

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur en Sciences de la Mer
Option : Biotechnologie marine**

Thème :

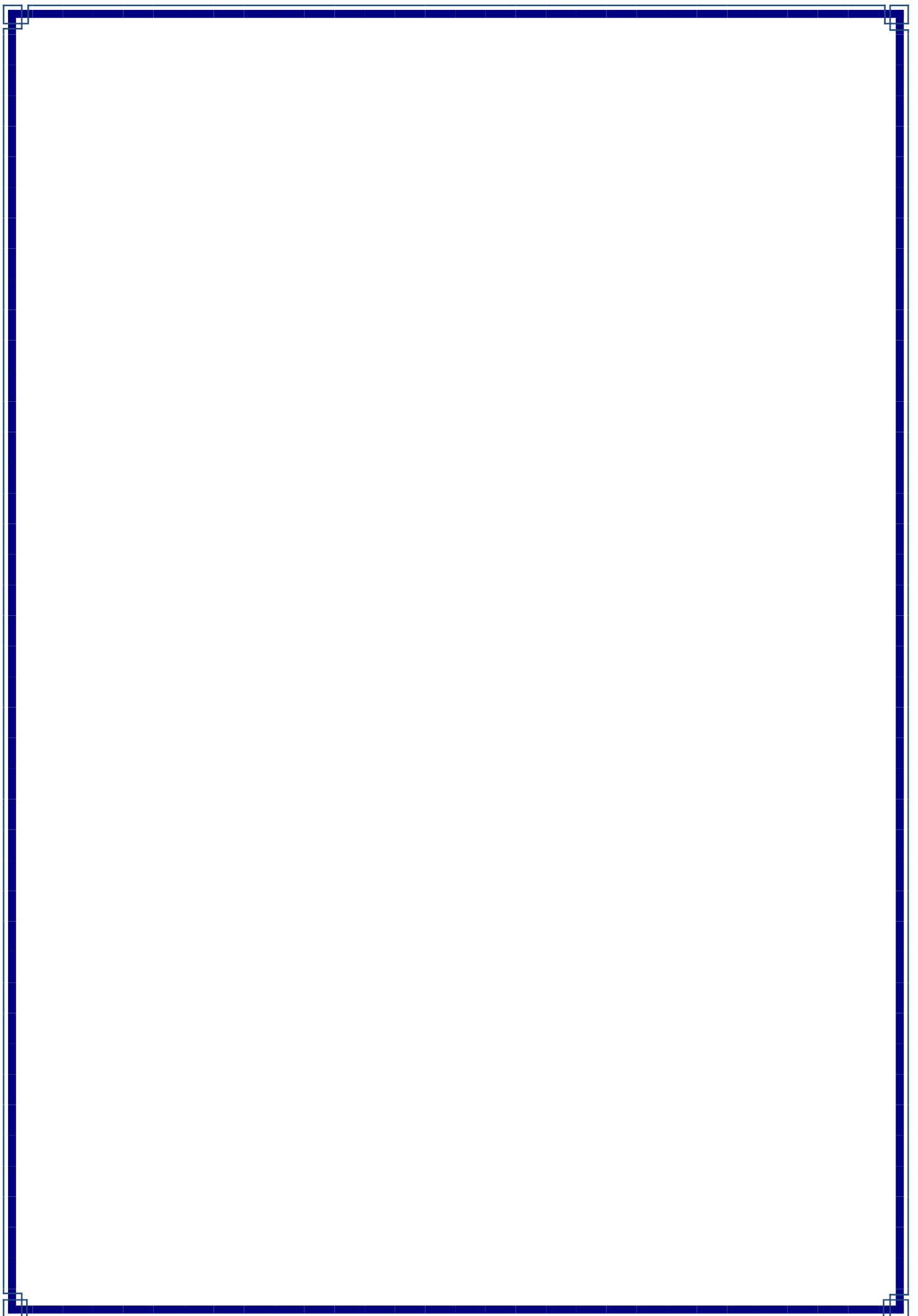
**Traitement et valorisation des effluents de l'industrie laitière
DANONE par biométhanisation couplée à l'évapo-concentration**

Présenté par :

- CHIBANE Narimane.
- ZIDANE Tinhinane.

Soutenu le 21-11-2019, devant le jury composé de :

Mr, SEFIANE O.	Maitre de conférences B	ENSSMAL	Président
Mme, AMROUCHE L.	Maitre assistante A	ENSSMAL	Promoteur
Mr, IGOUD S.	Maitre de conférences A	UDES	Co-Promoteur
Mme, KHELIFA N.	Maitre de conférences B	ENSSMAL	Examinatrice
Mme, SAHRAOUI N.	Maitre de conférences A	USTHB	Examinatrice
Mr, BENOUARET L.	Senior manager env.	DANONE	partenaire socio-économique



Remerciements

Nous remercions en premier lieu le Dieu pour le courage, la patience et la santé qui nous a donné pour suivre nos études.

Nous voudrions tout d'abord remercier l'initiateur de ce projet interdisciplinaire qui a le souci de contribuer à la préservation de l'environnementales en dégradation. Nous exprimons nos profonde gratitude à madame AMROUCHE Lynda, qui nous a fait confiance en nous proposant ce sujet d'étude et qui, malgré ses multiples occupations, n'a ménagé aucun effort pour nous assurer un encadrement de qualité. Sa rigueur dans le travail et son souci du travail bien fait, ont été pour nous un enseignement.

Nous remercions aussi notre Co-promoteur monsieur IGOUD Sadek d'avoir accepté de nous accueillir au niveau de son laboratoire d'épuration et valorisation des eaux de rejets de l'UDES (Unité de développement des équipements solaires- Bousmail, Tipaza), et Mme MAHIDINE Sarah pour l'intérêt qu'elle a apporté à notre travail, aussi pour ses conseils précieux.

Nos remerciements s'adressent également au responsable environnement de l'industrie laitière Danone Djurdjura Algérie d'avoir accordé sa confiance et pour tout l'aide qu'il nous a apporté afin de nous permettre de mieux cerner le travail à réaliser tout au long du ce stage au niveau de l'entreprise.

Nous remercions également le personnel administratif de Danone Djurdjura Algérie SPA qui a mis tout en œuvre pour que notre stage se déroule dans les meilleures conditions possibles.

Nous tenons aussi à remercier l'ensembles du personnel des laboratoires de l'ENSSMAL, Mme CHIOUKH Soraya, Mr MATOUK Youcef, Mr DJERAI Noureddine, Mr BOUJELLAL qui ont mis à notre disposition tous les moyens nécessaires à la réalisation de notre travail.

Je voudrais tout autant exprimer mes vifs remerciements à Mme SAHRAOUI N, Mme KHELIFA N et Mr SEFIANE O pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'être les jurys de notre soutenance.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A ma famille, qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis
aujourd'hui :

À ma chère mère et mon cher père qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières à mon égard,
de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes frères Yacine et Yathmas.

A ma chère sœur et son mari,

A mes chers oncles

Pour leur soutien et leurs conseils précieux tout au long de mes études.

A mon cher grand père BOUDAA Rabah et ma grande mère Djegdjiga,

Aux queux je souhaite une bonne santé.

A ma chère amie durant tout ce parcours universitaire et ma binôme de ce projet CHIBANE

Narimane,

Pour tout les moments de joies et de tristesse.

A toute ma famille.

A tous mes chers amis.

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

ZIDANE Tinhinane

Dédicaces

A la femme à qui je dois la vie, à ma chère mère

Maman, je te dédie ce mémoire pour te remercier d'être la lionne qui a gouverné tous mes pats, la maitresse qui m'a appris comment tenir un stylo entre mes doigts et la guerrière qui m'a montré comment combattre pour atteindre ma bonne voie.

A l'homme de ma vie, mon cher père

Papa, je te dédie ce travail pour te remercier pour la fierté que je voyais dans tes yeux quand tu parlais de moi, pour toutes ces fois où tu m'as promis que la joie jamais ne me quitteras. Tu as fait de ma vie un royaume dans lequel tu es roi.

A ma sœur et mes trois frères

Mes quatre lions, je vous dédie ce travail afin de vous remercier pour tous les souvenirs et les moments de joie. Pour votre aide et soutien que vous m'avez apporté à chaque fois. Je vous remercie aussi de m'avoir rendu fier de vous durant votre parcours scolaire.

A la mémoire de mon grand père paternel

J'aurais souhaité ta présence en ce moment pour partager ma joie. Tu es toujours présent dans mon esprit et dans mon cœur. Que ton âme repose en paix.

A mes grands parents

Je vous dédie ce projet pour vous remercier de m'avoir toujours fait preuve d'amour et d'affection

A mon âme sœur, ma chère amie et mon binôme de cinq ans ZIDANE Tinhinane

Merci pour la joie et la confiance partagées. Merci d'être toujours présente pour moi dans mes pires moments. Merci d'être une vraie amie.

CHIBANE Narimane

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations et symboles

Introduction générale.....1

I. Généralités

I.1.Historique de Danone	3
I.2.Danone dans le monde.....	3
I.3.Danone Djurdjura-Algérie-SPA DDA.....	4
I.3.1. Situation géographique.....	4
I.3.2. Capacité de production.....	5
I.4.Description de la basse Soummam.....	6
I.5.Importance économique de la vallée de la Soummam.....	7
I.6.Importance écologique de la vallée de la Soummam.....	7
I.6.1. La faune.....	7
I.6.2. La flore.	8
I.7. Effet des effluents urbains et industriels sur la qualité de l'Oued Soummam et du milieu marin côtier.....	8
I.8. Identification des effluents de DDA.....	9
I.8.1. Les masses blanches.....	9
I.8.2. Le lactosérum	10
I.8.3. Les eaux de lavage et de refroidissement.....	10
I.9. Traitement et devenir des effluents de DDA	10
I.9.1. Prétraitement et traitement physico-chimique au niveau de la STEP DE DDA.....	10
I.9.2. Incinération.....	12
I.9.3.Traitement biologique.....	12
I.10. Valorisation des effluents du groupe international DANONE.....	13
I.10.1. Compostage et production d'engrais.....	13
I.10.2. Alimentation humaine et animale.....	13
I.10.3. Bioprocédés de dépollution.....	13
I.11. Biométhanisation des effluents	14
I.11.1. Définition de la biométhanisation.....	14

I.11.2. Etapes de la biométhanisation.....	14
I.11.3. Produits de la biométhanisation.....	15
I.11.3.1. Biogaz.....	15
I.11.3.2. Digestat et eluat	16
I.11.4. Facteurs influençant la biométhanisation.....	16
I.11.5. Divers procédés de méthanisation	17
I.11.6. Utilisations du biogaz.....	17
I.11.6.1. Cogénération-production d'électricité et de chaleur	18
I.11.6.2. Gaz naturel.....	18
I.11.6.3. Carburant.....	18
I.11.7. Utilisation du biogaz dans le monde.....	18
I.11.8. Biométhanisation en Algérie.....	19
I.12. Epuration des eaux usées par évapo-concentration.....	19

.

II. Matériel et méthodes

II.1. Identification des réseaux de rejet de DDA et échantillonnage.....	21
II.2. Suivi et caractérisation des paramètres physico-chimiques des effluents DDA.....	23
II.2.1. La demande chimique en oxygène (DCO).....	23
II.2.2. La demande biologique en oxygène (DBO ₅).....	24
II.2.3. La turbidité.....	25
II.2.4. La matière en suspension (MES).....	26
2.4.1. La matière organique et la matière minérale.....	28
II.2.5. Le potentiel hydrogène (pH).....	29
II.2.6. Les sels nutritifs.....	29
II.3. Détermination de la charge microbienne.....	30
II.3.1. Colimétrie en milieu liquide par la méthode du nombre le plus probable (NPP).....	30
II.3.2. Streptométrie en milieu liquide par la méthode du nombre le plus probable (NPP).....	31
II.3.3. Recherche et dénombrement des staphylocoques pathogènes à coagulase positive.....	33
II.3.4. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs.....	33
II.3.5. Recherche (présence/ absence) des vibrions et des salmonelles.....	35
II.3.5.1. Recherche des vibrions cholériques.....	35
II.3.5.2. Recherche des salmonelles.....	36
II.4. Traitement des effluents de DDA par biométhanisation et évapo-concentration.....	37
II.4.1. Traitement des effluents bruts de DDA par biométhanisation.....	37
II.4.1.1. Principe.....	37

II.4.1.2. Description du dispositif et des conditions expérimentales.....	37
II.4.1.3. Quantification et caractérisation d biogaz produit	38
a- Quantification du biogaz produit.....	38
b- Détermination de la composition chimique du biogaz produit par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse.....	38
II.4.2. Décontamination des effluents de DDA méthanisés par évapo-concentration	39
4.2.1. Principe.....	39
4.2.2. Mode opératoire.....	40
II.5. Caractérisation des effluents de DDA traités par biométhanisation et évapo- Concentration.....	41
II.5.1. Evaluation des paramètres physico-chimiques.....	41
II.5.2. Evaluation des paramètres microbiologiques.....	41
II.5.2.. 1. Colimétrie en milieu solide par méthode de filtration sur membranes.....	41
II.5.2.2. Streptométrie en milieu solide par méthode de filtration sur membranes.....	42
II.5.2.3. Recherche et dénombrement des staphylocoques pathogènes à coagulase Positive par filtration sur membrane.....	42
II.5.2.4. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs.....	43
II.5.2.5. Recherche (présence/ absence) des vibrions et salmonelles.....	43

III. Résultats et discussion

III. 1. Suivi journalier des paramètres physico-chimiques de l'effluent bruts de DDA	
III.1.1. Suivi journalier des taux de DCO et de DBO ₅	45
III.1.2. Suivi journalier des variations de la turbidité.....	45
III.2. Caractérisation physico-chimique de l'échantillon moyen des effluents bruts de DDA....	46
III.3. Evaluation de la biodégradabilité de l'échantillon moyen des effluents bruts de DDA	49
III.4. Caractérisation microbiologique de l'échantillon moyen des effluents bruts de DDA	49
III.5. Résultats du Traitement des effluents de DDA par biométhanisation couplée à l'évapo-concentration.....	51
III.5.1. Résultats du traitement des effluents bruts de DDA par biométhanisation.....	51
III.5.1.1. Production volumique du biogaz	51
III.5.1.2. Rendement de production du biogaz	55
III.5.1.3. Composition chimique globale du biogaz produit.....	56
III.5.2. Résultats du traitement des effluents de DDA méthanisés par évapo-concentration.....	56

III.5.2.1. Caractérisation physico-chimique des eaux épurées.....	57
III.5.2.2. Caractérisation microbiologique des eaux épurées.....	60
III.6. Réutilisation des effluents de DDA traités par biométhanisation couplée à l'évapo-concentration.....	61
Conclusion	63
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des tableaux

Tableaux	Page
I.1. Capacité de production de l'entreprise DANONE DJURDJURA ALGERIE.	6
II.1. Les quantités d'effluent DDA prélevées.	22
II.2. Paramètres de biométhanisation des effluents bruts de DDA.	38
III.1. Paramètres physico-chimiques caractérisant l'effluent bruts de DDA.	47
III.2. L'indice de biodégradabilité de l'effluent DDA.	49
III.3. Charge microbienne de l'échantillon moyen des effluents bruts de DDA	50
III.4. Etude comparative de rendement de production de biogaz à partir des déchets agricoles et des effluents des industries agroalimentaires.	55
III. 5. Caractérisation physico-chimique des effluents de DDA traités par biométhanisation couplée à évapo-concentration.	57
III.6. Qualité hygiénique des effluents de DDA traités par biométhanisation et évapo- concentration.	60

Liste des figures

Figures	Page
Figure I.1 : Le logo de DANONE, 2017	3
Figure I.2 : Implantation des industries DANONE dans le monde	4
Figure I.3 : Situation géographique de DDA prise par google earth	5
Figure I.4 : Organigramme et fonctionnement de la STEP DDA	12
Figure I.5 : Principales étapes de la méthanisation	15
Figure II.1 : Les points de rejets de DDA et leurs itinéraires de l'sine vers la STEP.	21
Figure II.2 : Préleveur d'effluent de la STEP DDA.	22
Figure II.3 : DCO mètre « HACH DRB200 », Kits : « LCK014 », appareil de mesure « HACH 2100 N ».	24
Figure II.4 : Schéma représentatif de processus de mesure de la DBO5	24
Figure II.5 : DBO mètre « OXITOPBOX »	25
Figure II.6 : Turbidimètre « HACH 2100N ».	26
Figure II. 7 : Mesure des matières en suspension (MES).	28
Figure II.8 : fourre à moufle de type WiseTherm	28
Figure II.9 : pH mètre « inoLab ».	29
Figure II.10:Auto analyser San Plus.	30
Figure II.11 : Dénombrement des indicateurs de contamination fécale par la méthode des NPP dans les effluents bruts de DDA.	32
Figure II.12 : Dénombrement des staphylocoques dorés par ensemencement en surface.	33
Figure II.13 : Dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs ASR.	34
Figure II.14 : Recherche (présence /absence) des vibrions dans les effluents bruts de DDA	35
Figure II.15 : Recherche (présence /absence) des salmonelles dans les effluents bruts de DDA	36
Figure II.16 : Dispositif expérimental de biométhanisation des effluents bruts de DDA.	37
Figure II.17 : Principe de fonctionnement de l'évapo-concentrateur expérimental.	40
Figure II.18 : Dispositif expérimental de l'évapo-concentrateur de l'UDES	40
Figure II.19 : Recherche et dénombrement des indicateurs de contamination	44

fécale et des staphylocoques pathogènes à coagulase (+).	
Figure III.1: Variations journalières des taux de DCO et de DBO5 des effluents bruts de DDA.	45
Figure III.2 : Variations journalières de la turbidité des effluents de DDA.	46
Figure III.3 : Composition chimique moyenne des matières en suspension de l'échantillon moyen des effluents bruts de DDA .	48
Figure III.4 : Production journalière du biogaz dans les trois digesteurs (B1, B2 et B3) en fonction du temps.	52
Figure III.5: Production cumulée du biogaz dans le ballon 3 après 98 jours de biométhanisation.	53
Figure III.6 : Biogaz issu de biométhanisation de l'effluent de DDA cumulé et stocké dans des poches (poches à urines).	54
Figure III.7 : kits d'analyse de la DCO.	58
Figure III.8 : taux d'abattement des paramètres physico-chimiques des effluents de DDA traités par biométhanisation et par évapo-concentration.	58
Figure III.9: Effluent laitier de DDA brut traité par biométhanisation et évapo-concentration	59

Liste des abréviations

A.D.E.M : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

BEA : Bille esculine agar.

BLBVB : Bouillon lactosé billé au vert brillant.

BSN : La société Boussois Souchon Neuvesel.

C.D.E.R : Centre de recherche des énergies renouvelables.

CF : Coliformes fécaux.

Cm³ : Unité du système international (SI) du volume.

CO₂ : Dioxyde de carbone.

CT : coliformes totaux.

D : Dilution.

DCO : Demande chimique en oxygène.

D.D.A : Danone Djurdjura Algérie.

DZA : unité monétaire de l'Algérie.

EPA : Eau peptonée alcaline.

EPI : Eau peptonée exempte d'indole.

Fe²⁺ : Fer ferreux.

FeS : Sulfure de fer.

Gwh : Giga watt heure ; unité d'énergie.

g : Le gramme, unité principale de masse du système métrique.

g/l : Unité de mesure de la concentration massique.

GF/C : Grade filtres en microfibre de verre sans liant (Glace microfiber filters).

GC-MS : Chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse.

H, h : Heure ; unité SI (système international) de mesure du temps.

H₂ : Le gaz dihydrogène.

H₂S : Sulfure d'hydrogène.

H₂SO₄ : acide sulfurique.

HCl : Acide chlorhydrique.

Kcal/kg : kilos calories par kilogramme ; unité d'énergie.

Ktep : kilos tonne équivalent pétrole ; unité de mesure de l'énergie par les économistes de l'énergie.

Km : Unité de mesure de longueur.

l : Le litre ; unité de capacité, pour les liquides ou pour les matières sèches.

m³ : Unité SI du volume.

MES : Matières en suspension.

Min : Minute, unité de temps équivalant à 60 secondes.

ml : Le millilitre ; unité de capacité, pour les liquides ou pour les matières sèche.

ml/min : Un millilitre par minute ; unité de débit.

mm : Le millimètre ;

MM : La matière minérale.

MOP : La matière organique.

N₂ : le gaz azoté.

NaOH : hydroxyde du sodium.

Na_2SO_3 : Sulfite de sodium.

NH_3 : Ammoniac.

NPP : Le nombre le plus probable.

NTU : unité de turbidité néphélométriques .

Pb : Plomb.

pH : Potentiel hydrogène .

S-S : Salmonella-Shigella ; milieu de culture.

SF : Streptocoques fécaux.

SFB : Sélénite F Broth ; milieu de culture.

SPA : Société Par Action.

STEP : Station d'épuration.

TCBS : Thiosulfate, Citrate, Bile, Saccharose ; milieu de culture.

TTC : Triphenyl, Tetrazolium, Chloride.

TWh/an : Le térawatt-heure ; unité de mesure d'énergie.

UFC : Unité formant colonie ; unité de dénombrement des colonies.

UDES : Unité de développement des équipements solaires.

° : Symbole de degré.

' : Symbole de minute, unité de temps équivalant à 60 secondes.

" : Symbole de seconde, unité SI de mesure du temps.

μm : Le micromètre ; unité de mesure de longueur.

°C : Le degré Celsius ; unité de l'échelle de température Celsius.

°C/ min : Degré Celsius par minuté ;

INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

La quasi-totalité des activités industrielles utilisant de l'énergie et des matières premières dans leurs procédés produisent des déchets et/ou des effluents que l'on retrouve ensuite dans le milieu naturel. Le devenir de ces déchets et effluents varie selon les phases du cycle de vie d'un produit qui est en fonction, des matières premières utilisées, de la conception du produit et de la technologie appliquée lors de sa fabrication.

La filière agroalimentaire en générale et les industries laitières en particulier consomment beaucoup d'eaux. La production industrielle augmente d'une année à l'autre, ce qui génère d'énormes rejets. En effet, les effluents produits par les unités de production du lait et de fromages sont parmi les rejets les plus polluants pour l'environnement, avec des DCO (Demande chimique en oxygène) supérieures à 10g/l (PAPACHRISTOU et al, 1997).

Ces rejets, riches en matière organique, peuvent être recyclés et transformés par des procédés biotechnologiques qui constituent une solution de choix pour remédier aux problèmes de pollution. L'une de ces technologies est la biométhanisation. C'est une digestion anaérobie qui aboutit à la formation de deux co-produits : un résidu méthanisé et le biogaz. Le digestat, qui comprend les matières résiduelles non dégradées, est utilisé pour l'amendement et l'irrigation des cultures. Quant au méthane, par son caractère combustible, confère au biogaz sa valeur énergétique (SAIDI et ABADA, 2007).

L'utilisation de ce procédé en Algérie remonte aux années quarante. L'exploitation avait permis la mise en marche des phares et des bouées qui ont illuminés toute la côte algérienne et la fabrication de la première voiture expérimentale fonctionnant au biogaz au niveau africain. Cette énergie renouvelable, bien que peu coûteuse, a été délaissée au profit de l'énergie fossile (AMROUCHE et IGOUD, 2005).

Mais face à l'augmentation des rejets riches en matières biodégradables contenues dans les déchets ménagers ; les déchets agricoles et d'élevage, les biodéchets issus des industries agroalimentaires et des stations d'épuration des eaux usées (STEP), le recours à la biométhanisation représentera certainement la meilleure solution pour la préservation de l'environnement et l'approvisionnement en énergies pour les régions enclavées, les fermes agricoles, les usines et les STEP (YASSAA, 2016).

En effet, durant le premier semestre 2019, près de 518.000 tonnes de déchets ménagers ont été collectés, l'industrie oléicole (huile d'olive, grignons) a un potentiel annuel de production de 105 millions de m³ de biogaz et l'industrie laitière (lactosérum) produirait l'équivalent de 2,3 millions de m³ de biogaz. Soit un total pour toutes ces sources de plus de 1,104 milliards de m³ de biogaz/an pour un potentiel de production électrique supérieur à 2032,6 Gwh sont à exploiter (REDACTION AE ,2019).

Cette étude a pour objectif principal l'optimisation du procédé expérimental de méthanisation des effluents de l'industrie laitière Danone Djurdjura Algérie (D.D.A), la réduction du taux de matières organiques et la décontamination par évapo-concentration. Pour se faire, nous avons, dans un premier temps, procédé à la caractérisation physico-chimique et microbiologique des effluents bruts de DDA, nous avons par la suite expérimenté trois modes de biométhanisation (Biométhanisation mésophile, biométhanisation mésophiles additionnée d'une pré-culture polymicrobienne et biométhanisation thermophile additionnée d'une pré-culture polymicrobienne) à fin d'optimiser la dégradation de la matière organique jusqu'au stade de minéralisation et pour produire un maximum de biogaz. Ce dernier a fait l'objet d'une évaluation quantitative et qualitative. L'effluent méthanisé a subi un traitement thermique par évapo-concentration pour le désinfecter et compléter le processus de dépollution. En fin, une évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique des effluents ainsi traités a été effectuée pour apprécier l'efficacité du dispositif expérimental et étudier les possibilités de réutilisation de l'eau épurée.

