

## TABLE DES MATIERES

<b>REMERCIEMENTS.....</b>	i
<b>ABREVIATIONS ET ACRONYMES .....</b>	iv
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	v
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	vi
<b>LISTE DES GRAPHIQUES .....</b>	vii
<b>GLOSSAIRES .....</b>	viii
<b>INTRODUCTION.....</b>	1
<b>CHAPITRE I : GENERALITES .....</b>	4
I.1 CARACTERISTIQUES DU SITE D'ETUDE.....	4
I.1.1 Hydrographie du site .....	4
I.1.2 Climat.....	7
I.1.3 Eau potable, assainissement et hygiène.....	9
I.2 RESSOURCE EN EAU.....	10
I.3 DIFFERENTS TYPES DES EAUX USEES .....	12
I.3.1 EAUX USEES DOMESTIQUES .....	12
I.3.2 EAUX USEES INDUSRIELLES.....	12
I.3.3 EAUX PLUVIALES .....	13
I.4 COMPOSITION DES EAUX USEES .....	13
I.4.1 MATIERES EN SUSPENSION .....	13
I.4.2 MICROPOLLUANTS .....	14
I.4.3 Eléments traces.....	14
I.4.4 Substances nutritives .....	15
I.5 CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES.....	15
I.5.1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.....	15
I.5.2 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES.....	17
I.5.3 CARACTERISTIQUES MICROBIOLOGIQUES .....	21
<b>CHAPITRE II ETUDES DE LA POLLUTION .....</b>	22
II.1 POLLUTION DE L'EAU .....	22
II.1.1 ORIGINE DE LA POLLUTION DE L'EAU .....	23
II.1.2 TYPES DE LA POLLUTION.....	23
II.2. DEVERSEMENT DES EAUX USEES DANS LE MILIEU NATUREL.....	26
II.3 . METHODES D'ANALYSE.....	29

II.3.1	Lieu de prélèvement .....	29
II.3.2	Echantillonnage .....	30
II.3.3	Analyses des paramètres .....	30
II.4.	RESULTATS .....	34
II.5	INTERPRETATIONS DES RESULTATS .....	35
<b>CHAPITRE III</b>	<b>TRAITEMENTS .....</b>	<b>38</b>
III.1	DIFFERENTS TYPES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES .....	38
III.2	VALORISATION DES REJETS .....	40
III.2.1	DIGESTION ANAEROBIE .....	41
III.2.2	PRINCIPE DE LA DIGESTION ANAEROBIE .....	43
III.2.3	ETAPES DE LA DIGESTION ANAEROBIE .....	43
III.2.4	TYPES DE DECHETS .....	45
III.2.5	PROCESSUS DE LA METHANISATION (FAFAFI) .....	46
III.3	ETUDE D'IMPACT DE LA DIGESTION ANAEROBIE .....	50
III.3.1	ASSAINISSEMENT ET HYGIENE .....	50
III.3.2	ENVIRONNEMENT .....	50
III.3.3	ECONOMIE .....	53
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>56</b>	
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>58</b>	
<b>ANNEXES .....</b>	<b>I</b>	

## ABREVIATIONS ET ACRONYMES

°C : Degré Celsius

$\mu\text{g.L}^{-1}$  : Microgramme par litre

$\mu\text{m}$  : Micromètre

$\mu\text{S.cm}^{-1}$  : Micro-siemens par centimètre

BUCAS : Bureau de Coordination des Actions Sociales

BV : Bassin versant - S/BV : Sous bassin versant

COT : Carbone Organique Total

DBO5 : Demande Biologique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DTO : Demande Théorique en Oxygène

EB : Eau brute

EU : Eau usée

FAFAFI : FAnentananamombanyFAmbolesasnyFlompiana

ha : Hectare

km : Kilomètre

m : Mètre

M.O : Matière organique

$\text{m.s}^{-1}$  : Mètre par seconde

$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$  : Mètre cube par seconde

