	51
IV.2.2.6. TAC.....	51
IV.2.2.7. Analyses du biogaz :	51
IV.2.2.8. Contrôle de la pression hydraulique :	51
IV.2.2.9. Détecteur de gaz :	52

CHAPITRE V : Résultats et discussion

V.1. La température	53
V.2. Le pH.....	54
V.3. La matière volatile en suspension MVS	55
V.4. Le taux d'élimination des MV	55
V.5. Les acides gras volatiles AGV.....	56
V.6. Le titre alcalimétrique complet TAC	57
V.7. Variation de rapport AGV/TAC en fonction de temps.....	58
V.8. Contrôle de pression	59
V.9. Production de biogaz	60
Conclusion Générale	63

Référence Bibliographique

Annexes



Introduction générale.

Les stations d'épuration urbaines ont pour rôle d'éliminer la pollution contenue dans les effluents domestiques, avant leur rejet dans le milieu naturel. Si l'eau, en fin de traitement, est effectivement épurée, la pollution initiale se retrouve en partie stockée et concentrée dans les boues issues des diverses étapes de traitement de l'eau. Ces boues étant alors considérées comme un déchet valorisable, qu'il faut éliminer tout en respectant certaines contraintes réglementaires [1].

La production de boues est de plus en plus difficile à gérer, Cela pousse les gouvernements à rechercher des solutions technologiques permettant de la réduire au même titre que la gestion des autres types de déchets.

Dans un futur proche, cette problématique risque de s'accroître, étant donné les projets de construction de nouvelles stations d'épuration qui vont permettre d'augmenter la capacité « épuratoire » de l'Algérie et par conséquent accroître la production de boues. Étant donné les contraintes locales et réglementaires, la mise en place de filières pérennes pour la valorisation et l'élimination des boues est difficile et coûteuse pour les collectivités. D'un point de vue réglementaire, deux destinations finales sont actuellement envisageables : la valorisation agricole (épandage, compostage) et l'incinération. Il sera donc indispensable d'élaborer une véritable filière des boues en même temps que l'élaboration et la conception de la future station d'épuration [2].

Une des technologies efficaces et moins coûteuses permettant le traitement de la fraction organique de ces déchets est la digestion anaérobie (biométhanisation), qui consiste en une dégradation biologique, en absence d'oxygène, de la matière organique en un mélange de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2) appelé biogaz. Grâce à la digestion anaérobie, les déchets deviennent une source de richesses. Cette technologie devient essentielle dans le processus de réduction des volumes de déchets et la production de biogaz, qui est une source d'énergie renouvelable pouvant être utilisée dans la production d'électricité et de chaleur [3].

Durant le processus de digestion anaérobie, seule une partie de la matière organique est complètement dégradée, le reste est un excellent agent de fertilisation des terres agricoles et qui peut être utilisé en tant que tel [4].

A travers ce travail, on s'intéresse dans un premier temps à donner quelques connaissances bibliographiques concernant les boues d'épuration, et la digestion des boues respectivement dans le chapitre I et le chapitre II.

Au second lieu, on étudie le suivi du fonctionnement de la digestion dans la station d'épuration des eaux usées de Baraki, en présentant la station d'épuration des eaux usées de



Introduction générale.

Baraki dans le chapitre III, le matériels et les méthodes dans le chapitre IV et enfin les résultats et discussions dans le chapitre V.

Ce procédé de digestion anaérobie est utilisé dans la station d'épuration des eaux usées de Baraki. Nous finalisons notre travail par une conclusion général.



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

I.1. Introduction :

Chaque jour, l'homme consomme de fortes quantités d'eau, tant pour son usage personnel que professionnel. Ces eaux, une fois utilisées, sont recueillies afin d'être épurées. Les eaux usées ainsi collectées ont donc deux origines : une origine domestique (Eaux Résiduaires Urbaines: ERU) et une origine industrielle (Eaux Résiduaires Industrielles : ERI). Dans le cas de zones peu ou moyennement industrialisées, ces eaux résiduaires sont mélangées et traitées ensemble dans une station d'épuration (STEP) qui a pour objectif de réduire la charge polluante qu'elles véhiculent afin de rendre au milieu aquatique une eau de qualité [5].

Les boues proviennent de l'épuration des eaux usées, elles résultent de l'activité biologique des microorganismes vivant dans ces stations qui transforme les matières transportées par les eaux usées pour qu'elles puissent en être extraites [1].

I.2. Définition et origine des boues d'épuration :

Les boues sont définies par le Comité Européen de Normalisation (CEN) comme «un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent». Les boues sont issues du traitement des eaux usées domestiques ou industrielles. L'épuration de ces eaux usées s'effectue en différentes étapes selon des techniques basées sur des lois de la physique, de la chimie et de la biologie. Il en résulte une eau épurée que l'on rejette dans le milieu naturel et un résidu principal : les boues.

Ce résidu est constitué de matières minérales inertes, d'azote, de phosphore et de matières organiques [6].

I.3. Origine et procédés d'épuration des eaux usées :

I.3.1. Origine des eaux usées urbaines :

Il existe quatre types de pollution contre les quels des moyens de lutte doivent être mis-en œuvre :

- La pollution traditionnelle des eaux usées domestiques ;
- La pollution apportée par les eaux pluviales ;
- La pollution des industries implantées dans la commune ;
- La pollution des matières de vidange issues de l'assainissement autonome des habitations non raccordées au réseau collectif [3].

I.3.1.1. Les eaux usées domestiques :

Constituant généralement l'essentiel de la pollution. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en :



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

◆ Eaux vannes d'évacuation des toilettes, chargées de diverses matières organiques azotées et des germes fécaux.

◆ Eaux ménagères d'évacuation des cuisines, salles de bain, généralement chargées de détergents, de solvants, de débris organiques, etc.

La pollution journalière produite par une personne utilisant 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- De **70 à 90** grammes de matières en suspension;
- De **60 à 70** grammes de matières organiques;
- De **15 à 17** grammes de matières azotées;
- **4** grammes de phosphore;
- Plusieurs milliards de germes pour **100 ml** [3].

I.3.1.2. Les eaux pluviales :

Elles peuvent, constituer la cause de pollutions importantes des cours d'eau pendant les périodes orageuses. L'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis, en ruisselant, des résidus déposés sur les toits et les chaussées de villes (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). En outre, lorsque le système d'assainissement est dit « unitaire », les eaux pluviales sont mêlées aux eaux usées domestiques [3].

I.3.1.3. Les eaux usées industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques sont bien évidemment directement liées aux types d'industries. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures [3].

I.3.1.4. Les matières de vidange :

Dans toutes les communes, il existe des habitants non raccordés ou non raccordables à l'égout public. Or, toute fosse septique (ou appareil équivalent) produit obligatoirement des matières de vidange. L'évacuation et le traitement de ces matières domestiques font partie intégrante de l'assainissement. Ces matières de vidange sont un concentré de pollution, leur rejet, inconsideré dans le milieu naturel accroît les risques de pollution [3].

I.3.2. Les procédés des eaux usées urbaines :

Les eaux usées constituent un effluent très chargé en matières polluantes, nuisibles aussi bien au milieu récepteur qu'aux utilisateurs.

Pour remédier à cette pollution, l'eau usée doit subir une épuration avant son rejet ou sa réutilisation.



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

Le processus d'épuration peut comprendre plusieurs étapes :

- Les prétraitements.
- Le traitement primaire.
- Le traitement secondaire.
- Les traitements complémentaires.
- Le traitement de boues résiduaires [7].

I.3.2.1. Les prétraitements :

Cette étape consiste à éliminer les gros débris solides, les sables, les graisses et les huiles (fig I.1)

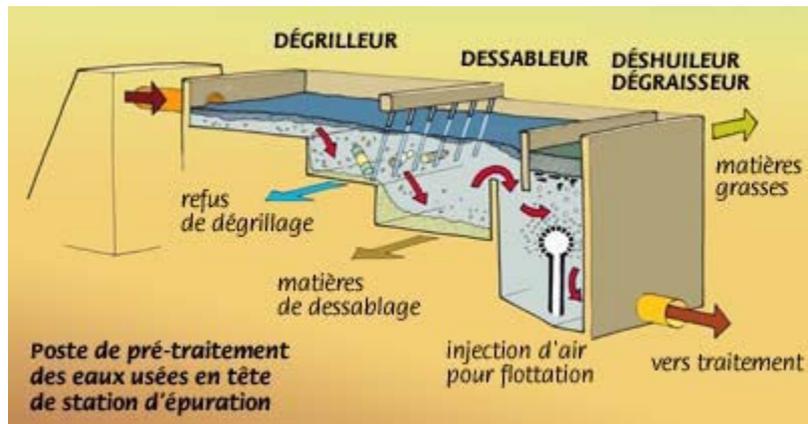


Figure I.1 : Les prétraitements [8].

I.3.2.1.1. Dégrillage :

Consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille (il en existe plusieurs types) dont les barreaux plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers.

L'espacement est déterminé en fonction de la nature de l'effluent.

Le dégrillage est classé en trois catégories selon l'écartement entre barreaux de la grille:

- Un pré-dégrillage : espacement de 30 à 100mm,
- Un dégrillage moyen : espacement de 10 à 25mm,
- Un dégrillage fin : espacement de 3 à 10mm,

Il existe différents types de grilles selon la conception des fabricants et la nature de l'effluent à traiter. On distingue :

- La grille manuelle ;
- La grille mécanique [8].



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

I.3.2.1.2. Dessablage - Déshuilage :

Réalisé dans un décanteur commun aux deux traitements :

➤ **Le dessablage** permet d'éliminer les MES de taille importante ou de densité élevée (utilisation d'un décanteur classique), c'est une étape indispensable notamment pour éviter le bouchage des canalisations et protéger les équipements contre l'abrasion [9].

Ce dessablage est pratiqué par décantation, les sables extraits sont envoyés en décharge.

➤ **Le déshuilage** est basé sur le principe de flottation afin de favoriser la remontée des corps gras moins denses que l'eau, cette opération destinée à éliminer les graisses et les huiles présentes dans les eaux résiduaires, c'est une étape indispensable pour assurer la protection du réacteur biologique, les résidus huileux sont récupérés par écrémage [9].

I.3.2.2. Traitement Primaire :

On distingue les traitements physico-chimiques et la décantation primaire :

I.3.2.2.1. Les traitements physico-chimiques :

Ce traitement consiste à enlever leur stabilité aux matières colloïdales présentes dans l'eau en provoquant la neutralisation de leurs charges électriques superficielles et l'agglomération de ces particules pour former un flocon volumineux décantable appelé floc.

La première étape est appelée coagulation, et se réalise dans le traitement d'eau par l'utilisation essentiellement de sel de fer ou d'aluminium.

La deuxième étape est la floculation et se réalise par l'ajout de polymère organique (macro molécule à longue chaîne).

De l'addition de sels de fer ou d'aluminium va résulter la formation d'un précipité d'hydroxyde $[\text{Fe}(\text{OH})_3 \text{ ou } \text{Al}(\text{OH})_3]$ et une chute d'alcalinité.

Les taux de réactifs à mettre en œuvre sont déterminés par des essais de floculation.

L'ajustement du pH par ajout d'acide ou de base est parfois nécessaire pour obtenir le pH optimale de coagulation-floculation des réactifs employés: $\text{Al}^{3+} = 6.0 \text{ à } 7.4$, $\text{Fe}^{3+} = 5 \text{ à } 8,5$ [10].

I.3.2.2.2. Décantation primaire :

La décantation, processus essentiel du traitement primaire, a pour but :

- De retenir une fraction importante de la pollution organique,
- D'alléger la charge du traitement biologique ultérieur,
- De réduire les risques de colmatage des systèmes de traitement biologique par culture fixée (lits bactériens, disques biologiques,...)
- D'éliminer 30 à 35% de la DBO_5 , 60% des MES et 90% des matières décantable (pour une eau usée domestique).



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

- La décantation primaire a peu ou pas d'effets sur l'élimination des virus et des bactéries ; les abattements cités sont de l'ordre de 10 à 30%.

Les décanteurs sont de très grands bassins rectangulaires ou circulaires, à fond plats avec système de raclage des boues ou à fond incliné pour que les boues glissent d'elles-mêmes vers le cône de collecte.

L'alimentation peut se faire frontalement (décanteur rectangulaire), par le centre ou par périphérie (décanteur circulaire) [8].

I.3.2.3. Traitement Secondaire :

A ce niveau, le traitement permet de se débarrasser des impuretés présentes sous forme solubles ou lorsque leur taille ne permet pas d'être piégé dans le traitement primaire.

I.3.2.3.1. Traitement biologique :

Le traitement biologique des eaux résiduaires a pour but d'éliminer la matière organique dissoute par action des bactéries et micro-organismes.

Il permet de passer des éléments présents sous forme soluble ou colloïdale en éléments floculables et de constituer des agrégats que l'on peut séparer de l'eau.

Il faut aussi signaler que la plupart des procédés biologiques exigent un domaine optimum de pH compris entre 6,5 et 8,5 quant à l'activité microbienne, elle est optimale à 30°C et requière des quantités suffisantes en nutriments.

On peut grossièrement classer les micro-organismes en :

- Germes aérobies qui exigent de l'oxygène pour leur métabolisme ;
- Germes anaérobies qui tirent leurs besoins énergétiques de la matière organique en absence de l'oxygène ;
- Germes aérobies facultatifs qui ont un métabolisme aérobie et un métabolisme anaérobie.

L'épuration des eaux usées fait appel à deux types de procédés :

- Les procédés intensifs ;
- Les procédés extensifs [11].

I.3.2.3.1.1. Les procédés intensifs :

Dont le but est de décomposer de façon biochimique par oxydation les matières non séparables par décantation qui n'ont pas pu être éliminées par des procédés mécaniques des eaux usées. En même temps une nouvelle substance cellulaire se forme. La substance cellulaire a un poids spécifique qui est plus grand que celui de l'eau d'égout et de ce fait une décantation est possible. Parmi ces procédés, on distingue :



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

- Les lits bactériens ;
- Les disques biologiques ;
- Et les boues activées [12].

A. Lits bactériens :

Le plus ancien procédé à biomasse fixée est le lit bactrien (**fig I.2**). La biomasse est fixée sur un matériau de grosse granulométrie (3 à 8 cm) sur laquelle percole l'effluent à traiter.

L'air est transféré par diffusion à travers le film d'eau ruisselant à la surface du matériau [10].

B. Disque biologique :

Ce procédé peut être rangé par les systèmes d'épuration biologique aérobie où la culture bactérienne est fixée sur un support comme c'est le cas pour les lits bactériens. Il est également appelé procédé d'épuration par bio disques.

Les disques tournent lentement autour d'un axe horizontal de telle sorte que la culture bactérienne présente sur le support se trouve alternativement au contact de l'eau et de l'air [12].

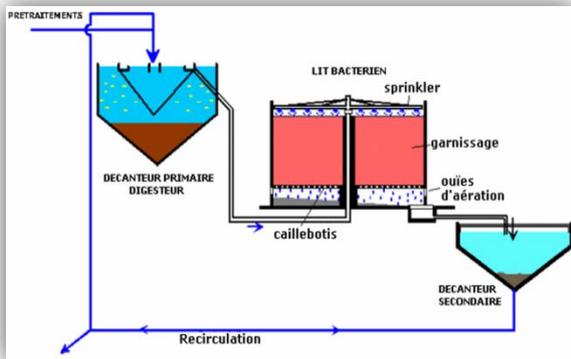


Figure I.2: Le lit bactérien [12].

Figure I.3: Disque biologique [13].

C. Boues activées (culture libre) :

Procédé de traitement à boue activée est le procédé le plus utilisé en Algérie pour traiter les eaux usées.

La technique des boues activées est appropriée pour des eaux usées domestiques d'agglomérations à partir d'environ 400 équivalent-habitants, jusqu'aux plus grandes villes. Elle existe néanmoins pour des installations individuelles, quoique le procédé ne soit pas assez éprouvé. Les effluents industriels ou agroalimentaires sont très variables, et peuvent selon les cas être traités par ce processus, avec souvent une adaptation à leur nature et caractéristiques [14].



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

L'épuration par boues activées consiste à mettre en contact les eaux usées avec un mélange riche en microorganismes par brassage pour dégrader la matière organique en suspension ou dissoute. Il y a une aération importante pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières, suivie d'une décantation à partir de laquelle on renvoie les boues riches en bactéries vers le bassin d'aération [14].

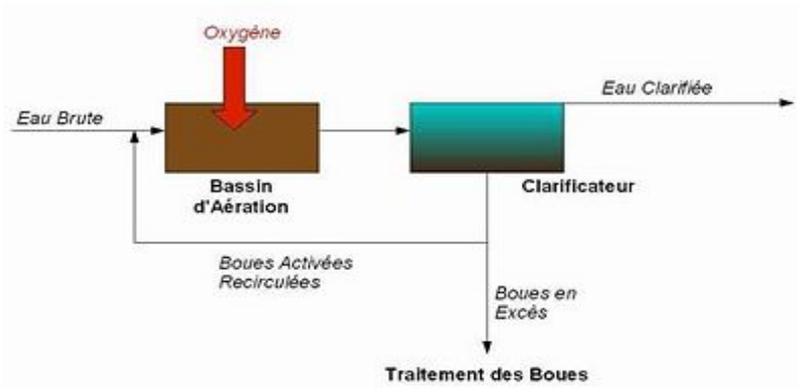


Figure I.4: Le Principe du traitement biologique [14].

I.3.2.3.1.2. Les procédés extensifs :

A. Lagunage :

Il existe deux types :

A.1. Lagunage naturel :

L'épuration se déroule naturellement par passage de l'eau dans une succession de bassins généralement dans lesquels des algues sont présentes, des bactéries et microorganismes. Où l'aération est naturelle.

La profondeur de ces bassins est généralement comprise entre 1 m et 1,8 m. Ceux-ci sont dimensionnés de façon à ce que le temps de séjour de l'eau soit de l'ordre de 40 jours (cas de climat méditerranéen) [12].

A.2. Lagunage aéré :

Le dimensionnement des lagunes peut être réduit de moitié en réalisant l'oxygénation dans le premier bassin par des aérateurs mécaniques ou par diffuseur d'air.

Outre le fait que ce type de lagune coûte, au niveau de l'exploitation, plus cher que les lagunes naturelles (consommation d'énergie, entretien électromécanique), il est nécessaire d'être plus strict au niveau construction. La protection des digues par du béton maigre, des pierres ou des feuilles de plastique est indispensable pour éviter l'érosion et la rupture des digues due au batillage de l'eau provoqué par les aérateurs [12].

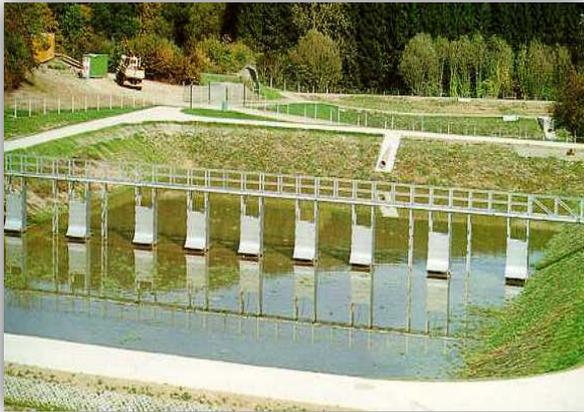


Figure I.5: Le lagunage naturel [15].



Figure I.6: Le lagunage aéré [16].

B. L'épandage :

C'est le procédé le plus ancien, Il consiste à déverser directement sur le sol perméable des eaux usées, où les granulats constituant le sol sont alors un matériau de support de micro-organismes, ces derniers servent à dégrader la matière organique [12].

Ce procédé peut être dangereux dans la mesure où les eaux qui s'infiltrent à travers le sol peuvent contaminer les nappes [12].