CHAPITRE I

GENERALITES

I. CHAPITRE I. GENERALITES

1. Historique de DANONE

Les origines de Danone remontent à 1966, lorsque la fusion de deux sociétés verrières françaises, Glaces de Boussois et Verrerie Souchon Neuvesel, donne naissance à la société Boussois Souchon Neuvesel “BSN”. A partir de 1970, BSN engage une stratégie de diversification dans l’alimentaire en rachetant successivement trois des principaux clients de son activité de verre d’emballage : les Brasseries Kronenbourg, la Société Européenne de Brasseries et la Société Anonyme des Eaux Minérales d’Evian. A la suite de ces acquisitions, BSN devient le leader français de la bière, des eaux minérales et de l’alimentation infantile. En 1972, Antoine RIBOUD, alors Président-Directeur General de BSN, pose les bases du “double projet économique et social”, dans lequel s’ancre depuis la stratégie de l’entreprise. Un an plus tard, en 1973, BSN fusionne avec Gervais Danone, un groupe alimentaire français de produits laitiers et de pâtes, devenant ainsi le premier groupe alimentaire français (Archive DANONE, 2017).



Figure I.1 : Le logo de DANONE, 2017

2. Danone dans le monde

Danone est l’un des leaders mondiaux dans le secteur alimentaire avec un chiffre d’affaire de 24.7 milliards d’euros en 2017(Archive DANONE, 2017) (Figure I.2).

Ces positions de leader sont (Archive DANONE, 2017) :

- Numéro 1 mondial : produit laitiers frais et produits d’origine végétale.
- Numéro 1 européen : nutrition médicale.
- Numéro 2 mondial : nutrition infantile et eaux conditionnées.

Elle est présente dans plus de 120 pays, dont les tops 3 en pourcentage des ventes en 2017 sont (Archive DANONE, 2017) :

- Numéro 1 : Les états unis.
- Numéro 2 : la France.
- Numéro3 : la chine.



Figure I.2: Implantation des industries Danone dans le monde,
(DANONE-rapport annuel, 2017)

3. Danone Djurdjura Algérie SPA

C'est en 1948, que mûrit dans l'esprit du groupe BETTOUCHE, l'idée de création d'une petite unité de fabrication de Yaourt avec des moyens très limités, l'unité n'a démarré qu'avec une remplisseuse de pots préformée d'une capacité de 1000 pots/heure. En octobre 2001, le leader mondial des produits laitiers frais Groupe DANONE a conclu un accord de partenariat avec la laiterie DJUDJURA, leader du marché algérien des produits laitiers frais en créant Danone Djurdjura Algérie, dont le capital est estimé à 2.700.000.000 DZA. DANONE ne cesse de s'agrandir, elle a acquit en 2015 l'usine des produits laitiers « Trèfle » de Blida. La société est aujourd'hui, le deuxième acteur dans cette catégorie (produits laitiers frais) sur le marché local avec 30% de parts de marché (Archive DANONE, 2012).

3.1. Situation géographique

Danone Djurdjura Algérie est implantée dans la zone industrielle de « Taharacht », véritable carrefour économique de la wilaya de Bejaia (figure I.3). En effet, cette situation géographique offre à l'entreprise une panoplie d'avantage dont le fait qu'elle est (BOUSAAD et al, 2017) :

- A quelques dizaines de mètres de la voie ferrée et à 02 Km d'une grande agglomération (AKBOU).
- A 60 Km de Bejaia, chef-lieu de la région et pôle économique important en Algérie dotée d'un port à fort trafic et un aéroport international et à 170 Km à l'est de la capitale Alger.
- Présence de plusieurs acteurs économiques importants tels que : All Plast, Soummam, Ifri.



Figure I.3 : situation géographique de DDA prise par Google earth

3.2. Capacité de production

Danone Djurdjura Algérie propose aux consommateurs une large variété de produits laitiers frais tels que les yaourts étuvés, les crèmes desserts (Danette), Danao (petits et grands formats), yaourt à boire (Danino et activia sbah), les yaourts brassés, le fromage frais (Danino) et les yaourts brassés aux fruits (Activia). Les capacités de production de ces produits sont consignées dans le tableau I.I (Archive DANONE, 2017).

Tableau I.1 : Capacité de production de l'entreprise DANONE DJURDJURA (Archive DANONE, 2017)

Lignes	Type de produits	Capacité (U/h)
Ligne 1	Yaourt étuvé	20160
Ligne 2	Yaourt étuvé	36000
Ligne 3	Yaourt étuvé	20 160
Ligne 4	Yaourt étuvé	43 000
Ligne 5	Yaourt étuvé	40320
Ligne 6	Crème dessert (Danette)	12 000
Ligne 7	Danao GF	4500
Ligne 8	Danao PF	4500
Ligne 9	Yaourt à boire (Danino)	8 500
Ligne 10	Yaourt à boire (activia sbah)	6500
Ligne 11	Yaourt brassé	38 880
Ligne 12	Yaourt brassé	9000
Ligne 13	Danino (fromage frais)	20000
Ligne 14	Activia brassé aux fruits	28880

4. Description de la basse Soummam

Le bassin versant de la Soummam est situé dans la partie Nord de l'Algérie, il accède à la méditerranée par le golf de Bejaia ; tandis que la grande partie de son territoire se trouve retiré dans le continent. Il s'étend dans la direction Nord-est-ouest vers le Sud-est dans la région de Sétif. Il est situé entre 3°40'- 4°45' de longitude de Greenwich et 36°-36°45' de latitude Nord

(BAHLOUL, 2014). La Soummam présente trois types de climats : humide sur le bassin-versant nord, subhumide le long de la Soummam entre Sidi-Aich et Bejaia et une zone semi-aride le long de la vallée de la Soummam entre Tazmalt et Sidi- Aich (MOUNI et al, 2009). Oued Soummam est connue par l'importance écologique que représente cet écosystème pour la région de Bejaia et par la forte pression que subit celui-ci en matière de pollution. En effet ce secteur continue à recevoir beaucoup de rejets polluants à cause de nombreuses unités industrielles installées sur ses rives et ses affluents, sans oublier les décharges publiques (Sidi Aiche, Temezrith) et le nombre important des huileries modernes de la région (HAMITOUCHE et HADERBACHE, 2017).

5. Importance économique de la vallée de la Soummam

La vallée de la Soummam joue un rôle essentiel dans le développement économique régional et national. Dans le domaine agricole elle représente un potentiel important des terres irrigables économiquement. Ces terres sont situées sur les bordures immédiates de l'oued Soummam. Les principales spéculations agricoles sont les agrumes, olives, les vignes, les arbres fruitiers et les cultures maraichères. La région abrite un certain nombre de villes et de villages qui attirent et sédentarisent de plus en plus la population montagnarde de la région. L'industrie quant à elle, occupe une place importante dans le développement économique de la région. Notamment avec l'expansion des zones industrielles d'Akbou, El kseur, et de Bejaia (ADJAOUD, 2006).

6. Importance écologique de la vallée de la Soummam

6.1. La faune

L'inventaire des mammifères dans la vallée de la Soummam fait apparaître la présence de 41 mammifères dont 26 sont protégés par la loi soit 63,41% du patrimoine mammalogique (LAHDIR et TAYEB-CHERIF, 2015).

Quatre catégories d'oiseaux ont été décrites par DAHMANA (2003), le long de la Soummam, représentées comme suit : les estivants nicheurs : 29 espèces, les sédentaires nicheurs : 39 espèces, les hivernants : 10 espèces et les visiteurs de passage (pré ou post nuptial) : 10 espèces. Parmi les espèces inventoriées, 29 (soit 27,61%) jouissent de statut d'espèces protégées par la loi algérienne (décret n°83-509 du 20 août 1983 complété par l'arrêté du 17 janvier 1995), dont 9 rapaces, 5 échassiers, 2 oiseaux d'eau, 4 passereaux et 9 autres.

Les études sur les macro-invertébrés de l'oued Soummam, ZOUGGAGHE (2010), HADDADI et BENMOUHOU (2002), RAHMANI et KHAROUNI (2005), ont dressé des listes systématiques qui révèlent la présence de 34 taxons repartis en 4 classes (insectes, oligochètes, hydracariens et gastéropodes).

Le peuplement ichthyologique de l'oued Soummam est représenté par 19 espèces réparties en 11 familles (LAHDIR et TAYEB-CHERIF, 2015). Les données les plus récentes sur l'ichtyofaune dans la vallée de la Soummam sont celles rapportées par CHENNI (2005), BACHA et AMARA (2007) ainsi que AMALOU et MOULAI (2013). La synthèse de l'ensemble des données de ces auteurs a permis de compiler une liste composée de 21 espèces de poissons réparties en 12 familles. Parmi les espèces répertoriées, 4 sont signalées comme introduites (*Cyprinus carpio*, *Rutilus rutilus*, *Alburnus alburnus* et *Gambusia holbrooki*) et les 17 autres en tant qu'autochtones. La richesse en poissons représente près de 44 % de l'ichtyofaune algérienne (48 espèces selon AMALOU et MOULAI, 2013).

6.2. La flore

La vallée de la Soummam est marquée par la présence d'une végétation naturelle arbustive. Elle occupe une superficie de 27 364 hectares, caractérisée par la présence de nombreuses essences ligneuses voir les plus dominants comme : le chêne liège, le pin d'Alep, le chêne vert et le peuplier. En plus des forêts naturelles, il existe aussi des forêts artificielles à *Eucalyptus camaldulensis* qui a été introduite d'Australie (CHENNI, 2005).

L'oued Soummam représente une richesse remarquable de la flore algale. L'étude de BACHA (2003) a permis de recenser un total de 107 taxons dans l'ensemble de l'oued Soummam et le marais de Tamellaht, (62 taxons) répartis en quatre embranchements : Chlorophytes (44%), Chromophytes (26%), Schizophytes (19%) avec la présence remarquable de l'amont en aval de *Pseudanabaena crassa* (Espèce propre à l'Asie et l'Europe), et Euglenophytes (11%). La lagune de Tamellaht abrite 72 taxons répartis en cinq embranchements : Chromophytes (38,89 %), Schizophytes (38,89 %), Chlorophytes (22,22 %) avec la présence de *Phytherios viridis* (espèce rare), Euglenophytes (5,56 %) et les Pyrophytes (1,39 %).

7. Effet des effluents urbains et des industriels sur la qualité de l'oued

Soummam et du milieu marin côtier

Plusieurs auteurs ont relevé des anomalies chez les animaux aquatiques pêchés dans l'oued Soummam et dans le golf de Bejaia. Ces anomalies seraient dues à la pollution chimique ou /et parasitaires.

- Dans le cadre d'une étude portant sur le cycle sexuel de *Barbus callensis* (Valenciennes, 1842) de l'oued Soummam, il a été constaté, chez certains individus, des cas d'hermaphroditisme synchrone. Les observations des gonades mettent en évidence 16 cas d'hermaphroditisme parmi les 700 individus examinés, soit 2,28% de l'échantillonnage. Il s'agit de la première signalisation

de l'existence d'hermaphrodisme chez *Barbus callensis* aussi bien à l'échelle macroscopique que microscopique (DJOUDAD-KADJI et al, 2012).

-32 individus appartenant à quatre espèces (*Barbus callensis*, *Mugil cephalus*, *Cyprinus carpio*, *Anguilla anguilla*) de l'Oued Soummam ont fait l'objet d'une évaluation de la qualité chimique. Les résultats obtenus ont confirmé la bioaccumulation de ces poissons pour les métaux lourds. D'ailleurs, *Mugil cephalus* est le poisson qui a accumulé le plus de Pb (81,42 mg/kg) et *Barbus callensis* est présentait les teneurs les plus fortes en fer avec un taux moyen de 186,45 mg/kg (HAMITOCHE et HADERBACHE, 2017).

-ICHALLAL (2016) a signalé l'existence de l'intersexualité chez les femelles de *Trachurus trachurus* (Linnaeus, 1758) de la côte Est algérienne (golf de Bejaia). Deux femelles ont révélé, à l'échelle macroscopique, la présence simultanée des tissus gonadiques mâles et femelles. Les causes précises de l'intersexualité restent méconnues ; cependant, les résultats ont montré que celle-ci est observée exclusivement chez des femelles parasitées par des nématodes, faisant ainsi ressortir le rôle probable de ces parasites comme facteur causal, notamment par accumulation de la pollution aquatique.

-ZIDOUNE (2018) a noté une désorganisation tissulaire et altération cellulaire au niveau du foie et des gonades du chinchard (*Trachurus trachurus*) pêché dans le golf de Bejaia. L'auteur souligne aussi l'éventuelle influence de la pollution sur la biologie des poissons.

-Plusieurs pathologies ont été également enregistrées sur l'anatomie externe des poissons des Anguilles, des Barbeaux, des Rotengles, des Gardons, des Mulets et des Carpes, vivants dans les eaux douces dans la région de Bejaia dont l'Oued Soummam à savoir : l'exophtalmie, l'opacité, la perte des écailles, l'altération de la couleur, diverses types d'hémorragies (corps, nageoires, bouche, tête, yeux, anus), les érosions (corps, nageoires), les lésions (corps, nageoires, tête, plaie cicatrisé), les déformations (nageoires, bouche). L'enroulement et la présence d'une tache verdâtre sur les testicules, et des œdèmes sur les ovaires et présence des altérations et des trous au niveau du foie ont été également signalés (ACHAT et ZAROURI, 2017).

8. Identification des effluents de DDA

8.1. Les masses blanches

Les masses blanches de DDA correspondent environ à 3% du lait transformé. Il s'agit de : lait cru non conforme pour cause de pH, de mouillage, produits (yaourts) semi finis non conformes pour déformation des pots, mauvais étiquetage, essais industriels non conditionnés... (Archive DANONE, 2019).

8.2. Le lactosérum

C'est le rejet principal de l'unité DDA ; il représente le tiers des effluents soit 15000 litres par jour. Le lactosérum renferme une quantité importante des protéines de lait environ 20% (6g/l) et des éléments minéraux (Archive DANONE, 2019).

8.3. Les eaux de lavage et de refroidissement

L'industrie DDA est une grosse consommatrice d'eau, les usages de l'eau sont multiples. Ces eaux représentent 50 à 90% du volume total des effluents : solutions de lavage des machines (eaux, acide, soude), eaux de rejets de la station de traitement des eaux brutes, eaux des sanitaires (Archive DANONE, 2019).

9. Traitement et devenir des effluents de DDA

9.1. Prétraitement et traitement physico-chimique au niveau de la STEP de DDA

La station d'épuration des eaux usées industrielles de DDA est une unité de dépollution des eaux usées avant leur rejet vers le milieu naturel (dans l'oued Tifrih qui se divise après dans l'oued Soummam). La station traite un volume de 1481m³/jour d'eau usée et rejette un volume de 1385m³/jour d'eau épurée. C'est un enchaînement de procédés physico-chimiques avec des rôles et traitements différents (figure I.4) (Archive DANONE, 2012) :

-Dessablage

Il a pour objectif de réduire le risque d'abrasion des conduites et pompes de la STEP dû au sable, il n'a donc pas une fonction de traitement mais de protection. Le dessablage est réalisé dès l'entrée des effluents dans la station d'épuration (dans le regard) ou le sable décante au fond de l'ouvrage avant d'être récupéré par une pompe d'aspiration (Archive DANONE, 2012).

-Le tamisage

Il consiste à faire pomper les effluents du bassin de relevage avec deux pompes qui s'activent en intermittence, pour éviter l'arrêt de la station, et de faire passer ces derniers à travers deux filtres. Ce traitement permet de retenir tous les déchets solides avant de passer au bassin tampon, ce dernier sert à équilibrer les flux entrants et retient les eaux usées entrantes pour permettre le contrôle du pH (Archive DANONE, 2012).

-Bassin tampon

Sur une journée, d'importantes variations de débit et de nature des effluents (eau de lavage, acide, soude ...etc.) sont observées. Ce qui induit d'importantes variations du pH. Des bassins tampons sont nécessaires pour équilibrer les flux entrants. La STEP de DDA est dotée d'un bassin tampon d'un volume de 112.3 m³ (Archive DANONE, 2012).

-Procédés de neutralisation

La neutralisation au sein de la STEP DDA se fait par adjonction automatique de réactifs chimiques grâce à deux pompes : une qui dose de la soude caustique (NaOH) pour la désacidification, l'autre qui dose de l'acide sulfurique (H₂SO₄) pour l'acidification (Archive DANONE, 2012).

-Coagulation / Flocculation

Dans un premier temps, un coagulant (sulfate d'aluminium) est ajouté, un produit qui aura pour effet de neutraliser la charge des particules colloïdales (responsables entre autres de la couleur et de la turbidité) de façon à ce qu'elles ne se repoussent plus les unes des autres. Une fois cette étape accomplie, un flocculant ou aide coagulant (polymère) est injecté qui aura pour effet d'agglutiner toutes les particules devenues neutres, c'est-à-dire les rassembler ensemble pour qu'elles forment des flocons assez gros pour faciliter leur évacuation après flottation. Il faut noter que la coagulation n'est correcte qu'à l'intérieur d'une zone de pH bien déterminée (un pH compris entre 6,30 et 7,20 pour le sulfate d'aluminium) (Archive DANONE, 2012).

-Flottation

La flottation s'effectue dans le clarificateur. Elle consiste à séparer les particules en suspension dans l'eau en les fixant autour de bulles de gaz. A l'inverse de la sédimentation, les particules remontent pour être concentrées dans une boue surnageant en surface. La mousse est par suite récoltée par raclage et mise dans des bassins à boues. Le dégagement d'air dissout est obtenu par détente d'une eau pressurisée produit par un saturateur. L'eau débarrassée des matières en suspension sort claire du clarificateur. Elle est déversée dans le collecteur principal à la sortie de la STEP, doté d'un préleveur automatique pour l'analyse des eaux au laboratoire. Puis cette eau sera déversée dans le milieu naturel (Archive DANONE, 2012).

-Décantation et centrifugation des boues

Les boues ainsi sorties légères et fraîches flottent toujours même dans le bassin à boues, avant toute séparation, on les laisse d'abord décanter puis la centrifugeuse rotative élimine l'eau qui reste des boues et réduit leur volume. Ces boues ont alors un aspect pâteux. Les boues traitées seront stockées dans des citernes puis évacuer vers la décharge publique pour incinération. L'eau extraite des boues est déversée dans le collecteur principal à la sortie de la STEP puis vers le milieu naturel. Si l'eau à la sortie n'est pas assez claire elle ne sera pas rejetée vers le milieu naturel mais sera reconduite vers le bassin tampon pour la recycler (Archive DANONE, 2012).

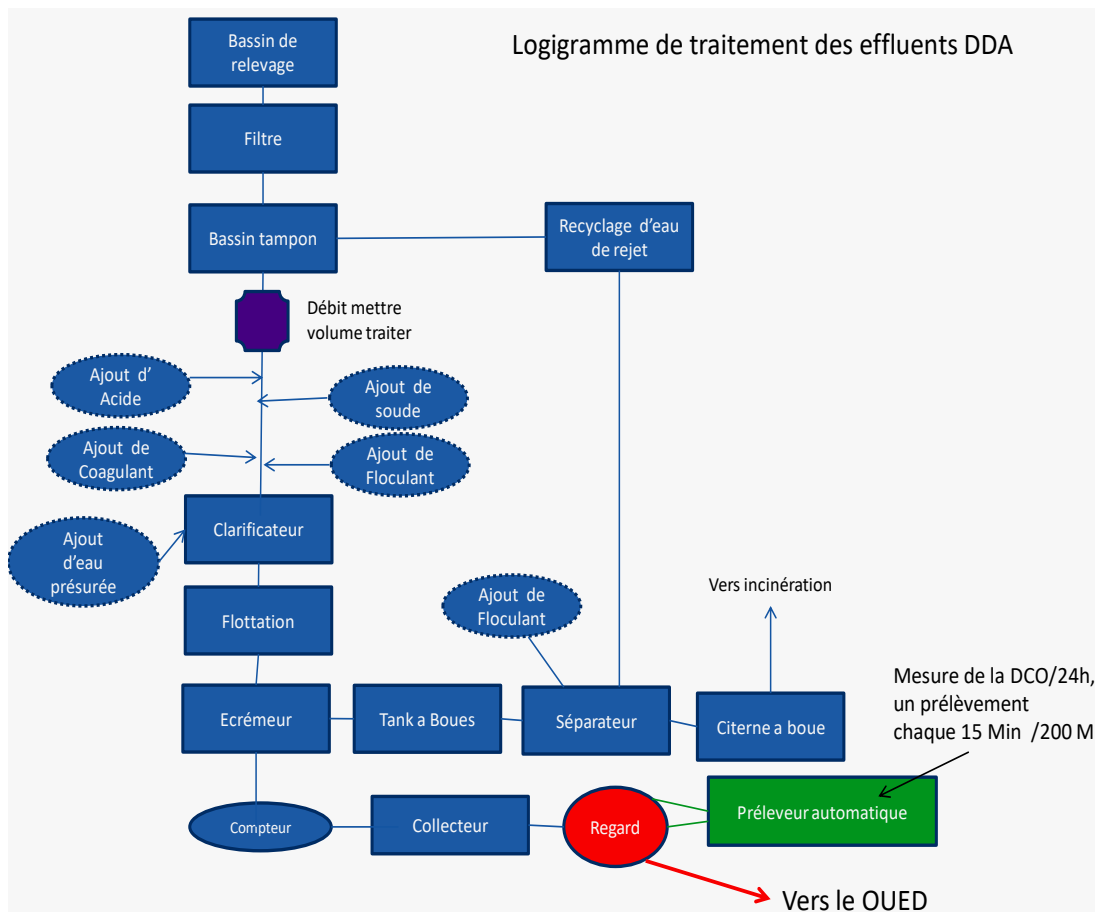


Figure I.4 : Organigramme et fonctionnement de la STEP DDA
(Guide de l'opérateur de la STEP DDA, 2009)

9.2. Incinération

La masse blanche de DDA est séchée dans des espaces larges en ajoutant la chaux afin d'assurer sa déshydratation et sa décontamination puis elle est acheminée dans des citernes vers l'incinérateur, la combustion s'effectue à 600°C jusqu'à l'obtention des résidus blanchâtres. Les boues subissent le même traitement (Archive DANONE, 2012).

9.3. Traitement biologique

Le traitement de ce type d'effluent est basé sur un traitement biologique du fait de sa biodégradabilité. Généralement le traitement est du type boues activées comme dans les stations d'épurations des eaux usées urbaines, cela signifie que la matière organique biodégradable est utilisée par les bactéries pour leur croissance et leur développement. Le plus souvent les procédés sont réalisés en milieu aérobie avec des rendements d'abattement de la DCO proches de 95 % (LOPRENA et al, 2007). Cependant, ARNAUD (2008), propose de traiter les effluents de laiterie de montagne par digestion anaérobie avec production de biogaz avec un rendement

minimal de 80 % sur la DCO. Les effluents de la DDA sont traités uniquement par des procédés physico-chimiques mais un projet de traitement par biométhanisation est en cours d'installation.

10. Valorisation des effluents du groupe international DANONE

Depuis 2000, Danone s'est fixé des objectifs de réduction de sa consommation d'énergie et d'eau et de valorisation de ses déchets. En 2008, le Groupe a renforcé sa démarche en se fixant l'objectif de réduire son intensité carbone sur son périmètre de responsabilité directe : la réduction obtenue entre 2008 et 2013 est de 37,4 %. Le Groupe consolide les quantités de déchets générés par les sites industriels selon quatre catégories (déchets dangereux, déchets non-dangereux non-organiques, déchets non-dangereux organiques et les boues de station d'épuration) et suit le pourcentage de ces déchets lorsqu'ils sont valorisés (Archive DANONE, 2013).

10.1. Compostage et production d'engrais

Les boues générées par les stations d'épuration des eaux usées des industries laitières constituent une source importante de matière organique et d'éléments fertilisants. Le lactosérum peut être aussi utilisé dans le compost. Il est introduit dans une cuve recouverte par le biais d'une bâche. En plus de l'injection de l'air, des vers permettent d'aérer le compost. Le lactose et d'autres composés organiques sont ainsi dégradés. Le liquide résiduel de ce compost est moins polluant que le lactosérum initial et peut être traité via une station d'épuration ou réutiliser pour l'irrigation des cultures (Archive DANONE, 2013).

10.2. Alimentation humaine et animale

Les propriétés nutritionnelles et fonctionnelles des protéines (richesse en acide aminés essentiels) du lactosérum ont rendu son utilisation possible dans de nombreux domaines de l'industrie agroalimentaire, en tant que texturant, foisonnant ou ingrédient nutritionnel.

Le lactose isolé du lactosérum est employé comme substrat de culture pour les bactéries lactiques en charcuterie, mais également dans les domaines de la confiserie, la boulangerie ou la pâtisserie. Il est aussi utilisé comme substrat pour les réactions de Maillard (brunissement non-enzymatique). Globalement, son rôle est de produire des odeurs ainsi que de fixer des arômes et des pigments aux aliments cuits. La poudre de lactosérum est utilisée dans les aliments d'allaitement pour veaux. Elle est également incorporée avec d'autres aliments (hachis de paille et farine) pour l'élevage des porcs et des volailles (Archive DANONE, 2013).

10.3. Bioprocédés de dépollution

Les effluents issus des industries laitières, après avoir subi un prétraitement et un traitement physico-chimique, sont généralement traités par boues activées. Ce procédé biologique aérobie

permet une bonne élimination de la matière organique mais il génère des boues. Ces dernières sont stabilisées par traitement thermique et/ou par biométhanisation. La fermentation du lactosérum et masses blanches permet la réduction de la DCO avec parfois production d'énergie. La fermentation alcoolique du lactosérum génère du bioéthanol. Quant à la fermentation anaérobie en présence de bactérie du genre *Clostridium* aboutit à la formation de l'hydrogène (H_2) et en présence des acétogènes et des méthanogènes produit du biométhane (Archive DANONE, 2013).