MES : Matière en suspension

$\text{mg.L}^{-1}$  : Milligramme par litre

mL : Millilitre

nm : Nanomètre

NTU : Nephelometric Turbidity Unity

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONU : Organisation des Nations Unies

pH : Potentiel hydrogène

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TH : Titre hydrométrique

UNESCO : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation

WASH : Water Sanitation and Hygien

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1: Caractéristiques des sous bassins versant.....</b>	4
<b>Tableau 2: Température.....</b>	7
<b>Tableau 3: Précipitation .....</b>	8
<b>Tableau 4: Humidité relative .....</b>	8
<b>Tableau 5: Nombres des infrastructures sanitaires existants .....</b>	9
<b>Tableau 6: Relation entre conductivité et minéralisation.....</b>	16
<b>Tableau 7: Norme de rejet international selon OMS.....</b>	26
<b>Tableau 8 : Impacts du rejet des eaux usées non traitées.....</b>	28
<b>Tableau 9: Résultat des analyses.....</b>	34
<b>Tableau 10: Types de traitement des eaux usées .....</b>	38
<b>Tableau 11: Avantages et inconvénients de la méthanisation.....</b>	42
<b>Tableau 12: Quantité de gaz sortant du digesteur .....</b>	48

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1: Site d'étude .....</b>	6
<b>Figure 2: Coupe d'une nappe alluviale.....</b>	11
<b>Figure 3: Type de nappe .....</b>	11
<b>Figure 4: Système d'égout existant .....</b>	12
<b>Figure 5: Canal d'évacuation .....</b>	27
<b>Figure 6: Prélèvement de l'échantillon des eaux résiduaires .....</b>	29
<b>Figure 7: Conductimètre-Spectrophotomètre-Turbidimètre-pH-mètre.....</b>	31
<b>Figure 8: Coupe longitudinale d'un digesteur (FAFAFI).....</b>	V
<b>Figure 9: Face latérale droite d'un digesteur (FAFAFI) .....</b>	V

## **LISTE DES GRAPHIQUES**

<b>Graphique 1: Evolution des paramètres selon leur origine.....</b>	<b>35</b>
<b>Graphique 2: Quantité de gaz produit .....</b>	<b>49</b>
<b>Graphique 3: Superficie des forêts détruites .....</b>	<b>50</b>
<b>Graphique 4: Perte de terre par la coupe de bois .....</b>	<b>51</b>

## GLOSSAIRES

- 1) Biodiversité : Variable des organismes vivants de toute origine, y compris entre autre l'écosystème terrestre, marin et aquatique et les complexes écologiques dont ils font partie. Cela comprend les diversités au sein des espèces et entre espèce ainsi que celle des écosystèmes.
- 2) Développement durable : Capacité de la société à assurer le bien-être de tous, y compris celui des générations futures, dans une relation d'équité et par la coresponsabilité des différentes parties prenantes de la société.
- 3) Eau usée : Eau dont la qualité a été négativement affectée par l'activité humaine. C'est un composant d'un ou de plusieurs des éléments suivants : les effluents domestiques constitués d'eaux-vannes (excréments, urines, boues fécales) et d'eaux grises (eaux usagées provenant du lavage, de la lessive et du bain) ; les eaux provenant des commerces et institutions y compris les hôpitaux ; les effluents industriels, les eaux pluviales et autres eaux de ruissellement urbain ; les eaux de ruissellement agricole, horticole et aquacole.
- 4) Ecosystème : Communauté de plantes d'animaux et d'autres organismes vivants interdépendants (incluant les humains) ainsi que l'environnement qui les supporte et avec lequel ils sont interaction.
- 5) Environnement : Réseau d'interrelation entre les éléments vivants et non vivants qui soutiennent la vie sur terre, y compris les questions sociales et de santé liées à l'existence du groupe humain. Eléments physiques, biologiques, sociaux, culturels et spirituels qui sont en interrelation et qui influence la croissance et le développement des organismes vivants.
- 6) Lisier : Mélange de déjections d'animaux d'élevage (urines, excrément) dans lequel domine l'élément liquide. Il peut également contenir des résidus de litière (paille) en faible quantité. Il est produit principalement par les élevages de porcs, de bovins et de volailles.
- 7) Milieu naturel : Portion de l'environnement qui ne tire pas origine des activités humaines.
- 8) Pollution : Contamination de l'écosystème (air, eau, sol) par introduction des substances altérants de manière plus ou moins importante le fonctionnement de l'écosystème.
- 9) Liste des termes usités pour l'eau :

Acide : Teneur d'une solution en hydrogène  $H^+$  (pH inférieur à 7).

Anaérobie : Absence d'oxygène.

Alcalinité : Teneur d'une solution en ion hydroxyde  $OH^-$ .

Base : Teneur d'une solution en ion hydroxyde  $OH^-$  (pH supérieur à 7).

Colloïde : Particule de très petite dimension en suspension dans un liquide.

Conductivité Aptitude d'une eau à permettre le passe d'un courant électrique, cette mesure est liée à la teneur en minéraux dissous ionisés.

Dureté : Caractéristique d'une eau contenant des carbonates, bicarbonates et des sulfates. Une eau dure est une eau calcaire empêchant le savon de mousser.