Figure I.7: Epandage [16].

I.3.2.4. Traitements tertiaires:

I.3.2.4.1. Désinfection :

En générale, les techniques d'épuration, même les plus énergiquement poussées, laissent passer dans l'eau épurée des matières organiques difficilement biodégradables et échappant à la meilleure décantation.

Ainsi même après un traitement secondaire l'eau véhicule presque toujours des micro-organismes et des micropolluants qui risquent de provoquer des dangers. Si une éventuelle réutilisation de cette eau est envisagée, il convient par conséquent d'utiliser des procédés à



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

l'élimination de cette pollution résiduelle. On parlera donc des corrections chimiques ce qui permettra de donner à l'eau une qualité meilleure pour sa réutilisation [17].

La principale méthode utilisée est la désinfection par **chlore**, qui doit être appliquée avec des doses très fortes et des temps de contact plus long. Mais il convient de signaler que les chloramines formés sont toxiques et présentent un danger pour la vie aquatiques, ainsi il ya lieu de penser à une opération de déchloration avant le rejet [17].

A coté de la désinfection par le chlore, d'autres procédés existent également mais qui restent pratiquement inutilisables dans les domaines de l'épuration des eaux usées :

L'ozone offre un large spectre d'action. Il est efficace aussi bien contre les virus que contre les bactéries et agit avec un temps de contact de courte durée (10 min). Les doses habituellement adoptées se situent entre 2 et 5 g/m³ d'ozone [18].

La désinfection aux ultraviolets tend à se développer de façon plus intense car elle présente un certain nombre d'avantages comme des temps de contact très courts, pas d'utilisation de produits chimiques, une bonne efficacité sur les bactéries et sur les virus, le principe d'action des UV repose sur le fait que les rayons ultraviolets sont des ondes électromagnétiques qui correspondent à une gamme de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm. L'absorption de ces rayons par les micro-organismes provoque une modification de leur ADN qui bloque toute réplication du matériel génétique et engendre-leur mort [18].

I.4. Traitement des boues :

I.4.1. Les différents types de boues :

Selon l'origine, on pourra distinguer les types de boues suivantes :

I.4.1.1. Les boues industrielles :

C'est l'ensemble de déchets liquides, pâteux ou solides sortant du site de production [19].

I.4.1.2. Les boues primaires :

Obtenues par simple décantation d'un résidu insoluble. Ces boues correspondent à la pollution particulaire directement décantable. Elles sont produites par les industries de la cellulose, les industries de traitement des métaux, des minerais, les industries agroalimentaires générant des déchets fibreux [20].

I.4.1.3. Les boues biologiques ou secondaires :

Sont issues d'un bassin aéré ou d'une cuve anaérobie ; des industries chimiques et pharmaceutiques, agroalimentaires (laiteries, boissons...), textiles et, plus généralement, de toute industrie rejetant de la pollution organique biodégradable.

Elles sont essentiellement constituées de bactéries et sont très organiques et peu concentrées [21].



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

I.4.1.4. Les boues physico-chimiques :

Sont générées par l'ajout d'un réactif injecté soit en tête de traitement, soit en traitement de finition, en tertiaire, on retrouve souvent dans ces boues des hydroxydes, voire d'autres métaux dans le cas des industries de traitement de surface. Ces boues peuvent donc présenter certaines similitudes avec des boues d'eau potable [4].

I.4.1.5. Les boues mixtes :

C'est le mélange des boues biologiques et des boues primaires. Elles existent au niveau des STEP (station de traitement des eaux polluées) dotées d'une filière de traitement complète [22].

I.4.1.6. Les boues d'aération prolongée :

Ces boues existent au niveau des STEP sans décantation primaire. Elles sont moins organiques et donc produisent moins de nuisances ultérieures [23].

I.5. Caractéristiques des boues :

I.5.1. Caractéristiques physico-chimiques :

I.5.1.1. Matière sèche MS et siccité S :

C'est le paramètre principal de la définition de filière et surtout un des plus faciles à mesurer. MS est exprimée en g/L. Rapporté à la masse totale de boue, on l'exprimera en fraction massique S qui correspond à la siccité. Il permet de connaître la quantité de boue à traiter, quel que soit son niveau de concentration dans la filière de traitement [24].

I.5.1.2. Matières en suspension MES :

Si les MS sont faciles à déterminer sur les phases concentrées, il n'en va pas de même sur les phases clarifiées où la procédure de mesure des MES par filtration sur membrane est plus appropriée.

Afin d'écrire un bilan matière rigoureux soit en MS, soit en MES sur une opération de séparation de phase (qui ne sépare que les MES), on reliera les deux paramètres par la relation expérimentale suivante :

$$MES = MS - [\textit{substances organiques et minérales dissoutes}] [25].$$

I.5.1.3. Fraction volatile FV (en % des MS) :

C'est le rapport des matières volatiles MV (en g/L) sur les matières sèches MS (en g/L). Elle donne une précieuse indication sur le degré de stabilisation de la boue, et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...) [26].



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

I.5.1.4. Indice de boue SVI (Sludge Volume Index) :

Il caractérise l'aptitude à la décantation, et donc ultérieurement à l'épaississement puis à la déshydratation d'une boue issue d'un traitement biologique. Il est à relier indirectement aux MS et MV [27].

I.5.2. Caractéristique biologique :

I.5.2.1. Composition des matières organiques :

La connaissance de la composition élémentaire de la boue en terme de C, H, O, N, S permet de déterminer l'aptitude d'une boue à être dégradée biologiquement (digestion anaérobie avec production de biogaz) ou thermiquement (incinération) par écriture de la stœchiométrie de dégradation. Elle est exprimée par rapport aux MV, voire par rapport aux MV dégradables uniquement si l'on s'intéresse à la stabilisation biologique. $C_5H_7O_2N$ est souvent pris comme « formule brute » d'une boue biologique [28].

I.5.2.2. Composition des matières minérales :

Silice, alumines, carbonates et phosphates constituent les éléments les plus couramment rencontrés, à l'exception des boues minérales d'industries spécifiques. Carbonates et phosphates ont ainsi leur importance pour préciser la qualité agricole d'une boue épandue ; la silice est un élément défavorable en centrifugation.

Par ailleurs les chlorures, essentiellement solubles, sont peu appréciés en cas d'utilisation des cendres de boues incinérées en valorisation dans le béton [29].

I.5.2.3. Les Micropolluants :

Ils doivent être caractérisés en cas d'épandage agricole comme en cas d'incinération, car ils peuvent alors se retrouver dans les fumées. Les législations se sont longtemps tenues aux seuls micropolluants minéraux en limitant les rejets des métaux lourds suivants : plomb, chrome, cuivre, manganèse, nickel, arsenic, cadmium et mercure [30].

I.5.3. Caractéristiques physiques :

Afin de concentrer, chauffer, convoier et stocker la boue, il est indispensable de préciser ses propriétés physiques.

I.5.3.1. Aptitude au convoyage et au stockage :

La boue peut présenter différents états liés à sa rhéologie dont il est important de connaître les limites afin de dimensionner les capacités de pompage, convoyage et stockage [15].

I.5.3.2. Masse volumique :

Elle permet de calculer le volume de boue à convoier. En l'absence de mesure, pour une boue liquide ou pâteuse [31].



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

I.5.3.3. Viscosité :

Les boues fraîches, dont la concentration dépasse rarement 10 à 15 g/L, ont un comportement newtonien. Leur viscosité est alors de l'ordre de quelques mPas. Quand la teneur en MS prend des valeurs plus importantes [32].

I.5.3.4. Granulométrie :

Idéalement, la valeur du diamètre particulaire permettrait de connaître, d'après la loi de Stokes, l'aptitude d'une boue à épaissir. La distribution granulométrique d'une boue est cependant difficile et longue à mesurer. Les rares mesures effectuées montrent en outre une forte dispersion autour du diamètre moyen. Par ailleurs, si la taille est généralement un critère favorable, des particules de taille importante peuvent entraîner des problèmes de convoyage (dépôts) ou d'abrasion (silice), notamment en cas de centrifugation [20].

I.6. Filières de traitement des boues d'épuration :

Les boues se présentent sous forme liquide (95% d'eau en moyenne) avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible ainsi que des matières minérales. Ces caractéristiques sont problématiques quelle que soit la destination des boues et imposent la mise en place d'une filière de traitement.

Les procédés de traitement des boues peuvent varier suivant leurs natures et la taille de la station d'épuration. Trois grands types de traitement sont à distinguer :

- Des traitements de stabilisation, dont l'objectif est de réduire le pouvoir fermentescible des boues afin de limiter ou d'annuler les nuisances olfactives ;
- Des traitements de réduction de la teneur en eau des boues, visant (i) à diminuer le volume de boues à stocker ou à épandre et/ou (ii) à améliorer leurs caractéristiques physiques (tenue en tas notamment) ;
- Des traitements d'hygiénisation qui visent à éliminer la charge en microorganismes pathogènes [6].

I.6.1. L'épaississement :

L'épaississement permet d'augmenter la concentration en solide de la boue.

Les deux techniques principales sont la décantation et la flottation.

- Réduction du volume de la boue.
- Production d'une boue plus concentrée en MS.
- Évacuation d'une eau claire, peu chargée, qui est recirculée en tête de station [33].



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

I.6.1.1. Les épaisseurs gravitaires :

- Hersés ou non, ils ont pour fonction d'épaissir et non de stocker.
- Les temps de séjours des boues sont au maximum de trois jours.
- Le mode de gestion de ces ouvrages prévoit que le surnageant soit évacué [23].

I.6.1.2. Les épaisseurs stockeurs :

- Ce sont des ouvrages mixtes assurant simultanément épaissement et court stockage ;
- Le recours à ce mode de gestion devrait être interdit. En effet, il est responsable de nombreux dysfonctionnements tant sur la filière eau que sur la filière boue. Dans la pratique, leur usage est encore hélas assez courant [23].

I.6.2. La stabilisation des boues :

Les traitements de stabilisation utilisés sont de type biologique, chimique ou thermique. Ils s'appliquent aux boues mixtes fraîches, aux boues secondaires ou à l'ensemble des boues.

La stabilisation biologique réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. Elle se fait soit par voie aérobie (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération ou dans des bassins de stabilisation aérobie, soit par voie anaérobie dans des digesteurs avec production de biogaz (méthane), ce dernier procédé réduit sensiblement la masse de matières organiques (30% environ)..

La stabilisation chimique bloque l'activité biologique et donc l'évolution de la boue par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50% de la matière sèche), ce qui a pour conséquence d'élever le pH.

La stabilisation par Chaulage et compostage se pratique sur des boues déjà stabilisées biologiquement en station d'épuration. Pour les boues primaires ou physico-chimiques, le chaulage est l'unique mode de stabilisation [34].

I.6.3. Conditionnement des boues :

C'est la première étape après la digestion dont la majorité des boues organiques doivent subir un prétraitement spécifique, appelé conditionnement, pour permettre le bon fonctionnement des différents appareils de déshydratation mécanique et l'amélioration de son rendement. Le degré de déshydratation dépend avant tout du type de boues à traiter mais aussi des procédés de conditionnement tel que l'ajout d'un polymère avec une concentration de 3 g.l⁻¹, L'étape de conditionnement est très importante pour éviter des problèmes de montée en charge, de filtrats chargés, de toile colmatée [35].



Chapitre I : Les boues des stations d'épuration.

I.6.4. Déshydratation des boues :

- Réduction de la teneur en eau de la boue (humidité inférieure à 88% ce qui correspond à des siccités supérieures à 12%.

- L'aspect de la boue obtenue diffère ; il est pâteux, solide ou sec [35].

Il existe plusieurs procédés de déshydratation qui sont choisis selon le contexte local et l'objectif à atteindre :

Système drainant : c'est un égouttage à travers un système filtrant.

- Filtre-presse filtration sous -vide ;
- Filtre à bandes pression ;
- Centrifugation : c'est une décantation accélérée ;
- Lit de séchage : c'est une filtration et évaporation naturelle [23].

I.7. Filière d'élimination des boues :

S'il existe de nombreux traitements en amont pour réduire le volume, les nuisances, la nocivité des boues, actuellement **3 filières** sont utilisées pour évacuer les boues, selon que l'on privilégie un mode digestion basé sur l'élimination ou sur le recyclage. Il s'agit :

- *De la mise en décharge contrôlée.*
- *De l'incinération.*
- *Du retour au sol par épandage.*

I.7.1. La mise en décharge contrôlée :

La mise en décharge de boues pures ou en mélange correspond à une concentration maximale de tous les déchets. Le carbone part dans l'atmosphère sous forme de méthane. Restent l'azote et le phosphore (non récupérable). Le lieu de stockage doit être confiné et on ignore quel peut être le devenir à long terme, ni la durée du confinement malgré toutes les précautions [36].

Les boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées (humidité maximale de 70 %). Cette solution a perdu progressivement de son intérêt et se retrouve actuellement interdite pour des raisons financières (procédure de fermeture ...) et pour des problèmes environnementaux tels que les odeurs nauséabondes, pullulation de moustiques, entraînement d'éléments fertilisants (nitrates, phosphates) et de produits toxiques par les eaux superficielles et contamination des nappes d'eaux souterraines [37].



I.7.2. 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, pour le chauffage urbain ou industriel [37].

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 tels les déchets ménagers. L'élimination des cendres et des mâchefers exigent une décharge contrôlée de classe 1 ou une unité d'inertage. 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 réglementations spécifiques [37].

I.7.3. Epandage directe sur le sol :

A l'heure actuelle, l'épandage agricole des boues reste en Europe la principale filière d'élimination, ce dernier est pratiqué que si celles-ci respectent le principe "d'intérêt agronomique" et soient exemptes de grandes teneurs en polluants inorganiques ou organiques.

Ce mode de recyclage est le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimique (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. Les boues résiduelles peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux [37].



II.1. Définition de la digestion :

La digestion anaérobie ou **méthanisation** est un processus biologique naturel de transformation de la matière organique carbonée en **biogaz**. Cette décomposition des matières organiques est réalisée en absence d'air et de lumière dans des cuves fermées en milieu liquide ou sec. Le biogaz produit est composé majoritairement de méthane (CH_4), de dioxyde de carbone (CO_2) et d'eau (H_2O). On trouve aussi sous forme de traces de l'azote (N_2), de l'hydrogène sulfuré (H_2S) et de l'ammoniac (NH_3) [2].

La digestion anaérobie prend généralement place dans un réacteur scellé. Elle peut être décrite selon les deux étapes suivantes :

- La digestion de la matière particulaire ;
- La séparation de la phase liquide digérée de la phase solide.

La digestion a pour effet de transformer la boue en dioxyde de carbone, en eau et en méthane. Cette technologie est déjà largement utilisée dans l'industrie agroalimentaire. Elle génère deux produits pouvant être valorisés : le méthane sous forme énergétique et l'effluent liquide sous forme de fertilisant [38].

II.2. Principe de la digestion anaérobie :

Parmi les différentes techniques de stabilisation, la digestion anaérobie, ou méthanisation, est la plus intéressante. En effet, c'est la filière de traitement, accompagnée d'une valorisation agricole, la moins agressive vis à vis de l'environnement [39].

La digestion anaérobie consiste en une fermentation des boues, souvent épaissies, sous condition anaérobie stricte. Elle est composée de quatre étapes : l'hydrolyse, l'acidogène, l'acétogénèse et la méthanogènes. Pour mener à bien une digestion, il est nécessaire d'avoir des vitesses de réactions équilibrées pour ne pas inhiber une des étapes [38].

II.2.1. Les conditions optimales pour la digestion anaérobie :

La boue est un milieu contenant des organismes vivants microscopiques appelés bactéries.

Ce sont ces bactéries qui effectuent la digestion sous certaines conditions : absence d'oxygène, température, acidité (mesurée par le pH), ...

La digestion est un processus de transformation par fermentation, en l'absence d'oxygène (anaérobiose). Elle permet de réduire les matières organiques complexes en biogaz et autres éléments simples [40].

En tant qu'organisme vivant, la bactérie a des besoins vitaux. Il faut donc contrôler son alimentation, le pH et la température de son environnement. La température optimale pour les bactéries assurant la digestion dite **mésophile** se fait à une température de $35^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ et à



Chapitre II : La digestion des boues.

un pH de 7 à 7,5. La digestion doit également être effectuée dans un milieu parfaitement homogène.

Les bactéries qui effectuent la digestion ne supportent pas la présence d'oxygène, elles sont appelées bactéries anaérobies strictes [40].

II.2.2. Les étapes de la digestion anaérobie :

La méthanisation est un processus de fermentation anaérobie complexe (Figure II.1), mettant en jeu plusieurs étapes biochimiques correspondant à l'action de différents groupes bactériens :

- *L'hydrolyse* de la matière organique.
- *L'acidogénèse*, transformation de la matière organique en acide gras.
- *L'acétogénèse*, formation d'acétate, d'hydrogène et de gaz carbonique à partir des acides gras.
- *La méthanogénèse* qui conduit à la formation de méthane à partir des produits de la réaction précédente.

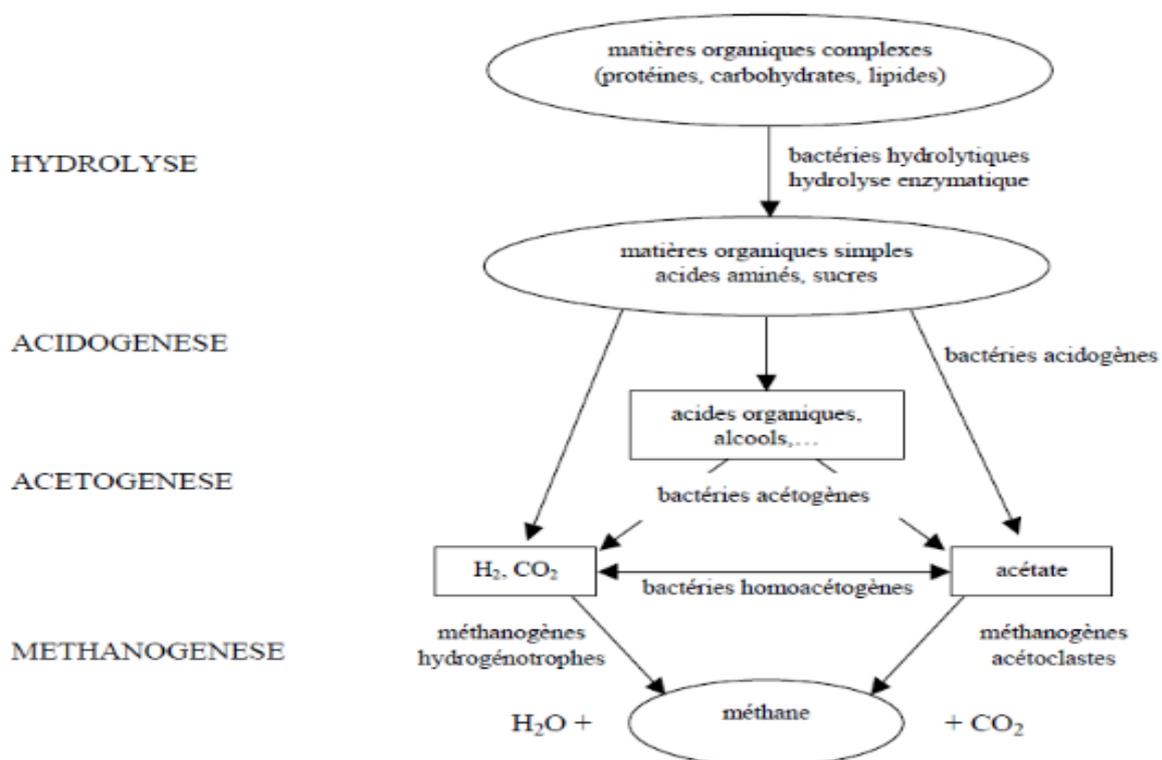


Figure II.1: Le principe de la digestion anaérobie [37].