11. Biométhanisation des effluents

11.1. Définition de la biométhanisation

La biométhanisation, aussi appelée méthanisation ou digestion anaérobie, est la décomposition en l'absence d'oxygène de la matière organique. C'est un processus naturel fait par diverses populations de micro-organismes présents dans une multitude d'environnements. Dans la nature, on peut observer ce phénomène partout où il y a de la matière organique et une quantité insuffisante d'oxygène, comme dans les marais, les rizières et même dans le système digestif des mammifères et des insectes. Cette dégradation produit le biogaz, un gaz similaire au gaz naturel, formé principalement de méthane et de CO_2 (GORISH et HELM, 2008).

11.2. Etapes de la biométhanisation

La méthanisation comporte une diversité de réactions biochimiques mettant en jeu une microflore complexe, qu'elle soit anaérobie facultative (bactéries hydrolytiques) ou anaérobie stricte (bactéries méthanogènes). Le nombre et la diversité des espèces varient en fonction de la nature des substrats de digestion. L'ensemble de ces microorganismes vit en étroite symbiose d'où la difficulté de les étudier séparément et de définir le rôle de chacun. La représentation schématique (figure I.5) résume les différentes phases de méthanisation. On y distingue quatre principales étapes qui sont rappelées par les numéros I, II, III, IV (LAFARGE, 1995 ; AMROUCHE, 2004).

Hydrolyse et acidogénèse

Lors de l'hydrolyse (I), les molécules organiques complexes se trouvent dégradées en produits plus simples. Dans l'acidogénèse (II), les monomères de l'étape antérieure sont convertis en acides gras volatils, en alcools, en acides organiques, en hydrogène et en CO_2 (AMROUCHE, 2004).

Acétogénèse

Cette étape (III) correspond à la synthèse de l'acétate via les bactéries acétogènes (AMROUCHE, 2004).

Méthanogénèse

Cette étape (IV) est conditionnée par les étapes précédentes puisque l'acétate est le précurseur privilégié des méthanigènes (AMROUCHE, 2004).

A chacune de ces phases, une cascade de réactions chimiques où chaque produit formé devient le substrat de la phase suivante. D'autres réactions se déroulent durant la digestion anaérobie, en utilisant les substances non carbonées. C'est le cas de l'utilisation des sulfates comme source d'énergie pour l'oxydation des acétates, de l'éthanol, du propionate et du butyrate. De plus, des réactions d'oxydation de l'ammonium et de dénitrification peuvent se produire en milieu anaérobie, dégageant l'azote moléculaire N_2 . Finalement, certains micropolluants, peuvent être hydrolysés en conditions anaérobies, ce qui fait de ce processus une étape importante pour le traitement de la pollution récalcitrante (AMROUCHE, 2004).

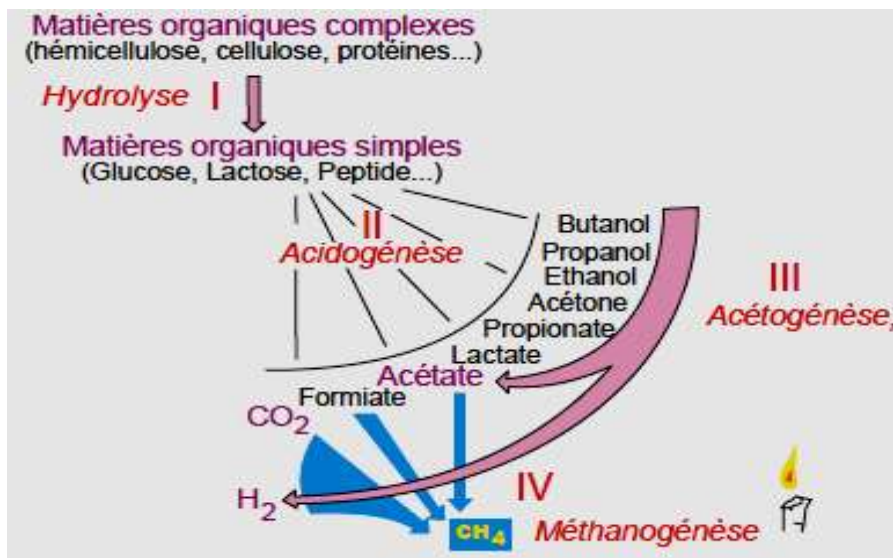


Figure I.5 : Principales étapes de la méthanisation

11.3. Produits de la biométhanisation

Lors de la transformation de la matière organique, la digestion anaérobie produit le biogaz et le digestat (la partie résiduelle du processus). Si le biogaz a une importante fonction comme source d'énergie, le digestat, quant à lui, peut être utilisé comme amendement des sols (AMARANTE, 2010).

11.3.1. Biogaz

La composition du biogaz varie selon la nature des matières organiques mis en digestion et la durée de fermentation. Habituellement, la concentration de méthane se situe entre 50 et 80 %, 60 % étant la valeur la plus fréquemment rapportée par les usines. En plus du méthane, l'autre gaz principal formé est le CO_2 . Les gaz présents en faibles concentrations sont le H_2S , le NH_3 en plus

de la vapeur d'eau jusqu'à son point de saturation. Ces derniers gaz doivent être traités selon l'utilisation prévue pour le biogaz afin de ne pas endommager les équipements (OSTREM, 2004 ; TRUONG, 2004).

11.3.2. Digestat et éluat

Le digestat est un résidu semblable à l'humus, partiellement stable et riche en composés nutritifs. La fraction solide du digestat est compostée avant l'amendement des sols. Une autre possibilité d'utilisation du digestat est sa combustion dans les fours des cimenteries ou des centrales thermiques (AMARANTE, 2010). Selon CAMACHO et PREVOT (2008), le digestat séché à un pouvoir calorifique de 3 500 kcal/kg. La partie liquide, l'éluat, peut être utilisée directement comme fertilisant liquide à cause de sa richesse en éléments nutritifs. La méthanisation permet donc le retour au sol des déchets et sous produits de différentes origines et participe au bouclage des cycles du carbone et des minéraux.

11.4. Facteurs influençant la biométhanisation

Plusieurs facteurs interagissent entre eux et influencent la vitesse et l'efficacité de la digestion anaérobie. Les principaux sont présentés dans les prochaines sections (AMARANTE, 2010).

-Le pH est un des paramètres les plus importants pour la méthanisation et un contrôle accru de sa variation est fondamental pour le bon fonctionnement des réacteurs. Un pH stable indique un système en équilibre et une méthanisation performante. En revanche, des variations du pH, plus souvent sa diminution, sont signes de problèmes. Les bactéries méthanogènes sont très sensibles aux variations du pH : de petites altérations peuvent même menacer la production du gaz. À cause de cela, le contrôle de l'alcalinité est important afin de maintenir le pH dans les valeurs voulues (BERNET et BUFFIERE, 2008).

-L'élévation de la température engendre une augmentation de l'efficacité de la méthanisation. Par contre, cette croissance de l'efficacité n'est pas linéaire, mais affiche plutôt des zones idéales de température (BERNET et BUFFIERE, 2008). Le maintien de la température dans une de ces plages est essentiel pour l'efficacité du processus (OSTREM, 2004).

-Comme pour la digestion aérobie, la proportion entre le carbone et l'azote présents dans la matière organique est importante pour le bon fonctionnement des réacteurs. Des études indiquent que la proportion désirable se situe entre 20 et 30, 25 étant le ratio idéal (OSTREM, 2004).

-Des études montrent que des taux d'humidité supérieurs à 60 % augmentent la production de gaz, qui atteint un maximum environnant 80 %. Au-delà de cette concentration, la production se stabilise dans ce plateau élevé (PRICE ET CHEREMISSINOF, 1981).

- Afin de rendre la méthanisation plus performante, soit par l'augmentation de la vitesse des réactions, soit par une digestion accrue de la matière, quelques prétraitements de la matière

putrescible sont possibles (CAMACHO et PREVOT, 2008). Ces traitements visent surtout à augmenter l'efficacité de la phase d'hydrolyse ou même à la remplacer par une hydrolyse physico-chimique (CARRERE, 2008).

11.5. Divers procédés de méthanisation

On peut distinguer trois types de digestion anaérobie selon les zones de températures dans lesquelles s'opère le processus, soit basse, moyenne ou élevée, les limites variant d'un auteur à l'autre (SAIDI et ABADA, 2007) :

- digestion psychrophile : basse température 15 à 25°C.
- digestion mésophile : température moyenne 30 à 45°C.
- digestion thermophile : température élevée 50 à 65°C.

Les digesteurs peuvent être classés selon la concentration en eau du substrat organique à traiter. De cette façon, on utilise les dénominations (AMARANTE, 2010) :

- Procédés à voie humide : la teneur en matières sèches est inférieure à 15 %. Ce sont des procédés utilisés principalement pour la méthanisation des boues d'épuration, du lisier ou d'autres intrants liquides (AMARANTE, 2010).
- Procédés à voie sèche : la teneur en matières sèches est comprise entre 20 et 50 %. Ces systèmes sont utilisés principalement pour le traitement des résidus solides qui sont mis dans le réacteur sans importants ajouts d'eau (AMARANTE, 2010).

Le flux des matières dans les digesteurs varie selon la technologie utilisée, c'est-à-dire selon les modes d'alimentation et d'évacuation des réacteurs (A.D.E.M.E, s.d.).

- Procédé en mode continu : les digesteurs sont alimentés en continu, avec une quantité entrante de matières équivalente à celle évacuée : ce sont les systèmes les plus utilisés (BERNET et BUFFIERE, 2008 ; A.D.E.M.E, s.d.). Comme il y a un apport continu de matières fraîches, toutes les étapes de la digestion anaérobie se déroulent sans interruption. De cette façon, la production de méthane est constante (OSTREM, 2004).
- Procédé en mode discontinu (*batch*) : les digesteurs sont remplis et, après la fin de la digestion, vidangés. Les réactions de méthanisation se produisent en séquence et la production de méthane prend la forme d'une cloche (AMARANTE, 2010).

11.6. Utilisations du biogaz

Le biogaz est utilisé principalement pour l'obtention d'énergie (MOLETTA, 2008). Un biogaz ayant 60 % de méthane correspond donc à 0,6 l de mazout ou à 5,8 kWh d'électricité (AMARANTE, 2010).

11.6.1. Cogénération-production d'électricité et de chaleur

La génération d'électricité et de chaleur en même temps est l'utilisation la plus courante pour le biogaz. Comme la chaleur est un sous-produit de la génération d'électricité par des moteurs à gaz, son emploi ne rentre pas en compétition avec la production électrique. Elle en est, au contraire, un atout (BERBUE, 2007). Au Danemark, 60 % des habitations y sont raccordées, ce qui rend cette valorisation très intéressante (BERGER et COUTURIER, 2008).

11.6.2. Gaz naturel

Le biogaz peut être purifié et injecté dans le réseau de gaz naturel déjà présent. Dans ce processus, le CO₂ et les autres gaz contaminants -H₂S, NH₃ et vapeur d'eau- sont éliminés pour que le taux de méthane augmente jusqu'à devenir similaire à celui du gaz naturel commercialisé. Cette injection est déjà faite aux Pays-Bas, en Suisse, en Suède et en Allemagne (BERGER et COUTURIER, 2008).

11.6.3. Carburant

Le biogaz doit être épuré avant d'être utilisé comme carburant, dans le but d'éliminer les contaminants et d'augmenter son pouvoir énergétique (CAMACHO et PREVOT, 2008).

11.7. Utilisation du biogaz dans le monde

Malgré le fait que la méthanisation en Europe soit largement appliquée pour la digestion des résidus de ferme et pour la fermentation des boues de stations d'épuration, de plus en plus d'usines de traitements des déchets municipaux se mettent en place. En 2013, l'Italie a produit en biogaz 1815 Ktep, et l'Europe 14400 Ktep (1Ktep = 1 000 tonnes d'équivalent pétrole). L'Allemagne est loin en tête du classement européen des pays producteurs de biométhane avec 10 000 GWh injectés en 2015 dans les réseaux de gaz par 190 unités de production de biométhane, loin derrière arrive le Royaume-Uni en 2^e position avec 51 unités injectant 2 000 GWh, puis les Pays-Bas avec 25 unités injectant 900 GWh, le Danemark avec 14 unités injectant 360 GWh, la Suède avec 60 unités injectant 290 GWh, l'Autriche avec 13 unités injectant 240 GWh, la Suisse avec 25 unités injectant 130 GWh, la France avec 20 unités injectant 82 GWh et la Finlande avec 10 unités injectant 76 GWh. Selon GreenGasGrids (GGG), qui est un programme européen financé par le programme « *Énergie Intelligente en Europe* ». Le biométhane (issu de la méthanisation des déchets et de résidus de cultures) atteindrait 30 TWh/an (soit presque 10 % du gaz naturel consommé en France en 2030. En Asie, la méthanisation est réalisée principalement par des micro-installations autonomes. Ces petites installations domestiques ont comme but central non seulement le traitement des déchets, mais aussi la production du biogaz pour la cuisine, pour l'éclairage ou pour la production d'eau chaude ou d'électricité. Les nouvelles politiques énergétiques chinoises qui préconisent, d'ici

2020, l'obtention de 16 % de son énergie à partir de sources renouvelables. La plupart des pays qui utilisent la digestion anaérobie pour le traitement des résidus putrescibles municipaux recourent aux technologies européennes pour le faire (AMARANTE, 2010).

11.8. Biométhanisation en Algérie

L'utilisation du biogaz en Algérie remonte à 1940. Son exploitation avait permis la mise en marche des phares et des bouées qui ont illuminés toute la côte algérienne. C'est surtout grâce aux travaux de deux chercheurs DUCCELLIER et ISMAN que ce biocombustible convertible en toute forme d'énergie (chaleur, électricité, carburant...) a été exploité. Un premier digesteur fût construit à l'Institut National Agronomique d'El Harrach et en 1948 on assiste à la mise en marche de la première voiture expérimentale au niveau africain. L'année d'après, 08 cuves de 40 m³ furent construites et produisirent jusque dans les années 1960 près de 30 000 m³ de biométhane par an. Le substrat de digestion était récupéré du cheptel qui comptait 15 bovins, 12 chevaux et 25 porcs produisant en moyenne 260 tonnes de fumier par an. Le gaz produit servait pour la cuisine de l'internat (200 élèves), pour les besoins du laboratoire et de 02 tracteurs. En 1951, ces mêmes auteurs ont conçu un tracteur « Caterpillar » dont le moteur présentait une puissance supérieure à celui fonctionnant à l'essence. Un autre digesteur, constitué de 03 cuves de 14 m³ non enterrées en béton mince vibré et armé a été construit en 1953 à l'Ecole d'Agriculture de Guelma (AMROUCHE et IGOUD, 2005).

Le biogaz était à usage domestique, (cuisine et chauffage de l'école qui comptait près de 80 personnes). Après l'indépendance, cette technologie a été malheureusement abandonnée au profit de l'énergie fossile. Ce n'est qu'en 1984 que le Centre des Equipements Solaires de Bouzaréah (actuellement le Centre de Développement des Energies Renouvelables) a relancé les recherches dans ce domaine à travers la réalisation d'un digesteur pilote à Bouzaréah et de deux autres, l'un à Igli (Bechar) et l'autre au parc zoologique de Ben Aknoun. Ces premières tentatives de recherche ont été redynamisées, en 2000, par l'équipe de recherche Biogaz de la Division Bioénergie et Environnement. Les activités se sont concrétisées par la conception et la réalisation d'un premier digesteur de 800 litres puis d'un second de 70 litres (AMROUCHE et IGOUD 2005).

12. Epuration des eaux usées par évapo-concentration

L'évapo-concentration est un procédé de séchage qui trouve des applications dans le domaine de l'industrie agro-alimentaire et de l'environnement. En effet, les denrées alimentaires sont traitées par ce procédé pour réduire leur volume et l'activité de l'eau tout en préservant leur valeur nutritionnelle, augmentant ainsi leur durée de conservation et de commercialisation. Ce

traitement est également utilisé pour la stabilisation et la concentration des boues issues des stations d'épuration des eaux usées. L'évapo-concentration reproduit en partie le cycle naturel de l'eau (cycle hydrologique) grâce au phénomène de changement de phase liquide-vapeur. Dans ce procédé, l'énergie utilisée pour l'évaporation peut être conventionnelle comme pour le traitement industriel des aliments ou solaire pour la potabilisation des eaux saumâtres et marines (A.D.E.M.E, 2017).

En 2012, un distillateur solaire à effet de serre expérimental a été utilisé pour l'épuration des eaux usées urbaines de la wilaya de Tipaza (IGOUD, 2012). Ce dispositif a permis non seulement l'abattement de la charge polluante (DBO_5 , DCO et MES) mais aussi la désinfection de l'eau (élimination des indicateurs de contamination fécale et des germes pathogènes). Ce dispositif a été baptisé SOWAT (de l'acronyme Solar Wastewater Traetement). Il a été expérimenté également pour le traitement des eaux de lavage des imprimantes industrielles contenant des colorants résiduels. Les résultats obtenus étaient conformes aux normes d'épuration (IGOUD, 2015).

Le distillateur solaire à effet de serre a été par la suite intégré, comme un élément unitaire à multiplier, dans la conception d'une station solaire hybride d'épuration et de réutilisation des eaux usées urbaines. Le fonctionnement optimal en continu du « distillateur-épurateur » est assuré par un système énergétique hybride et multi-sources (IGOUD et al, 2017).

CHAPITRE II
MATERIEL ET
METHODES

II. CAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

1. Identification des réseaux de rejet de DDA et échantillonnage

Les différents points de rejets des effluents de DDA et leurs itinéraires de l'usine vers la STEP sont illustrés ci-dessous, selon le schéma décrit dans l'archive de DANONE (2012).

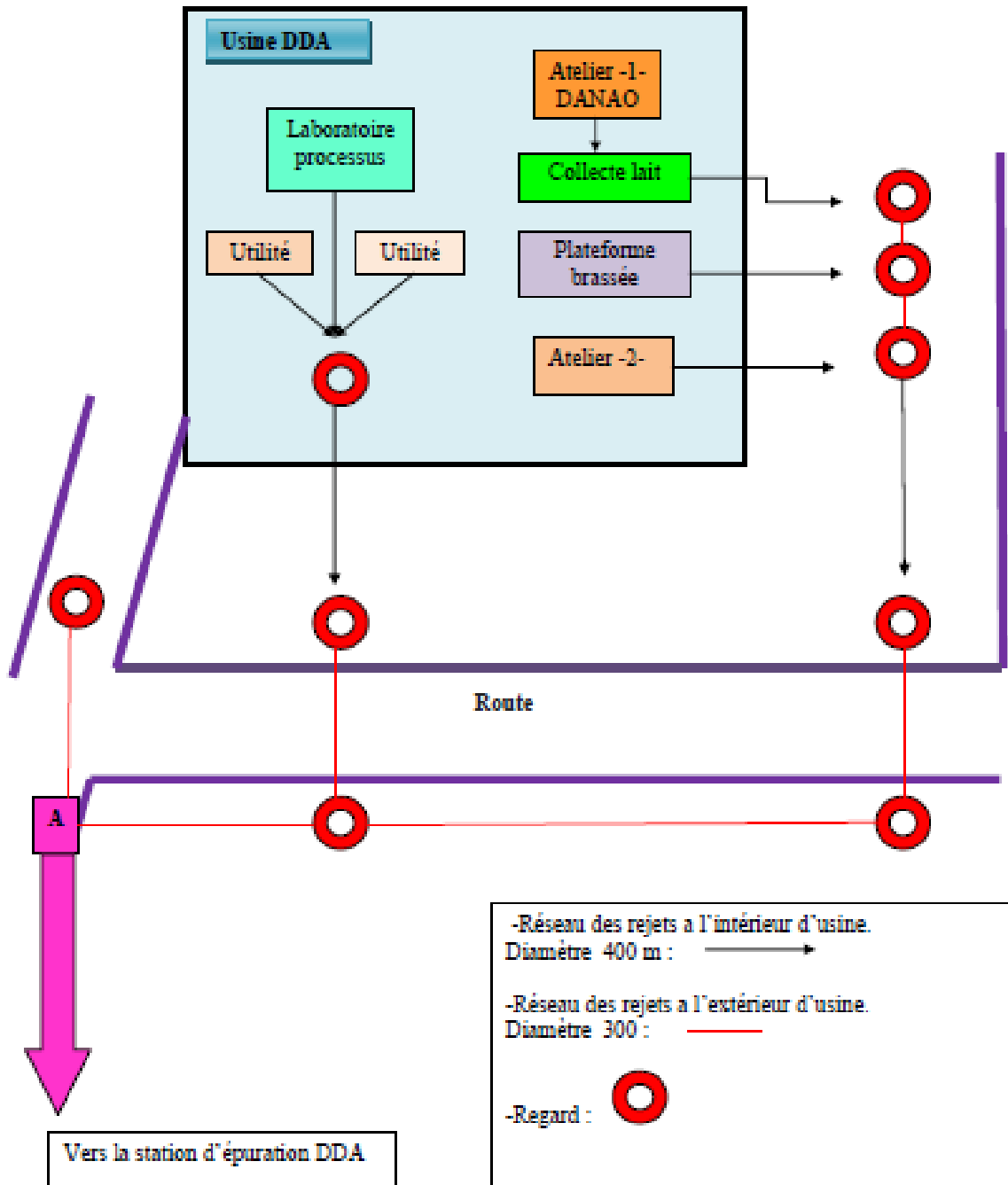


Figure II.I : Les points de rejets de DDA et leurs itinéraires de l'usine vers la STEP

Le prélèvement à des fins d'analyse, est effectué avec des préleveurs automatiques à l'entrée de la STEP (eaux usées brutes). Les volumes d'effluent prélevés autorisés sont de 0.5 l à 1.5 l Les échantillons sont stockés dans l'enceinte du préleveur à une température de 4°C et transportés jusqu'au laboratoire. Les volumes collectés sont consignés dans le tableau ci-dessous (Tableau II.1).



Figure II.2 : Préleveur d'effluent de la STEP DDA

Tableau II.1 : Les quantités d'effluent DDA prélevées

Echantillon	Date	Quantité (l)
1	20-05-2019	0.5
2	27-05-2019	0.5
3	28-05-2019	1
4	29-05-2019	1
5	02-06-2019	1
6	04-06-2019	1
7	09-06-2019	1
8	10-06-2019	1
9	11-06-2019	1.5
10	13-06-2019	0.5

2. Suivi et Caractérisation des paramètres physico-chimiques des effluents

DDA

Un ensemble de paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont fait l'objet de cette étude. La DCO, la DBO₅ et la turbidité ont été mesurées au niveau du laboratoire d'analyse d'effluents de la station d'épuration de DDA, tandis que les autres paramètres ont été réalisées aux niveaux des laboratoires de l'ENSSMAL.

Le suivi de ces paramètres a été réalisé quotidiennement pour une période de 10 jours. Les échantillons prélevés durant cette période ont été cumulés et ont fait l'objet des analyses physico-chimiques et bactériologiques.

2.1. La demande chimique en oxygène (DCO)

Principe

La demande chimique en oxygène (ou DCO) est la consommation en dioxygène par les oxydants chimiques forts pour oxyder les substances organiques et minérales de l'eau. C'est l'une des méthodes les plus utilisées pour évaluer la charge globale en polluants organiques d'une eau (rivières, lacs, mer, ou eaux usées ou résiduares industrielles). Les substances oxydables réagissent avec le bichromate de potassium sulfurique, en présence de sulfate d'argent. Le chlorure est masqué avec le sulfate de mercure. La coloration verte de Cr^{3+} sera déterminée par spectrophotomètre (United for water quality, 2001).

Protocole (Standard DANONE, 2018)

- Mélanger l'échantillon pour avoir une solution homogène.
- Pipeter 0.5 ml d'échantillon et le mettre dans le kit d'analyse, bien mélanger.
- Chauffage à 150 °C pendant 2 heures, allumer la plaque chauffante et démarrer le programme en appuyant sur 'START'.
- Une fois le bipé entendu, placer le quitte d'analyse et appuyer de nouveau sur 'START',
- Chauffer le quitte pendant 120 min à 150 °C.
- Une fois les 120 min sont écoulées, faire sortir le Kit chaud ensuite agiter et laisser le refroidir pendant 15 min.
- Allumer l'appareil de mesure, appuyer sur OK, appuyer sur brancher et choisir le nom d'utilisateur, mot de passe.
- Introduire le quitte d'analyse et noter la valeur de la DCO affichée.



Figure II.3 : DCO mètre « HACH DRB200 », Kits : « LCK014 », appareil de mesure « HACH 2100 N »

2.2. La demande biologique en oxygène (DBO₅)

Principe

La demande biochimique (ou Biologique) en oxygène pendant cinq jours, ou DBO₅ est un paramètre indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau ; elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques dissoutes ou en suspension. Lors du dosage de la DBO₅, les bactéries présentes dans l'échantillon d'eaux usées consomment l'oxygène qu'il contient sous forme dissoute. Cet oxygène est remplacé par celui présent dans la partie vide du flacon d'échantillon. Le dioxyde de carbone produit simultanément est piégé par une solution d'hydroxyde de potassium (ou d'hydroxyde de sodium) contenue dans le réservoir du flacon. Cela entraîne une chute de pression dans le système, qui est directement proportionnelle à la valeur de la DBO. Elle est mesurée par le capteur de DBO. Le dosage de la DBO peut alors être directement indiqué en mg/l (LOVIBOND, 2018).