Titre hydrométrique TH : Indique globalement la concentration des ions calcium  $Ca^{2+}$  et magnésium  $Mg^{2+}$ .

Matière en suspension : Particule solide très fine présente dans l'eau sous forme de matière décantable et matière colloïdale.

pH : Potentiel d'hydrogénéation, mesure l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. Comprise entre 0 et 14, 7 étant la neutralité.

Polymères : Substances constituées de grandes molécules formées par la précipitation d'un même motif composé d'une ou plusieurs unités de base.

TA : Titre alcalimétrique, mesure la teneur en hydroxydes et la moitié de sa teneur en carbonates et alcalino-terreux.

TAC : Tire alcalimétrique complet, mesure la teneur en hydroxydes, carbonates, bicarbonates et alcalino-terreux.

Turbidité : Caractère d'une eau trouble

## INTRODUCTION

L'eau, source de vie. Pour les habitants des pays Européens et pour l'Amérique du Nord, il est naturel de faire couler l'eau, de l'eau sûre et propre du robinet et boire, cuisiner et se laver. Pourtant, pour plus d'un milliard d'être humain n'ont d'autre possibilité que d'utiliser de l'eau potentiellement dangereuse (OMS, 2005). D'après une enquête menée par l'organisation mondiale de la santé, chaque personne a besoin de 40 litres d'eau par jour pour survivre (OMS, 1986). Cela veut dire que l'eau fait partie intégrante de la vie humaine. Depuis l'année internationale de l'eau en 2003, on s'est rendu compte que nous faisons face aux disparités d'accès à la ressource et sa mauvaise qualité qui fait payer un lourd tribut aux enfants (agenda 21, 2008). Pourtant nous n'agissons pas comme il se doit pour la conservation des ressources. Nous exploitant ces ressources, nous les utilisons. Mais une fois utilisées, que deviennent ces eaux ? Souvent elles sont retournées dans leur milieu sans considération. Depuis le sommet de la Terre qui s'est tenu à Rio De Janeiro en 1992 et lors de chaque sommet, des chapitres sont consacrés à la protection des ressources en eau et leur qualité. Cela implique que la préservation des fonctions hydrologiques, biologiques et chimiques des écosystèmes est un point important dont on ne peut négliger (Eau, 2012). Quelques pays, notamment les européens, sont conscients des risques encourus par le rejet des eaux sans traitement. Ainsi, ils œuvrent pour la collecte et le traitement des eaux usées et également pour la valorisation. Auparavant, à Madagascar, quand il s'agit de l'eau, majoritairement du point de vue géographique, la ressource en eau est bien suffisante. Cependant, depuis quelques décennies, les problèmes d'accessibilité en eau surgissent un peu partout dans la Grande Ile en raison du changement et de la métamorphose incessante climatique. Provoquant des problèmes complexes dans tous les secteurs de la vie humaine à savoir social, économique, politique et écologique.

Dans les grandes villes, les mesures d'hygiène publique et systèmes d'égout municipaux sont rudimentaires ou carrément inexistant. Alors que chaque habitation devrait être raccordé à un système d'égout qui aboutira à une station d'épuration ou être doté d'un système d'assainissement autonome. Raison pour laquelle, les eaux usées sont éparpillées et déversées dans la nature sans le moindre traitement. Les principales sources de pollution sont les eaux domestiques généralement non traitées et les sites de dépôt des déchets ménagers dans les zones urbanisées (OMS, 2016). Nous polluons ainsi les eaux de surface (rivières ou cours d'eau) où elles sont déversées ainsi que les eaux souterraines. Tout cela met également en

danger la santé de la population. S'il en est ainsi, il sera difficile de satisfaire les besoins en eau de la population dans les années à venir.

Vue la complexité de ces problèmes concernant l'assainissement, hygiènes de la population, encore plus la protection et la sauvegarde de l'écologie et l'environnement y compris l'écosystème. Le champ de notre travail doit se focaliser sur un territoire bien délimité, plus précisément l'arrondissement d'Andrainjato-Nord au sein de la commune urbaine de Fianarantsoa. Dans cet arrondissement, étant le centre de notre étude, la question de l'assainissement et la protection des ressources en eau soulèvent des problèmes en suspens. Le manque d'infrastructures est source de toutes sortes de pollution, notamment celle de l'eau. La principale cause de cette pollution est l'absence des stations d'épuration en aval des systèmes d'égout. En effet, les habitants rejettent directement leurs eaux domestiques et les lisiers des fermes dans la rivière de Tsiandanitra. La santé des villageois est en danger permanent en raison de l'éparpillement des eaux usées. Ces dernières entraînent la dégradation de la qualité naturelle de l'eau. Cette grande problématique qui nous pousse à poser des questions : comment agit-on pour garantir la préservation de l'écosystème et l'hygiène de la population ? Quelles mesures devrait-on prendre pour la protection des ressources en eau ? L'établissement du système de bio-digesteur est-il indispensable afin d'éviter l'éparpillement des eaux usées et la pollution des ressources en eau ? La valorisation des rejets est-elle une des conditions sine qua non pour l'assainissement et l'hygiène de la population et, notamment la protection des ressources en eau du développement intégral et durable de la population concernée ?