Chapitre II : La digestion des boues.

II.2.2.1. Hydrolyse :

L'étape d'hydrolyse est un processus de dégradation des composés particulaires, mettant en jeu divers micro-organismes hydrolytiques anaérobies, stricts ou facultatifs, mésophiles ou thermophiles [2]. Elle conduit à l'hydrolyse enzymatique et à la solubilisation de molécules complexes (protéines, polysaccharides, lipides, cellulose,...) en composés plus simples (acides aminés, sucres simples, acides gras, glycérol,...). La quantité de matière particulaire solubilisée dépend de la composition même de la phase particulaire. Dans les digesteurs, l'étape d'hydrolyse est assurée essentiellement par des bactéries qui sont en compétition pour l'utilisation des nutriments et des sources de carbone [37].

II.2.2.2. L'acidogénèse :

L'étape d'acidogénèse consiste en une dégradation des composés produits par l'étape d'hydrolyse, par l'action de bactéries acidogènes et fermentatives. Elle conduit à la formation d'un mélange de composés : acides organiques, acides gras volatils (AGV), alcools, hydrogène, dioxyde de carbone, ammonium,... [40].

II.2.2.3. L'acétogénèse

L'étape d'acétogénèse permet la transformation des acides, issus de la phase d'acidogènes, en acétate, en hydrogène et en dioxyde de carbone, par l'action des bactéries acétogènes. Cette opération est réalisée par des bactéries productrices d'hydrogène. Ces bactéries ont des taux de croissance rapide. Cependant, cette dégradation est sensible à la présence d'hydrogène. Les réactions ne sont donc réalisables qu'en présence de micro-organismes accepteurs d'hydrogène. Dans le cas de la digestion anaérobie, les micro-organismes accepteurs d'hydrogène sont les bactéries homo-acétogènes et les microorganismes méthanogènes [37].

II.2.2.4. La méthanogénèse :

Les produits obtenus par les phases précédentes sont transformés en méthane (CH₄). Les bactéries méthanogènes hydrogénophiles (hydrogénotrophes) et acétoclastes (acétotrophes) sont les responsables de cette transformation. En général la réaction de la méthanisation est résumée par : $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CO_2 + 3CH_4$

Les méthanogènes hydrogénotrophes ou hydrogénophiles utilisent la réduction du dioxyde de carbone ou de l'acide formique par l'hydrogène comme source d'énergie, selon l'équation suivante : $CO_2 + 4 H_2 \rightarrow 2 H_2O + CH_4$ [42].



II.3. paramètres influençant la digestion :

La digestion anaérobie ne peut être réalisée que sous certaines conditions :

- Absence d'oxygène, de nitrates ou de sulfates [43].
- pH proche de la neutralité : optimum 6,8 - 7,5 [42].
- Concentration en acides gras volatils (AGV) entre 150 et 300 mg/l [42].
- Une pression partielle en hydrogène très faible : 10 - 20 Pa au maximum [2].
- Un potentiel d'oxydoréduction inférieur à -300 mV [41].
- Absence d'éléments inhibiteurs : agents chlorés, antibiotiques,...
- Une température stable optimale pour les micro-organismes épurateurs [41].

II.3.1 La température :

Il existe trois types de digestion anaérobie : la digestion psychrophile (température autour de 6 à 15°C), la digestion mésophile (température à environ 30-35°C) et la digestion thermophile (température supérieure à 45°C). La digestion anaérobie thermophile est la plus efficace : la réaction est accélérée par la chaleur. Cependant, dans la pratique, la digestion anaérobie est plus souvent utilisée dans les conditions mésophiles : compromis entre les performances et les dépenses énergétiques dues au chauffage et plus grande stabilité du processus [2].

II.3.2. 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 lents).

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 à 25 - 35 jours [44].

II.3.3. Le pH :

Il est indispensable de maintenir le pH dans la gamme de la neutralité (6,7 - 7,4), l'optimum étant autour de 7,0 - 7,2 unités pH. Le pH est essentiellement lié à la présence d'acides gras volatils [44].

II.3.4. La nature des boues à digérer :

La nature des boues est à prendre en compte, notamment le type de boues. A l'inverse des boues primaires (substrat très réactif et fermentescible), les boues secondaires sont beaucoup plus difficiles à digérer.



Chapitre II : La digestion des boues.

En effet, ces boues sont déjà en partie stabilisées, d'autant plus si le temps de séjour dans le bassin d'aération est élevé [43].

II.3.5. La présence de toxiques et d'inhibiteurs :

La digestion anaérobie est inhibée par la présence d'AGV en trop grande quantité, le composé le plus toxique étant l'acide propénoïque. En effet, lorsque la concentration en AGV devient supérieure à 2 - 3 g.L⁻¹, le pH diminue et la phase de méthanisation est inhibée. Ceci peut être provoqué par une surcharge organique. Ainsi, les performances du digesteur dépendent de l'équilibre entre la synthèse et la dégradation des AGV.

L'étape d'acétogénèse est, elle, inhibée par la présence d'hydrogène. Les réactions d'acétogénèse ne sont thermodynamiquement réalisables que pour des pressions partielles en hydrogène très faibles : 10 - 20 Pa [2].

Ces réactions nécessitent donc la présence de micro-organismes accepteurs d'hydrogène : les méthanogènes. Ceux-ci, en consommant l'hydrogène généré, permettent de garder une pression partielle en hydrogène très faible.

La présence d'ammoniac (NH₃ libre) est toxique pour les méthanogènes, à partir d'un certain seuil. Cette toxicité est dépendante du pH. En effet, la présence de NH₃ libre est favorisée par les pH alcalins : à pH neutre, l'azote est peu toxique. Le seuil de toxicité est situé entre 1,5 et 3 g N.L⁻¹ [44].

II.3.6. L'agitation :

Le système d'agitation doit être suffisamment performant pour assurer le contact entre la biomasse épuratrice et le substrat, pour maintenir une température homogène et pour libérer le biogaz formé [37].

II.4. Les dysfonctionnements d'un digesteur :

Les principaux dysfonctionnements d'un digesteur sont :

1. pH ;
2. Débit d'alimentation ;
3. Température ;
4. Entrée d'air ;
5. Brassage ;
6. Moussage ;
7. Toxiques ;
8. Ensablement.



Chapitre II : La digestion des boues.

II.4.1. Baisse du pH :

II.4.1.1. Causes :

- Faible alcalinité ;
- Volume de boues fraîches envoyé au digesteur trop important ;
- Surcharge (massique ou hydraulique) instantanée ;
- Température trop basse (ou trop haute en sortie de l'échangeur) d'où une digestion au ralenti ;
- Problème de brassage ;
- pH trop bas des boues fraîches d'où le choc dans le digesteur [45].

II.4.1.2. Conséquences :

- Baisse des performances de la digestion, voire un blocage de la digestion [45].

II.4.2. Débit d'alimentation:

L'irrégularité du débit d'alimentation peut avoir plusieurs conséquences :

- Si l'alimentation est trop faible, les bactéries n'auront pas assez de nutriments pour assurer leur développement.
- Si l'alimentation est trop importante, la production AGV sera trop importante et augmentera l'acidité, ce qui inhibera les bactéries acétogènes et méthanogènes [45].

II.4.3. Température :

II.4.3.1. Causes :

- Débit de recyclage trop faible.
- Débit de recyclage trop fort.
- Mauvaise régulation de la température de l'eau circulant dans l'échangeur [45].

II.4.3.2. Conséquences :

- Augmentation de la production d'AGV.
- Diminution de la production de biogaz.
- Blocage de la digestion (acidification du milieu) [45].

II.4.4. Entrée d'air :

II.4.4.1. Causes :

- Soupape de dépression ;
- Point bas dans le circuit de gaz créant une perte de charge élevée ;
- Absence ou manque d'eau dans le pot de purge ;
- Tuyauterie du compresseur percée ;
- Membrane du gazomètre souple déchirée ;



Chapitre II : La digestion des boues.

- Aération trop importante liée au recyclage [45].

II.4.4.2. Conséquences :

- Augmentation de la production d'AGV.
- Modification de la production de biogaz.
- Blocage de la digestion (acidification du milieu) si le problème n'est pas résolu rapidement [45].

Remarque : une forte entrée d'air se traduira tout de suite par une évolution du gaz (débit et qualité donc présence de N₂, voire d'O₂) [45].

II.4.5. Brassage :

II.4.5.1. Causes :

- Cannes endommagées.
- Compresseur (palettes usées, filtre colmaté, soupape au refoulement ouverte).
- Concentration des boues trop importante [45].

II.4.5.2. Conséquences :

- Augmentation de la production d'AGV.
- Diminution de la production de biogaz.
- Blocage de la digestion (acidification du milieu) [45].

II.4.6. Moussage :

II.4.6.1. Causes :

- Vitesse de digestion trop importante.
- Élévation de la température (>40°C).
- Charge hydraulique ou organique trop forte.
- Variation brutale du ratio BP/BB.
- Brassage insuffisant ; viscosité des boues trop importantes.
- Présence de toxique ou de filaments [45].
- pH < 7.

II.4.7. Toxiques :

II.4.7.1. AGV > 300 mg/l :

II.4.7.1.1. Causes :

- Temps de séjour hydraulique trop court.
- Charge trop élevée et/ou à-coup de charge.
- Variation trop brusque de la qualité de l'alimentation.
- pH trop faible.



Chapitre II : La digestion des boues.

- Température mal maîtrisée.
- Entrée d'air.
- Inhibition de la méthanogénèse.
- Augmentation de la pression partielle d'hydrogène qui inhibe l'acétogénèse.
- Présence d'un toxique [45].

II.4.7.2. Oxygène :

II.4.7.2.1. Causes :

- Entrée d'air du digesteur.

II.4.7.2.2. Conséquences :

- Baisse de la concentration en sulfure (les bactéries sulfato-réductrices sont inhibées par l'oxygène).
- Augmentation de la pression partielle d'hydrogène (les bactéries méthanogènes hydrogénophiles étant inhibées par l'oxygène, l'hydrogène n'est plus utilisé pour la réduction du CO₂ et s'accumule).
 - Augmentation de l'azote dans le biogaz.
 - Augmentation du pourcentage de CO₂ et baisse du CH₄.
 - Augmentation des AGV et apparition de propionate, butyrate, ... (les pressions partielles élevées de l'H₂ inhibent la dégradation du propionate) [45].

II.4.7.3. Azote ammoniacal NH₃ :

- Mauvais retours en tête, pH trop élevé.

II.4.7.4. Métaux lourds :

- Cu, Ni, Zn, Cr, Hg, Pb toxiques à quelques mg/L.
- Mesure des sulfures dans le gaz et analyse des boues, pour mettre en évidence la toxicité.
 - Les sulfures métalliques sont insolubles (sauf Cr) et dans le digesteur, ils précipiteront sous forme de sulfures métalliques [45].

II.4.7.4. Autres :

- Effets de certains produits organiques tels que les composés aromatiques, des ions alcalins (Na, K, Mg) et des chlorures.
- Identification du toxique et résolution du problème difficile [45].



Chapitre II : La digestion des boues.

II.4.8. Ensablement :

II.4.8.1. Causes :

- Accumulation de sable au fond de l'ouvrage (problème apparaissant 10 à 15 ans après la mise en route du digesteur).

II.4.8.2. Conséquences :

- Perte de volume utile du digesteur (jusqu'à 30%) d'où réduction du temps de séjour des boues et dysfonctionnement de la digestion [45].

II.4.9. Surpression hydraulique :

II.4.9.1. Causes :

- Colmatage des tuyauteries dû à :
 - Quantité importante de filasse ;
 - Précipitation de struvite.
- Bouchage des canalisations de gaz.

II.4.9.2. Conséquences :

- Actionnement des soupapes ;
- Dégardage ;
- Décalotage de la coupole [45].

II.5. Caractéristiques du biogaz :

II.5.1. Les caractéristiques moyennes du biogaz :

Le biogaz se caractérise en premier lieu par sa composition chimique et par les caractéristiques physiques qui en découlent. Il est essentiellement un mélange de méthane (CH_4) et de gaz carbonique (CO_2) inerte. Cependant le nom « biogaz » regroupe une grande variété de gaz issus de procédés de traitement spécifiques, à partir des déchets organiques divers – industriels, d'origine animale, ménagère etc. [46].

II.5.2. Composition moyenne du biogaz :

II.5.2.1. Composition chimique :

Les sources différentes de production conduisent à des compositions spécifiques différentes. La présence de H_2S , de CO_2 et d'eau rend le biogaz très corrosif et nécessite l'utilisation des matériaux adaptés. La composition d'un gaz en fermenteur dépend du substrat, de sa charge en matière organique, du débit d'alimentation du méthaniseur [46].



Chapitre II : La digestion des boues.

II.5.2.2. Caractéristiques physiques :

Selon sa composition, le biogaz présente des caractéristiques qu'il est intéressant de comparer au gaz naturel et au propane. Le biogaz est un gaz sensiblement plus léger que l'air, il produit deux fois moins de calories par combustion à volume égal que le gaz naturel [46].

II.5.3. Equivalences énergétiques du biogaz :

II.5.3.1. Production d'électricité :

La valorisation de 1 m³ de biogaz de STEP permet de produire environ 2 kWh d'électricité et 3,5 kWh de chaleur. Cette production électrique couvre généralement une part importante (40% à 70%) de la consommation électrique de la STEP et réduit donc les coûts énergétiques. La production électrique excédentaire est injectée dans le réseau électrique [46].

La production interne d'électricité permet de limiter la taxe de puissance et donc les coûts énergétiques [46].

II.5.3.2. Production de chaleur :

Les STEP ont une consommation de chaleur importante, principalement pour les besoins du digesteur et, dans une moindre mesure, pour le chauffage des locaux. Dans la plupart des cas, ces besoins peuvent être presque entièrement couverts sans agent énergétique extérieur, grâce à la récupération de chaleur sur une chaudière à gaz valorisant le biogaz de STEP. Certaines STEP produisent un excédent de chaleur qui est alors exploité pour le séchage des boues ou pour l'alimentation d'un chauffage à distance [46].



III.1. Présentation de la ville de BARAKI :

III.1.1. Localisation de la ville de BARAKI :

Baraki était un village de la Mitidja créé par les militaires français entre 1830 et 1870 à côté d'un vieux village arabe, Il faisait partie de la commune de Sidi Moussa à sa création en 1852. Baraki est située à environ 18 km au sud-est d'Alger et à 35 km au nord-est de Blida et 14 km de la mer, Elle est considérée comme une ville importante des communes du 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 (**figure III.1**)



Figure III.1 :Carte représentant la commune de BARAKI et ses limitrophes[35]

La STEP se trouve dans la partie nord-est de BARAKI juste près de la route menant vers El Harrach, 0.5 Km du quartier BENGHAZI et 3 Km du centre ville de BARAKI, dans un endroit bien espacé et non urbain.



Figure III.2: Localisation de la STEP de BARAKI [35].

III.1.2. Etude climatique :

III.1.2.1. 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 des dernières années (2000 – 2010)(Tableau III.1).

Tableau III.1: Les coordonnées géographiques de la période (2000-2010).

	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

III.1.2.2. Température :

Elle constitue un facteur important dans notre étude car elle peut influencer sur la production du biogaz ainsi que la biodégradation de la matière organique.

Les valeurs des moyennes des températures de la période (2000 – 2010) sont portées sur le tableau III.2.



Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de BARAKI.

Tableau III.2: Les valeurs des moyennes des températures de la période (2000 – 2010).

Mois T (°C)	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuelle
M	5.7	5.1	7.1	8.7	12.6	16.4	18.9	20.2	17.5	14.2	9.8	7.1	12
M	17.2	17.4	19.9	21.8	24.9	29.2	31.6	32.6	29.6	26.6	20.8	18	24.2
(M+m)/2	11.45	11.25	13.5	15.25	18.75	22.8	25.3	26.4	23.6	20.4	15.3	12.55	24.2
M - m	11.5	12.3	12.8	13.1	12.3	12.8	12.7	12.4	12.1	12.4	11	10.9	12.2

- La moyenne des températures minimales du mois le plus froid (**m**) est de **5.1 °C**.
- La moyenne des températures maximales du mois le plus chaud (**M**) est de **32.6 °C**.
- La température moyenne mensuelle la plus élevée est de **26.4 °C**.
- La température moyenne mensuelle la plus faible est de **11.25 °C**.

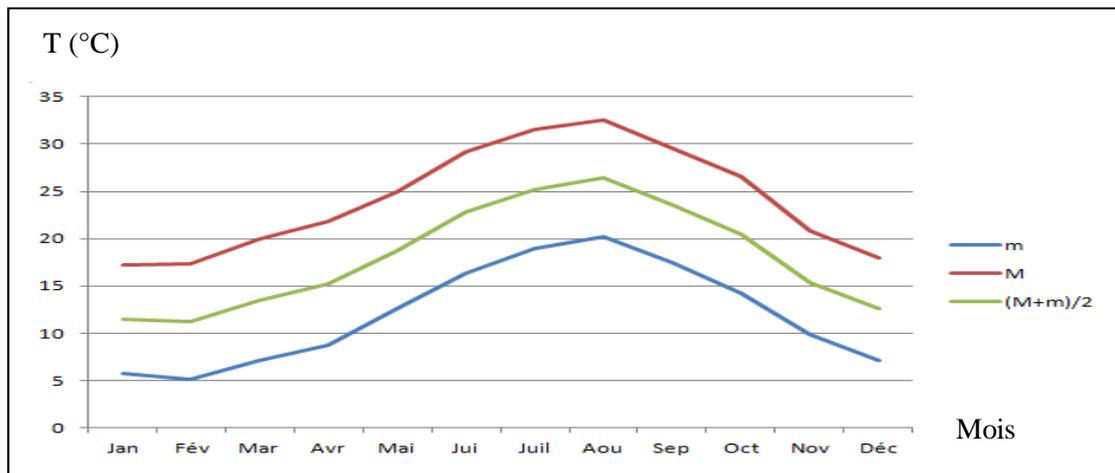


Figure III.3: Valeurs des températures de l'air en degré Celsius (ONM 2000 – 2010) [35].

III.1.2.2. Précipitation :

Les précipitations représentent la source principale d'eau pour la production agricole, et sont caractérisées par trois principaux paramètres : leur fréquence, la densité et le volume qui varie selon le lieu, les jours, les mois et même les années, ce facteur contribue à la réalimentation des nappes phréatiques.

Le **tableau III.3** illustre les données sur les valeurs moyennes mensuelles et annuelles des précipitations en mm de la station de Dar El Beida.



Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de BARAKI.

Tableau n° III.3: Valeurs moyennes des précipitations en mm (ONM 2000 – 2010) :

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc	Annuelle
P (mm)	91.5	78.1	45.6	60.6	42.2	6.7	1.9	15	23.8	44.6	94.4	86.8	591.3

Après l'analyse du tableau nous concluons que la précipitation est répartie d'une façon inégale pendant toute l'année avec une moyenne de 591.3 mm d'eau par an, en hiver la précipitation atteint son maximum, la période de Décembre à Mai constitue les mois froids de l'année dont la précipitation est importante par contre de Juin à Septembre c'est une période sèche où les précipitations sont faibles.