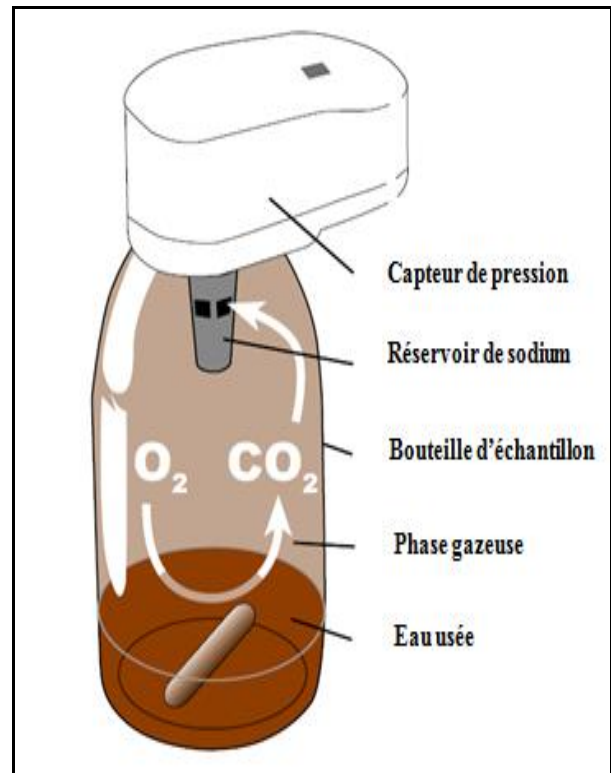
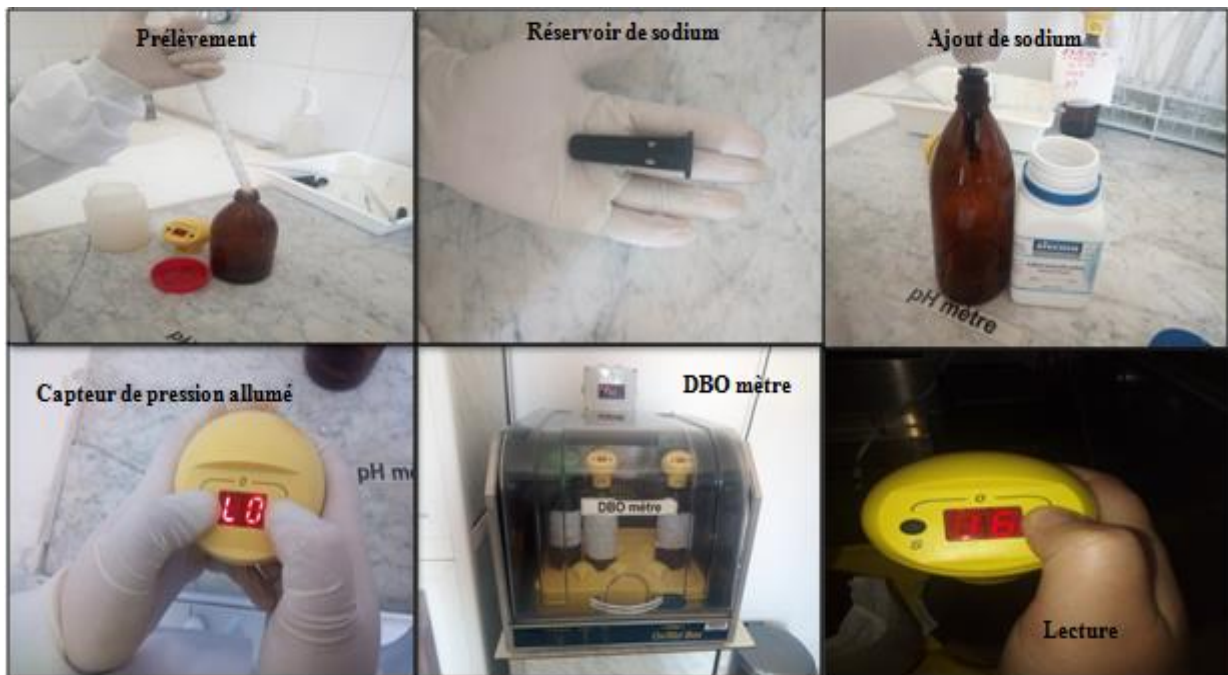


Figure II.4 : Schéma représentatif de processus de mesure de la DBO₅

Mode opératoire (Standard DANONE, 2018)

- Prélever 43.5 ml de l'échantillon, verser ce volume dans un flacon du verre brun.
- Mettre un barreau magnétique.
- Placer un réservoir de l'hydroxyde de sodium.
- Ajouter deux pastilles de NaOH.
- Placer le capteur de pression, allumer le, en cliquant sur les deux boutons « M » et « S » simultanément.
- Placer le flacon dans le DBO mètre à 18°C-22°C pendant 5 jours.
- Cliquer sur le bouton « M » de capture de pression et lire la valeur affichée. La valeur affichée est multipliée par 50 (facteur de conversion) pour obtenir la valeur de la DBO₅ mesurée en mg/l.



2.3. La turbidité

Principe

La turbidité est définie comme la réduction de la transparence d'un liquide par la présence de matières non dissoutes. La turbidité se mesure par la réflexion d'un rayon lumineux dans l'eau en suivant la norme NF EN ISO 7027 (2000) (RUBAN et al, 2008).

Elle est mesurée donc par un test optique qui détermine la capacité de réflexion de la lumière (l'unité de mesure est le « NTU » unités de turbidité néphélométriques) (TANDIA, 2007).

Pour une suspension donnée, l'atténuation ou la diffusion d'une lumière monochromatique dans une direction donnée est proportionnelle à la concentration volumique des particules et donc à la concentration massique si la masse volumique des particules est constante (RUBAN et al, 2008).

Mode opératoire (Standard DANONE, 2018)

- Etalons ($S_0 = <0.1$ NTU ; $S_1 = 20$ NTU ; $S_2 = 200$ NTU ; $S_3 = 1000$ NTU ; $S_4 = 4000$ NTU).
- **Préparation de l'instrumentation**
 - Mettre l'appareil sous tension en cliquant sur « UNITS / EXIT » jusqu'à que le bouton « NTU » s'affiche en vert → clique sur « CAL ».
- **Étalonnage**
 - Essuyer l'étalon.
 - Ouvrir la chambre noire et placer l'étalon.
 - Coiffer la chambre noire et cliquer sur « ENTRER », le prochain étalon est demandé automatiquement par l'appareil après 60 secondes.
 - Placer l'étalon à chaque fois qu'il est demandé.
 - Retirer l'étalon et le stocker verticalement.
 - L'appareil peut alors être utilisé pour un échantillon
- **Mesure d'une turbidité**
 - Remplir le tube de mesure avec l'échantillon.
 - Essuyer le tube de mesure.
 - Introduire le tube de mesure dans la chambre et fermer.
 - Lire directement le résultat après 60 secondes et comparer le par rapport aux étalons « S_0 , S_1 , S_2 , S_3 et S_4)



Figure II.6 : Turbidimètre « HACH 2100N »

2.4. La matière en suspension (MES)

Principe

Les matières en suspension (MES) constituent l'ensemble des particules minérales et/ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée. Elles peuvent être composées de particules de sable, de terre et de sédiments arrachés par l'érosion, de divers débris apportés par les eaux usées ou les eaux pluviales très riches en MES, d'êtres vivants planctoniques (notamment les algues). Elles correspondent à la concentration en éléments non dissous d'un échantillon. La détermination des MES se fera par filtration sur filtres en microfibre de verre compte tenu de l'origine des effluents. La mesure des MES par filtration repose sur le principe de la double pesée : un volume d'eau est filtré sur une membrane (préalablement pesée à vide) et les résidus sur cette dernière sont pesés. Le rapport de la différence de masse sur le volume d'eau filtré donne la concentration des MES en milligramme/litre (TANDIA, 2007).

Mode opératoire (AUDIGIE et al, 1984)

- **Conditionnement des filtres**
 - Préparation de la solution d'eau acidulée à 4 %.
 - Dépôt des filtres GF/C de 47mm de diamètre et de porosité 0.45 µm dans l'eau acidulée pendant 2 H.
 - Rinçages des filtres avec l'eau distillée puis séchage à 50 °C pendant une nuit.
 - Laisser dans le dessiccateur pendant 15 min et peser les filtres vides (p₁).
- **Filtration**
 - Préparation du dispositif de filtration.
 - Rinçage avec l'eau distillée.
 - Faire passer les 100 ml de l'échantillon dans 10 filtres (10ml/ un filtre).
 - Retirement des filtres et séchage à 50°C pendant une nuit.
 - La pesée des filtres après filtration (p₂).

$$MES \left(\frac{mg}{l} \right) = \frac{P2 - P1}{V}$$

Avec :

- P1 : Poids du filtre sec avant filtration (mg).
- P2 : Poids du filtre sec après filtration (mg).
- V : Volume d'eau filtrée (litre).

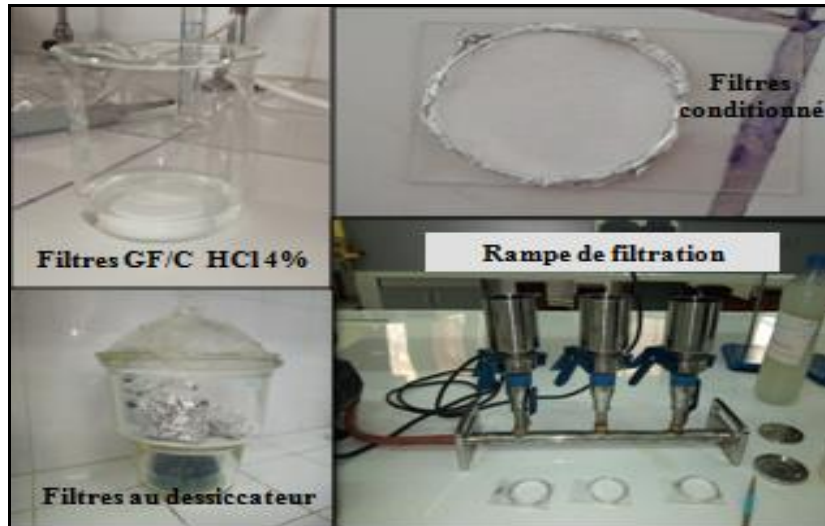


Figure II.7 : Mesure des matières en suspension (MES)

2.4.1. La matière organique et la matière minérale

Principe et mode opératoire (AUDIGIE et al, 1984)

Cette mesure consiste à calciner les filtres utilisés pour la détermination de la teneur des matières en suspension des effluents de DDA dans un four à moufle à 600°C (Figure II.8). La teneur en matière organique particulaire est obtenue par la différence de poids des filtres avec les creusés avant et après calcination comme indiqué ci-après :

$$MOP(\%) = \frac{P1 - P2}{P1} * 100$$

Avec :

-P₁ : Poids du filtre et creuset avant calcination (mg).

-P₂ : Poids du filtre et creuset après calcination (mg).

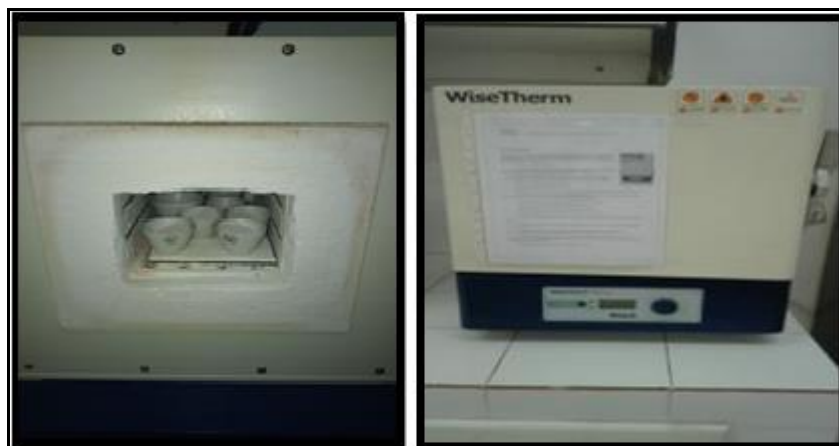


Figure II.8 : Fourre à moufle de type WiseTherm

2.5. Le potentiel hydrogène (pH)

Principe

La méthode est basée sur l'utilisation d'un pH-mètre. Le pH-mètre est un voltmètre un peu particulier qui se caractérise par une très grande impédance d'entrée en raison de la forte résistance présentée par l'électrode de mesure (TANDIA, 2007).

Mode opératoire (TANDIA, 2007)

Après avoir allumé le pH mètre étalonné préalablement, rincer l'électrode avec de l'eau distillée et placer la dans un bécher qui contient l'effluent DDA.



Figure II.9 : pH mètre « inoLab level I »

2.6. Les sels nutritifs

Principe de dosage des sels nutritifs

La méthode utilisée pour le dosage des sels nutritifs (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , SiO_2 et NH_4^+) dans cette étude est le dosage par colorimétrie à flux continu et automatisé, sur l'appareil « Auto Analyser San Plus » troisième génération (Figure II.10) selon les protocoles décrits par le constructeur SKALAR (1996). Le fonctionnement de l'appareil repose sur un principe dynamique, celui de l'analyse liquide en flux continu (Guide SKALAR, 1996) :

- Une veine liquide propulsée en continu par une pompe péristaltique dans un circuit analytique spécifique à chaque paramètre analysé.
- Les réactions chimiques s'effectuent dans cette veine progressivement.
- L'analyse des échantillons est réalisée par enchainement, ce qui permet une grande cadence de travail.
- La chaîne de mesure automatisée est gérée par un micro-ordinateur doté d'un logiciel spécifique.
- A la fin de mesure, le logiciel fournit un fichier numérique contenant les résultats ainsi que toutes les informations relatives à l'analyse.



Figure II.10: Auto analyser San Plus (SKALAR, 1996)

3. Détermination de la charge microbienne

L'objectif des analyses bactériologiques est d'évaluer la qualité hygiénique des effluents de DDA et l'efficacité du traitement biologique et de la désinfection proposés durant cette étude expérimentale ; en recherchant les germes pathogènes qui accompagnent les indicateurs de contamination fécale. Les germes test recherchés sont donc les germes les Coliformes (Coliformes totaux, Coliformes fécaux dont *E. coli*, les Streptocoques fécaux) et les germes pathogènes (Salmonelles et Vibrions).

Dans le présent travail, nous avons opté pour la méthode de fermentation multiples ou du nombre le plus probable pour l'évaluation de la charge microbienne des effluents bruts de DDA et la méthode de filtration sur membrane pour les effluents traités par méthanisation et évapo-concentration.

3.1. Colimétrie en milieu liquide par la méthode du nombre le plus probable (NPP)

Les coliformes se présentent sous forme de Bacilles à Gram négatifs (BGN), non sporogènes, oxydase négative, aéro-anaérobies facultatifs, capables de croître en présence de sels biliaires et capables de fermenter le lactose avec production d'acides et de gaz, en 24 à 48 heures à 37°C. Les coliformes sont considérés comme indices de contamination fécale. La recherche et le dénombrement des coliformes peuvent se faire selon deux méthodes de choix (LEBRES et al, 2002) :

- Soit en milieu liquide sur BLBVB par la technique du NPP (Nombre le Plus Probable) ou la technique de fermentation en tubes multiples qui a pour principe d'ensemencer plusieurs séries de tubes contenant des milieux de cultures liquides caractéristiques pour chaque germes, après incubation on détermine le nombre caractéristique (nombre de tubes positifs pour chaque dilution qui permettra l'établissement du nombre le plus

probable, par le calcul ou la consultation de la table de Mc Grady) (Voir annexe 1). Cette méthode est utilisée pour évaluer la charge microbienne des effluents bruts de Danone.

- Soit par filtration sur membrane à $0,45\mu$ en milieu solide en supposant la disponibilité d'une rampe de filtration.

La technique en milieu liquide fait appel à deux tests consécutifs à savoir (LEBRES et al, 2002) (Figure II.11) :

- Le test de présomption : réservé à la recherche des Coliformes totaux.
- Le test de confirmation : encore appelé test de Mac Kenzie et réservé à la recherche des Coliformes fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption.

Les tubes présentant à la fois : un dégagement gazeux (supérieur au 1/10 de la hauteur de la cloche) et un trouble microbien sont considérés comme positifs (LEBRES et al, 2002).

Le test de confirmation ou test de Mac Kenzie est basé sur la recherche de Coliformes thermotolérants parmi lesquels on redoute surtout la présence d'*Escherichia coli*. Les coliformes thermotolérants ont les mêmes propriétés de fermentation que les coliformes mais à 44°C . *Escherichia coli* est un coliforme thermotolérant qui entre autres produit de l'indole à partir du tryptophane à 44°C , donne un résultat positif à l'essai au rouge de méthyl, ne produit pas de l'acétyl méthyl carbinol et n'utilise pas le citrate comme source unique de carbone (LEBRES et al, 2002).

3.2. Streptométrie en milieu liquide par la méthode du nombre le plus probable (NPP)

Les Streptocoques fécaux ou Streptocoques du groupe D de la classification de Lancefield, se présentent sous forme de cocci à Gram +, sphériques à ovoïdes formant des chaînettes, ne possédant pas de catalase mais possédant l'antigène du groupe D. Ils sont capables de se développer en 24 à 48 heures à 37°C sur un milieu sélectif à l'azoture de sodium en donnant des colonies caractéristiques réduisant le TTC et qui de plus hydrolysent l'esculine en 48 heures à 44°C après repiquage d'une colonie sur une gélose biliée à l'esculine. Leur recherche et leur dénombrement peut se faire de la même manière que pour les coliformes, c'est à dire à l'aide de deux méthodes distinctes selon la disponibilité ou non d'une rampe de filtration et seuls les milieux de culture changent. La recherche et le dénombrement des Streptocoques fécaux fait appel à deux tests consécutifs à savoir (LEBRES et al, 2002) :

- Le test de présomption sur milieu Rothe
- Le test de confirmation : réservé à la confirmation réelle des Streptocoques fécaux à partir des tubes positifs du test de présomption. Les tubes présentant un trouble microbien sont considérés comme positifs, seulement ces derniers, ne doivent en aucun cas faire

l'objet de dénombrement, doivent par contre, absolument faire l'objet d'un repiquage sur milieu EVA LITSKY dans le but d'être confirmés.

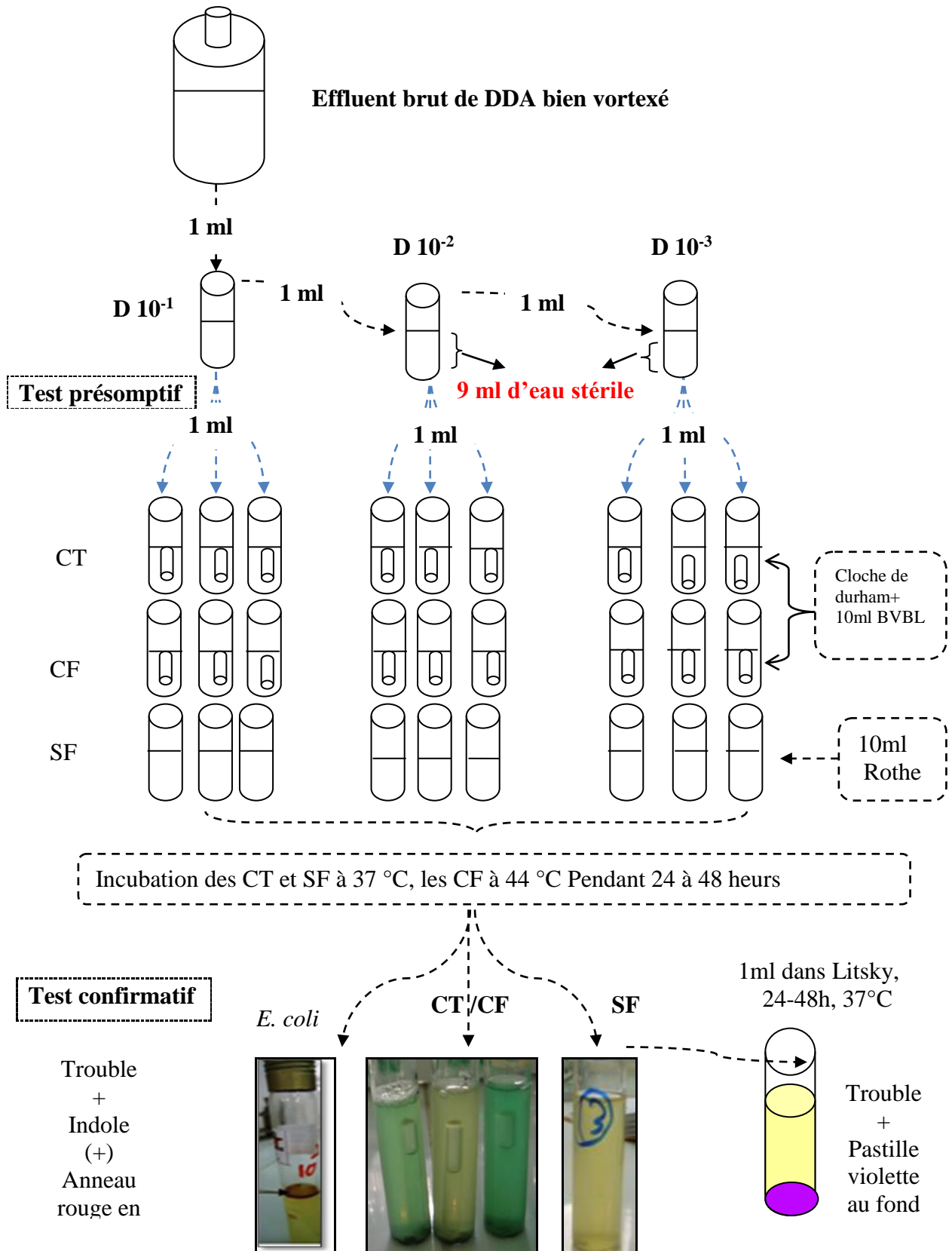


Figure II.11 : Dénombrement des indicateurs de contamination fécale par la méthode des NPP dans les effluents bruts de DDA

3.3. Recherche et dénombrement des staphylocoques pathogènes à coagulase positive

Principe

Staphylococcus aureus se présente sous forme de cocci, en grappe de raisin, Gram +, possédant une catalase et une coagulase. Selon la disponibilité des milieux de culture, trois techniques différentes sont recommandées pour la recherche de *Staphylococcus aureus* à savoir (LEBRES et al, 2002) :

- Méthode de Baird Parker.
- Méthode d'enrichissement sur milieu de Giolliti Cantonii.
- Méthode d'enrichissement sur milieu de Chapman.

Dans cette étude, nous avons opté pour la méthode dénombrement en surface sur Chapman.

Mode opératoire

La figure ci-après résume les principales étapes de recherche des staphylocoques pathogènes.

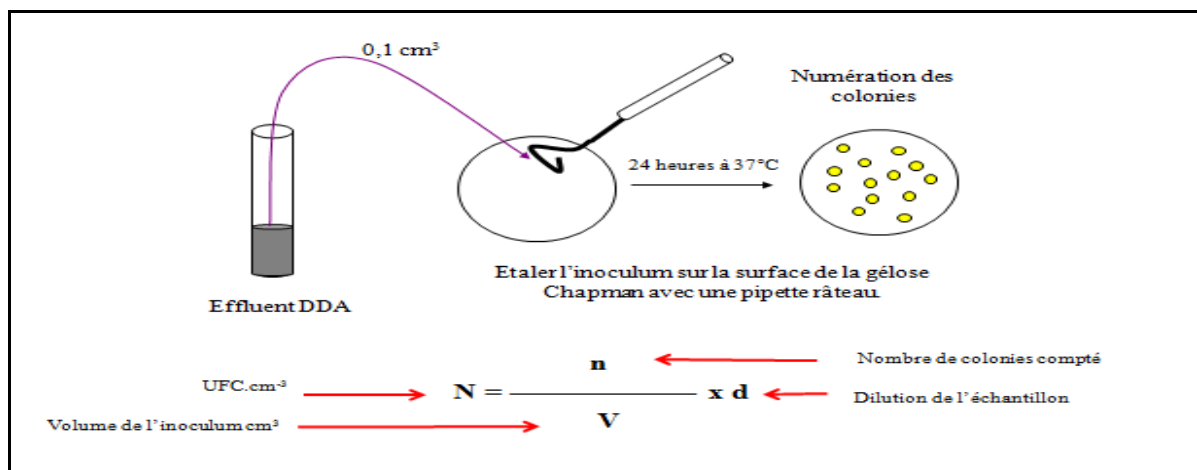


Figure II.12 : Dénombrement des staphylocoques dorés par ensemencement en surface

Lecture

Dénombrer les colonies jaune doré, bombées avec 2 mm de diamètre sur Chapman, test catalase (+) et test coagulase (+) (LEBRES et al, 2002).

3.4. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs

Principe

Les anaérobies sulfito-réducteurs (ASR) se présentent sous forme de bactéries Gram +, se développant en 24 à 48 heures sur une gélose Viande Foie en donnant des colonies typiques

réduisant le sulfite de sodium (Na_2SO_3) qui se trouve dans le milieu, en sulfure qui en présence de Fe^{2+} donne FeS (sulfure de fer) de couleur noire. Les spores des ASR constituent généralement des indices de contamination ancienne (LEBRES et al, 2002).

Mode opératoire

La figure ci-après résume les principales étapes de recherche des ASR.