Cette étude concerne essentiellement la protection des ressources en eau et la promotion de l'assainissement. Cette protection se fera par le non-rejet des eaux usées domestiques et les lisiers de bovins dans la rivière. Elle vise donc à développer un moyen pour diminuer voire éliminer les rejets des eaux usées dans les rivières. Pour ce faire, ce travail comprend trois grandes parties. La première partie sera consacrée à présenter les généralités, la région d'étude, les origines et les caractéristiques des eaux usées. La seconde partie exposera les causes principales des pollutions et notamment celle des ressources en eau. C'est dans cette partie expérimentale que nous exposerons l'importance particulière des analyses des eaux. Celles-ci nous aident à découvrir les caractéristiques propres des eaux polluées. Dans la dernière partie on étudie la valorisation des rejets à travers l'établissement de bio-digesteur, on verra alors si elle constitue une des solutions convenables afin d'atteindre la finalité ou l'objectif de ce travail. Il sera donc mieux d'exposer dans cette dernière partie la nécessité de la construction de bio-digesteur afin que la promotion de l'assainissement et l'hygiène de la population soit

bien préservée. Ensuite, l'établissement de ce matériel nécessitera également pour la protection de l'écologie et l'environnement afin d'atteindre le développement durable et intégral la population concernée dans ce site d'étude.

# CHAPITRE I : GENERALITES

## I.1 CARACTERISTIQUES DU SITE D'ETUDE

La vieille ville, Fianarantsoa, était construite sous le règne de Ranavalona 1<sup>ère</sup>. Vers 1873, deuxième ville après Antananarivo, Fianarantsoa devient avec les missionnaires un centre chrétien et intellectuel. La ville s'étend sur 138,69 km<sup>2</sup>, elle fait partie de la Région Haute Matsiatra et District de Fianarantsoa. La ville de Fianarantsoa est située entre 45,51° et 47,41° longitude Est et 20,68° et 22,21° latitude Sud. Elle est caractérisée par un relief montagneux, heurté par des massifs vigoureux isolés et sillonnés par des dépressions étroites. La ville compte 50 Fokontany regroupés dans 7 arrondissements. Andrainjato-Nord étant notre site d'étude est composé de 7 Fokontany dont : Ambahisamotra, Ambalabe, Ambatolahy V, Anjaninoro, Antanifotsy V, Beravina et Idanda.

A propos de l'hydrographie de la ville, par faute de donnée, ce point sera traité avec celle de la Région Haute Matsiatra entière.

### I.1.1 Hydrographie du site

Elle est caractérisée par le bassin versant du Mangoky, la superficie de ce versant est de 55750 km<sup>2</sup>. Le réseau hydrographique prend sa source dans les Régions Matsiatra Ambony et Ihorombe (rivières de Manantanana, Zomandao et Ihosy) et il se déverse dans le canal de Mozambique.

Pour Fianarantsoa, on compte 6 sous bassin versant intérieurs. Le sous bassin versant numéro 1 (S/BV n°1) : la partie aval vers l'émissaire principal ceinturant la ville de la côte Est. Le S/BV n°2 et n°3 avalant directement sur le quartier d'Ampasambazaha et du centre-ville. Le S/BV n°4 : au sud de la ville, zone périphérique et zone d'extension et enfin le S/BV n°5 et n°6 assurent la fermeture Nord, Nord-Est de la ville, zone d'extension.