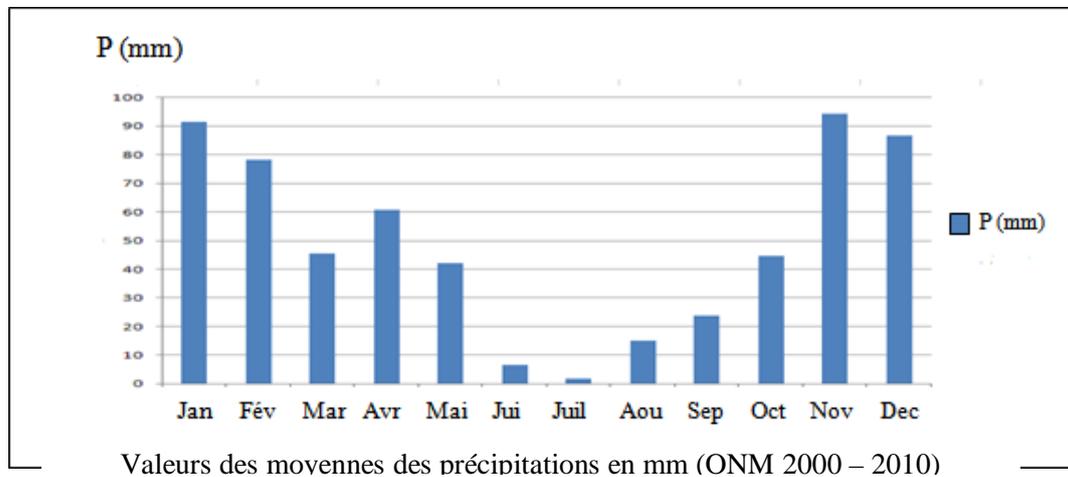


Figure III.4: Histogramme représentant les valeurs des précipitations en mm (ONM 2000 – 2010) [35].

III.1.2.4. Climagramme d'Emberger (Quotient pluviométrique):

Ce climagramme permet de distinguer entre les nuances du climat méditerranéen et mettre en évidence le bioclimat des régions étudiées ainsi que la variante de l'hiver, il est peut être calculé par la formule suivante :

$$Q_2 = 2000P / (M^2 - m^2)$$

Q_2 : Quotient pluviométrique en (mm / Kelvin).

P : Précipitation ou pluviosité en (mm).

M : Moyenne de température maximale du mois le plus chaud en (Kelvin).

m : Moyenne de température minimale du mois le plus froid en (Kelvin).

Application numérique :

$$Q_2 = 2000 * 591,3 / ((32,6 + 273)^2 - (5,1 + 273)^2) = 73,67$$



Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de BARAKI.

En injectant nos valeurs dans la formule on obtient $Q_2 = 73,67$ et à l'aide de ce climagramme nous concluons que la région de BARAKI est située dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver tempéré.

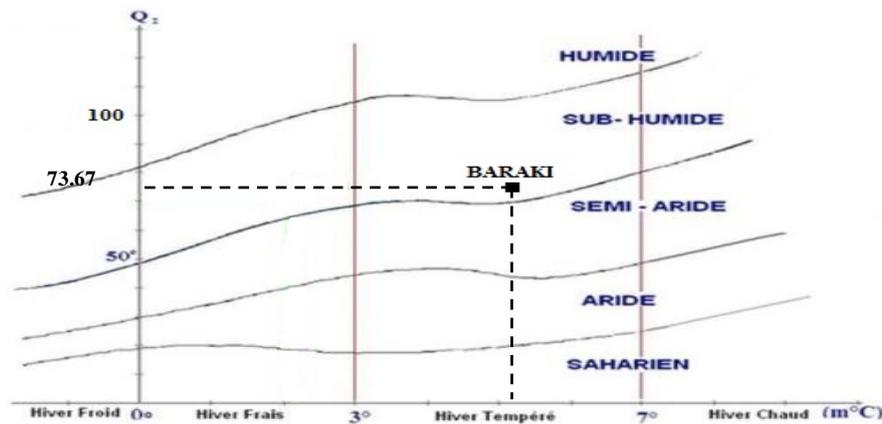


Figure III.5: Climagramme d'Emberger (ONM 2000-2010) [35].

III.1.3. Géologie et géomorphologie :

La Mitidja à une géologie très complexe, les sols généralement constitué pas une marne de gypses, ils sont formés de marno-calcaires jaunes en plaquettes schisteuse et feuilletées.

La géomorphologie de la région est composée de deux types de relief : le sahel qui est un sommet plat et la Mitidja qui inclut des sols de bonne fertilité avec une altitude moins de 50m.

Notre région d'étude, nous pouvons la délimiter par 4 coordonnées géographiques :

P₁ : 36,691N 3,100E **P₂** : 36,695N 3,107E **P₃** : 36,692N 3,109E **P₄** : 36,390N 3,104E.



Figure III.6: Délimitation de la STEP de BARAKI [35].

III.1.4. Pédologie :

La plaine de la Mitidja correspond à la zone la plus fertile [47] tel que la texture de sol est argileuse pour ses différents horizons, La nature du sol de la région de Baraki est limoneuse à la surface puis caillouteuse ensuite marneuse.



Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de BARAKI.

III.1.5. Hydrologie et hydrogéologie :

Notre région d'étude appartient à la zone prioritaire d'El Harrach avec un aléa hydrologique moyen, et drainée par son bassin versant. Cet oued prend naissance dans les reliefs de l'atlas blidéen et traverse la plaine de la Mitidja pour se jeter en méditerranée, en recevant des eaux de plusieurs affluents : comme l'oued de Baba Ali et oued Kerma et en passant proche de la STEP la plus en aval, draine un bassin versant de 970 km², et est située dans la partie aval de l'oued, en amont de la confluence avec l'oued Smar.

Il existe deux nappes dans cette zone :

- Une nappe de direction nord-ouest alimentée par la nappe d'oued El Harrach.
- Une nappe de direction sud-est alimentée par oued Baba Ali [35].

III.2. Présentation de la station d'épuration de Baraki :

Une STEP est une usine de dépollution des eaux usées, l'eau passe par plusieurs étapes afin d'assurer l'élimination de la pollution de l'eau.

Lors de la dépollution des eaux et le passage d'une étape à une autre, cette pollution se transforme d'un état liquide à un état concentré (boues) et ces boues seront le responsable directe de la production de biogaz dans des conditions anaérobiques.

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.
- Epaissement des boues.
- Stabilisation anaérobie des boues par digestion.
- Formation et traitement du biogaz.
- Déshydratation mécanique et stockage des boues.



III.2.1. Filière de l'eau :

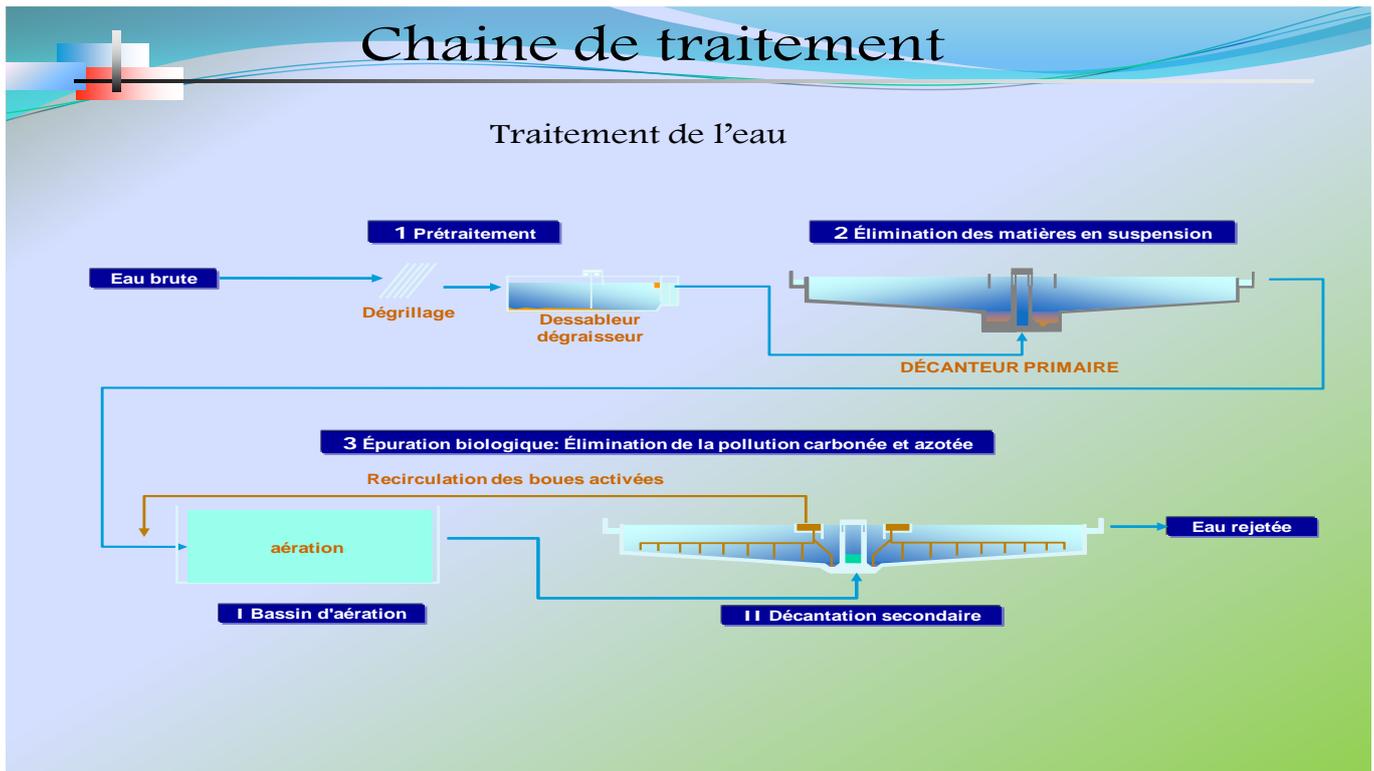


Figure III.7: Schéma de la filière traitement de l'eau [35].

III.2.1.1. Poste de relevage PR1:

III.2.1.1.1. Description de l'installation:

Les eaux brutes relevées depuis la station SRG2, ainsi que les eaux usées internes à la station (eaux pluviales et eaux de drainage) sont reprises par les pompes à vis vers la station de relevage PR2. (Figure III.9)

III.2.1.2. Poste de relevage PR2:

III.2.1.2.1. Description de l'installation:

Les eaux brutes relevées depuis la station PR1 (Figure III.8) arrivent dans la fosse de PR2 où elles sont mélangées avec les eaux provenant de l'émissaire BABA ALI, d'où elles sont pompées par les pompes à vis vers le poste de dégrillage.



Figure III.8: Poste de relevage PR1
(Photo prise sur terrain Mars 2017).



Figure III.9: Poste de relevage PR2
(Photo prise sur terrain Mars 2017).



III.2.1.3. Les prétraitements :

Les effluents bruts relevés seront collectés dans un canal ouvert comprenant une mesure du niveau et un ensemble de mesure de la qualité d'eau, soit le pH, la conductivité et la teneur en Hydrocarbures avant d'arriver sur l'ouvrage de dégrillage.

III.2.1.3.1. Instrumentation:

❖ Mesure de pH :

Mesure la valeur de pH des eaux brutes provenant du poste de relevage PR2, au niveau du canal amont des dégrilleurs grossiers (figure III.10).

Le transmetteur délivre un signal pour signaler les 02 valeurs Max. et Min. et afficher la valeur continue du pH au poste de supervision.

Seuil pH bas : 6,0

Seuil pH haut : 9,0

❖ Mesure de conductivité eaux brutes :

Mesure la conductivité des eaux brutes provenant du poste de relevage PR2, au niveau du canal amont des dégrilleurs grossiers (figure III.10).

Le transmetteur délivre un signal pour signaler la valeur max et afficher la valeur continue de conductivité au poste de supervision.

Seuil Conductivité haut : 2500,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$

❖ Instrument de 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 (figure III.10).



Figure III.10: Mesure de PH, la Température, la conductivité, et la teneur en hydrocarbures(photo prise sur terrain Mars 2017).



Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de BARAKI.

III.2.1.3.2. Le Dégrillage:

III.2.1.3.2.1. Description de l'installation:

Cet ouvrage comprend:

- **Dégrillage mécanisé grossier** constitué de 02 dégrilleurs et d'une mesure ultrasonique différentielle de niveau il comprend, deux canaux de dégrillage, équipé chacun d'une grille à nettoyage automatique (**figure III.11**).
- **Dégrillage mécanisé fin** constitué de 02 dégrilleurs et d'une mesure ultrasonique différentielle de niveau. Les canaux de dégrillage, équipés eux aussi d'une grille à nettoyage automatique (**figure III.11**).



Figure III.11: Dégrilleurs mécanique fin et grossier (photo prise sur terrain Mars 2017).

III.2.1.3.2.2. Préleveur d'échantillons:

Un préleveur d'échantillons est installé en aval des dégrilleurs fins et est prévu pour prélever des échantillons d'eau brute pour analyse au laboratoire. Le prélèvement des échantillons est asservi à un signal de sortie correspondant à la mesure du débit d'eau brute (figure III.12).



Figure III.12: Préleveur d'échantillons automatique à l'entrée (photo prise sur terrain Mars2017).

III.2.1.3.2.3. Classificateur à sables:

❖ Description de l'installation:

Le classificateur à sable extrait les sables de l'eau résiduelle pompée par les pompes à sables et les décharge sur la bande transporteuse commune aux refus des dégrilleurs et sables (figure III.13).



Figure III.13: Classificateur à sables(photo prise sur terrain Mars 2017).

III.2.1.3.3. Dessablage-déshuilage:

III.2.1.3.3.1. Fonction principale:

Le dessablage est opération dans lequel les particules denses, dont la vitesse est inférieure à 0,3 m/s, vont pouvoir se déposer. Il s'agit principalement des sables. Il est en effet souhaitable de les récupérer en amont de la station plutôt que de les laisser s'accumuler en certains points (bassin d'aération, ...) où ils engendrent des désordres divers.

Le déshuilage a pour objet la rétention des graisses par flottation naturelle et accélérée par injection de fines bulles. Les teneurs en graisses sont appréciées analytiquement par la mesure



Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de BARAKI.

des MEH (Matières Extractibles à l'Hexane). Ces matières grasses sont susceptibles de nuire à la phase biologique du traitement (mousses, ...).

Ces deux phases sont ainsi combinées et réalisées dans un même ouvrage, dit désormais Dessablage / déshuilage, avec insufflation d'air et dispositif complet d'écumage des matières flottées (ou grasses) et de raclage et d'extraction des sables.

III.2.1.3.3.2. Description de l'installation:

Au poste de dégrillage fait suite un chenal de sortie amenant les eaux dégrillées vers le dessableur – déshuileur (figure III.14).

Conditions de fonctionnement du dessableur/déshuileur sont les suivantes:

a) Pompes à sables: Les pompes à sables refoulent le sable collecté par le pont dessableur vers le classificateur à sable ;

b) Pompes à graisses : La pompe refoule les graisses collectées par le pont dessableur vers une citerne.



Figure III.14: Dessableur déshuileur(photo prise sur terrain Mars 2017).

III.2.1.4. Traitement primaire :

Le traitement primaire élimine la majeure partie des MES estimée 60% et 30 % de la demande biologique en oxygène (DBO) et 30 % de la demande chimique en oxygène (DCO), et constitue une pré-épuration non négligeable (figure III.15).



Figure III.15: Décanteur primaire (Décantation primaire) (photo prise sur terrain Mars 2017).

III.2.1.5. Traitement biologique (bassin d'aération):

Le procédé d'épuration mis en œuvre est le traitement des eaux usées par boues activées. Il fait appel aux microorganismes dans les eaux pour la transformation et l'élimination des matières polluantes. La station fonctionnant à une moyenne charge massique suivant le processus d'une aération conventionnée permettant une bonne efficacité d'élimination de la DBO (figure III.16).



Figure III.16: Bassin biologique ou d'aération (photo prise sur terrain Mars 2017).

III.2.1.6. Clarificateur et ouvrage de rejet:

Le rôle de la décantation secondaire est d'assurer une meilleure séparation de la biomasse de l'eau traitée et de permettre par ailleurs un premier épaissement des boues biologiques décantées.

Chaque décanteur, équipé d'un Pont roulant radial, à commande périphérique et actionné par un motoréducteur d'entraînement, disposant d'un racleur de surface (récupération des



Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de BARAKI.

flottants) et d'un racleur de fond (concentration des boues décantées vers le centre de l'ouvrage) (figure III.17).



Figure III.17: Clarificateur (photo prise sur terrain Mars 2017).

III.2.1.6. Traitement tertiaire :

Ce traitement a pour objectif principal d'améliorer la qualité bactériologique par l'utilisation des UV et les filtres à sable, les UV c'est une désinfection physique qui tue les micro-organismes car leur présence dans le barrage génère le développement de bactérie et pour éviter la fermentation.

Le lit de sable permet une filtration par des filtres Aquasures et de créer un cheminement par rapport à une charge un milieu filtrant mais pas une élimination à 100 % des MES contenues, car il y'a une partie susceptible à s'échapper malgré ces traitements sont les plus sévères, Le sable utilisé dans cet ouvrage est de la même texture et dimensions granulométriques et doit être couvert par des bâches pour empêcher la pénétration de la lumière qui conduit à l'apparition des algues et le phénomène d'eutrophisation. L'eau en fin de ce traitement a les caractéristiques suivants 10% des MES, 20 g.l⁻¹ et 100 g.l⁻¹ de DCO (figure III.18).



Figure III.18: Lit de sable (filtration par filtres Aquasures)
(Photo prise sur terrain Mars 2017).

III.2.2. Filière traitements des boues :

C'est la partie concentrée qui résulte du traitement primaire et secondaire, Ce sont des particules solides composées de matières organiques non dégradées, de matières minérales, et des microorganismes non retenues par les prétraitements et les procédés de traitement de l'eau en amont de la station d'épuration.

III.2.2.1. Recirculation et extraction des boues:

Le but de la recirculation des boues du ou des décanteurs secondaires vers le réacteur biologique est de maintenir une concentration constante et correcte de la liqueur mixte permettant de respecter une charge massique de fonctionnement et de limiter le temps de séjour dans les décanteurs pour garantir une bonne qualité et un âge de boue bien défini et d'éviter l'accumulation et le débordement du lit de boue dans les décanteurs.

III.2.2.1.1. Pompes à boues en excès:

Les boues excédentaires sont prises au refoulement des vis d'Archimède et refoulées jusqu'au répartiteur des Epaisseurs par trois groupes électropompes (un de secours).

III.2.2.1.2. Vis recirculation des boues :

Deux vis sont prévues pour pomper les boues de recirculation des décanteurs secondaires depuis une bache d'aspiration commune vers les bassins d'aération (figure III.19).



Figure III.19: Vis recirculation des boues(photo prise sur terrain Mars 2017).

III.2.2.2. Epaissement des boues:

L'épaissement des boues a pour objectif de concentrer de la façon la plus économique les boues et de permettre d'alimenter à régime régulier et à concentration pratiquement constante les installations déshydratation. Il s'agit donc d'une étape intermédiaire pour la diminution du volume de boues produites par la station en permettant d'améliorer la concentration des boues en excès en termes de matières sèches, tout en étant de l'ordre 10 g/l avant l'épaissement, jusqu'aux les 35 g/l après épaissement (figure III.20).

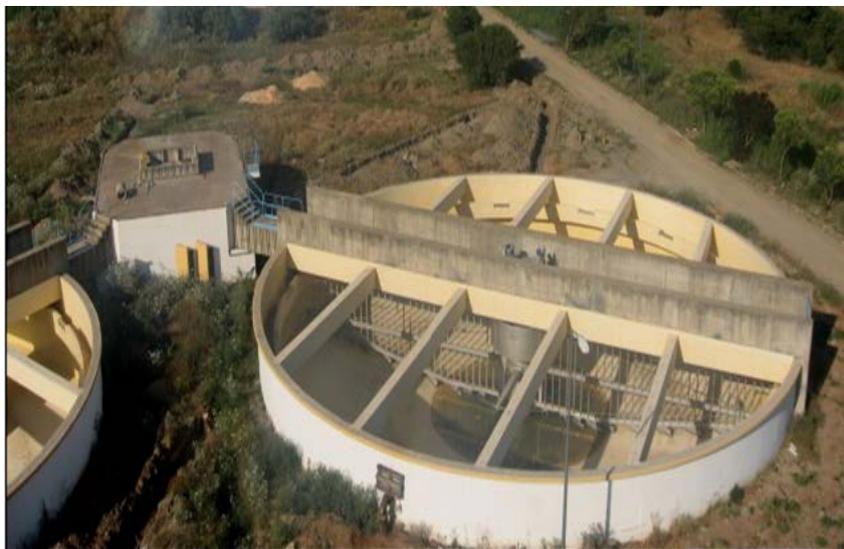


Figure III.20: Epaisseur[35].