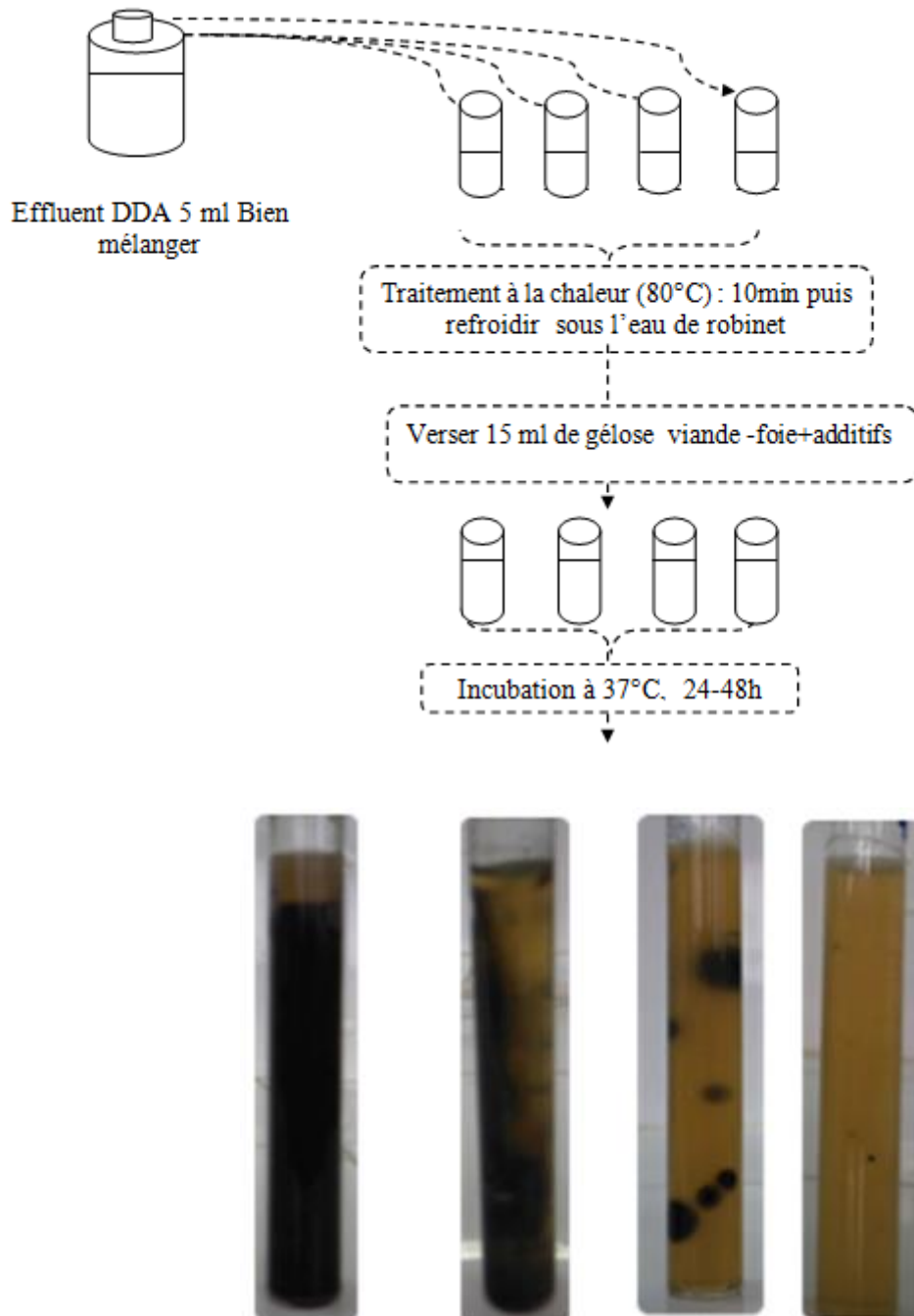


Figure II.13 : Dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs ASR

3.5. Recherche (présence/ absence) des vibrions et des salmonelles

3.5.1. Recherche des vibrions cholériques

Les Vibrionaceae se présentent sous forme de Bacilles à Gram Négatifs droits ou incurvés (BGN), très mobiles, possédant une oxydase, aéro-anaérobies facultatifs, fermentant le glucose sans production de gaz ni d'H₂S (hautement pathogènes) (LEBRES et al, 2002).

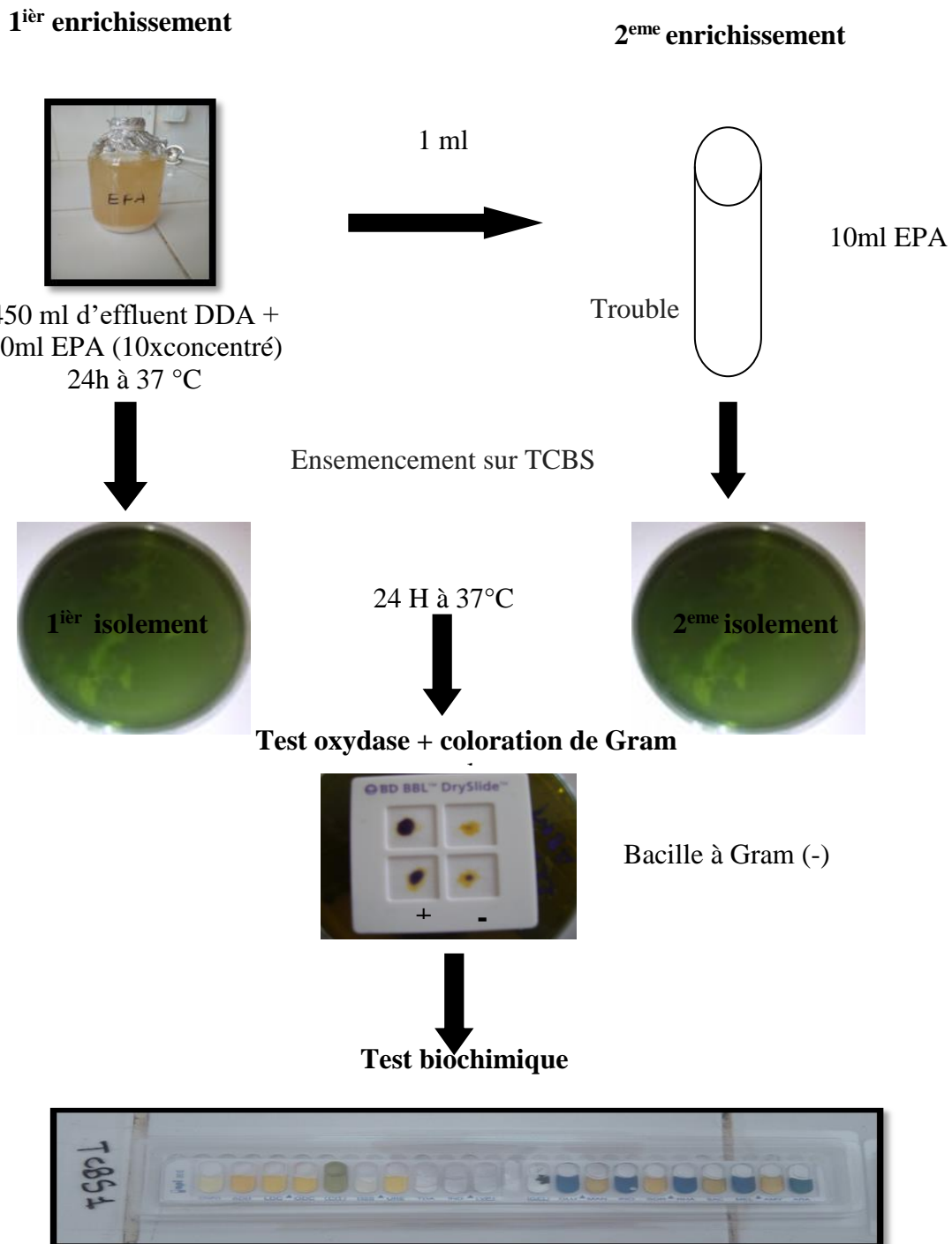
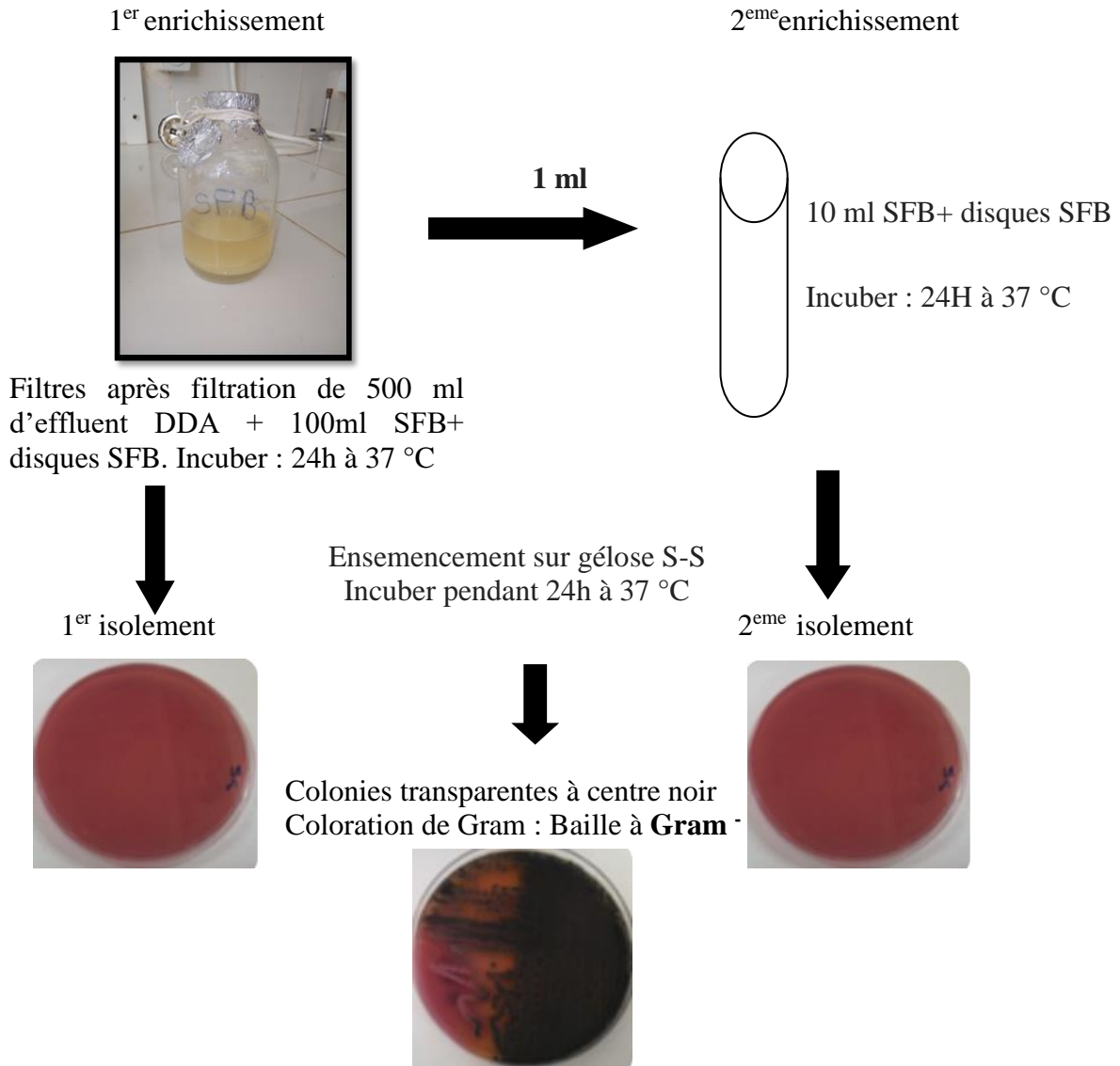


Figure II.14 : Recherche (présence /absence) des vibrions dans les effluents bruts de DDA

3.5.2. Recherche des salmonelles

Les Salmonella sont des entérobactéries qui se présentent sous forme de Bacilles à Gram Négatifs (BGN), ne fermentant pas le lactose, mais fermentant le glucose avec production de gaz et de H₂S ; elles se divisent en deux grands groupes : les mineures et les majeures (hautement pathogènes) (LEBRES et al, 2002).



Identification biochimique :

Oxydase (-), catalase (-), lactose (-), H₂S (±), API20E



Figure II.15 : Recherche (présence /absence) des salmonelles dans les effluents bruts de DDA

4. Traitement des effluents bruts de DDA par biométhanisation et évapo-concentration

4.1. Traitement des effluents bruts de DDA par biométhanisation

4.1.1. Principe

L'objectif de cette étape est de concevoir un dispositif expérimental capable de réduire efficacement la charge de la matière organique contenue dans les effluents bruts de DDA par la digestion anaérobie et caractériser ses produits finaux à savoir : le gaz de méthane et la production du digestat ou éluat qui subira par la suite une désinfection pour un recyclage éventuel en agriculture ou en industrie.

4.1.2. Description du dispositif et des conditions expérimentales

L'expérimentation que nous avons entreprise pour la méthanisation des effluents de DDA est réalisée à l'unité de développement des équipements solaires (UDES, Bousmail-Tipasa). Elle est conduite dans un banc d'essais composé de 3 ballons à fond plat de 2 litres. Chaque ballon, une fois rempli avec l'effluent à traiter, est fermé hermétiquement, pour créer l'anaérobiose. Quant à la récupération du biométhane produit, elle est effectuée par des flexibles en plastique qui sont d'abord connectés à des compteurs à gaz, ensuite à des sacs de stockage de gaz. Chaque ballon est aussi doté d'une sonde de température et il est placé sur un agitateur magnétique chauffant pour assurer l'homogénéité du milieu, le transfert de chaleur et faciliter l'évacuation du gaz produit au cours de la fermentation vers la poche de stockage. La production journalière du biogaz est quantifiée à partir des compteurs à gaz avec un pas de 24 H (IGOUD, 2015) (voir figure II.16). Le processus de biométhanisation a été lancé le 26-06-2019.



Figure II.16 : Dispositif expérimental de la biométhanisation des effluents bruts de DDA

Cette expérience est réalisée en jouant sur les paramètres consignés ci-dessous :

Tableau II.2: Paramètres de biométhanisation des effluents bruts de DDA

Ballon	Paramètre 1 : Température	Paramètre2 : Bactéries	Agitation
1	Mésophile : 35 °C	Sans ajouts	Agité
2	Mésophile : 35 °c	-Ajouts d'une préculture polymicrobienne hydrolytique et acidogène. - Volume : 5ml. -Densité optique : 2.29 (Dilution 10 ⁻¹).	Agité
3	Thermophile : 55 °C	-Ajouts d'une préculture polymicrobienne hydrolytique et acidogène. - Volume : 5ml. -Densité optique : 2.29 (Dilution 10 ⁻¹).	Agité

4.1.3. Quantification et caractérisation du biogaz produit

a-Quantification du biogaz produit

Le volume du biogaz produit est un paramètre important pour le contrôle et la surveillance du processus de la digestion anaérobie. En effet, une production conséquente de biogaz reflète à la fois la stabilité et le bon fonctionnement du digesteur (BOSQUE, 2011). Le rendement en biogaz est le volume de biogaz produit par kilogramme de DCO.

b-Détermination de la composition chimique du biogaz produit par chromatographie en phase gazeuse couplée à une spectrométrie de masse

Principe

La chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (en anglais Gas chromatography-mass spectrometry ou GC-MS) est une technique d'analyse qui combine les performances de la chromatographie en phase gazeuse, pour la séparation des composés d'un échantillon, et de la spectrométrie de masse, pour la détection et l'identification des composés en fonction de leur rapport masse sur charge. Cette technique permet d'identifier et/ou de quantifier précisément de nombreuses substances présentes en très petites quantités, voire en traces. La

CPG repose sur l'équilibre de partage des analytes entre une phase stationnaire et une phase mobile gazeuse. La séparation des analytes repose sur la différence d'affinité de ces composés pour la phase mobile et pour la phase stationnaire. Le mélange à analyser est vaporisé puis transporté à travers une colonne renfermant une substance liquide ou solide qui constitue la phase stationnaire. Le transport se fait à l'aide d'un gaz inerte, appelé « gaz vecteur », qui constitue la phase mobile. Une fois séparées, ces différentes composantes sont détectées en sortie de colonne par un détecteur, le spectromètre de masse. Les composantes sont alors introduites directement dans ce dernier qui est relié au chromatographe. (ZERROUKI et al, 2017).

Mode opératoire

La composition du biogaz est déterminée par chromatographie en phase gazeuse de type Perkin Elmer 600 couplée à une spectrométrie de masse de type Perkin Elmer 600 C (GC-MS) au centre de recherche scientifique et technique en analyses physico-chimiques (CRAPC). La séparation des gaz s'est faite à l'aide d'une colonne de type Rtx®-VMS d'une longueur de 60 m et d'un diamètre de 250 µm, le gaz vecteur utilisé est l'hélium avec un débit de 1ml/min, la température du four est de 40 °C avec une rampe de 3°C/min jusqu'à 180 °C. La température de l'injecteur et de détecteur est de 180 °C. Le volume d'injection est de 4 ml. Le comptage des cellules par unité de volume se fait au moyen de la cellule de Mallassez et au microscope optique de marque NAHITA (ZERROUKI et al, 2017).

4.2. Décontamination des effluents de DDA méthanisés par évapo-concentration

L'évapoconcentration est employée depuis une cinquantaine d'années dans les procédés de fabrication des industries chimiques et agroalimentaires. Pendant longtemps, elle n'a pas été appliquée à la dépollution, en raison principalement de son coût de fonctionnement jugé excessif par rapport aux autres techniques de dépollution. Aujourd'hui, les améliorations du procédé d'évaporation par les constructeurs et le durcissement des contraintes réglementaires font que cette technique est couramment utilisée pour le traitement des effluents (BAZERLI et ESNAULT, 2013).

4.2.1. Principe

Le principe d'une unité d'évapoconcentration (évaporateur) est de porter l'effluent à ébullition pour séparer l'eau du concentrât (liquide ou solide à valoriser) et du condensat, produit dilué (partie liquide évaporée puis ré-condensée). Selon le type de problématique, il peut être recherché la valorisation du concentrât ou du distillat, rarement les deux. Dans le cadre de la concentration des effluents aqueux, le but est d'obtenir un concentrât contenant un minimum d'eau et un condensat pouvant être au mieux réutilisé dans le procès industriel, ou pouvant être

rejeté dans le milieu naturel ou encore être rejeté dans une station d'épuration collective (BAZERLI et ESNAULT, 2013).

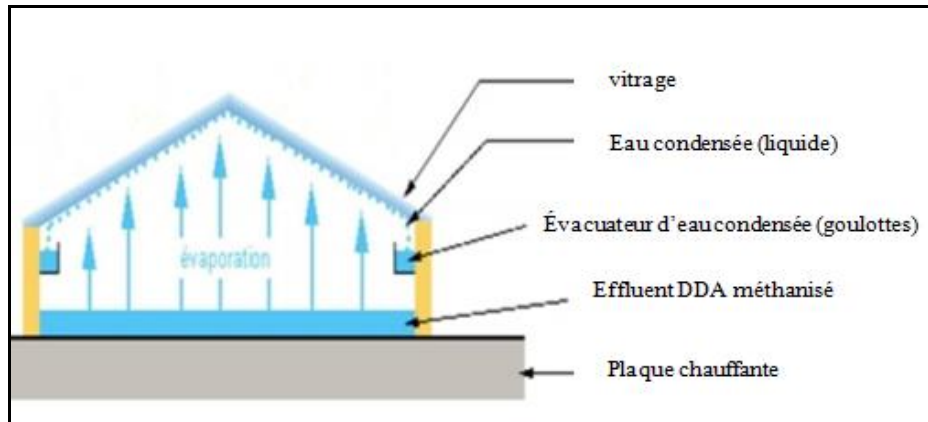


Figure II.17 : Principe de fonctionnement de l'évapo-concentrateur expérimental (IGOUD, 2015)

4.2.2. Mode opératoire (IGOUD, 2015).

Les effluents de DDA soumis à la digestion anaérobie ont été par la suite traités par évapoconcentration afin de les désinfecter et de réduire la teneur en matière organique et inorganique. A chaque fois ; un volume d'un litre de l'effluent méthanisé est versé dans l'e dispositif. Ce traitement thermique est effectué à 150 °C pendant une journée (08 h). L'eau condensée épurée est collectée dans un flacon stérile. Cette eau fera l'objet d'une évaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique.

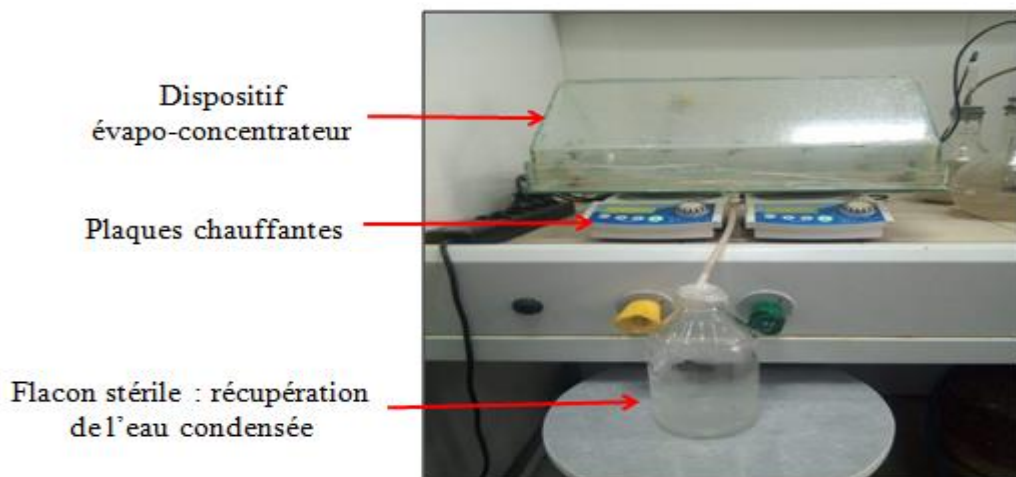


Figure II.18 : Dispositif expérimental de l'évapo-concentrateur de l'UDES

5. Caractérisation des effluents de DDA traités par biométhanisation et évapo-concentration.

5.1. Evaluation des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques (DCO, DBO₅, turbidité, MES, MO, matière minérale, sels nutritifs et pH) des eaux épurées ont été mesurés en suivant les mêmes protocoles décrits précédemment (voir paragraphe II.2.1. Paramètres physico-chimiques).

5.2. Evaluation des paramètres microbiologiques

L'effluent DDA ayant subi un double traitement (biométhanisation et évapo-concentration), la charge microbienne sera relativement faible, c'est pourquoi nous avons opté pour la méthode de filtration sur membrane pour analyser un volume plus important que la méthode du NPP.

5.2.1. Colimétrie en milieu solide par méthode de filtration sur membranes

Principe

Cette méthode consiste à filtrer un volume d'échantillon déterminé à travers une membrane stérile de cellulose stérile de porosité de 0,45 µm. Le filtre sur lequel les bactéries ont été retenues est ensuite déposé sur un milieu de culture solide spécifique de la bactérie recherchée. Après une incubation à la température souhaitée et pendant un temps donné, les colonies formées sont comptées. La colimétrie par filtration est une méthode rapide, simple, normalisée mais nécessitant la disponibilité d'une rampe de filtration et se prête uniquement aux eaux non chargées sinon on risque d'avoir un colmatage des membranes (GOURMELON, 2002).

Mode opératoire (LEBRES et al (2002)) (figure II.19).

- Tout d'abord, il faudrait stériliser un entonnoir à l'aide d'un bec bunsen.
- Le refroidir soit avec l'eau à analyser ou bien avec de l'eau distillée stérile.
- Mettre en place de façon aseptique une membrane de 0,45 µm entre la membrane poreuse et l'entonnoir à l'aide d'une pince stérile.
- Fixer ce dernier avec la pince correspondante et remplir de façon aseptique l'entonnoir avec 100 ml d'eau à analyser.
- Actionner la pompe à vide pour permettre le passage de l'eau à travers la membrane et retirer ensuite la membrane à l'aide d'une pince stérile et la placer dans une boîte de Pétri de 45 mm de diamètre contenant de la gélose TTC.
- Cette membrane sera incubée à 37°C pour les coliformes totaux et à 44°C pour les coliformes fécaux, pendant 24 heures.

Lecture et interprétation (selon LEBRES et al (2002))

Après 24 heures d'incubation, les coliformes totaux et fécaux apparaissent sous forme de petites colonies jaunes ou orangées, lisses, légèrement bombées. Etant donné le caractère sélectif de la gélose TTC ; ne pousseront théoriquement que les coliformes.

- Ne dénombrer que les boîtes refermant entre 15 et 300 colonies.
- Le nombre de colonies trouvées sera exprimé dans 100 ml d'eau à analyser.

5.2.2. Streptométrie en milieu solide par méthode de filtration sur membranes

Principe et mode opératoire (figure II.19).

La streptométrie (dénombrement des streptocoques fécaux) par filtration est tout comme la colimétrie par filtration une méthode rapide, simple, normalisée mais nécessitant la disponibilité d'une rampe de filtration. Le mode opératoire est le même que celui décrit en colimétrie sauf que cette fois la gélose utilisée est SLANETZ et BARTLEY.

En effet, une fois les 100 ml de l'échantillon est filtré, la membrane est retirée à l'aide d'une pince stérile et la placer dans une boîte de Pétri de 45 mm de diamètre contenant de la gélose SLANETZ et BARTLEY. Cette membrane sera incubée à 37°C, pendant 24 heures (LEBRES et al ,2002).

Lecture et interprétation (selon LEBRES et al (2002)).

Après 24 heures d'incubation, les streptocoques fécaux apparaissent sous forme de petites colonies rouges, marron ou roses, lisses, légèrement bombées. Etant donné le caractère sélectif de la gélose SLANETZ ; ne pousseront théoriquement que les streptocoques fécaux.

- Test confirmatif : Les membranes sont retirées et déposées sur gélose bile esculine agar BEA. Après 20 à 50 min les colonies rouges des streptocoques fécaux deviendront noires. Si les colonies appartiennent à un autre genre Bacillus, elles seront plus claires (gris clair).
- Ne dénombrer que les boîtes refermant entre 15 et 300 colonies.
- Le nombre de colonies trouvées sera exprimé dans 100 ml d'eau à analyser.

5.2.3. Recherche et dénombrement des staphylocoques pathogènes à coagulase positive par filtration sur membranes (figure II.19).