**Tableau 1: Caractéristiques des sous bassins versant**

N° S/BV	Surface (ha)	Plus long parcours des eaux (m)	Coefficient moyen de ruissellement	Débit (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
1	114	2135	0,28	9,95
2	116	2100	0,47	21,50
3	216	2939	0,31	20,30
4	150	2000	0,12	5,10
5	51	1030	0,25	5,30
6	58	1336	0,22	4,50

(CUF, 2005)

Le tableau ci-dessus contient les informations concernant le bassin versant de la ville de Fianarantsoa. Il renferme le nombre de sous bassin formant le versant ainsi que leur surface respective. On y trouve également les parcours des eaux correspondant au plus long cheminement possible entre la crête du bassin et l'exutoire avec les débits. Le coefficient moyen de ruissellement des eaux est aussi exposé. Ce dernier point est le rapport entre la pluie nette (hauteur d'eau ruisselée à la sortie) et la pluie brute (hauteur d'eau précipitée).

Les rivières traversant la ville sont : Tsiandanitra à l'Est, Mandranofotsy au Sud et à l'Ouest, elles sont des affluents de la Matsiatra.

La carte ci-après présente la zone d'étude, la partie entourée en rouge est le village Antamponjina qui fait l'objet de notre plus grand intérêt vu le rejet des eaux usées dans la rivière.



Figure 1: Site d'étude

## I.1.2 Climat

Fianarantsoa est dotée d'un climat de type tropical d'altitude alternant deux saisons :

- Novembre- Avril : période chaude et pluvieuse, pendant laquelle 90% des pluies sont enregistrées soit 1000 à 1200 mm par an. La température maximale avoisine les 30°C.
- Mai- Octobre : période fraîche et humide, la température peut diminuer jusqu'à 6°C.

Les données météorologiques disponibles présentées ci-dessous ont été relevées dans la station synoptique de Fianarantsoa au cours des années 1990-1995, 2000-2006 :

### i. Température

La température est une grandeur physique caractérisant de façon objective la sensation subjective de chaleur ou de froid, elle est mesurée avec un thermomètre. La Région Haute Matsiatra, dont la ville de Fianarantsoa, est classée parmi les régions les plus froides après la Région de Vakinakaratra, la température moyenne est de 14,6°C.

**Tableau 2: Température**

Station	Altitude (m)	Période	Température moyenne		
			Annuelle	Mois le plus chaud	Mois le plus froid
Beravina	1.106	1990-1995	18.1	21.6	13.8
		2000 - 2006	18.6	22.4	14.1

Ces valeurs ont été reçues à la station météorologique de l'aéroport de Beravina Fianarantsoa.

Ces données sont tout ce que nous avons pu obtenir de notre enquête auprès des responsables, raison pour laquelle nous n'avons pas des données plus récentes.

En été, du mois de novembre au mois d'avril, la température avoisine les 21°C et 22,4°C. Mais elle connaît une hausse parfois allant jusqu'à 30°C.

En hiver, entre le mois de mai et octobre, la température moyenne enregistrée est de 13,8°C entre 1990 et 1995 et 14,1°C en 2006. Cependant, cette température chute parfois vers 6°C et 10°C.

### ii. Précipitation

Les précipitations sont les formes sous lesquelles l'eau dans l'atmosphère tombe à la surface, les différentes formes des précipitations sont : la pluie, la grêle, la neige, le brouillard, la rosée. La précipitation peut être quantifiée avec un pluviomètre.

**Tableau 3: Précipitation**

Station	Altitude (m)	Période	Pluviométrie annuelle (mm)	Nombre de mois sec
Beravina	1106	1990-1995	1074,2	5
Beravina	1106	2000-2006	1125,5	6

(CUF 2005)

De même que la température, la précipitation a été relevée à la station de l'aéroport de Beravina Fianarantsoa. Nos valeurs présentent la moyenne de la précipitation pendant les six ou sept mois de saison de pluie. D'après ces résultats, la précipitation est assez forte permettant les activités qui ont un besoin élevé en eau telle la riziculture.

### iii. Humidité relative(en pourcentage %)

L'humidité représente le degré de l'humidité de l'air donc le pourcentage de l'eau dans l'atmosphère sous forme de vapeur soit le nombre de gramme de vapeur d'eau dans un mètre cube d'air. Son mesure se fait par un hygromètre.

**Tableau 4: Humidité relative**

Mois	2003	2004
Janvier	87	87
Février	87	86
Mars	88	84
Avril	80	87
Mai	84	87
Juin	85	83
Juillet	85	84
Août	80	82
Septembre	78	79
Octobre	84	72
Novembre	75	76
Décembre	84	82

Source : Direction interrégionale de l'agriculture de Fianarantsoa- Monographie de CUF 2005

Ce tableau expose les valeurs de l'humidité relative. Ce paramètre, exprimé en pourcent, nous permet de mesurer l'humidité de l'air, par la suite il nous permet de savoir si la région où la mesure a été faite est pluvieuse ou non. Pour notre cas, l'humidité relative varie entre 72% et 88%. Nous pouvons donc en conclure que l'air y est très humide.