III.2.2.3. Lepré-épaisseur :

Opération physico-chimique qui consiste à augmenter la concentration en matière en suspension MES de la boue biologique par l'injection d'un flocculant en l'occurrence le polymère et par décantation cette boue se dépose au fond de l'ouvrage (figure III.21).



Figure III.21: Pré-épaississeur(photo prise sur terrain Mars 2017).

III.2.2.4. La bêche 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 bêche mixte le produit aura une concentration de 50 à 60 g.l⁻¹ en MES.

A la STEP de Baraki, la bêche de boues mixtes reçoit les boues :

- Primaires ;
- Biologiques ;
- Graisses (possible mais en quantité limitée et avec des graisses conventionnelle).

III.2.2.5. Digestion anaérobie des boues :

La digestion anaérobie, ou méthanisation, est un processus biologique naturel qui a un rôle de dégradation de la matière organique par les microorganismes en absence d'oxygène, elle se produit dans le digesteur, où se trouve la matière organique dans des conditions anaérobies. (Figure III.22).

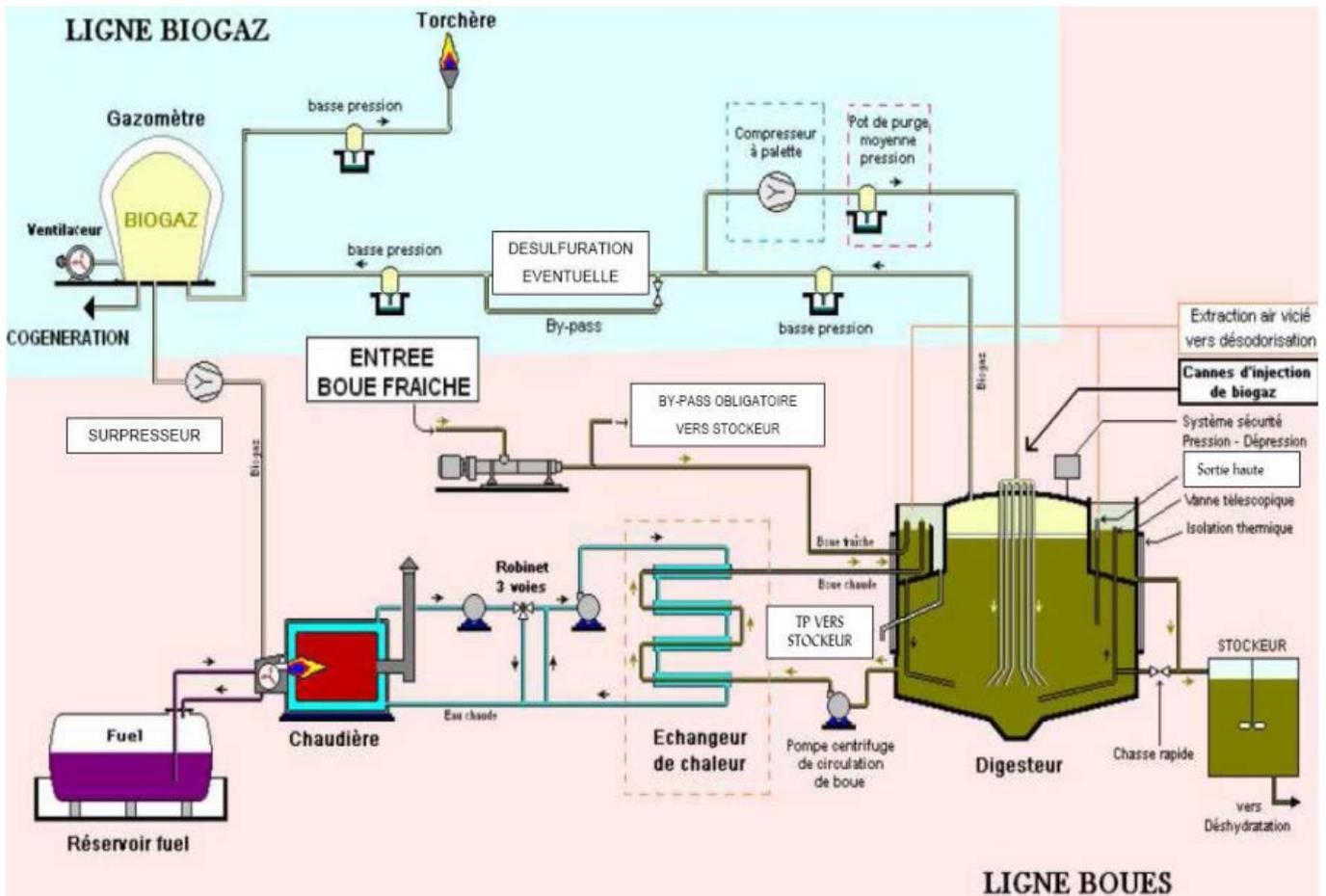


Figure III.22: Schéma générale de la filière de digestion des boues [35].



Figure III.23: Les digesteurs (photo prise sur terrain Mars 2017).

III.2.2.5.1. Alimentation en boue du digesteur :

Les boues alimentant le digesteur arrivent dans la vasque d'alimentation et se mélangent aux boues réchauffées (boues recirculées)(figure III.24).

L'Alimentation se fait depuis la vasque d'alimentation jusqu'au fond du digesteur par une conduite.



Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de BARAKI.

La **Chasse rapide** permet de déboucher la partie haute de la conduite des surverses, Elle est réalisée manuellement par l'opérateur. Le contenu de la chasse rapide est rejeté en tête (figure III.24).

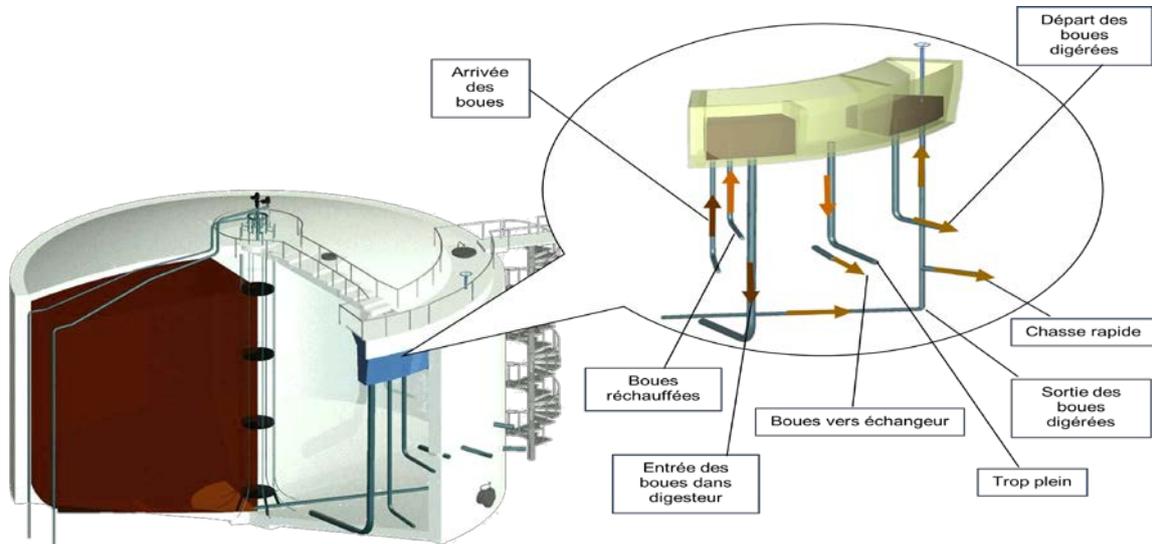


Figure III.24: Coupe verticale montrant l'alimentation en boue du digesteur [35].

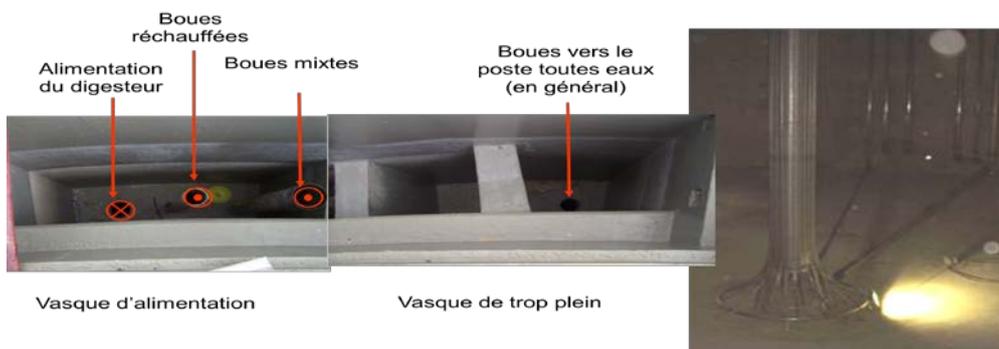


Figure III.25: Vasques et conduites d'alimentation des boues dans le digesteur [35].

III.2.2.5.2. Recirculation et réchauffage des boues :

- Le chauffage des boues effectué dans un échangeur de chaleur tubulaire du côté opposé à l'eau chaude, on parle d'échangeur à contre-courant;
- La boue circule dans un tube qui est lui-même plongé dans une enveloppe contenant l'eau chauffée au préalable par une chaudière ou autre ;
- L'échangeur est dimensionné de telle sorte que l'échange de chaleur entre l'eau et la boue permette d'atteindre la température désirée, dans cette étape L'eau et les boues entrent en opposées pour maximiser le transfert thermique entre les 2 fluides : contre-courant;
- La boue est ensuite réinjectée dans le digesteur au niveau de la vasque d'alimentation où elle est mélangée avec les boues à digérer afin de les réchauffer et d'améliorer leur viscosité ;
- Le contrôle de la température est assuré par 2 sondes sur les boues et 1 sonde sur l'eau.



Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de BARAKI.

Les sondes de température sur la conduite des boues :

- Sortie de l'échangeur est importante pour connaître la température des boues entrant dans le digesteur ;
- Entrée de l'échangeur pour réguler l'apport d'eau chaude.



Figure III.26: Echangeur de chaleur de la STEP de BARAKI

(Photo prise sur terrain Mars 2017).

III.2.2.5.3. Extraction des boues du digesteur secondaire :

-Le rôle du digesteur secondaire (F) est de :

- Affiner le traitement en augmentant le temps de séjour ;
- Tamponner le volume de boues pour la déshydratation.

-Le digesteur F est alimenté gravitairement par les deux digesteurs primaires (D et E), il fonctionne avec un marnage de boues de 4,80 m, soit 3 500 m³. Pour cela, l'extraction ne fonctionne pas avec une vanne télescopique comme les digesteurs primaires mais avec 3 pompes (dont une en secours).

-Le biogaz produit lors de la digestion des boues est récupéré sous la coupole du digesteur ;

-Une partie de ce biogaz est recirculée dans le digesteur via un compresseur qui lui donne une énergie suffisante pour assurer un bon brassage des boues ;

-Le biogaz est réinjecté dans le digesteur par l'intermédiaire de cannes de brassage ;

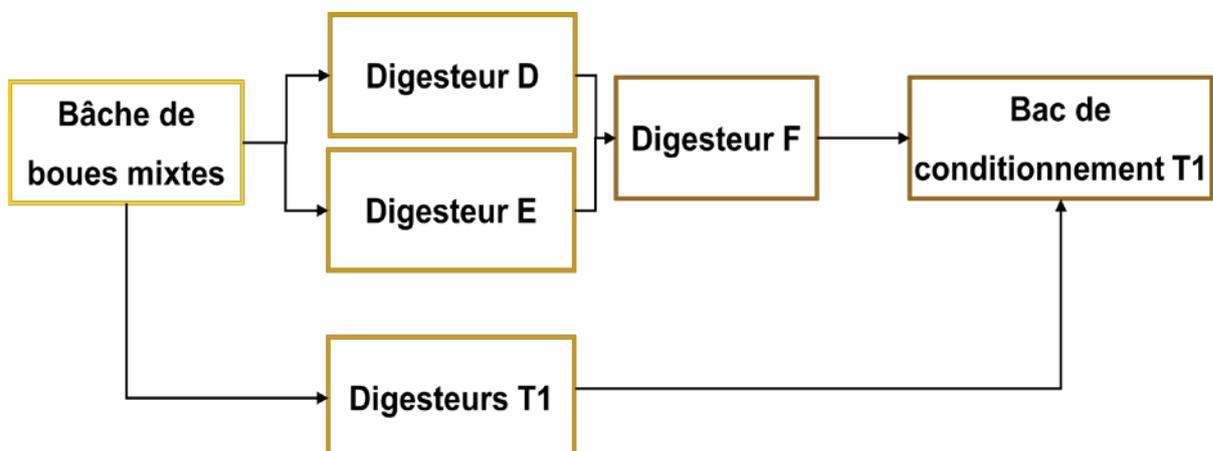


Figure III.27: Schéma de la filière de la digestion des boues de la STEP de Baraki [35].



Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de BARAKI.

III.2.2.5.4. Agitation des boues :

L'agitation des boues dans le digesteur permet :

- D'avoir un mélange homogène des boues dans le digesteur ;
- De maintenir une température uniforme des boues ;
- D'assurer un bon contact entre les matières organiques et les bactéries.

Chaque digesteur contient 5 agitateurs un centrale et 4 en parallèle.

III.2.2.5.5. Stockage et valorisation du biogaz :

○ Récupération du biogaz :

- Le biogaz produit lors de la digestion est récupéré sous la coupole du digesteur ;
- Une partie de ce biogaz est recirculée dans le digesteur via un compresseur qui lui donne une énergie suffisante pour assurer un bon brassage des boues ;
- Le biogaz produit passe par un système de pot de purge (**Figure III.30**) et de comptage puis est stocké ;

○ Stockage et valorisation du biogaz:

- Le biogaz ne servant pas au brassage des digesteurs et stocké dans un gazomètre (**Figure III.28**) qui assure la contre-pression par rapport à la coupole du digesteur dans le circuit du biogaz (sert de tampon) ;
- Il est ensuite utilisé pour alimenter la chaudière ;
- Le surplus de biogaz sera brûlé par une torchère (**Figure III.29**);



Figure III.28: Gazomètre souple.



Figure III.29: Torchère.



Figure III.30: Pot de purge.

(Les photos présent sur terrain Mars 2017).

III.2.2.6. Conditionnement des boues :

C'est la première étape après la digestion dont la majorité des boues organiques doivent subir un prétraitement spécifique, appelé conditionnement, pour permettre le bon fonctionnement des différents appareils de déshydratation mécanique et l'amélioration de son rendement. Le degré de déshydratation dépend avant tout du type de boues à traiter mais aussi des procédés de conditionnement tel que l'ajout d'un polymère avec une concentration de 3



Chapitre III : Présentation de la station d'épuration de BARAKI.

$g.l^{-1}$, L'étape de conditionnement est très importante pour éviter des problèmes de montée en charge, de filtrats chargés, de toile colmatée.

III.2.2.7. La déshydratation des boues:

La déshydratation permet de diminuer la teneur en eau des boues, et d'atteindre en sortie une siccité allant de 15 à 40%, variable selon la filière de traitement des eaux, la nature des boues et la technique de déshydratation utilisée. Nous avons plusieurs types de déshydratation mais la technique utilisée dans la station où nous avons réalisé notre projet est la déshydratation mécanique par filtration ou à pression consiste en une compression et un cisaillement des boues entre deux toiles. Puis ces boues déshydratées sont conduites vers l'extérieur grâce à un convoyeur pour être en suite évacuées vers la décharge (Figure III.31).



Figure III.31: La déshydratation Mécanique par filtre à pression
(Photo prise sur terrain Mars 2017).



Chapitre IV : Matériels et méthodes.

Introduction :

Le but de notre travail est de contrôler le fonctionnement de la filière digestion de la station d'épuration des eaux usées de Baraki. Les analyses physico-chimiques des boues mixtes et digérées ont été effectuées, au sein du laboratoire de la STEP. Par contre le pourcentage du biogaz produit au niveau du sommet du digesteur sont déterminés à l'aide d'un analyseur installé au sommet du digesteur.

IV.1. Matériels :

IV.1.1. Appareillage :

- Analyseur de biogaz (*GA5000 Géotech, France*);
- Détecteur de gaz Atex (*T40 RATTLER, Australie*);
- Centrifugeuse (*HETTICH UNIVERSAL 320, Italie*);
- Chauffe ballon (*TYPE MIME, France*);
- pH mètre (*pH/OXI 340i/SET, HONGRIE*) ;
- Un agitateur magnétique et une plaque chauffante de type *IKAMAG R-V*;
- Etuve universelle de marque *MEMMERT Italie*;
- Four (*Marque : Naber – Industrie of enbau*);
- Dessiccateur;
- Balance électrique modèle *YP402N*.

Les photographiques des différents appareils sont présentés en annexe 3.

IV.1.2. Verrerie:

Nous avons utilisé comme petits matériels :

- Bêchers de 1L, 100 et 400 ml;
- Pipette automatique 1,5 et 25 ml ;
- Fiole;
- La coupelle en porcelain.
- Burette.

IV.1.3. Réactifs et solutions:

- H_2SO_4 (0.1N);
- NaOH (0.1N) ;
- Acide acétique (CH_3COOH) de 1 mol/l.



Chapitre IV : Matériels et méthodes.

IV.2. Méthodologie :

IV.2.1. Mode de prélèvement des boues digérées et les boues mixtes :

Nous avons effectué des prélèvements instantanés sur les boues selon le planning de prélèvement, on a pris un mélange pour chaque type de boue :

- Echantillon moyen de 500 ml des boues mixtes (annexe 3) tout les 2 heures une fois par semaine (8h30- 14h30) ;
- Echantillon moyen de 250 ml des boues digérées 1 a la sortie de digesteur 1 (annexe 3) ;
- Echantillon moyen de 250 ml des boues digérées 2 a la sortie de digesteur 2 (annexe 3).

Les échantillons sont transmis au laboratoire et conservés au réfrigérateur.

IV.2.2. Méthodes d'analyse :

IV.2.2.1. Température :

La température des boues est mesurée à l'aide d'un thermomètre en amont de l'échangeur de chaleur.

IV.2.2.2. pH :

La mesure de pH permet de connaître le niveau d'acidité d'une eau, c'est-à-dire due la concentration d'ions H_3O^+ présent en solution (Pour le mode opératoire voir annexe 1).

IV.2.2.3. MVS:

Les matières organiques ont la propriété d'être minéralisées à haute température.



Les molécules produites par calcination de la matière organique sont sous forme gazeuse à haute température et vont donc se volatiliser c'est pour cette raison que l'on détermine la teneur en matières organique par calcination à 550°C dans le four a moufle (Pour le mode opératoire voir **annexe 1**).

La mesure de MVS nous permet de déterminer le taux d'élimination des MV (Matières volatiles) lors de la digestion.