Principe et mode opératoire

Le principe est le même que celui qui a été décrit précédemment sauf que cette fois la gélose utilisée est CHAPMAN.

En effet, une fois les 100 ml de l'échantillon est filtré, la membrane est retirée à l'aide d'une pince stérile et la placer dans une boîte de Pétri de 45 mm de diamètre contenant de la gélose Chapman. Cette membrane sera incubée à 37°C, pendant 24 heures (LEBRES et al, 2002).

Lecture et interprétation

Après 24 heures d'incubation, les staphylocoques pathogènes apparaissent sous forme de petites colonies jaune doré, lisses, légèrement bombées. Etant donné le caractère sélectif de la gélose Chapman (mannitol et concentration en sels) ; ne pousseront théoriquement que les staphylocoques. Pour s'assurer qu'il s'agit bien de colonies de *Staphylococcus aureus*, effectuer sur 2 à 3 colonies de chaque boîte des tests biochimiques rapides à savoir (LEBRES et al, 2002) :

- Une épreuve à la catalase (à l'aide de l'eau oxygénée).
- Une épreuve à la coagulase (à l'aide de plasma de lapin).

5.2.4. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs

Le dénombrement des ASR s'est déroulé exactement comme décrit dans le paragraphe (II.2.2.2. Recherche et dénombrement des anaérobies sulfitoréducteurs).

5.2.5. Recherche (présence/ absence) des vibrions et salmonelles

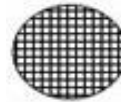
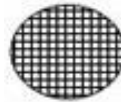
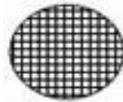
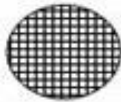
La recherche des vibrions et des salmonelles a été réalisée comme décrit dans le paragraphe (II.2.2.4. Recherche (présence/ absence) des vibrions et salmonelles).



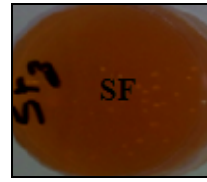
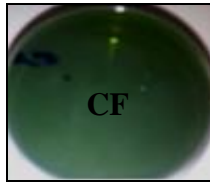
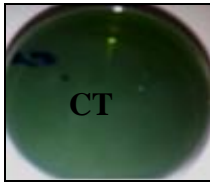
Rampe de filtration



Filtres stériles 0.45 µm



Filtrer 100 ml de l'échantillon.







Déposé la membrane sur de culture approprié

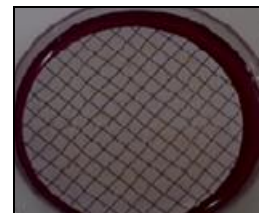
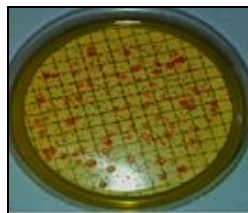


37°C   24h

44°C   24h

37°C   24h

37°C   24h



Colonies jaunes jaunes-oranges

colonies rouges-bordeaux

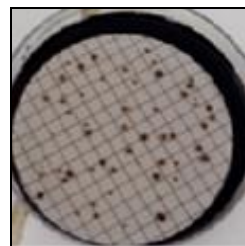
colonie jaune dorées

Tests confirmatifs

Indole +



E.coli



Colonies noires sur BEA



Catalase +



Coagulase

Figure II.19: Recherche et dénombrement des indicateurs de contamination fécale et des staphylocoques pathogènes à coagulase (+)

CHAPITRE III
RESULTATS ET
DISCUSSION

CHAPITRE III. RESULTATS ET DISCUSSION

III. 1. Suivi journalier des paramètres physico-chimiques de l'effluent bruts de DDA

L'évaluation de la pollution d'une eau usée brute se fait d'après la détermination d'un certain nombre de paramètres physico-chimiques caractérisant cette eau usée.

III.1.1. Suivi journalier des taux de DCO et de DBO₅

Les résultats de l'évaluation des paramètres de DCO et de DBO₅ des échantillons prélevés durant la période allant du 20/05/2019 au 13/06/2019 sont exprimés par les graphiques suivants (voir figure III.1.) :

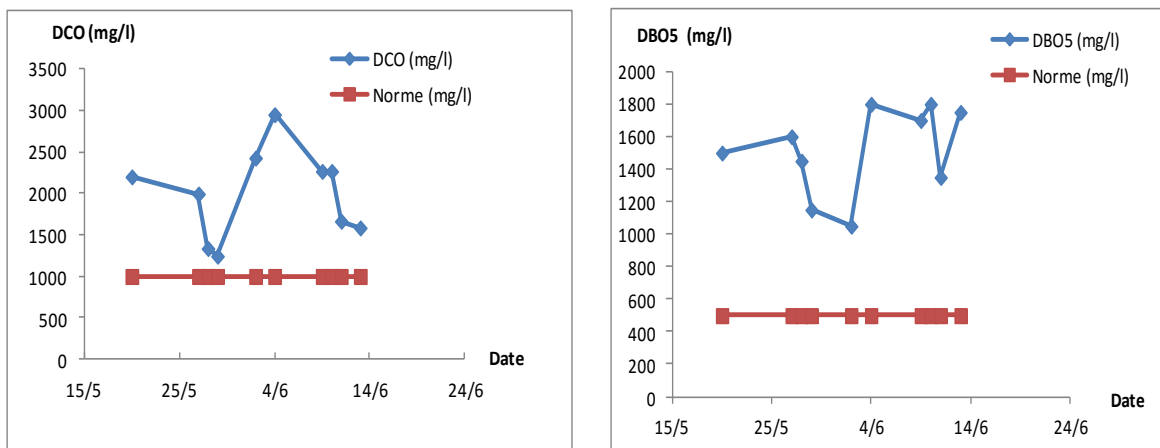


Figure III.1: Variations journalières des taux de DCO et de DBO₅ des effluents bruts de DDA

Les valeurs de DCO et DBO₅ des effluents bruts de DDA sont supérieures aux normes algériennes de rejets dans les réseaux d'assainissement et dans les STEP qui sont respectivement dans l'ordre de 1000 mg/l et 500 mg/l (J.O.R.A ,2009). Cela peut être dû aux rejets des eaux de lavages des équipements de la production et/ ou aux rejets des produits laitiers non-conformes. La présence de matière oxydable dans l'eau entraîne une diminution de la photosynthèse et une consommation de l'oxygène dissous, au détriment de la faune et de la flore (D.R.E.A.L, 2012).

III.1.2. Suivi des variations journalières de la turbidité

Les résultats de l'évaluation des variations journalières de la turbidité des échantillons prélevés durant la période allant du 20/05/2019 au 13/06/2019 sont illustrés ci-après :

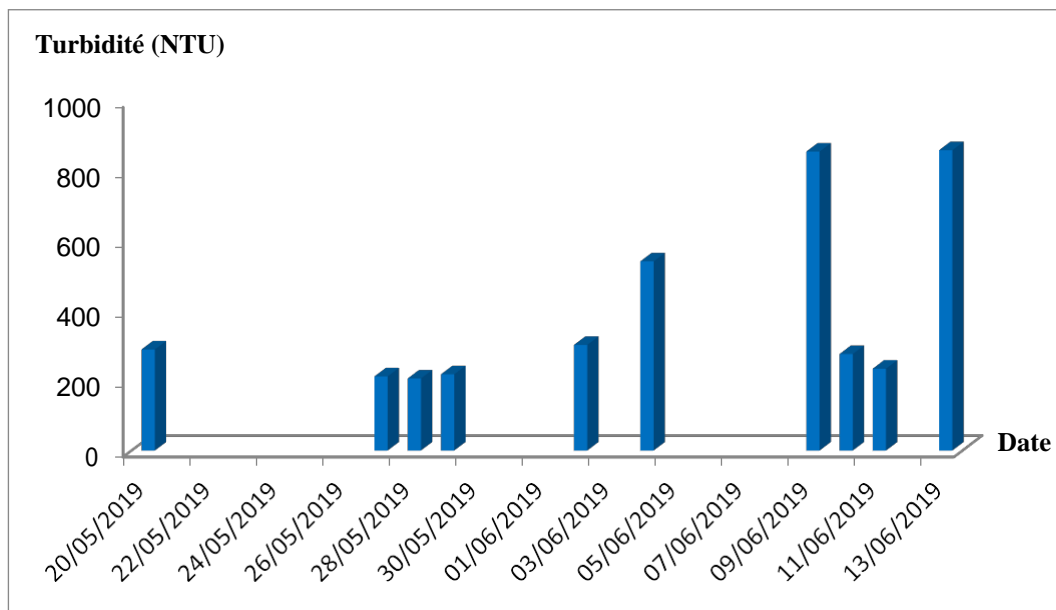


Figure III.2 : Variations journalières de la turbidité des effluents de DDA

Les valeurs de la turbidité varient entre 200 NTU et 1000 NTU, ces hautes valeurs de turbidité caractérisent l'aspect trouble des effluents bruts de DDA. Un tel taux de turbidité de l'eau entraîne une réduction de sa transparence qui réduit la pénétration des rayonnements solaire utiles à la vie aquatique (photosynthèse) (C.P.E.P.E.S.C, 2017).

III.2. Caractérisation physico-chimique de l'échantillon moyen des effluents bruts de DDA

Les résultats de la caractérisation physico-chimique de l'effluent DDA récolté à l'entrée de la station d'épuration et cumulé durant la période allant du 20/05/2019 au 13/06/2019 sont résumés dans le tableau III.1.

De ces résultats, il en ressort ce qui suit :

- Les taux moyens de DCO et de DBO₅ de l'échantillon moyen de l'effluent de DDA sont respectivement dans l'ordre 2467 mg/l et 1855 mg/l. Ces valeurs sont loin d'être négligeables et dépassent les normes algériennes autorisées des rejets industrielles (J.O.R.A ,2009).

Tableau III.1 : Paramètres physico-chimiques caractérisant l'effluent bruts de DDA

Paramètres	Valeurs moyennes	Normes algériennes
DCO (mg/l)	2467	1000 (J.O.R.A,2009)
DBO5 (mg/l)	1855	500 (J.O.R.A,2009)
Turbidité (NTU)	860	-
MES (mg/l)	1079	35 (J.O.R.A,2006)
MO (mg/l)	814	-
MM (mg/l)	265	-
pH	6,74	6,5-8,5 (J.O.R.A,2006)
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0,097	-
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0,044	-
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0,040	-
SiO ₂ (mg/l)	1,44	-

- La turbidité de l'effluent DDA est de 860 NTU (entre 200 et 1000NTU), ce qui définit cet effluent comme une eau usée opaque et turbide. (C.P.E.P.E.S.C, 2017).
- La teneur moyenne de l'effluent de DDA en MES est de 1079 mg/l. Cette valeur est supérieure à la norme limite algérienne de rejet dont la teneur en MES est de 35 mg/l (J.O.R. A, 2006). Ces taux élevés en MES provoqueraient une diminution de la production photosynthétique, le colmatage du lit des cours d'eau et des frayères ainsi que le colmatage des branchies des poissons (D.R.E.A.L, 2012).
- Les concentrations moyennes de la matière organique et la matière minérale

enregistrées dans l'effluent brut de DDA sont respectivement de 814 mg/l et de 265 mg/l. La matière organique représente 75.44 % d'un litre de l'effluent bruts de DDA, ce qui signifie la présence d'une charge organique très importante et fortement polluante (Figure III.3).

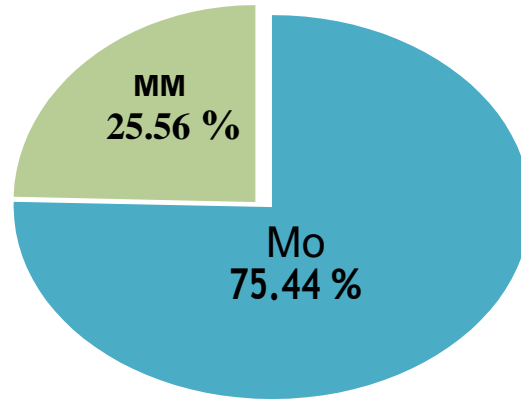


Figure III.3 : Composition chimique moyenne des matières en suspension de l'échantillon moyen des effluents bruts de DDA (MO : matière organique, MM : matière minérale)

- Le pH moyen de l'effluent brut de DDA est de $6.74 < 7$, cet effluent est légèrement acide. Ces résultats sont conformes aux normes algériennes de rejets (6,5 - 8,5) (J.O.R.A, 2006).
- La concentration moyenne en orthophosphate PO_4^{3-} est de 0.040 mg/l ($0.040\text{mg/l} < 0.1$ mg/l), les teneurs sont donc faibles (C.P.E.P.E.S.C, 2017). La présence de PO_4^{3-} dans l'effluent DDA est due au déversement des détergents pour le nettoyage et l'assainissement des locaux.
- La présence des nitrites est due à la dégradation de la matière organique (dérivés azotés) présente dans l'effluent DDA. La quantité des NO_2^- est de 0.044 mg/l, cette valeur est conforme (< 1 mg/l) mais elle peut causer la mortalité piscicole même à des concentrations inférieures à 1 mg/l, d'ailleurs elle pose des problèmes pour les truites au- dessus de 0.01 mg/ l (C.P.E.P.E.S.C, 2017).
- La valeur moyenne des nitrates NO_3^- est de 0.097 mg/l dans l'effluent brut de DDA. La présence de NO_3^- dans ces rejets est due à la dégradation des matières organiques azotés en nitrates. Elles sont moins toxiques et nocives que les nitrites. Chez les poissons adultes, la toxicité des nitrates semble très faible. Ce n'est le cas pour les œufs ou les larves dont la mortalité serait multipliée par deux selon les espèces (C.P.E.P.E.S.C, 2017).

- La valeur moyenne des silicates présente dans l'effluent brute de DDA est de 1.44 mg/l. Le silicium est le deuxième élément en abondance après l'oxygène. Il se présente principalement sous forme d'oxydes dans les minéraux. Dans l'industrie agroalimentaire, on l'utilise sous forme d'additif alimentaire (A.P.E, 2016). Sa concentration varie normalement entre 5 et 25 mg/l (C.E.A.E, 2016).

III.3. Evaluation de la biodégradabilité de l'échantillon moyen des effluents bruts de DDA

Les résultats de l'évaluation des taux moyens de la DCO, la DBO₅ et de l'indice de biodégradabilité des effluents de DDA qui ont été cumulés durant les 10 jours d'échantillonnages sont exprimés dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : l'indice de biodégradabilité de l'effluent DDA

Paramètres	DCO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	Rapport DCO/DBO ₅ .
Valeurs moyennes	2467	1850	1.33 < 2

Le rapport DCO/DBO₅ donne une première estimation de la biodégradabilité de la matière organique d'un effluent donné. On convient généralement les limites suivantes (RODIER, 1996 ; MENOTEC, 2006) :

- DCO/DBO₅ < 2 : l'effluent est facilement biodégradable.
- 2 < DCO/DBO₅ < 3 : l'effluent est biodégradable avec des souches sélectionnées.
- DCO/DBO₅ > 3 : l'effluent n'est pas biodégradable.

Au regard du tableau III.2, l'indice de biodégradabilité de l'effluent DDA est inférieur à 2, ce qui indique que la matière organique contenue dans ces rejets est biodégradable. On peut donc suggérer la biométhanisation comme bioprocédé de dépollution et de valorisation des effluents bruts de DDA.

III. 4. Caractérisation microbiologique de l'échantillon moyen des effluents bruts de DDA

Les résultats des analyses microbiologiques des effluents bruts de DDA sont reportés dans le tableau ci-dessous (tableau III.3).

Tableau III.3 : Charge microbienne de l'échantillon moyen des effluents bruts de DDA

Germes	Nombres de cellules trouvés dans l'effluent DDA	Normes algériennes (J.O.R.A, 2013)
Coliformes totaux	$25 \times 10^8 / 100 \text{ ml}$	-
Coliformes thermotolérants (CF)	$4.5 \times 10^4 / 100 \text{ ml}$	2000 UFC/100 ml
<i>E.coli</i>	0	-
Streptocoques fécaux (SF)	$9.5 * 10^7 / 100 \text{ ml}$	1000 UFC/ 100 ml
Staphylocoques pathogènes	0	-
Salmonelles (5000ml)	0	Absence / 5000 ml
Vibrions (5000ml)	0	Absence / 5000 ml
Anaérobies sulfitoréducteurs	0	-

Au regard du tableau III.3, il en ressort :

- Les taux en coliformes totaux dans les effluents de DDA sont très élevés, mais ces germes ne sont plus considérés comme indicateurs de contamination fécale, car les progrès de la taxonomie montrent qu'ils ne sont pas spécifiques de l'intestin de l'homme ou des autres mammifères à sang chaud ; ils peuvent également se retrouver dans l'environnement. Ce paramètre a été étudié à titre indicatif pour une estimation de la charge globale (VERHILL, 2013).
- Le nombre de coliformes thermotolérants présents dans 100 ml de l'effluent brut de DDA est de 4.5×10^4 , cette valeur dépasse la norme algérienne en vigueur (J.O.R.A, 2013). La charge importante de l'effluent DDA par les coliformes thermotolérants, peut-être expliquée par le fait qu'il s'agit d'un effluent brut (absence de traitement physico-chimiques et/ou de désinfection).
- *Escherichia coli*, qui fait partie également du sous-groupe des coliformes thermotolérants, est absente dans 100 ml de l'effluent DDA, ce résultat indique l'absence d'une contamination fécale récente (VERHILL, 2013).
- Le taux des streptocoques fécaux de l'effluent DDA dépasse la norme algérienne autorisée qui est de 10^3 UFC/100ml (J.O.R.A, 2013). Le rapport CF/SF (0,00047368), est inférieur à 1, ce qui témoigne une contamination fécale d'origine animale de

l'effluent DDA (HAMDANI et al, 2005). La contamination d'origine animale de l'effluent DDA est peut-être due à la contamination du lait des bovins qu'on utilise dans la production des produits laitiers, le lait contaminé est déclassé et rejeté après l'analyse de la conformité (Archive DDA,2019).

- L'absence des staphylocoques, des salmonelles, des vibrions et des anaérobies sulfite-réducteurs indique le respect des règles d'hygiène et l'efficacité de la pasteurisation des produits laitiers.

III.5. Résultats de Traitement des effluents de DDA par biométhanisation couplée à l'évapo-concentration

III.5.1. Résultats du traitement des effluents bruts de DDA par biométhanisation

La digestion anaérobie des effluents bruts de DDA pendant 98 jours a engendré ce qui suit :

- Un biogaz avec une production journalière qui varie en fonction des conditions expérimentales, celui-ci est cumulé dans les poches de stockages.
- Un digestat ou éluat contenant la matière organique qui n'a pas été dégradée jusqu'au stade de minéralisation. Ce digestat est traité par la suite par l'évapo-concentration.

III.5.1.1. Production volumique du biogaz

Le volume de biogaz est un paramètre important pour évaluer l'efficacité du processus de la biométhanisation mis en œuvre. En effet, une production optimale de biogaz reflète à la fois la stabilité et le bon fonctionnement du digesteur. Elle indique aussi quelles sont les conditions expérimentales nécessaires pour la dégradation de la matière organique jusqu'à la minéralisation.

La figure III.4 illustre la production journalière de biogaz dans les trois digesteurs (ballons B1, B2, B3) pour une durée de 98 jours.

○ **Ballon 1 (biométhanisation mésophile à 35°C) :**

Aucune production de biogaz n'a été quantifiée au niveau du compteur à gaz lié au ballon 1 tout au long de l'expérimentation.

○ **Ballon 2 (biométhanisation mésophile à 35°C avec l'ajout d'une préculture polymicrobienne) :**

La production du biogaz a commencé au bout de 8 jours (192H) de fermentation. Elle a duré 16 jours (384 H) avec un volume de biogaz cumulé de 389.05 ml.

- Ballon 3 (biométhanisation à 55°C avec l'ajout d'une préculture polymicrobienne) :

La production du biogaz a commencé au bout de 8 jours (192H) du lancement du processus de biométhanisation. Elle a duré 39 jours (936 H) avec un volume biogaz cumulé de 816.3 ml.

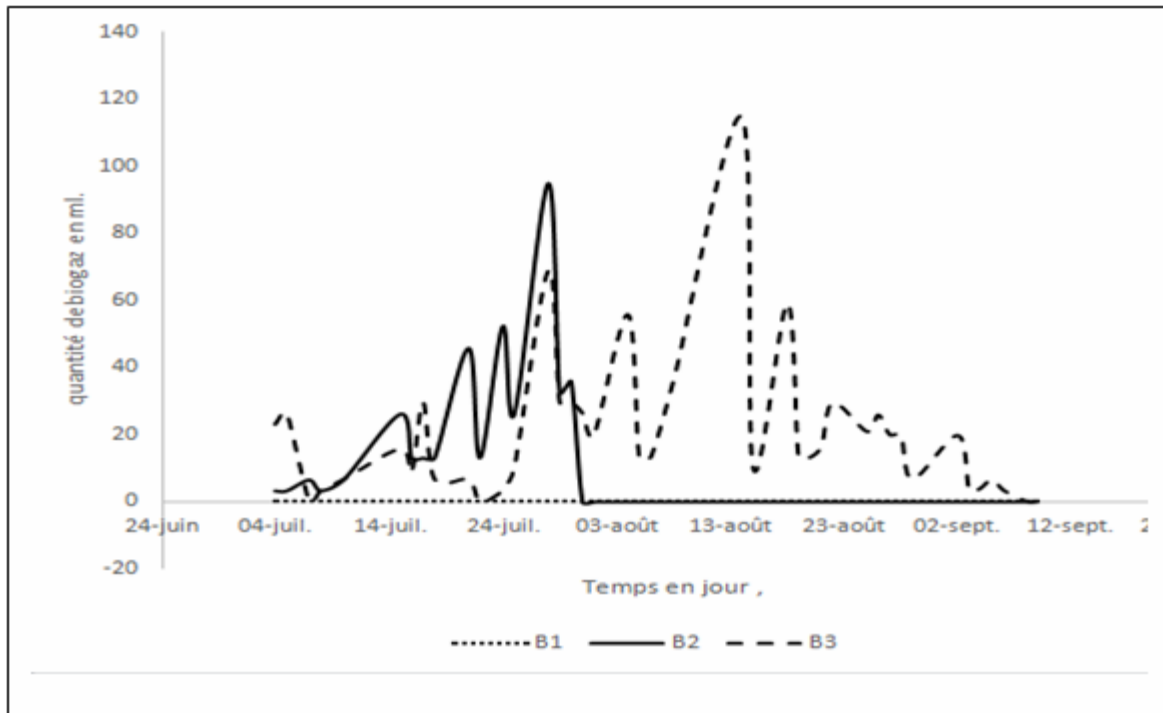


Figure III.4 : Production journalière du biogaz dans les trois digesteurs (B1,B2 et B3) en fonction du temps

La production du biogaz est nulle dans le ballon 1 en le comparant aux ballons 2 et 3 qui ont produit une quantité remarquable de biogaz. La préculture microbienne additionnée aux deux ballons (2 et 3) a vraisemblablement participé à l'hydrolyse de la matière organique et a favorisé la biométhanisation. En effet, les staphylocoques sont des agents qui participent à la fermentation acidifiante du glucose (ALAIS, 1974) et les streptocoques sont des agents de la fermentation lactique (GUIRAUD et ROSEC, 2004).

La production du biogaz est plus importante au niveau du ballon 3 (par rapport à celle de ballon 2) dans les premiers jours, cela peut être expliqué du fait que, dans un premier temps, ce réacteur en mode thermophile a permis probablement une hydrolyse rapide de la matière organique qui a duré 2 à 3 jours. Ces observations corroborent avec celles rapportées par CAMACHO et PREVOT (2008).

Par contre, durant la période allant du 06/07/2019 au 30/07/2019, la production du biométhane dans le ballon 2 est supérieure à celle du ballon 3 parce que les microorganismes mésophiles

sont plus stables et de bons producteurs du biogaz. En effet, selon BERNET et BUFFIERE, (2008), les microorganismes mésophiles sont plus robustes et plus tolérants aux variations de température, donc plus indiqués pour les digesteurs avec des caractéristiques moins contrôlées. A partir du 30/07/2019, on remarque que la biométhanisation au niveau du ballon 2 s'est arrêtée alors que celle du ballon 3 se poursuit. Les hautes températures influent sur les premières étapes de la biométhanisation ; cet effet sur l'accélération des phases hydrolyse et/ou d'acidogénèse s'avère plus accentué que sur les phases d'acétogénèse et de méthanisation, conduisant ainsi à la cumulation des métabolites intermédiaires (CHOO-KUN et al,2014). L'élévation de la température engendre une augmentation de l'efficacité de la méthanisation (OSTREM, 2004).

Néanmoins, les quantités de biogaz produites quotidiennement ne sont pas régulières. Cela s'explique par le fait que la succession des quatre étapes de méthanisation ne se déroule pas d'une manière homogène qui pourrait s'illustrer par une forme en cloche mais, d'une manière hétérogène qui s'exprime par plusieurs pics irréguliers (IGOUD, 2015).