### I.1.3 Eau potable, assainissement et hygiène

La JIRAMA (JIrosyRAnoMAlagasy) approvisionne la population en eau potable. Actuellement, trois sources alimentent la ville de Fianarantsoa en eau potable dont Antarabiby, Vatosola et Ankidona. Pourtant on ne parvient pas encore à satisfaire les usagers, tant sur la qualité que la quantité. Les branchements individuels sont pour les minoritaires et les bornes fontaines sont insuffisantes et nombreuses sont non fonctionnelles.

Les infrastructures sanitaires publiques ne répondent pas aux besoins de la population. Le taux de ménage ayant des fosses septiques et des latrines améliorées est très bas. De même pour les canalisations des eaux usées, dans le centre-ville les égouts sont bouchés et dans les villages les rejets sont éparpillés ou drainés par des petits canaux vers les cours d'eau.

Le tableau suivant illustre le manque des infrastructures sanitaires selon les normes par rapport au nombre de la population (nombre d'habitant en 2010 : 194600)

**Tableau 5: Nombres des infrastructures sanitaires existants**

Equipements	Besoins théoriques 2010	Existant*	Observations
WC	73	13	Très insuffisant
Douches	73	5	Très insuffisant
Lavoirs	73	17	Très insuffisant
Bacs à ordures	316	84	Très insuffisant
Bornes fontaines	316	95	Très insuffisant

\*Quelques-uns en cours de dégradation

(CUF, 2015)

La commune urbaine de Fianarantsoa a mis en place un programme nommé « Amie de WASH » œuvrant pour la promotion de l'hygiène. Les objectifs de ce programme sont de faciliter l'accès en eau potable tant qualitativement que quantitativement, permettre aux habitants d'avoir une ville saine et viable, conscientiser et éduquer sur la nécessité des latrines.

Après avoir parlé du site d'étude, nous allons aborder la partie qui sera axée sur les ressources en eau et les eaux usées.

## I.2 RESSOURCE EN EAU

Il y a trois types de ressources en eau : eau de surface, eau de pluie et eau souterraine. Les substances qui constituent l'eau peuvent être d'origine naturelle (compositions des sols, matières organiques naturelles, organismes vivants,...) ou issues des pollutions le plus souvent liée aux activités anthropiques.

Ainsi les substances retrouvées dans une eau sont différentes. Prenons par exemple le cas d'une eau de surface, les constituants naturels d'une eau de surface sont:

### Matières en suspension

Il y a les matières en suspension naturellement décantables comme les sables fins et les limons et des matières non décantables telles argiles colloïdales qui ont une taille de l'ordre de microns.

### Microorganismes

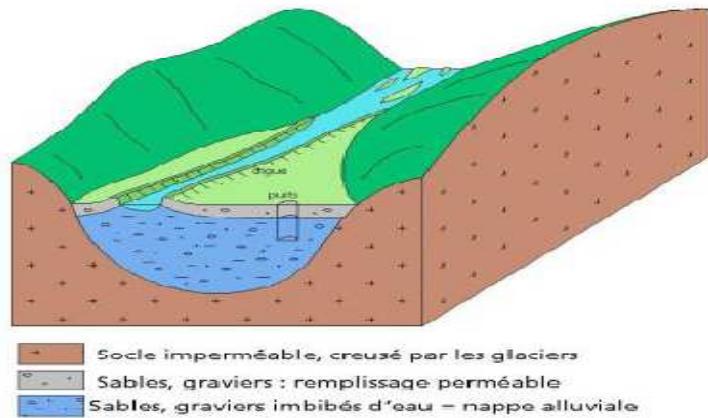
Ce sont les bactéries indigènes, les algues (phytoplancton) et les micro-invertébrés (zooplancton).

### Matières organiques

Les matières organiques naturellement présentes dans l'eau sont les substances humiques, les sécrétions et excréptions des êtres vivants du milieu. Ils peuvent être toxiques et générer le goût et l'odeur désagréable de l'eau.

Pourtant la qualité d'une rivière est soumise à un processus d'évolution naturelle depuis la source jusqu'à l'embouchure. Ces évolutions sont dues à une érosion régressive, dans ce cas la taille de dépôt est décroissante vers l'aval. Les activités biologiques évoluent également vers l'aval. Et il y a l'évolution physico-chimique et minérale : la température augmente et l'oxygène dissous diminue vers l'aval. Tandis que les matières organiques et les minéraux dissous croissent de l'amont vers l'aval d'une rivière.