IV.2.2.4. Le taux d'élimination des MV :

Pour calculer le taux d'élimination réel des MV, il faut connaître le % de MV des boues fraîches mais aussi celui des boues digérées. Il se calcule de la manière suivante :

$$R = 1 - \frac{MV_d \cdot (100 - MV_f)}{MV_f \cdot (100 - MV_d)}$$

Avec :

- **R** : Rendement d'élimination des MV;
- **MV_d** : concentration en matières volatiles des boues digérées ;
- **MV_f** : concentration en matières volatiles des boues fraîches.



Chapitre IV : Matériels et méthodes.

IV.2.2.5. AGV: Acides gras volatils:

Pour simplifier le phénomène de digestion on ramène la quantité d'AGV en **équivalent acide acétique**, il s'agit en effet de l'AGV le plus simple. De plus, il est majoritaire en concentration.

La détermination des acides gras volatils a été faite en deux phases:

➤ La centrifugation a l'aide d'une centrifugeuse (HETTICH UNIVERSAL) 5000 tour/minute pendant 10 minutes.

➤ La méthode de titrage par NaOH (0.1 N).

(Mode opératoire voir annexe 1).

IV.2.2.6. TAC: Titre alcalimétrique complet:

Il est important de s'assurer que le TAC est supérieur à 1000 mgCaCO₃/L (mais inférieur à 6000mgCaCO₃/l). En effet les hydrogénocarbonates (HCO₃⁻), l'azote ammoniacal (NH₄⁺) qui font l'alcalinité du milieu, permettent un fonctionnement plus stable du digesteur.

La détermination du titre alcalimétrique complet a été faite en deux phases:

➤ La centrifugation a l'aide d'une centrifugeuse, (HETTICH UNIVERSAL) 5000 tour/minute pendant 10 minutes.

➤ La méthode de titrage par H₂SO₄ (0.1 N).

(Mode opératoire voir annexe 1).

IV.2.2.7. Analyses du biogaz :

Pour analyser le pourcentage des composants du biogaz on utilise l'analyseur du biogaz (GA5000 Géotech). On fait le montage de l'analyseur avec un robinet situé au sommet du digesteur on ouvre le robinet et le biogaz rentre directement dans l'analyseur et après un temps situé entre 40-50 seconde, l'analyseur donne les pourcentages des composants de biogaz.

IV.2.2.8. Contrôle de la pression hydraulique :

Pour contrôler la surpression et la dépression il y a des soupapes de sécurité (**annexe n° 3**) sur le dôme du digesteur (avec des sécurités feu) limitant, en dernier recours, la pression dans le digesteur, elle contient un tableau qui a affiché la quantité de la pression enregistré dans les digesteurs.

Si le biogaz produit a des difficultés à s'évacuer et que la pression augmente dans le digesteur, la soupape de surpression s'ouvre et laisse s'échapper le biogaz vers l'atmosphère.

Le Rôle des soupapes est la protection de la coupole vis-à-vis d'une surpression (remplissage brutale, brusque production de biogaz) ou d'une dépression (vidange).



Chapitre IV : Matériels et méthodes.

IV.2.2.9. Détecteur de gaz :

Le détecteur de gaz portable T40 RATTLEUR conçu pour protéger le personnel de l'exposition à des gaz dangereux tels que le H₂S, et CO. Le moniteur affiche en continue les quantités de monoxyde de carbone ou d'hydrogène sulfuré ambiant en PPM et avertit l'utilisateur quand les concentrations de gaz dépassent le bas ou haut niveau réglés en usine. Les fonctions supplémentaires comprennent des points de consigne d'alarme réglables.



Chapitre V : Résultats et discussions.

Les analyses physico-chimiques des boues mixtes et digérée et du biogaz produit de la station d'épuration des eaux usées sont effectués durant les mois de Mars, Avril et Mai 2017, les résultats sont reportés sur les tableaux (voire annexe II).

Ces résultats sont comparés aux normes **OMS** appliquées au niveau de la station de Baraki (voir annexe II).

V. Résultats et discussion :

V.1.La température:

La température est un facteur important pour le bon fonctionnement de la digestion anaérobie, la température optimale est de $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. A cette température les bactéries présentes dans le milieu peuvent se développer, et donc dégrader la matière organique contenue dans les boues.

Une mesure de température des boues a été effectuée à l'entrée de l'échangeur de chaleur. Elle est représentative de la température du digesteur.

La **figure V.1** représente l'évolution de la température en fonction de n° d'analyses :

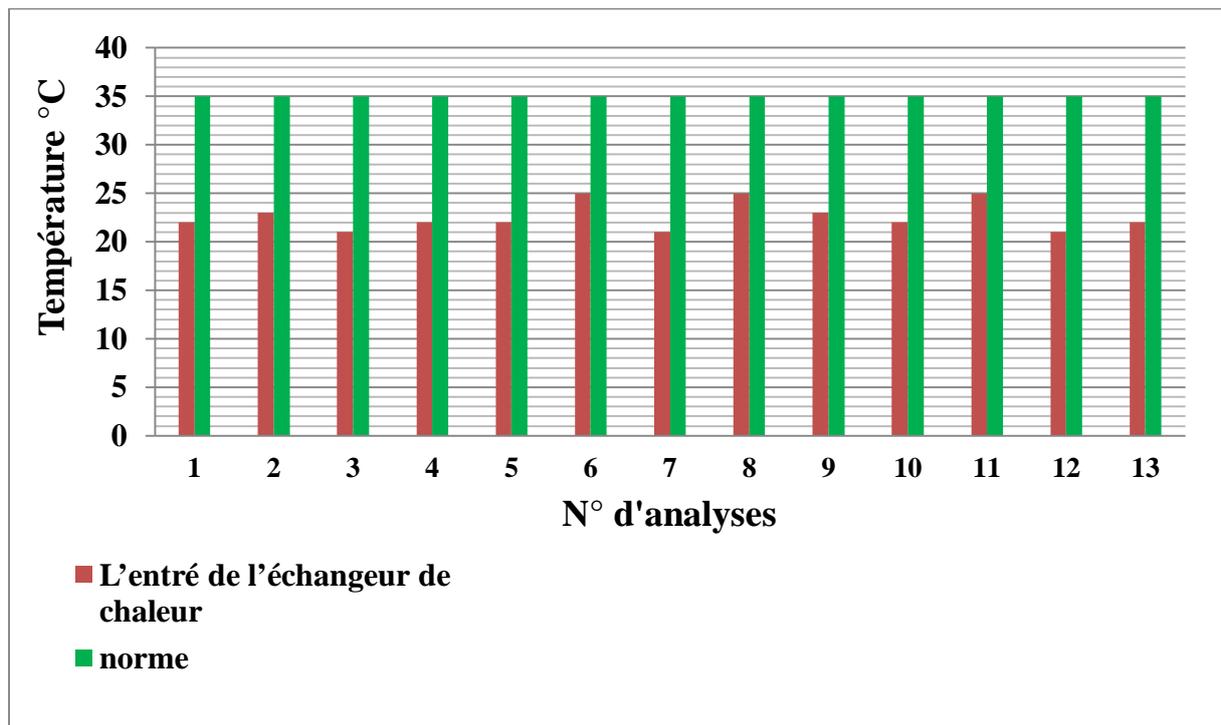


Figure V.1: L'évolution de la température en fonction de n° d'analyses.

Le diagramme montre que les valeurs de la température varient entre 21°C et 25°C . Les prélèvements des boues ont été effectués pendant les mois de Mars, Avril et Mai, ce qui entraîne ces valeurs de températures modérées. De même, ces valeurs sont proches de la plage



Chapitre V : Résultats et discussions.

de fonctionnement optimal, à cause de l'utilisation d'une seule chaudière au lieu de deux chaudières. Cela entraîne une légère diminution de l'activité bactérienne.

V.2. Le pH:

Le pH est l'indice exprimant l'acidité d'un liquide, à partir de la mesure de la concentration des ions hydrogène $[H^+]$ dans l'eau, il joue un rôle important dans la digestion anaérobie car la biomasse a besoin d'un pH proche de la neutralité pour compléter son activité de biodégradation de la matière organique, il est à noter que la production de méthane est optimisée pour un pH compris entre des valeurs de 6,8 et 7,5.

La figure V.2 représente l'évolution du pH en fonction de n° d'analyses:

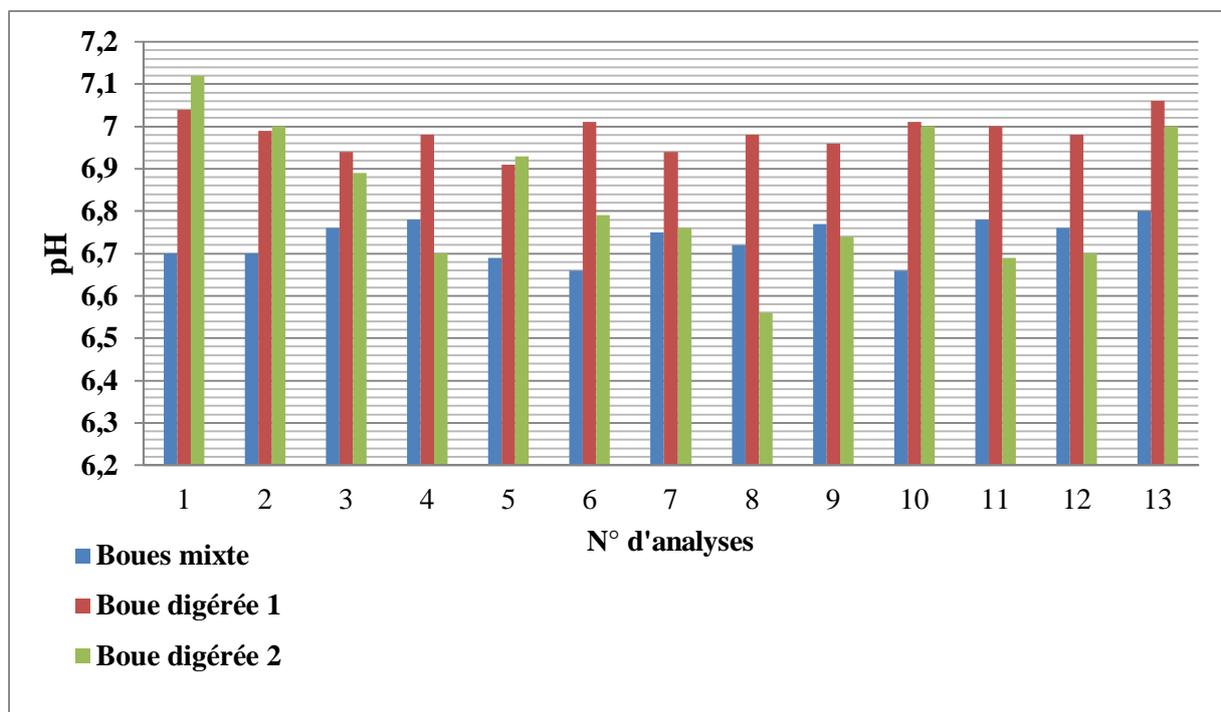


Figure V.2: L'évolution de pH en fonction de n° d'analyses.

Le diagramme montre que les valeurs du pH pour les boues mixtes varient entre 6,66 et 6,78 et pour les boues digérées entre 6,75 et 7,44. Nous constatons que le pH reste dans la neutralité.

La digestion anaérobie du digesteur de la STEP de Baraki fonctionne d'une manière continue ce qui explique la neutralité du milieu. Cette neutralité est due à la stabilité des réactions d'une façon simultanée entre les différentes étapes de la digestion décrite en littérature, c'est à dire, la formation des acides gras volatils au cours de l'étape acidogène.



V.3. La matière volatile en suspension MVS:

La mesure de MVS nous permet de déterminer le taux d'élimination des MV (Matières volatiles) lors de la digestion.

Pour calculer le taux d'élimination des MV, il faut connaître le % de MV des boues fraîches mais aussi celui des boues digérées (voir annexe 1). Plus le taux d'élimination sera élevé, plus la quantité de biogaz produite sera importante.

La **figure V.3** représente l'évolution du MVS en fonction de n° d'analyses:

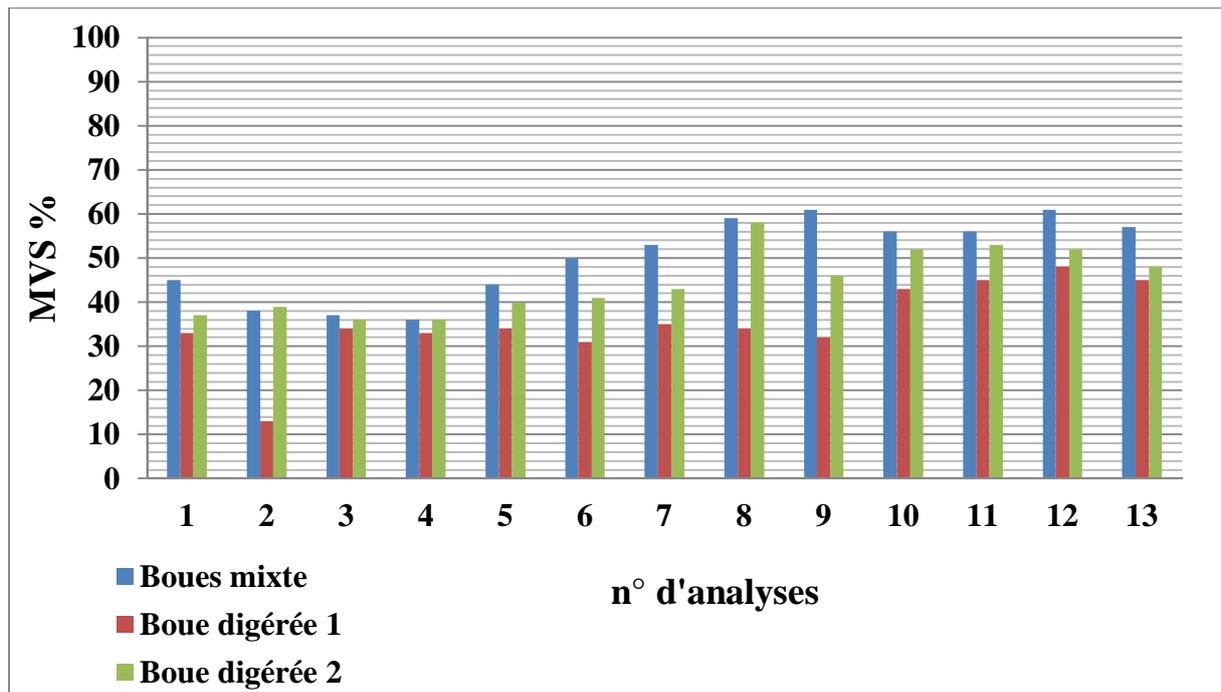


Figure V.3: Variation des MVS des boues en fonction de n° d'analyses.

Le diagramme montre que les valeurs du pourcentage de matières volatiles oscillent pour la boue mixte entre 36 et 61 % et pour la boue digérée entre 13 et 58 % avec une moyenne de 50% ; cela indique qu'il y a une fermentescibilité moyenne, cette dernière est due à l'existence uniquement de la décantation secondaire.

V.4. Le taux d'élimination des MV :

Pour calculer le taux d'élimination réel des MV, il faut connaître le % de MV des boues fraîches mais aussi celui des boues digérées.

Plus le taux d'élimination sera élevé, plus la quantité de biogaz produite sera importante.

La **figure V.4** représente l'évolution du taux d'élimination des MV en fonction du nombre d'analyse.

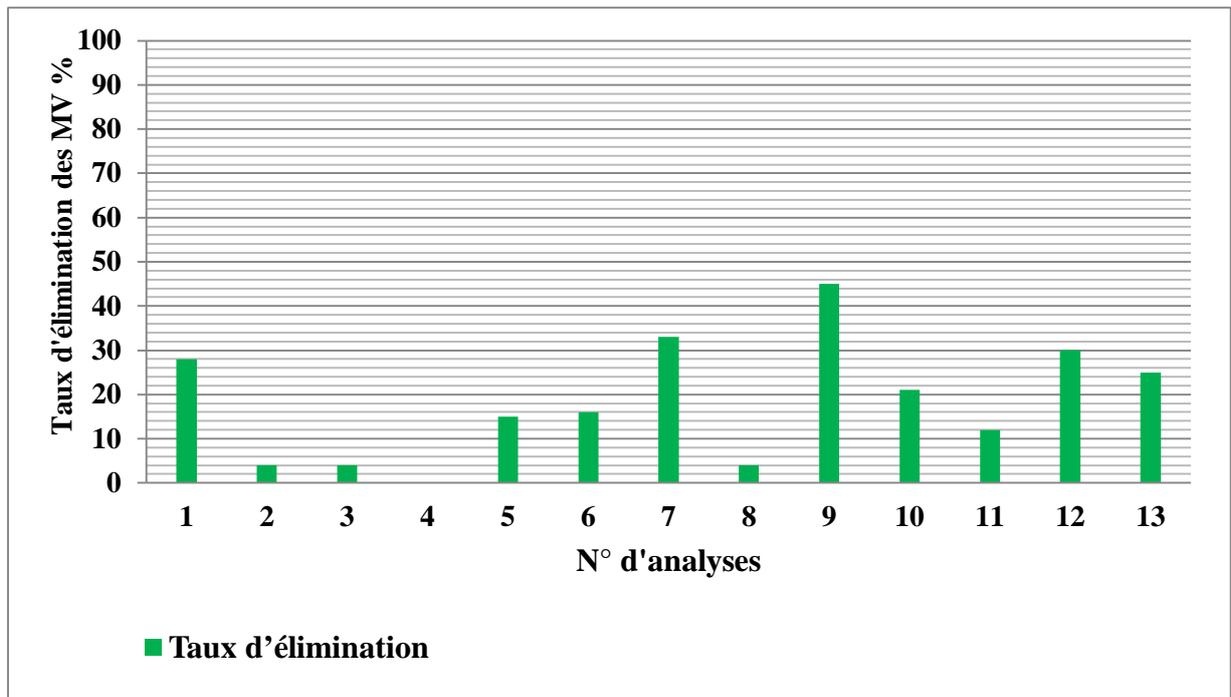


Figure V.4: Variation de taux d'élimination des MV des boues en fonction de n°d'analyses.

Le diagramme de taux d'élimination des MV des boues montre qu'il ya un rendement d'élimination des MV moyen de 50%, ce qui entraine une quantité de biogaz assez importante.

V.5. Les acides gras volatiles AGV:

Les AGV sont indispensables au bon fonctionnement de la digestion, ils sont produits par les bactéries acidogènes et consommés par les bactéries acétogènes. Les valeurs doivent être comprises entre [150-300 mg/l] [45].

Les AGV influent directement sur le rendement de la digestion ainsi que sur la qualité et le volume du biogaz produit, un déséquilibre entre les phases acidogène et méthanogène résulte d'une accumulation d'AGV.