L'évolution de la production cumulée du biogaz au niveau du ballon 3 (biométhanisation thermophiles) est illustrée ci-dessous :

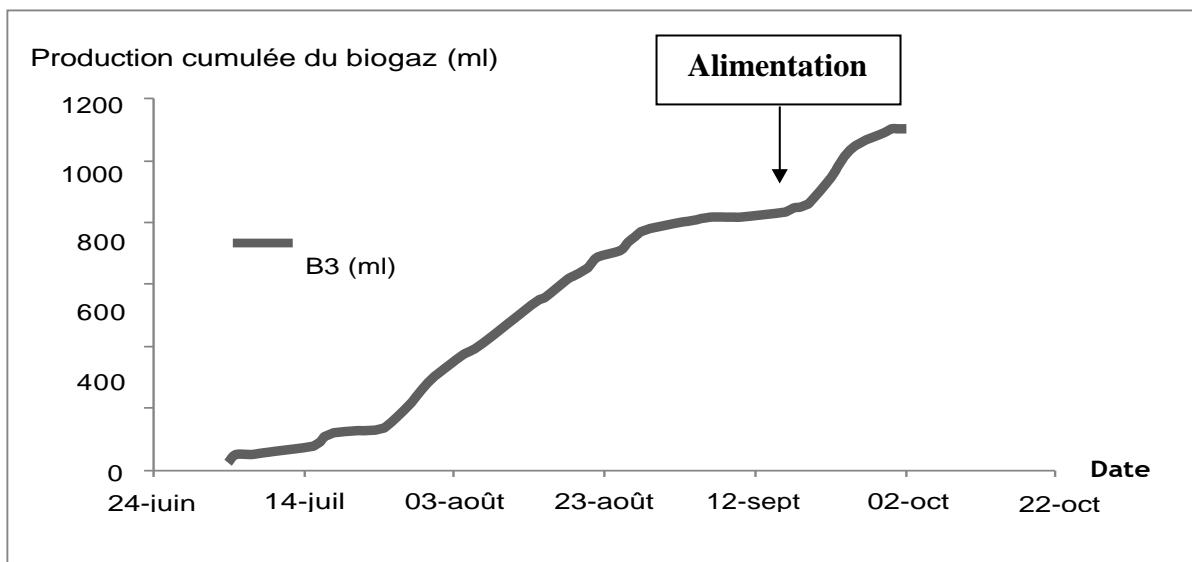


Figure III.5: Production cumulée du biogaz dans le ballon 3 après 98 jours de biométhanisation

La cinétique de production de biogaz ressemble globalement à la cinétique de croissance bactérienne, elle se subdivise en trois principales phases :

- Phase de latence : Cette phase correspond à l'adaptation des microorganismes libres contenus dans l'effluent à leur substrat et aux conditions de fermentation. La durée de

cette phase est courte (08 jours ~192 heures). Parmi les avantages de la digestion anaérobie des effluents liquides est leur rapide dégradation

- La phase de croissance exponentielle durant laquelle se déroule la méthanogénèse qui est directement responsable de la production du biogaz (IGOUD et al, 2002 ; TAHRI et al, 2012 ; HAJJI et al, 2013). Une production optimale de biogaz est obtenue après 60 jours de fermentation.
- La phase stationnaire : Durant cette phase, la biomasse synthétisée se stabilise, ce qui correspond à la phase stationnaire de production cumulée du biogaz, la stabilité est atteinte après 66 jours de fermentation. Selon TOU et al, (2001), durant cette phase, on assiste à l'appauvrissement graduel du milieu de fermentation.
- Nous avons décidé d'arrêter le processus et de retirer 1.5 litres d'effluent méthanisé et de réalimenter le ballon 3 avec 1.5 litre d'effluent de DDA fraîchement collecté additionné d'une préculture polymicrobienne avec les mêmes caractéristiques que précédemment. Nous avons laissé 500 ml du milieu de fermentation afin de réduire la phase de latence. Au bout d'une journée de fermentation, la production de biométhane a repris. Cette production après alimentation prouve qu'il y avait épuisement de la matière organique durant la phase stationnaire de production de biogaz.
- L'allure globale de la courbe fait penser à celle de la croissance bactérienne en diauxie (02 substrats). La phase de latence d'une journée est probablement dû aussi à la rupture des conditions d'anaérobiose au moment de l'alimentation (BERNET et BUFFIERE,2008). Après 11 jours de cette nouvelle fermentation, 268.45 ml de biogaz a été cumulé. Au-delà, on assiste à une diminution de la production.



Figure III.6 : Biogaz issu de biométhanisation de l'effluent de DDA cumulé et stocké dans des poches (poches à urines)

III.5.1.2. Rendement de production du biogaz

La quantité et la qualité de biogaz produit au cours d'une fermentation anaérobie sont des indices de performance du processus de digestion mis en œuvre. En effet, une production élevée en biogaz indique une importante dégradation de la matière organique jusqu'au stade de minéralisation, ce qui constitue une dépollution optimale. Le rendement en biogaz est le volume de biogaz produit par kilogramme de matière organique mise en jeu ou par kilogramme de DCO. Pour les industries agroalimentaires, une production moyenne de 35 m³ de méthane (330 kWh) par 100 Kg de DCO est obtenue avec un taux d'élimination de DCO de l'ordre 80-90% et génération seulement de 5 kg de boues. Le rendement de production de biogaz sur différents substrats ainsi que celui enregistré au cours de cette expérimentation sont reportés dans le tableau III.4.

Tableau III.4 : Etude comparative de rendement de production de biogaz à partir des déchets agricoles et des effluents des industries agroalimentaires

Etudes	Substrat de méthanisation Mésophile/Thermophile	DCO	Volume du Biogaz produit (ml)	Rendement de production (ml/kg DCO)
(IGOUD et al,2002)	Déchets agricoles. Bouse de vache/mésophile	440 000 g	26 898 000	61 131.81
(RAJESH BANU et al, 2009)	Effluent laitier (lactosérum)/thermophile	0.739 (g/l)	3 300	305 000
(ZERROUKI et al, 2015)	Effluent IAA jus d'orange et abricot/ thermophile	500 (g/l)	435	174
(ZERROUKI et al, 2015)	Effluent IAA jus d'orange et abricot/mésophile	500 (g/l)	144	57.6
(ZERROUKI et al, 2017)	Effluent IAA jus (mésophile)	550 (g/l)	23055	8383.63
Présente étude 2019	Effluent laitiers Danone/thermophile	2.467 (g/l)	816.3	165 443.89
Présente étude 2019	Effluent laitiers Danone/mésophile	2.467 (g/l)	389.051	78 850.83

D'après les résultats, on constate que la fermentation anaérobie thermophile donne de meilleurs rendements qu'en mode mésophile. Ceci s'explique par le fait que les hautes températures permettent une meilleure hydrolyse de la matière organique complexe entrant en digestion. Il y aurait une accélération des deux premières étapes (hydrolyse et acidogénèse).

Le rendement de production de biogaz à partir de la digestion thermophile des effluents de DDA (ballon3) (165 443, 89 ml/ kg de DCO) est le double de celui enregistré avec le même substrat en mode mésophile (ballon 2) (78 850.83 ml/kg de DCO). L'ajout d'une préculture polymicrobienne a nettement optimisé la fermentation et la production du biogaz. Il s'agit de

souches douées d'activités glycolytique et protéolytique. Ce qui explique aussi l'absence de biogaz dans le ballon 1 qui fonctionnait en mode mésophile 35°C et sans addition de la préculture. Les résultats obtenus au cours de cette expérimentation sont nettement supérieurs à ceux rapportés par IGOUD et al (2002) et ZERROUKI et al (2015a ; 2017b).

Cependant, Ces taux restent inférieurs à ce qui a été décrit par RAJESH BANU et al (2009). Selon l'auteur, la digestion anaérobie des déchets organiques laitiers (lactosérum) peut avoir un potentiel en biogaz de 305 L/Kg de DCO, avec une composition en méthane entre 60 à 70%.

Il est à signaler que durant la présente étude, l'évolution du pH au cours de la fermentation n'a pas pu être suivie, alors que c'est un paramètre très important car il existe une relation inversement proportionnelle entre le pH et la production volumique du biogaz.

Néanmoins, après l'alimentation du ballon 3 en effluents de DDA frais a rebouté la fermentation et a permis la production de 268.45 ml de biogaz, soit une production cumulée totale de 1084.75 ml de biogaz.

III.5.1.3. Composition chimique globale du biogaz

Le pouvoir calorifique d'un composé combustible représente l'énergie dégagée par la combustion de ce dernier. Le méthane est le seul composé du biogaz qui soit énergétiquement intéressant et le pouvoir calorifique du mélange dépend uniquement de la pression partielle en méthane. Pour du méthane pur, le pouvoir calorifique est de 12,67 kWh.m⁻³, et pour un biogaz contenant 70% de CH₄ il sera donc de 8,87 kWh.m⁻³. La qualité et la quantité du biogaz détermine sa valorisation et son utilisation. Ces deux paramètres jouent un rôle dans le dimensionnement des moteurs, chaudières ou machines de cogénération qui peuvent être installés en sortie du digesteur ; si les ratio CO₂/CH₄ du biogaz sont trop fortement variables, les installations devront être surdimensionnées pour être capables de supporter les régimes critiques. Un biogaz de trop basse qualité (composition faible en méthane) entraîne un encrassement des moteurs et des brûleurs, ce qui provoque leur usure prématurée (BOSQUE, 2011).

Dans le cadre de ce travail, La teneur du biogaz en méthane n'a pas pu être déterminée, à cause des déperditions qui ont eu lieu au moment du débranchement des poches à gaz et surtout pendant le transport au centre d'analyse 'CRAPC'. Il y a lieu de signaler que les poches de stockage utilisées, ne sont rien d'autres que des poches à urines.

III.5.2. Résultats du traitement des effluents de DDA méthanisés par évapo-concentration

Les digestats du ballon 1 et du ballon 3 (avant l'alimentation) ont subi par la suite un traitement par évapo-concentration à 150°C. Ce dernier a généré une eau épurée et un précipité de boues

séchées. Les eaux épurées ont fait l'objet d'une évaluation de la qualité hygiénique et physico chimique.

III.5.2.1. Caractérisation physico-chimique des eaux épurées

Les résultats de la caractérisation des effluents de DDA traité par biométhanisation et évapo-concentration sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III. 5 : Caractérisation physico-chimique des effluents de DDA traités par biométhanisation couplée à évapo-concentration

	Effluents bruts DDA Valeurs moyennes	Eaux épurées Ballon 1	Eaux épurées Ballon 3	Normes de rejets (JORA, 2006)
DCO (mg/l)	246 7	188	93.8	120-130
DBO ₅ (mg/l)	1855	800	200	35-40
Turbidité (NTU)	860	1.98	3.52	-
MES (mg/l)	1079	0.02	0.03	35-40
MO (mg/l)	814	0.02	0.023	-
MM (mg/l)	265	0	0.007	-
pH	6.74	8.53	8.31	6,5 - 8,5
NO ₃ ⁻ (mg/l)	0.097	24.28 .10 ⁻³	22.08. 10 ⁻³	Azote kjeldahal 30-40
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.044	5.57. 10 ⁻³	1.85. 10 ⁻³	
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0.040	27.07. 10 ⁻³	27.22. 10 ⁻³	Phophore total 10-15
SiO ₂ (mg/l)	1.44	27.67.10 ⁻³	10.46. 10 ⁻³	-

(Ballon 1 : eaux traitées par biométhanisation mésophile à 35°C+ évapo-concentration, ballon 3 : eaux traitées par biométhanisation à 55°C supplémentées d'une préculture polymicrobienne + évapo-concentration).

- Les valeurs de la DCO des eaux épurées issues des deux digesteurs (B1=188mg/l ; B3=93.8mg/l) ont nettement diminué au cours du traitement. Il ya un abattement de l'ordre de 92.37% et 96.19 % respectivement. Les eaux épurées, par biométhanisation thermophile alimentée (ballon 3) suivie d'une évapo-concentration, présentent des concentrations en DCO inférieures aux normes algériennes de rejet qui est de 120 à 130 mg/l (J.O.R.A. 2006) et 1000 mg/ l pour les anciennes installations et pour le rejet dans les réseaux d'assainissement (J.O.R.A ,2009) (figure III.7 et figure III.8)

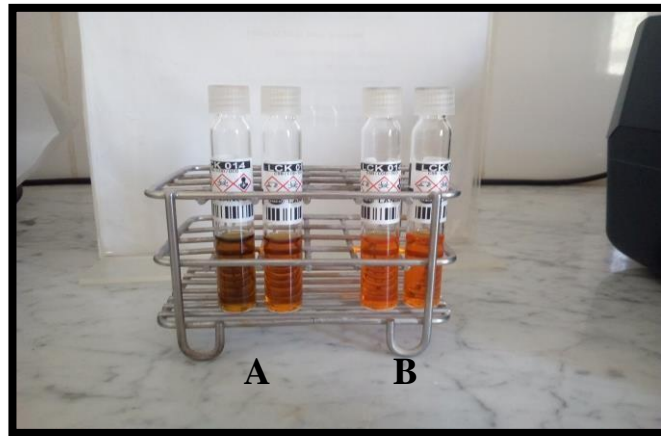


Figure III.7 : kits d'analyse de la DCO (A : effluent non traité de couleur sombre ; B : effluent traité (couleur claire, le kit a gardé presque sa couleur originale)

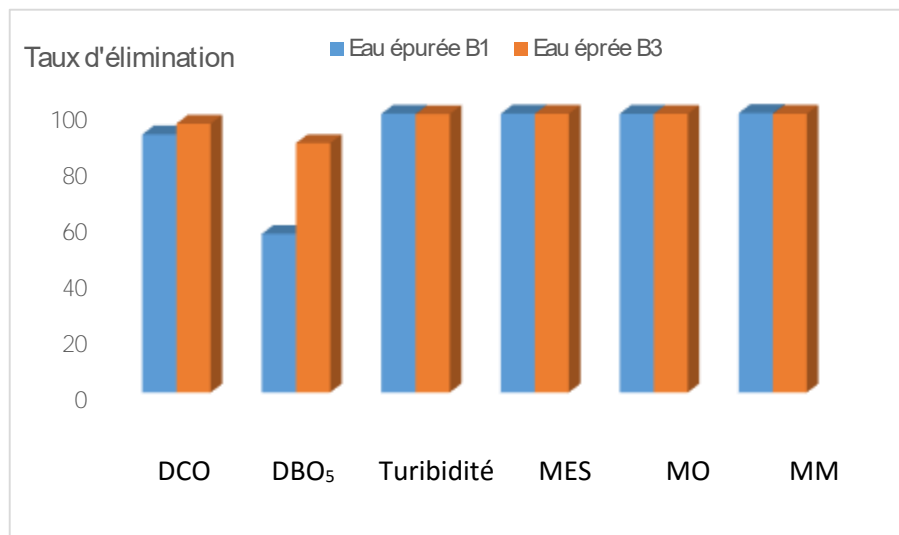


Figure III.8 : taux d'abattement des paramètres physico-chimiques des effluents de DDA traités par biométhanisation et par évapo-concentration

(Ballon1(B1) : eaux traitées par biométhanisation mésophile à 35°C + évapo-concentration, ballon 3 (B3) : eaux traitées par biométhanisation à 55°C additionnées d'une préculture polymicrobienne + évapo-concentration.

- De même pour les concentrations en DBO_5 ($\text{B1}=800 \text{ mg/l}$; $\text{B3} = 200 \text{ mg/l}$) des eaux épurées, on a enregistré des taux d'élimination de 56.75 % à 89.19 % (figure III.8). Les taux d'élimination les plus élevés ont été obtenus pour les eaux traitées par biométhanisation thermophile (supplémentée d'une pré-culture polymicrobienne) et par évapo-concentration (ballon 3). C'est au niveau de ce digesteur qu'il y a eu le meilleur rendement de production de biogaz, ce qui reflète l'élimination optimale de la matière organique biodégradable et l'évapo-concentration a réduit à son tour la matière organique non biodégradable. Il est à rappeler aussi que les effluents de DDA n'ont subi aucun traitement physico-chimique avant le traitement biologique et thermique. Ces valeurs sont inférieures aux normes algériennes de rejet dans les réseaux d'assainissement et dans les STEP (500 mg/ l) (J.O.R.A ,2009).
- Les valeurs de pH des eaux épurées oscillent entre 8.31 et 8.53 à 22°C. elles sont conformes aux normes de rejet (J.O.R.A., 2006).
- La turbidité varie entre 1.98 NTU (ballon1) et 3.52 NTU (ballon 3) selon le mode de traitement. Elle est comprise entre les deux valeurs des deux étalons S0 (<0.1NTU) et S1 (20 NTU), cette diminution est appréciable à l'œil nu, l'effluent au départ était de couleur blanche à crème et les eaux épurées sont transparentes (figure III.9).
- Les concentrations en MES sont proportionnelles aux variations des valeurs de la turbidité. Il y a eu un abattement de 99.72 % (ballon 3) à 99.81 % (ballon 1). Les valeurs obtenues sont inférieures aux normes de rejet (35 mg/l) (J.O.R.A, 2006).



Avant traitement



Après traitement

Figure III.9: Effluent laitier de DDA brut traité par biométhanisation et évapo-concentration

- De la même manière, on remarque que les valeurs de la matière organique et la matière minérale obtenues après traitement de l'effluent DDA par le couple biométhanisation – évapo-concentration sont diminués considérablement. Cette diminution est peut-être due :
 - Au processus de biométhanisation qui a permis la dégradation de la matière organique et sa transformation en biogaz.
 - A la décantation de la matière sèche (résidus) par le fait de la chaleur et de la distillation grâce à la deuxième étape de traitement (évapo- concentration).
- Des abattements de l'ordre de près de 100% des teneurs en sels nutritifs ont été obtenus. Ces teneurs (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} et SiO_2) dans les eaux épurées ne représentent aucune toxicité pour l'environnement et sont largement en dessous des normes en vigueur (J.O.R.A, 2006 ; C.E.A.E,2016 ; C.P.E.P.E.S.C,2017).

III.5.2.2. Caractérisation microbiologique des eaux épurées

Les résultats de la détermination de la charge microbienne des eaux épurées sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.6: Qualité hygiénique des effluents de DDA traités par biométhanisation et évapo-concentration

Germes recherché	Nombres de cellules trouvés dans l'effluent DDA	Biométhanisation mésophile + évapo-concentration ballon 1	Biométhanisation thermophile + évapo-concentration Ballon 3	Normes (J.O.R.A , 2013)
Les coliformes totaux (UFC/100ml)	$25 \times 10^8 / 100 \text{ ml}$	00	00	-
Les coliformes thermotolérants (UFC/100ml)	$4.5 \times 10^4 / 100 \text{ ml}$	00	00	1000
Les streptocoques fécaux (UFC/100ml)	0	00	00	2000
Les staphylocoques (UFC/100ml)	$9.5 * 10^7 / 100 \text{ ml}$	00	00	-
Vibrions (5000 ml)	0	Absence	Absence	Absence
Salmonelles (5000 ml)	0	Absence	Absence	Absence
Les ASR (Spores ASR/20ml)	0	00	00	-

Au regard du tableau, on constate l'absence totale des germes indicateurs de contamination qu'elle soit d'origine fécale récente ou ancienne et des germes potentiellement pathogènes. L'élimination de ces germes s'est probablement faite dans un premier temps grâce aux conditions hostiles en fin de la digestion anaérobie (épuisement des nutriments, abaissement du potentiel redox, alcalinisation du milieu), ensuite le traitement thermique par évapo-concentration à 150 °C pendant 08 H a permis l'éradication des anaérobies sulfitoréducteurs.

III.6. Réutilisation des effluents de DDA traités par biométhanisation couplée à l'évapo-concentration

La gestion durable de l'eau est l'un des principaux axes du développement durable, dans la mesure où l'eau doit répondre aux besoins des générations actuelles et satisfaire les générations futures (HANNACHI et al ,2014).

En Algérie, si la demande en eau est totalement satisfaite à l'horizon de 2020, les eaux usées représenteront un volume de près de 2 milliards de m³. Un tel volume, une fois épuré, pour des considérations écologiques ou de protection des ressources en eau, sera très apprécié quant à son utilisation dans le domaine de l'agriculture ou de l'industrie. En effet, la stratégie du ministère des ressources en eau dans le domaine de l'épuration est basée sur la protection de la ressource hydrique, l'éradication des fosses septiques, le confort et le bien-être des citoyens, la protection du littoral conformément à la Convention de Barcelone et la réutilisation des eaux usées épurées, notamment à des fins agricoles (HANNACHI et al ,2014).

Cependant, la réutilisation des eaux épurées, au-delà de son effet positif, peut également avoir des impacts défavorables sur la santé publique et l'environnement, en fonction principalement des caractéristiques de l'eau épurée, du degré d'épuration, de la méthode et de l'endroit d'utilisation (GHARZOULI, 2014).

C'est pourquoi, l'irrigation, avec des eaux usées épurées des cultures maraîchères dont les produits sont consommés crus est interdite. Les parcelles destinées à être irriguées avec des eaux usées épurées ne doivent porter aucune culture, autre que celles figurant sur la liste indiquée en annexe. Il s'agit de l'irrigation des arbres fruitiers, des Cultures fourragères, des Culture industrielles, des cultures céréalières, des cultures de production de semences, des arbustes fourragers et des plantes florales à sécher ou à usage industriel (J.O.R.A., 2012).

En outre, les parcelles irriguées, au moyen des eaux usées épurées, doivent être éloignées de plus de 100 mètres des routes, des habitations, des puits de surface et autres ouvrages destinés à

l'alimentation en eau potable. Tout raccordement avec une canalisation transportant de l'eau potable est interdit. (J.O.R.A., 2012 ; HANNACHI et al ,2014).

Le traitement des effluents laitiers bruts de DDA par biométhanisation et évapo- concentration a permis de réduire considérablement la charge polluante et de désinfecter avec une élimination totale des germes indicateurs de contamination d'origine fécale et des germes pathogènes.

Les teneurs en métaux lourds (ETM) et en hydrocarbures des effluents bruts de DDA, transmis par le laboratoire de DDA « code laboratoire 833/15 », sont en dessous des normes algériennes de rejets et conformes aux normes algériennes de réutilisation des eaux épurées (J.O.R.A, 2012).

Toutefois, les valeurs de DBO₅ et de DCO des effluents de DDA traités par biométhanisation mésophile et évapo-concentration (ballon B1) et la concentration en DBO₅ des eaux épurées (issues de la biométhanisation thermophile et évapo-concentration du ballon 3) (B3=200 mg/l) dépassent les normes algériennes de réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation (J.O.R.A, 2012). Ces résultats laissent supposer que les effluents laitiers de DDA devraient subir d'abord un prétraitement et un traitement physico-chimique avant le traitement biologique et thermique.

Par ailleurs, selon OMS (2006), les effluents de DDA traités par biométhanisation thermophile et par évapo-concentration peuvent être utilisés pour l'irrigation des cultures industrielles des céréales.

CONCLUSION

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude a pour objectif principal l'optimisation du procédé expérimental de méthanisation des effluents de l'industrie laitière Danone Djurdjura Algérie, la réduction du taux de matières organiques et la décontamination par évapo-concentration.

- Pour se faire, nous avons, dans un premier temps, procédé à la caractérisation physico-chimique et microbiologique des effluents bruts de DDA. Les résultats obtenus révèlent que les taux moyens de DCO, de DBO₅, des MES et de la matière organique dépassent les normes algériennes de rejet dans les réseaux d'assainissement et dans les STEP (J.O.R.A ,2009). L'effluent de DDA se présente comme une eau usée turbide, fortement chargée en matière en suspension et en matière organique. Néanmoins, cette dernière est vraisemblablement biodégradable puisque le ratio DCO/DBO₅ est inférieur à 2. Les taux en coliformes totaux, en coliformes thermotolérants et en streptocoques fécaux dans les effluents de DDA sont très élevés et dépassent largement les normes algériennes en vigueur (J.O.R..A, 2013). La contamination des effluents de DDA est d'origine animale, elle proviendrait du rejet du lait contaminé et déclassé après l'analyse de la conformité.
- Par la suite, cet effluent a été traité par un système d'épuration « biométhanisation-évapoconcentration ». Trois modes de biométhanisation ont été testés (Biométhanisation mésophile, biométhanisation mésophile additionnée d'une pré-culture polymicrobienne et biométhanisation thermophile additionnée d'une pré-culture polymicrobienne). Les résultats ont mis en évidence que ce dernier procédé couplé à l'évapo-concentration a donné les meilleures performances en terme de production volumique du biogaz qui était de l'ordre de 1084.75 ml avec un rendement de 165 443.89 ml/kg de DCO et un abaissement considérable des paramètres de pollution avec un taux d'abattement de DCO (96.20 %) ; de DBO₅ (89.19 %) ; de turbidité, des matières en suspension MES et de la matière organique MO ainsi que la matière minérale de plus que 99 %). L'évapo-concentration à 150°C pendant 08heures a permis non seulement l'abattement de la matière organique et minérale mais aussi la désinfection et l'élimination des germes d'altération et des germes indicateurs de la contamination d'origine fécale. L'eau épurée est globalement de bonne qualité, elle pourrait être éventuellement réutilisée pour l'irrigation des cultures industrielles céréalières.

La biométhanisation a le mérite d'être une filière de production d'énergie à partir de sources inépuisables, sa contribution au développement durable est indéniable. Elle constitue une source de dépollution idéale pour les effluents riches en matières organiques notamment ceux des industries agroalimentaires. L'évapo-concentration a permis également la réduction de la matière organique et minérale avec la récupération d'une eau épurée limpide, de bonne qualité microbiologique et une boue résiduaire séchée et stabilisée.