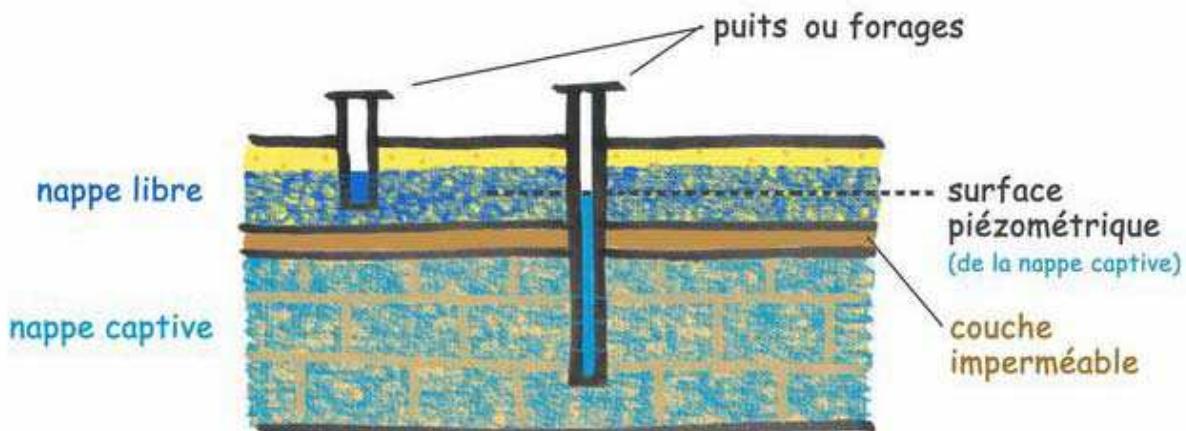
Pour une eau souterraine, la qualité de l'eau de la nappe dépend de celle de la rivière. Cependant la contamination dépend du type de la nappe. S'il s'agit d'une nappe captive, elle est profonde et donc protégée par une couche imperméable. Si la nappe est libre, elle est très sensible à la pollution.



**Figure 2: Coupe d'une nappe alluviale**

(Source : Cours d'hydrogéologies : Principes et méthodes de bases)

La qualité de l'eau souterraine dépend de celle de la rivière, cette figure montre que l'eau souterraine est alimentée par la rivière. L'eau du puits est alors l'eau de la rivière qui s'est infiltrée dans la nappe alluviale.



**Figure 3: Type de nappe**

(Source : Cours d'hydrogéologie : Principes et méthodes de base)

Cette figure illustre les deux types de nappes, libre et captive. Elle nous montre que la nappe captive, par l'existence d'une couche imperméable, ne pourra pas être contaminée par les polluants. Cette réserve d'eau est accessible seulement par forage. Tandis que la nappe libre est vulnérable en raison de sa proximité de la surface.

Les eaux souterraines subissent une fixation et une infiltration des éléments biologiques par le sol, elles évoluent dans des conditions anaérobies, peu de lumière, température basse et stable. Ces conditions limitent le développement des bactéries et des matières organiques.

### I.3 DIFFERENTS TYPES DES EAUX USEES

Les eaux usées encore appelées effluents ou eaux résiduaires proviennent pour la plupart des activités anthropiques. Elles subissent une détérioration de leurs caractéristiques naturelles. Ces eaux, étant fraîches, ont un aspect brun gris une odeur typique et faible. Au fur et à mesure que la température augmente, elles se modifient. Deviennent noirâtre, dégageant une odeur d'œuf pourrie due à la présence d'hydrogène sulfureux.

L'origine des eaux résiduaires peuvent être domestique, industrielle ou pluviale.

#### I.3.1 EAUX USEES DOMESTIQUES

Les eaux usées domestiques proviennent des habitations. Elles sont formées par les eaux ménagères et les eaux-vannes. Les eaux ménagères viennent de la cuisine, de la salle de bain, de la lessive. Les eaux-vannes font référence aux sous-produits de la digestion telles les matières fécales et les urines. Elles sont susceptibles de transmettre des pathologies d'origine virale ou bactérienne. Ces eaux contiennent des matières organiques telles que le sucre et les graisses et des matières minérales (chlorure, phosphate, sulfate, etc...) (Vaillant, 1974). La composition des eaux usées domestiques est à peu près identique pour chaque habitation, mais la quantité est différente. Elle est variée, souvent selon l'accessibilité à l'eau. Néanmoins une grande collectivité consomme donc rejette plus qu'une petite collectivité. Le rejet n'est pas constant dans la journée.