La **figure V.5** représente l'évolution de l'AGV en fonction de n°d'analyses:

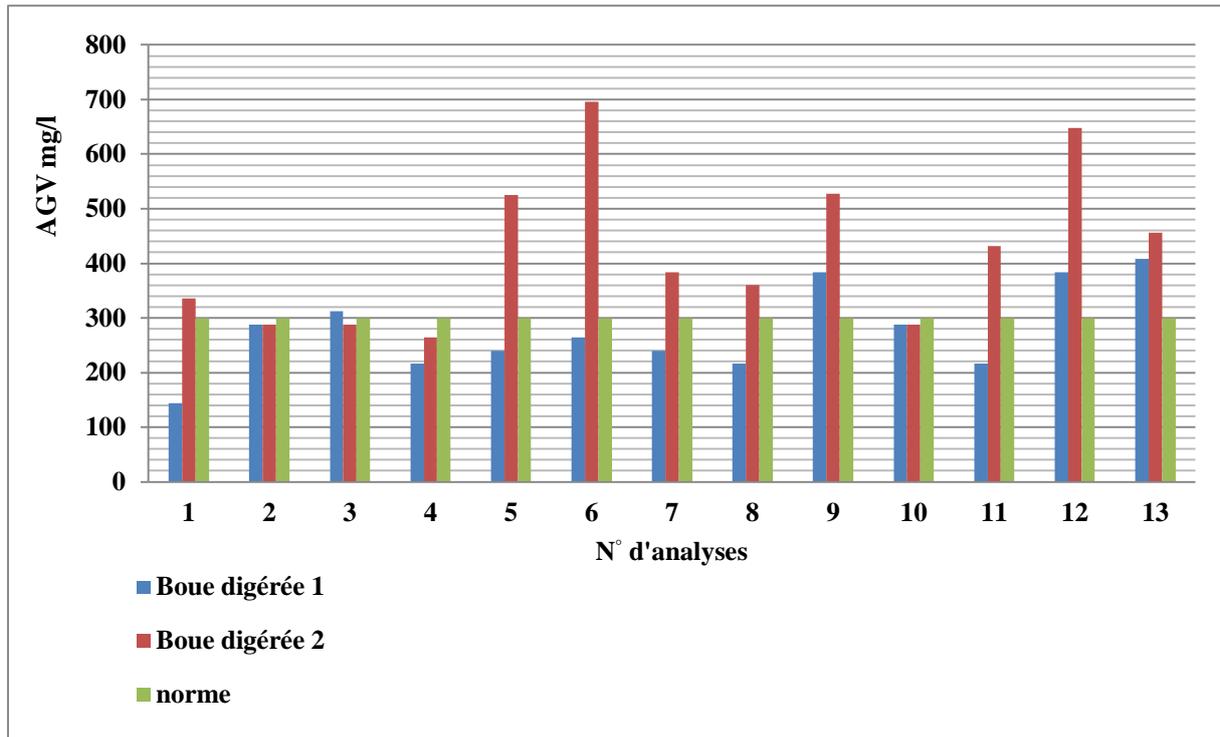


Figure V.5: Variation de l'AGV en fonction de n°d'analyses.

Le diagramme montre que la variation de la concentration des acides gras volatiles est comprise entre 144 mg/l et 696 mg/l. Nous constatons que, la plupart de nos valeurs d'AGV sont comprises entre 150 et 300 mg/l sauf quelques valeurs qui sont hors la plage de fonctionnement optimal, ceci est dû à un dysfonctionnement de la digestion : élévation brusque de la pression, mauvaise manipulation de l'opérateur au niveau de la torchère, à des températures assez faibles ainsi qu'un temps de séjour court (15 à 17 jours) car un bon fonctionnement de la digestion exige un temps de séjour de 21 jours.

Les valeurs d'AGV comprises entre 150 et 300 mg/l permettent un bon fonctionnement de la digestion.

V.6. Le titre alcalimétrique complet TAC :

Il est important de s'assurer que le TAC est supérieur à 1000 mgCaCO₃/l (mais inférieur à 6000 mgCaCO₃/l) [45]. En effet les hydrogénocarbonates (HCO₃⁻), l'azote ammoniacal (NH₄⁺) qui font l'alcalinité du milieu, permettent un fonctionnement plus stable du digesteur.

Le **figure V.6** représente l'évolution du TAC en fonction de n°d'analyses:

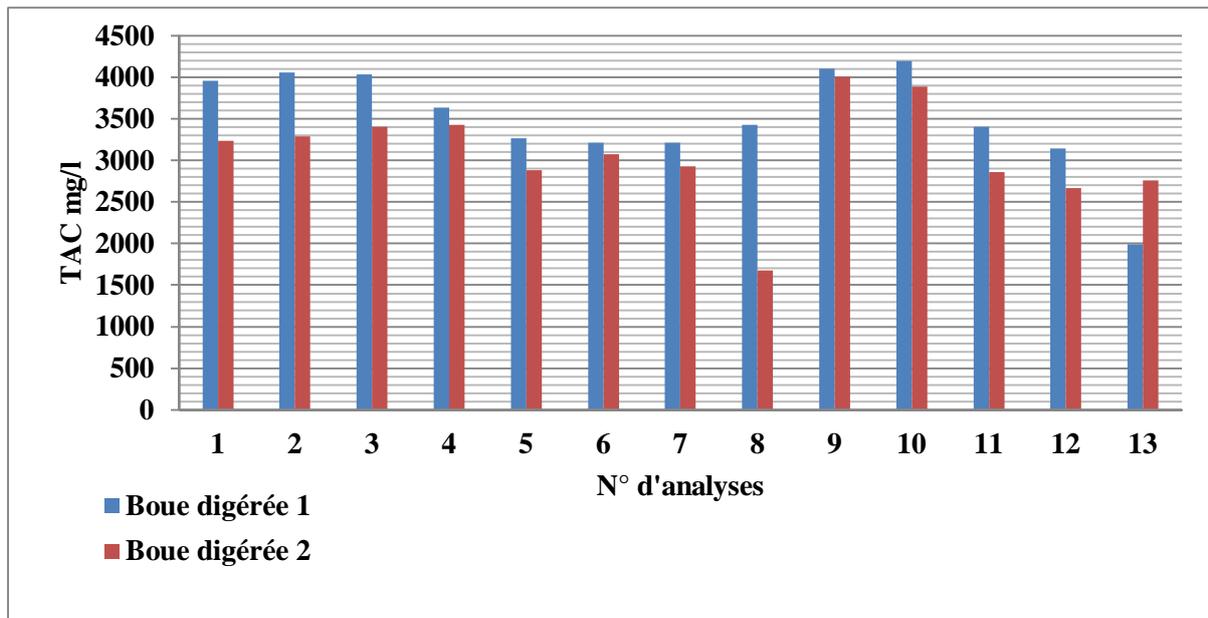


Figure V.6: Variation de TAC en fonction de n°d'analyses.

La variation de la concentration du 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. En effet, un déséquilibre entre les phases acidogène et méthanogènes résulte d'une diminution importante du TAC.

Pour un bon fonctionnement de la digestion anaérobie le TAC doit être inférieur à 6000 et supérieur à 1000 mg CaCO₃/l [45].

Le diagramme montre que la variation de la concentration de TAC est comprise entre 1680 mg/l et 4200 mg CaCO₃/l. Nous constatons que, toutes les valeurs de TAC sont dans la plage de fonctionnement optimale, ceci qui permet un bon fonctionnement de la digestion.

V.7. Variation du rapport AGV/TAC en fonction du temps :

Le rapport d'AGV/TAC doit être inférieur à 0.15 [45].

La **figure V.7** représente l'évolution du rapport **AGV/TAC** en fonction de n° d'analyses :

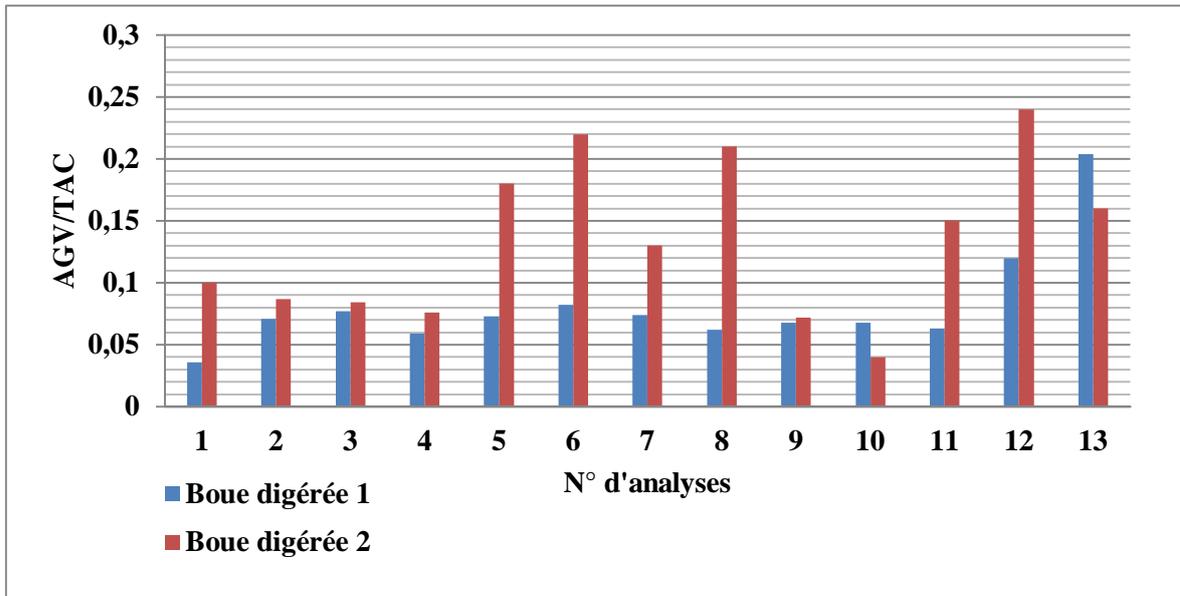


Figure V.7: Variation de rapport AGV/TAC en fonction de n° d'analyses.

Pour un bon fonctionnement de la digestion anaérobie le rapport AGV/TAC doit être inférieur à 0,15 [45].

D'après le diagramme de la figure V.7 la plupart des valeurs du rapport AGV/TAC sont inférieures à 0,15. Quelques valeurs sont hors de la plage de fonctionnement optimal.

Finalement nos valeurs du rapport confirment un bon fonctionnement de la digestion anaérobie.

V.8. Contrôle de pression :

Le contrôle de la pression est une opération qui est pour but de la sécurité des digesteurs de l'explosion à cause de surpression hydraulique ou même de la dépression.

Les résultats de variation de pression dans les deux digesteurs sont représentés dans la **figure V.8.**

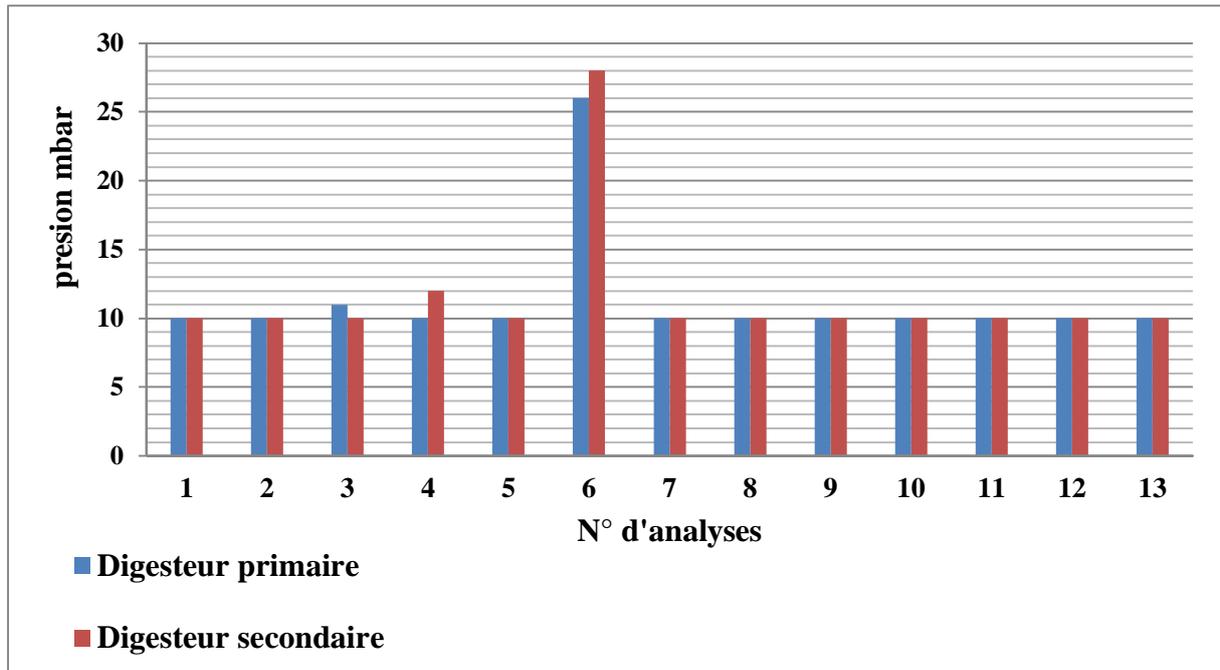


Figure V.8: La variation de pression en fonction de n°d'analyses.

Le contrôle journalier de la pression dans les deux digesteurs montre qu'on a une valeur constante pendant toute la période de notre stage sauf un cas accidentel dans la STEP, le 6^{ème} jours des analyses qui nous a donne une valeur de **26 à 28 mbar** et un remplissage de 100% dans le ballon de stockage des gaz.

V.9. Production de biogaz :

Le biogaz produit au cours de la digestion est moins dense que les boues, il s'élève donc à l'intérieur du digesteur et remonte à la surface des boues.

Le biogaz produit est un mélange de méthane, de dioxyde de carbone et de quelques gaz traces (H_2 , H_2S , H_2O ...). Il est évident que la composition du biogaz dépend du substrat digéré, pour lesboues de station de traitement des eaux une composition moyenne est indiquée comme suit :

- CH_4 65 à 70%.
- CO_2 25 à 30 %.
- H_2S 100 à 5000 ppm (0.01 à 0.5 %).
- N_2 1 à 2 %.
- Trace H_2O et NH_3 .

La **figure V.9** représente le pourcentage de biogaz dans les digesteurs primaire en fonction des nombres de prélèvement :



• **Digester primaire :**

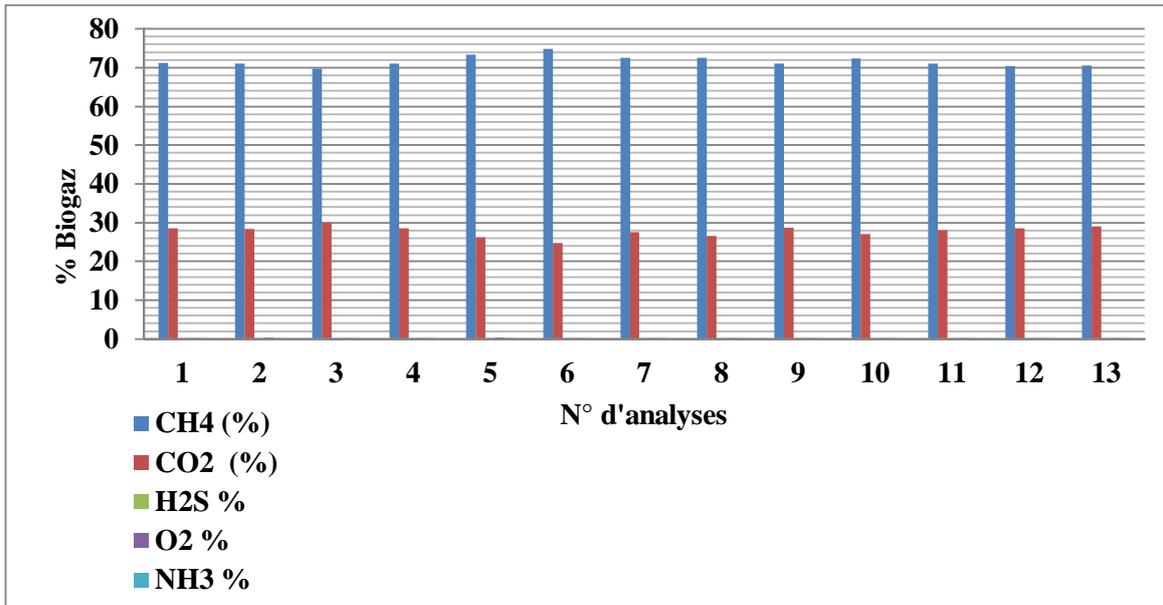


Figure V.9: La variation de biogaz de digesteur 1 en fonction de n° d'analyses.

Le diagramme représente le pourcentage de biogaz qui sont tous dans les normes de composition des biogaz dans les boues digérées de la station d'épuration tel que :

- Un CH₄ comprise entre 69.7 et 74.9 % ;
- CO₂ varie entre 24.8 et 30 % ;
- H₂S de 119 et 842 ppm ;
- O₂ constante à 0.2 ppm;
- NH₃ compris entre 80 et 598 ppm

Digester n°2 :

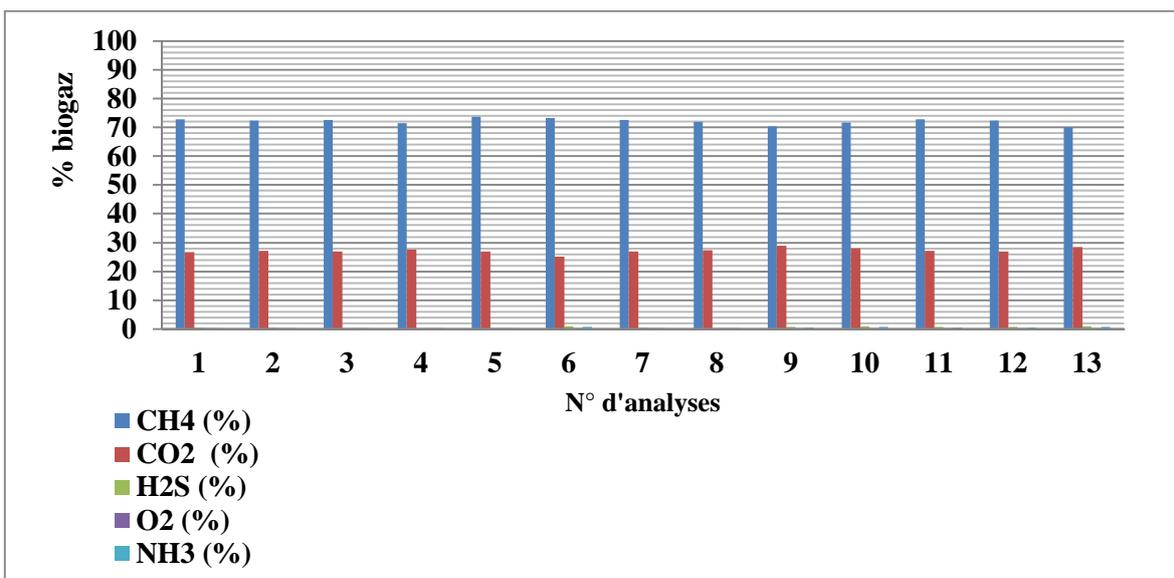


Figure V.10: La variation de biogaz de digesteur 2 en fonction de n° d'analyses.



Chapitre V : Résultats et discussions.

Le diagramme représente le pourcentage de biogaz qui sont tous dans les normes de composition des biogaz dans les boues digérées de la station d'épuration tel que :

- Un CH_4 comprise entre 70.1 et 73.7 % ;
- CO_2 varie entre 25.1 et 29 % ;
- H_2S de 177 et 910 ppm ;
- O_2 constante à 0.2 ppm;
- NH_3 compris entre 182 et 747 ppm.

Comme le digesteur primaire, la composition de biogaz dans le digesteur 2 est dans les normes.



Conclusion générale.

La digestion anaérobie offre une solution intéressante aux stations d'épuration voulant optimiser leur fonctionnement. L'utilisation des boues pour la production d'énergie renouvelable s'accompagne de nombreux avantages, comme la réduction du volume, la diminution des odeurs, la production d'électricité, de chaleur ou de biométhane, mais également la quantité agricole du digestat dans les pays où l'épandage est autorisé.

L'objectif principal de notre travail était de suivre le fonctionnement de la digestion anaérobie de la station d'épuration des eaux usées de Baraki. Les conditions de fonctionnement ont été définies à l'aide de différents paramètres qui ont permis de vérifier le bon fonctionnement de l'installation anaérobie.

Les paramètres sont ceux de tout procédé biologique : la température, le PH, Les MVS, le taux d'élimination de MV, Les AGV, le TAC, le rapport AGV/TAC, la pression et enfin la production de biogaz.