En perspective, il serait intéressant de :

- Vérifier les variations du pH durant le processus de la biométhanisation et de faire une évaluation continue des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.
- Modifier les conditions expérimentales de la biométhanisation à fin d'optimiser la production du biogaz en ajoutant une culture polymicrobienne constituée essentiellement d'acétogènes et de méthanogènes non pathogènes.
- Expérimenter le processus de dépollution 'biométhanisation - système SOWAT' (évapoconcentration solaire).
- Encourager la culture de l'économie circulaire par la réutilisation des produits générés par le système d'épuration ; la cogénération d'électricité à partir du biogaz produit et l'utilisation de l'eau épurée dans l'usine DDA comme une eau de refroidissement.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. ACHAT S. et ZAROURI S., 2017. Aspects anatomo-histopathologiques de quelques espèces de poissons d'eau douce dans la région de Bejaia. *Mémoire de master en environnement et santé publique, Univ. sci. bio., Bejaïa.*
2. A.D.E.M.E., (s.d.). (Page consultée le 28 janvier 2010). Méthanisation, Déchets, Traitements biologiques. [En ligne]. Adresse URL : <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=1&cid=96&m=3&catid=15556>
3. A.D.E.M.E., 2017. (Page consulté le 04 novembre 2019). Les procédés de séchage dans l'industrie : 110p. [En ligne]. Adresse URL : <https://www.ademe.fr/procedes-sechage-lindustrie>.
4. ADJAOUD A., 2006. Caractérisation physico-chimique des eaux de la Soummam et contribution à l'étude de sa flore algale. *Mémoire magistrat en Biologie de la Conservation et Ecodéveloppement, Univ. Sci. bio., Bejaïa* : 109 p.
5. ALAIS C., 1974. *Science du lait, 3^{ème} ED. SEP.*
6. AMALOU D. et MOULAI R., 2013. Ichtyofaune des eaux continentales de la région de Bejaïa (Algérie) : Diversité et distribution spatiale. *Journée d'étude sur la zoologie appliquée et l'écophysiologie animale, le 25 juin 2013., Univ., Bejaïa.*
7. AMARANRE J.-A L., 2010. Biométhanisation des déchets putrescibles municipaux – technologie disponible et enjeux pour le Québec. *Essai présenté au centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env). Univ., Sherbrooke.*
8. AMROUCHE L., 2004. Le Biogaz : fruit d'une vie associative sans oxygène. *bulletin des énergies renouvelable* : 20 p.
9. AMROUCHE L. et IGOUD S., 2005. Pourquoi s'intéresser au Biogaz ? . *Bulletin des énergies renouvelable* : pp. 14-15.
10. A.P.E., 2016. Les nanoparticules dans l'alimentation : dangereuses, inutiles et incontrôlées Un moratoire s'impose. *Dossier de presse de A.P.E., Paris* : 2 p.
11. Archive DANONE., 2012. *Document de référence interne, collectif.*
12. Archive DANONE., 2013. *Rapport financier annuel du groupe Danone. Document de référence* : 351 p.
13. Archive DANONE., 2017. *Document de référence, rapport financier du groupe DANONE.*
14. Archive DANONE., 2017. *Rapport annuel.*

15. Archive DANONE., 2019. *Document de référence interne, collectif*.
16. ARNAUD T., 2008. Traitement des effluents de laiterie de montagne par digestion anaérobie : retour d'expérience de la coopérative laitière d'Entremont le vieux (73), L'eau, l'industrie et les nuisances, numéro thématique les traitements anaérobies : pp 32-34.
17. Arrêté du 17 janvier 1995. La liste des espèces non-domestiques protégées. *J.O.R.A (1995)*.
18. Arrêté du 6 janvier 2013. Les valeurs limites maximales et les données particulières relatives aux rejets d'effluents, de déversements ou de dépôts de matières de toute nature ne présentant pas de risques de toxicité ou de nuisance dans le domaine public hydraulique. *J.O.R.A (2013) : 17 p.*
19. AUDIGIE C.-L., FAGERELLA J. et ZONZAIN F., 1984. Manipulation d'analyse biochimique. *Edition Tec & Doc. Lavoisier., paris : 270 p.*
20. BACHA M., 2003. Contribution à l'étude de la biodiversité phytoplanctonique dans les zones humides de Bejaia. *Thèse magister en Biologie de la Conservation et Ecodéveloppement, Univ.Sci.bio.,Bejaïa : 101 p.*
21. BACHA M. et AMARA R ., 2007. Les poissons des eaux continentales d'Algérie. Étude de l'ichtyofaune de la Soummam.
22. BAHLOUL F., 2014. Contribution au développement de la méthode d'estimation des ressources en eau (Cas des ressources en eau du bassin versant de la Soummam). *Mémoire magistrat, Univ.,Bejaïa : 127 p.*
23. BAZERLI A. et ESNAULT L., 2013. Les procédés de concentration des effluents aqueux. *R.E.C.O.R.D., mars 2013.*
24. BERBUE V., 2007. (Page consultée le 2 avril 2010). Plus de 300 millions de KW/h livrés à Hydro-Québec par BFI –Production d'électricité à partir de biogaz. [En ligne].Adresse URL : <http://www.hebdorivenord.com/article-162370-Plus-de-300-millions-deKWh-livres-a-HydroQuebec-par-BFI.html>.
25. BERGER S. et COUTURIER C., 2008. La méthanisation en milieu rural.Éditions Tec & Doc., Paris, chap. 10 : pp 235-250.
26. BERNET N. et BUFFIERE P., 2008. Caractérisation de la mise en œuvre de la méthanisation. Éditions Tec & Doc., Paris. chap. 4 : pp 87-113.
27. BOSQUE F., 2011. La méthanisation : intérêt pour les agro-industries. *Réseau Mixte Technologique. Eco. Conception. Valorisation RMT-ECOVAL : 38p.*

28. BOUSAAD I., CHACHOUA H. et LACHI M., 2017. La gestion de la distribution et de la force de vente dans l'entreprise, Cas : " Danone Djurdjura Algérie». *Mémoire de master en sciences commerciales, Univ.Sci.commerciales., Bejaïa* : 42 p.
29. CAMACHO P. et PREVOT C., 2008. Méthanisation des boues. Éditions Tec & Doc., Paris, Chap. 9 : pp 205-233.
30. CARRERE H, 2008. Co-traitements physico-chimiques. Éditions Tec & Doc., Paris, chap. 11 : pp 251-300.
31. C.D.E.R., 2005.la cité des Sciences d'Alger. *le 1er Workshop International sur l'Hydrogène, 21-23 juin 2005. Bulletin des énergies renouvelables N°7* : 14 p.
32. C.E.A.E., 2016. Détermination de la silice réactive dans l'eau : méthode par spectrophotométrie UV-visible., *Québec* : 7 p.
33. CHENNI Y., 2005. Synthèse des études réalisées sur l'Oued Soummam et contribution à la connaissance de sa faune ichtyaire. *Mémoire d'ingénieur en écosystème aquatique, Univ., Bejaïa* : 64 p.
34. CHOO-KUN M., FISGATIVA H., CONTEAU D., CAMACHO P., GOURDON R. et BUFFIERE P., 2014. Influence de la température sur la méthanisation. *Déchets Sciences et Techniques - N°66* : 32 P.
35. Code laboratoire de DDA 833/15.*Document interne.*
36. C.P.E.P.E.S.C., 2017. (Page consultée le 10 septembre 2019). Les différents paramètres physiques et chimiques des eaux, Franche-Comté, [En ligne]. Adresse URL : <https://www.cpepesc.org/Les-principaux-parametres.html>
37. DAHMANA A., 2003. Caractérisation de la biodiversité dans la ripisylve de l'Oued Soummam : cas de la végétation et des oiseaux. *Mémoire magistrat en Biologie de la Conservation et Ecodéveloppement, Univ.Sci.Bio.,Bejaïa* : 96 p.
38. De LA FARGE B., 1995. Le biogaz : Procédés de fermentation méthanique. *Edition Masson., Toulouse.*
39. Décret n°83-509 du 20 août 1983. Espèces animales non domestiques protégées. *J.O.R.A (1983).*
40. Décret exécutif N° 06-141., 2006. Les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels. *J.O.R.A (2006)* : 5 p.
41. Décret exécutif N° 09-209., 2009. Les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autres que domestiques dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration. *J.O.R.A (2009)* : 18p.

42. DJOUDAD-KADJI H., KADJI B., BENSLIMANE S., EXBRAYAT J. -M., IGUEROUADA M. et CHEVALIER C., 2012. Description histologique des différents stades de développements ovocytaire de barbus callensis (valenciennes, 1842) dans l'Oued Soummam (ALGERIE). *Rev. Fr. Histotechnologie*, vol 25, n°1 : pp 13-21.
43. D.R.E.A.L, 2012. (Page consultée le 9 septembre 2019). Réduire les rejets industriels dans l'eau. [En ligne]. Adresse URL : http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/ch4-5_cle227191.pdf
44. GORISH U. et HELM M., 2008. La production de Biogaz., Paris. *Les Éditions Eugen Ulmer* : 120 p.
45. GOURMELON M., DERRIEN A. et LOAEC S., 2002. Dénombrement des coliformes thermotolérants ou des *Escherichia coli* dans des sédiments côtiers vaseux. *Ifremer-R.INT.DEUMP/MIC/02.02.*, Brest.
46. Guide de l'opérateur de la station d'épuration DDA., 2009.
47. Guide SKALAR, 1996.
48. GUIRAUD J.-P., 2004. Pratique des norme en microbiologie alimentaire .AFNOR., France.
49. HADDADI N. et BENMOUHOUB H., 2002. Contribution à l'étude de la qualité de l'eau de l'Oued Soummam par la méthode des indices biotiques (IB). *Mémoire d'ingénieur en écologie et environnement*, Univ., Bejaïa : 58 p.
50. HAMDANI A., MOUFTI A., MOUNTADAR M. et ASSOBEI O., 2005. Evolution de la qualité physico-chimique et bactériologique d'un effluent laitier sur un cycle annuel : 18 p.
51. HAMITOUCHE M.-M. et HADERBACHE M.-S., 2017. Evaluation de la pollution métallique de l'Oued Soummam par le dosage des métaux lourds dans le muscle de quelques espèces de poissons. *Mémoire master en environnement et sécurité alimentaire*, Univ.Sci.bio., Bejaïa : 24 p.
52. ICHALAL K., RAMDANE Z., IGUER-OUARDA M. et KACHER M., 2016. Signalement de premiers cas d'intersexualité chez *Trachurus trachurus* sur la côte est Algérienne: les nématodes sont-ils l'agent causal ? . *Premier colloque international d'écophysiologie animale et biodiversité, Du 22 au 23 novembre 2016, laboratoire de recherche sur les zones arides*, Univ. USTHB., Alger : 108 p.
53. IGOUD S., TOU I., KEHAL S., MANSOURI N. et TOUZI A., 2002. Première approche de la caractérisation du biogaz produit à partir des déjections bovines. *Revue des Energies Renouvelables* :Vol. 5 : pp 123 – 128.

54. IGOUD S., 2012. Le distifiltre : un procédé d'épuration des eaux de rejet par distillation solaire. *Brevet INAPI, 2012.*
55. IGOUD S., 2015. Intégration d'énergies renouvelables et de procédés durables pour l'épuration des eaux usées urbaines. *Thèse de doctorat, ENP., El Harrach, Alger.*
56. IGOUD S., SOUAHI F. et CHITOUR C., 2017. Solar Wastewater Treatment (SOWAT) and Reuse for Agricultural Irrigation. *Irrigation and drainage* : pp 750-757.
57. LAHDIR O. et TAYEB CHERIF S., 2015. Impact du déversement des eaux usées dans le bassin versant de la Soummam sur l'environnement et la santé publique (Cas de la laiterie Danone Djurdjura Algérie). *Mémoire master en environnement et santé publique, Univ.Sci.Bio., Bejaïa* : 6p.
58. LEBRES E., AZIZI D.H.-A., TALEB F. et TAOUCHICHET B., 2002. Microbiologie des eaux, des boissons et des produits de la mer. *Manuel des travaux pratiques* : 34 p.
59. LOPRENA L., FERRARI M.-D., SARAVIA V., MURRO D., LIMA C., FERRANDO L., FERNANDEZ A. et LAREO C., 2007. Performance of a commercial inoculum for the aerobic biodegradation of a high fat dairy wastewater. *Bioresource Technology*, 98: PP 1045-1051.
60. LOVIBOND., 2018. *catalogue général.*
61. MENOTEC., 2006. (Consultée le 12 octobre 2019). La biodégradabilité des effluents urbains. [En ligne]. Adresse URL : http://www.gls.fr/pdf/Memotec_19-Biodegradabilite.pdf.
62. MOLETTA R., 2008. Technologies de traitement des effluents industriels par la méthanisation. Éditions Tec & Doc., Paris, chap. 6 : pp 137-157.
63. MOUNI L., MERABET L., ARKOUB H. et MOUSSACEB K., 2009. Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). *Rev Sécheresse, Vol 20, No 4* : pp 360- 366.
64. O.M.S ., 2006. *Brochure 778.*
65. OSTREM K., 2004. Greening Waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes. *Mémoire de maîtrise, univ. Columbia., New York.*
66. PAPACHRISTOU E. et LAFAZANIS C., 1997. *Water Sci.Techno*, 32: pp 361–367.
67. PRICE E.-C. et CHEREMISINOF P.-N., 1981. Biogaz – Production & Utilisation., *Michigan, USA. Ann Harbor Science* : 146 p.
68. RAHMANI A. et KHAROUNI S., 2005. Application de la méthode des indices biologiques globaux normalisés (IBGN) de l'AFNOR (1992) pour l'évaluation de la

- qualité des eaux de l'Oued Soummam (Wilaya de Bejaïa). *Mémoire d'ingénieur en écosystème aquatique, Univ., Bejaïa* : 48 p.
69. RAJESHBANU J., SUDALYANDI K., KHAC-UAN D., ARTHUR J. et TAEYEOM I., 2009. Combined Treatment of domestic wastewater using anaerobic and solar photocatalytic treatment. *Water Qual. Res. J. Can. 2009 · Volume 44, No. 4*: pp 393–398.
70. REDACTION AE., 2019. (Page consultée le 25 octobre 2019). Alger : 518 000 tonnes de déchets ménagers collectés durant le 1er semestre 2019. [En ligne]. Adresse URL : <https://www.algerie-eco.com/2019/07/11/alger-518-000-tonnes-de-dechets-menagers-collectes-durant-le-1er-semestre-2019/>.
71. Rodier J., 1996. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, chimie, physicochimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats., *Paris (France), Dunod* : 1384 p.
72. RUBAN G., JOANNIS C., GROMAIRE M.-C., BERTRAND J.-L. et CHEBBO G., 2008. Mesurage de la turbidité sur échantillons : application aux eaux résiduaires urbaines. *TSM, numéro 4, 103e année* : pp 61-74.
73. SAIDI A. et ABADA B., 2007. La biométhanisation : une solution pour un développement durable. *Revue des Energies Renouvelables, CER'07 Oujda (2007)*.
74. Standard DANONE., 2018. Clean Water. *Document de référence interne*.
75. TANDIA C.- T., 2007. Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées. *Protocole de détermination des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. Centre régional pour l'eau potable et l'assainissement à faible cout, centre collaborant de l'OMS*.
76. TOU I., IGOUD S. et TOUZI A., 2001. Production de biométhane à partir des déjections animales. *Revue des Energies Renouvelables : N. Spécial: Biomasse, production et valorisation* : pp103 – 108.
77. TRUONG L.V-A., 2004. Purification du biogaz provenant de la digestion anaérobie du lisier de porc. *Mémoire de maîtrise, Univ., Sherbrooke*.
78. United for water quality., 2001. *Guide d'utilisation de l'appareil Hach-Lange*.
79. VERHILL S., 2013. Les indicateurs microbiens dans l'évaluation de l'eau potable : interpréter les résultats de laboratoire et comprendre leur signification pour la santé publique. *Rapport de Centre de collaboration nationale en santé environnementale, Canada* : 3 p.
80. YASSAA N., 2016. Produire du biogaz à partir des déchets est « une alternative rentable ». *Publié dans El Watan le 05 - 12 – 2016 par BERKOUK S. page économie*.

81. ZEGAOUA W. et KHELLAF N., 2014. Evaluation de degré de pollution des rejets liquides et atmosphériques du complexe Fertial-Annaba (Algérie). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n°18, Juin 2014 : pp 77-91.
82. ZERROUKI S., RHANI R. et BENTAHAR F., 2015. Biogas production from fruit juice wastewater. *Water Sci Technol* .72, (1),123-134. Doi : 10.2166/wst.2015.193.
83. ZERROUKI S., RIHANI R. et BENTAHAR F ., 2017. Etude de la digestion anaérobie des effluents issus de l'industrie agro-alimentaire. *Laboratoire Phénomènes de transfert, Fac.Génie mécanique et génie des procédés, Univ.st.USTBH., Alger.*
84. ZIDOUNE H ., 2018. Aspect anatomo-histopathologique de quelques organes de la saurelle *Trachurus trachurus* (Golfe de Bejaia). *Mémoire de master en génétique fondamentale et appliquée, Univ. Sci.bio., Bejaïa* : 5 p.
85. ZOUGGAGHE F., 2010. Etude des communautés des macro-invertébrés benthiques dans le bassin versant de la Soummam (Algérie). *Thèse de Doctorat de 3° cycle, Biologie de la conservation et écodéveloppement, Univ.Sci.Bio., Bejaïa* : 149 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Table de Mac Grady

2 tubes par dilution		3 tubes par dilution					
Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules
000	0.0	000	0.0	201	1.4	302	6.5
001	0.5	001	0.3	202	2.0	310	4.5
010	0.5	010	0.3	210	1.5	311	7.5
011	0.9	011	0.6	211	2.0	312	11.5
020	0.9	020	0.6	212	3.0	313	16.0
100	0.6	100	0.4	220	2.0	320	9.5
101	1.2	101	0.7	221	3.0	321	15.0
110	1.3	102	1.1	222	3.5	322	20.0
111	2.0	110	0.7	223	4.0	323	30.0
120	2.0	111	1.1	230	3.0	330	25.0
121	3.0	120	1.1	231	3.5	331	45.0
200	2.5	121	1.5	232	4.0	332	110.0
201	5.0	130	1.6	300	2.5	333	140.0
210	6.0	200	0.9	301	4.0		
211	13.0						
212	20.0						
220	25.0						
221	70.0						
222	110.0						

5 tubes par dilution							
Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules	Nombre caractéristique	Nombre de cellules
000	0.0	203	1.2	400	1.3	513	8.5
001	0.2	210	0.7	401	1.7	520	5.0
002	0.4	211	0.9	402	2.0	521	7.0
010	0.2	212	1.2	403	2.5	522	9.5
011	0.4	220	0.9	410	1.7	523	12.0
012	0.6	221	1.2	411	2.0	524	15.0
020	0.4	222	1.4	412	2.5	525	17.5
021	0.6	230	1.2	420	2.0	530	8.0
030	0.6	231	1.4	421	2.5	531	11.0
100	0.2	240	1.4	422	3.0	532	14.0
101	0.4	300	0.8	430	2.5	533	17.5
102	0.6	301	1.1	431	3.0	534	20.0
103	0.8	302	1.4	432	4.0	535	25.0
110	0.4	310	1.1	440	3.5	540	13.0
111	0.6	311	1.4	441	4.0	541	17.0
112	0.8	312	1.7	450	4.0	542	25.0
120	0.6	313	2.0	451	5.0	543	30.0
121	0.8	320	1.4	500	2.5	544	35.0
122	1.0	321	1.7	501	3.0	545	45.0
130	0.8	322	2.0	502	4.0	550	25.0
131	1.0	330	1.7	503	6.0	551	35.0
140	1.1	331	2.0	504	7.5	552	60.0
200	0.5	340	2.0	510	3.5	553	90.0
201	0.7	341	2.5	511	4.5	554	160.0
202	0.9	350	2.5	512	6.0	555	180.0

Résumé

Les effluents des industries agro-alimentaires riches en matières organiques présentent une vraie source de pollution des milieux aquatiques en Algérie. Les conséquences annoncées depuis des années continuent à inquiéter la population. Il est urgent de mettre en œuvre des stratégies visant à protéger durablement les écosystèmes aquatiques et les ressources en eaux. Ce travail a pour objectif d'étudier le caractère polluant des effluents de l'industrie laitière « Danone Djurdjura Algérie », en vue d'adapter des stratégies de réduction de leurs effets ainsi que leur valorisation en énergies renouvelables. Des analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été entreprises aux laboratoires. Les résultats ont montré que cet effluent est caractérisé par des charges polluantes plus au moins forte. Les normes algériennes des rejets industrielles sont souvent dépassées, mais le ratio DCO/DBO₅ est inférieur à 2, ce qui laisse supposer que ces effluents sont facilement biodégradables.

Afin de traiter cet effluent, un système d'épuration « biométhanisation-évapoconcentration » est mis en place. Trois modes de biométhanisation ont été testés (Biométhanisation mésophile, biométhanisation mésophile additionnée d'une pré-culture polymicrobienne et biométhanisation thermophile additionnée d'une pré-culture polymicrobienne). Les résultats ont mis en évidence que le troisième procédé a donné les meilleures performances en termes de production volumique du biogaz de (1084.75 ml) avec un rendement de 165 443.89 ml/kg de DCO et un abaissement considérable des paramètres de pollution avec un taux d'abattement de DCO (96.20 %) ; de DBO₅ (89.19 %) ; de turbidité, des matières en suspension MES et de la matière organique MO ainsi que la matière minérale de plus que 99 %). L'évapo-concentration qui se base sur le principe de la distillation a permis non seulement l'abattement de la matière organique et minérale mais aussi la désinfection et l'élimination des germes d'altération et des germes indicateurs de la contamination fécale. L'eau épurée est globalement de bonne qualité, elle pourrait être réutilisée pour l'irrigation des cultures industrielles céréalières.

Mots clés :

Effluents laitiers DDA, paramètres de pollution, traitement-valorisation, biométhanisation thermophile- évapo-concentration, biogaz, rendement, eaux usées épurées, réutilisation-irrigation.

ملخص

تمثل النفايات السائلة في الصناعات الغذائية الزراعية الغنية بالمواد العضوية مصدراً حقيقياً للتلوث البيئات المائية في الجزائر. استمرت النتائج المعلنة لسنوات في قلق السكان. هناك حاجة ملحة لتنفيذ استراتيجيات لحماية النظم الإيكولوجية المائية وموارد المياه على نحو مستدام. يهدف هذا العمل إلى دراسة الطبيعة الملوثة لنفايات صناعة الألبان» دانون جرجرة الجزائر"، بهدف تكيف الاستراتيجيات للحد من أثارها وتثمينها في الطاقات المتجددة. وأجريت التحاليل الفيزيائية والكيميائية في المختبرات. أظهرت النتائج أن هذا التدفق يتميز بتلوث مركز نسبياً. غالباً ما يتم تجاوز المعايير الجزائرية للتصريفات الصناعية، لكن نسبة الطلب الكيميائي للأكسجين /الطلب البيولوجي للأكسجين أقل من 2مما يشير إلى أن هذه النفايات السائلة قابلة للتحلل بسهولة. من أجل علاج هذا التدفق، تم إعداد نظام "انتاج الميثان الحيوي- عملية التبخير والتركيز". تم اختبار ثلاثة أنماط " انتاج الميثان الحيوي في حرارة معتدلة، انتاج الميثان الحيوي في حرارة معتدلة مضاف إليها خليط متعدد البكتيريا وانتاج الميثان الحيوي في حرارة مرتفعة مضاف إليها خليط متعدد البكتيريا ". أظهرت النتائج أن هذا النمط الأخير أعطى أفضل أداء من حيث حجم إنتاج الغاز الحيوي (1084.75 مل) مع مردود 165 443.89 مل / كجم من الطلب الكيميائي للأكسجين وخفض كبير في بمعايير التلوث بمعدل % 96.20 للطلب الكيميائي على الأكسجين؛ %89.19 للطلب البيولوجي للأكسجين بالإضافة إلى التعكر، المواد الصلبة والمواد العضوية وكذلك المواد المعدنية بنسبة أكثر من 99%. إن تركيز التبخير، الذي يعتمد على مبدأ التقطير، لم يسمح فقط بتخفيض المواد العضوية والمعدنية، ولكن أيضاً بالتطهير والقضاء على جراثيم التدهور والجراثيم التي تشير إلى التلوث. المياه النقية بشكل عام ذات نوعية جيدة، ويمكن إعادة استخدامها لري المحاصيل الصناعية.

كلمات مفتاحية :

نفايات حليب، التلوث، المعالجة والتثمين، انتاج الميثان الحيوي في حرارة مرتفعة، الغاز الحيوي، المحصول، مياه الصرف المعالجة، إعادة استخدام الري.

summary

The effluents of agro-food industries rich with organic matter present a real source of pollution of aquatic environments in Algeria. The consequences announced for years continued to worry the population. There is an urgent need to implement strategies to sustainably protect aquatic ecosystems and water resources. This work aims to study the polluting nature of the effluents of the dairy industry "Danone Djurdjura Algeria", with a view to adapting strategies to reduce their effects and their valorization in renewable energies. Physicochemical and bacteriological analyzes were undertaken at the laboratories. The results showed that this effluent is characterized by more or less polluting loads. Algerian standards for industrial discharges are often exceeded, but the COD / BOD₅ ratio is less than 2, which suggests that these effluents are easily biodegradable. In order to treat this effluent, a "biomethanization-evapoconcentration" purification system is set up. Three biomethanization modes were tested (mesophilic biomethanization, mesophilic biomethanization with a polymicrobial preculture and thermophilic biomethanization with a polymicrobial preculture). The results showed that the third method gave the best performance in terms of volume production of biogas (1084.75 ml) with a yield of 165 443.89 ml / kg of COD and a considerable lowering of the pollution parameters with a rate of COD allowance (96.20%); BOD₅ (89.19%); turbidity, suspended solids and organic matter as well as mineral matter by more than 99%). Evapo-concentration, which is based on the principle of distillation, has allowed not only the reduction of organic and mineral matter but also the disinfection and elimination of germs of alteration and indicator germs of fecal contamination. Purified water is generally of good quality, it could be reused for the irrigation of cereal industrial crops.

Keywords:

DDA milk effluents, pollution parameters, treatment-recovery, thermophilic-evapoconcentration bio methanation, biogas, yield, treated wastewater, reuse-irrigation.