Les résultats obtenus dans cette étude ont montré que les valeurs de températures sont proches de la plage de fonctionnement optimal, le pH des boues digérées est dans la neutralité, ce qui permet la formation des AGV au cours de l'étape d'acidogènes. Les MVS des boues digérées et leur élimination sont de 50%, cela indique une fermentescibilité moyenne. Les valeurs d'AGV sont comprises entre 150 et 300 mg/l, ceci permet un bon fonctionnement de la digestion anaérobie. Les valeurs de TAC sont comprises entre 1680 à 4200 mg/l elles sont conformes à une bonne digestion anaérobie. De même, pour le rapport AGV/TAC, les valeurs sont comprises dans la plage de fonctionnement optimal. En ce qui concerne, la composition du biogaz elle est de 72 % CH₄, 27 % CO₂ et entre 177 et 910 ppm de H₂S, et 0.2 ppm de O₂ et entre 182 et 747 ppm de NH₃. Les valeurs montrent que la composition du biogaz est bonne.

Durant notre stage au niveau de la STEP de Baraki, plusieurs problèmes ont été rencontrés. Parmi ceux-ci :

- Une ancienneté de processus de la digestion anaérobie.
- Une absence de curage du digesteur chaque 10 ans.
- Panne d'un des cinq agitateurs, qui se trouve dans les deux digesteurs, dont l'accès est difficile.
- Une chaudière un panne d'une manière irrégulière du à la vétusté du digesteur secondaire et qui entraîne son colmatage.



Conclusion générale.

En cas de dysfonctionnement de la digestion, nous recommandons les solutions suivantes :

- Réparation de la deuxième chaudière.
- Utiliser un brassage au lieu d'une agitation pour assurer une bonne homogénéité du milieu.
- Respecter la périodicité du curage des trois digesteurs pour améliorer le processus de la digestion.

Références Bibliographiques

- [1] : **CHAMPIAT, D. (1994.)** Biologie des eaux: Méthodes & techniques, Masson, 374 p.
- [2] : **DEGREMONT. (1989)** **Mémento technique de l'eau**, 9eme Edition, Tome 1 et 2, Editions Lavoisier, Paris.
- [3] : **Office International de l'Eau.** Caractérisation des eaux usées.
DFE/CNFME/L:\utilisat\JP\F07\DOCPDA~1\Caractérisation des EU.doc\05/04/2005
- [4] : **ADEME, 2001 a :** - Les boues chaulées des stations d'épuration municipales: production, qualité et valeur agronomique, Ademe édition, Paris, pp. 224.
- [5] : **RODIER, J. Bazain, C. Broutin, J-P.Chambon, P.Champsaur, H.Rodi, L. (1996).** L'analyse de l'eau, DUNDOD, Paris 8^e édition.
- [6] : **EMILIE J 2002,** Thèse doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, thème : Composition Organique De Boues Résiduaire De Stations D'épuration Lorraines : Caractérisation Moléculaire Et Effets De La Biodégradation
- [7] : **MONCHY, H,** 1978 "Mémento d'assainissement" Ed. EYROLLES, Paris
- [8] : **KHELIFA.M 2008,** Evaluation des eaux usées traitées de la station d'épuration d'Ain Sfiha (w.SETIF) en vue d'une utilisation dans le domaine de l'irrigation. Mémoire ingénieur **ENSH BLIDA.**
- [9] : **J.P. Bechac –P. Boutin – Nuer** 1984 traitements des eaux usées Ed EYROLLES Bd St Germain.
- [10] : **GAÏD.A 1993:** Traitement des eaux usées urbaines.
- [11] : **GLAUDE Blifert / Robert Perraud** /chimie de l'environnement (air, eau ; sol, déchet) ; de bœck, paris 2001.
- [12] : **GAID A 1984 :** **Epuration biologique des eaux usée urbaines (tome1).**
- [13] : **ABADA A, 2009 :** 'irrigation d'un périmètre de 350 ha a partir des eaux usées épurées de la station de bordj bou-arrerdj'. Thèse d'ingénieur, Ecole nationale supérieure de l'hydraulique Blida.
- [14] : **KEDIB B, 2010 :** 'Etude d'élimination de la pollution phosphorée par la STEP de HAJOUT'. Institut National Spécialisé de la Formation Professionnelle en Industrie Agro-alimentaire Abou Bakr Bel Kaid – Blida.
- [15] : **RADA A, 1996 :** - Étude de la contamination métallique des sols de la zone d'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech (Maroc) : contribution du fond géochimique et des apports anthropogéniques dans le transfert du cadmium dans un système sol-plante. Thèse Doct. État. Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci., Semlalia, Marrakech, Maroc, 153 p.
- [16] : **INTERNE :** www.Sdaa54.fr **S.D.A.A. 54** - Le site.
- [17] : **GOMMELLA et H Gurree ; 1983.** Les eaux usées dans les agglomérations urbains ou rurales Ed EYROLLES 61 boulevard saint – Germain-
- [18] : **BOUTIN, B et MERCIER, PN, 1984** (Traitement des eaux usées)
- [19] : **SALHI, M, 2003:** - Procèdes Couplés aux Boues Activées-Ozonisation pour la Réduction dans la Production de Boues: Etude Modélisation ET Intégration dans la Filière de Traitement des Eaux'. Thèse de Doctorat, INSA Toulouse.
- [20] : **ADEME, 1999 :** - Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde, Ademe édition, Paris, pp. 159.

- [21] : **MURILLO, M, 2004** ; Caractérisation de l'Effet d'un Traitement au Peroxyde d'Hydrogène sur une Boue - Application la Réduction de la Production de Boue', Thèse de doctorat, INSA Toulouse.
- [22] : **ALBRECHT, R, 2007** ; doctorat, Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique.
- [23] : Office Nationale d'Assainissement ONA 2004. Document technique interne Souk-Ahras.
- [24] : **KORMANIK, R.A, 1972:** - Estimating solids production for sludge handling Water & Sewage Works, P 72-74.
- [25] : **JARDE, E 2002** : - composition organique de boues résiduares de stations d'épuration lorraines : caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation.
- [26] : **DUDKOWSKI, A, 2000** : - L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines. Courrier de l'Environnement de l'INRA, pp. 134-135.
- [27] : **AMADOU, H, 2007** : - Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de stations d'épuration urbaines. Thèses de doctorat, Université Louis Pasteur.
- [28] : **ECHAB, A 1998** : - Réutilisation des boues de stations d'épuration des eaux usées en agriculture : Impact des métaux lourds. Thèse 3e Cycle, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, Maroc, p. 80-83 (141 p).
- [29] : **TAUZIN, C, JUSTE, C, 1986** : - Effet de l'application à long terme de diverses matières fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport du contrat 4084/93. Ministère de l'environnement, France.
- [30] : **SUH, Y.J et Roussaux, P, 2002:** - An LCA of Alternative Waste Water Sludge Treatment Scenarios', Resources, Conservation and Recycling, Vol. 35, pp. 191 – 200.
- [31] : **ADEME, 2001 b** ; Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture, Ademe édition, Paris, pp. 59.
- [32] : **SEDKI, A, 1995** ; Étude écotoxicologique de la contamination de deux chaînes alimentaires terrestres dans la palmeraie périurbaine de la zone d'épandage des eaux usées de la ville de Marrakech. Thèse Doct. État, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, Maroc. 140p.
- [33] : **JOCTEUR, MONROZIER, L 2001** : - Conséquences de l'anthropisation des sols. Les boues: quels risques? Colloque Marseille. 5 avril 2001. Mouvement National de Lutte pour l'Environnement éd.
- [34] : **HUE, N.V, 1995:** - Sewage sludge. In Soil amendments and environmental quality, Chp 6, CRC Press. p. 199-247.
- [35] : **TALEB M, MESSIKH H, 2017** : Etude de la production de biogaz dans la station d'épuration de Baraki. Mémoire master 2 Génie de l'environnement université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (U.S.T.H.B) 2017.
- [36] : **EL-FADEL, M., KHOURY, R., 2000.** Modeling Settlement in MSW Landfills: a Critical Review. Critical Reviews in Environ. Sci. Technol. 30, 3, 327-361.
- [37] : **MOUSSAOUI S, 2012** : Etude sur la fermentation méthanique des boues activées de la station d'épuration de Boumerdes. Mémoire MASTER 2. Spécialité : Biochimie appliquée, Université M'Hamed bouguerra de boumerdes :
- [38] : **INBAR, Y., CHEN, Y., HADAR, Y., 1990.** Humic substances formed during the composting of organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J., 54, 1316-1323.

- [39] : JEAN PELMONT., 2005. **Biodégradations et Métabolismes**. Les Bactéries Pour Les Technologies De L'environnement.218-226.
- [40] : MOLETTA, R. . (2008) **La méthanisation**, Technique et documentation - Editions Lavoisier, Paris.
- [41] : MOLETTA, R. (1993) « La digestion anaérobie : du plus petit au plus grand », Biofutur, janvier, pp. 16-25
- [42] : EDELINE, F. (1997) L'épuration biologique des eaux. Théorie & technologie des réacteurs. CEDEBOC Editeur, Paris.
- [43] : TRABLY, E. (2002) Etude et optimisation de la biodégradation d'Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) et de Polychlorobiphényles (PCBs) au cours de la digestion anaérobie et aérobie de boues urbaines contaminées, Génie des procédés, Université Montpellier II, Montpellier, 280 p.
- [44] : BITTON, G. (1994) **Wastewater microbiology, Wiley-Liss Editor, New York.**
- [45] : Document interne de SEAAL BARAKI, manuel de l'opérateur tome 1 partie 3 fonctionnements de la digestion anaérobie.
- [46] : http://www.biogaz-energie-renouvelable.info/biogaz_composition.html
- [47] : BENJOUDI Djamel. Etude de l'avifaune de la Mitidja. Thèse du doctorat. Institut national agronomique-el Harrach 2008. 145page

1. Détermination du pH :

a-Etalonnage de l'appareil :

- Allumer l'appareil.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Prendre dans un petite bécher la solution tampon pH =7.
- Mettre un agitateur dans la solution avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode de pH dans la solution pH =7.
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à l'affichage pH=7.... (Ajuste avec les boutons des deux flèches à pH =7)
- Enlever l'électrode et la abondamment avec l'eau.
- Ré étalonné de la même manière avec la solution tampon pH =4.
- Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

b-Dosage de l'échantillon :

- Prendre environ de 100 ml de surnageant à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bécher.
- Appuyer sur le bouton (AR).
- Laisser stabiliser un moment avec une faible agitation.
- Puis noter la valeur du pH.

2. Détermination de la matière volatile en suspension MVS :

- Peser 1 mg prés la capsule noter le poids vide P1 ;
- Peser dans la capsule d'évaporation ou le creuset une quantité appropriée de boue P2 ;
- Placer la capsule d'évaporation ou le creuset contenant échantillon dans l'étuve de séchage réglée à 105°C jusqu'à ce que le résidu apparaisse sec ;
- Apres refroidir dans le dessiccateur, peser une fois la capsule d'évaporation ou le creuset et son contenu P3 ;
- Calculer les résultats de MS ;
- Mettre dans le four a moufle à 550°C pendant 2h ;
- Apres refroidissement peser la capsule et calculer les résultats des MVS.

3. Détermination du taux de TAC :

- Centrifuger la boue une première fois a 5000 tour/minute pendant 10 minutes ;
- Recueillir le liquide surnageant dans un bécher de 400ml ;
- Laver le culot formé avec 50 ml d'eau distillée ;
- En respectant les mêmes conditions précédentes on refait la même chose fois, la centrifugation et le lavage du culot ;
- Verser sous agitation la solution de H₂SO₄ (0.1N) jusqu'à obtention d'un pH =4 correspondant à un volume v (ml) de H₂SO₄versé ;

- **Calcul du TAC :**

$$TAC = (v*0,1/1000)/25$$

$$TAC = v*4 \text{ en meq/l}$$

4. Détermination du taux de l'AGV :

- Verser la solution H₂SO₄ 0,1N sur le même surnageant récupérée lors de l'analyse du TAC jusqu'à 1000ml ;
- Faire bouillir le surnageant à pH=3.5 recueillis dans une fiole de 250 ml pendant 3 minutes ;
- Verser sous agitation la solution de NaOH 0.1N jusqu'à obtention de pH=4 correspondant a un volume V₂ (ml) de NaOH versé ;
- Préparation NaOH 0.1 : peser 4g de NaOH et compléter avec de l'eau distillée dans une fiole jaugée de 1000 ml ;
- Continuer de verser la solution de NaOH 0.1N jusqu'à obtention de pH=7 correspondant à un volume V₃ de NaOH versé ;
- **Calculer la valeur du taux d'AGV :**

$$AGV = ((V_2 - V_1) / 0.1 / 1000) / 25 = (V_2 - V_1) * 4 \text{ en meq/l}$$

$$AGV = (V_2 - V_1) * 4 \text{ en meq/l}$$

Tableau n° 1 : Les normes de bon fonctionnement [45]:

Paramètre	Unité	Norme
T°	°C	33-37
pH	-	6,7-7,5
Taux d'élimination des MV	%	50
AGV	mg /l	150-300
TAC	mg /l	1000-6000
AGV/TAC	-	0.15
pression	mbar	< 15
CH₄	%	65-70
CO₂	%	25-30
H₂S	ppm	<3000
O₂	ppm	<0.5
NH₃	%	<2

Tableau n° 2 : Résultats du T° (°C):

N° d'analyse	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Date d'analyse	01	06	14	21	02	06	11	16	07	11	18	23	25
	03	03	03	03	04	04	04	04	05	05	05	05	05
	2017												
L'entrée de l'échangeur de chaleur	22	23	21	22	22	25	21	25	23	22	25	21	22

Tableau n° 3 : Résultats du pH :

N° d'analyse	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Date d'analyse	01	06	14	21	02	06	11	16	07	11	18	23	25
	03	03	03	03	04	04	04	04	05	05	05	05	05
	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Boues mixte	6,7	6,7	6,76	6,78	6,69	6,66	6,75	6,72	6,77	6,66	6,78	6,76	6,8
Boue digérée 1	7,04	6,99	6,94	6,98	6,91	7,01	6,94	6,98	6,96	7,01	7	6,98	7,06
Boue digérée 2	7,12	7	6,89	6,7	6,93	6,79	6,76	6,72	6,74	7	6,7	6,7	7

Tableau n° 4 : Résultats du MVS (%):

N° d'analyse	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Date d'analyse	01	06	14	21	02	06	11	16	07	11	18	23	25
	03	03	03	03	04	04	04	04	05	05	05	05	05
	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Boues mixte	45	38	37	36	44	50	53	59	61	56	56	61	57
Boue digérée 1	33	13	34	33	34	31	35	34	32	43	45	48	45
Boue digérée 2	37	39	36	36	40	41	43	58	46	52	53	52	48

Tableau n° 5 : Résultats du taux d'élimination des MVS (%):

N° d'analyse	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Date d'analyse	01	06	14	21	02	06	11	16	07	11	18	23	25
	03	03	03	03	04	04	04	04	05	05	05	05	05
	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Taux d'élimination	28	4	4	0	15	16	33	4	45	21	12	30	25

Tableau n° 6 : Résultats des AGV en meq/l:

N° d'analyse	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Date d'analyse	01	06	14	21	02	06	11	16	07	11	18	23	25
	03	03	03	03	04	04	04	04	05	05	05	05	05
	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Boue digérée 1	2,4	4,8	5,2	3,6	4	4,4	4	3,6	6,4	4,8	3,6	6,4	6,8
Boue digérée 2	5,6	4,8	4,8	4,4	8,8	11,6	6,4	6	8,8	4,8	7,2	10,8	7,6

Tableau n° 7 : Résultats des AGV en mg/l:

N° d'analyse	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Date d'analyse	01	06	14	21	02	06	11	16	07	11	18	23	25
	03	03	03	03	04	04	04	04	05	05	05	05	05
	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Boue digérée 1	144	288	312	216	240	264	240	216	384	288	216	384	408
Boue digérée 2	336	288	288	264	525	696	384	360	528	288	432	648	456

Tableau n° 8 : Résultats de TAC (meq/l):

N° d'analyse	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Date d'analyse	01	06	14	21	02	06	11	16	07	11	18	23	25
	03	03	03	03	04	04	04	04	05	05	05	05	05
	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Boue digérée 1	66	67,6	67,2	60,6	54,4	53,6	53,6	57,2	68,4	70	56,8	52,4	33,2
Boue digérée 2	54	54,8	56,8	57,2	48	51,2	48,8	28	66,8	64,8	47,6	44,4	46

Tableau n° 9 : Résultats de TAC (mg/l):

N° d'analyse	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Date d'analyse	01	06	14	21	02	06	11	16	07	11	18	23	25
	03	03	03	03	04	04	04	04	05	05	05	05	05
	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Boue digérée 1	3960	4056	4032	3636	3264	3216	3216	3432	4104	4200	3408	3144	1992
Boue digérée 2	3240	3288	3408	3432	2880	3072	2928	1680	4008	3888	2856	2664	2760

Tableau n° 10 : Résultats de rapport AGV/TAC:

N° d'analyse	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Date d'analyse	01	06	14	21	02	06	11	16	07	11	18	23	25
	03	03	03	03	04	04	04	04	05	05	05	05	05
	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Boue digérée 1	0,036	0,071	0,077	0,059	0,073	0,082	0,074	0,062	0,068	0,068	0,063	0,12	0,204
Boue digérée 2	0,10	0,087	0,084	0,076	0,18	0,22	0,13	0,21	0,072	0,04	0,15	0,24	0,16

Tableau n° 11 : Résultats de contrôle de pression (mbar):

N° d'analyse	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Date d'analyse	01	06	14	21	02	06	11	16	07	11	18	23	25
	03	03	03	03	04	04	04	04	05	05	05	05	05
	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017
Digesteur primaire	10	10	11	10	10	26	10	10	10	10	10	10	10
Digesteur secondaire	10	10	10	12	10	28	10	10	10	10	10	10	10

Tableau n° 12 : Résultats des analyses du biogaz:

N° d'analyse	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	
Date d'analyse	01	06	14	21	02	06	11	16	07	11	18	23	25	
	03	03	03	03	04	04	04	04	05	05	05	05	05	
	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	2017	
Digesteur 1	CH ₄ (%)	71,2	71	69,7	71,1	73,3	74,9	72,5	72,6	71	72,4	71	70,4	70,5
	CO ₂ (%)	28,5	28,4	30	28,6	26,2	24,8	27,6	26,6	28,7	27	28,1	28,6	29,1
	H ₂ S (ppm)	661	540	136	149	119	842	530	260	602	433	492	488	611
	O ₂ (ppm)	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	NH ₃ (ppm)	388	335	119	121	80	598	315	175	413	330	300	283	425
Digesteur 2	CH ₄ (%)	72,8	72,4	72,5	71,5	73,7	73,3	72,5	71,9	70,3	71,7	72,8	72,3	70,1
	CO ₂ (%)	26,7	27,1	27	27,5	27	25,1	27	27,4	29	28	27,1	27	28,4
	H ₂ S (ppm)	537	530	254	272	201	910	560	177	774	985	710	746	870
	O ₂ (ppm)	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	NH ₃ (ppm)	340	329	188	182	182	747	379	129	537	715	472	497	636



Figure n° 1: Analyseur de biogaz.



Figure n° 2: Détecteur de gaz ATEX



Figure n° 3: pH mètre.



Figure n° 4: Dessiccateur.



Figure n° 5: Etuve universelle.



Figure n° 6: Chauffe ballon.



Figure n° 7: Centrifugeuse



Figure n° 8: Four a moufle.



Figure n° 9: Balance électrique



Figure n° 10: Les soupapes.



Figure n° 11: Point de prélèvement des boues digérées.



Figure n° 12: Point de prélèvement des boues mixte.