Figure 4: Système d'égout existant

#### I.3.2 EAUX USEES INDUSTRIELLES

Tous rejets résultant d'une utilisation d'eau autre que domestique sont qualifiés de rejets industriels. Ce sont les rejets des usines et des activités artisanales ou commerciales. Sa

caractérisation varie selon l'activité de l'entreprise. Il y a les eaux résiduaires qui résultent des circuits de réfrigération, des lavages des machines, appareils, installations et matières premières de l'usine. Il y a également les liquides résiduaires, il s'agit des liquides résultants des fabrications. Telles les solutions de sous-produits, solutions de produits chimiques ou le cas des liquides acides provenant de la vidange des cuves (Edline, 1979). Les eaux usées industrielles sont fréquemment chargées de matières organiques, phosphorées ou azotées. Elles sont dangereuses pour les humains et l'environnement, raison pour laquelle elles doivent être traitées convenablement avant d'être rejetées.

### **I.3.3 EAUX PLUVIALES**

Les eaux pluviales encore appelées les eaux de ruissellement. Elles résultent des écoulements des surfaces imperméables. Ce sont les eaux des toitures, des voiries, des parkings et des marchés mais également des eaux de drainage. Ces dernières sont peu profondes quand elles ne se sont pas encore infiltrées, elles peuvent alors ressortir quand il y a un drain. Les eaux de drainage lessivent le sol et cheminent avec elles des pollutions liées à la qualité du sol et à son usage. Les eaux pluviales entraînent ainsi des déchets organiques et minéraux : des limons, de la terre, des déchets de végétaux et des micropolluants tels les pesticides, les hydrocarbures, les détergents, etc... (Desjardins, 1997)

Après avoir rappelé les types d'eau usée abordant maintenant la partie concernant la composition des eaux usées, elle donne un aperçu sur toutes les substances que peuvent contenir les eaux usées.

## **I.4 COMPOSITION DES EAUX USEES**

La composition des eaux usées sont variables en fonction de leur origine. Elles incluent d'innombrables substances sous forme solide ou dissoute et de nombreux microorganismes. On peut classer ces substances en quatre groupes selon leurs caractéristiques et du danger sanitaire qu'elles représentent : les matières en suspension, les microorganismes, les éléments traces minéraux ou organiques et les substances nutritives (Baumont et al, 2004).

### **I.4.1 MATIERES EN SUSPENSION**

En majorité, elles sont de nature biodégradable. Les matières en suspension transportent la plupart des microorganismes pathogènes. Elles sont responsables de l'apparence trouble de l'eau et la mauvaise odeur.

## **I.4.2 MICROPOLLUANTS**

Les eaux usées contiennent des micropolluants en quantité infinitésimales. Le risque de contamination indirecte est préoccupant. Certains, comme les métaux lourds ou les pesticides, peuvent contaminer les chaînes alimentaires s'accumulant dans les tissus d'êtres vivants et notamment dans les plantes cultivées. Les micropolluants organiques sont variés et nombreux, ils peuvent provenir des détergents et des pesticides ou également transportés par les eaux pluviales par les réseaux routiers ou les terres agricoles. Ces éléments organiques sont principalement : les chlorophénols, les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les phalates, avec une concentration de 1 à 10  $\mu\text{g.L}^{-1}$  dans les effluents. Dans le sol, quelques composés ioniques tels les solvants chlorés et les pesticides organochlorés peuvent être entraînés dans les profondeurs. Tandis que d'autres sont adsorbés par les particules du sol ou reste lié à la matière organique.

Les polluants organiques toxiques sont principalement les pesticides et les détergents.

### **i. Les pesticides**

Les pesticides sont les produits utilisés contre les organismes nuisibles à la santé, attaquant les ressources végétales ou animales nécessaires à l'alimentation humaine, à la conservation de l'environnement et à l'industrie.

### **ii. Les détergents**

Les détergents sont les produits de nettoyage, utilisés par les ménages et l'industrie. Leur présence dans l'eau est due au rejet d'effluents urbains ou industriels (F. Valarion, 1991).

## **I.4.3 Éléments traces**

Les métaux lourds dans les eaux usées urbaines sont nombreux. Les plus abondants sont : le fer, le zinc, le cuivre et le plomb. Ils sont de l'ordre de quelques  $\mu\text{g.L}^{-1}$ . Les autres métaux tels que le manganèse, le chrome, l'aluminium, l'arsenic, le mercure, le cadmium, le nickel, le molybdène, le sélénium sont à l'état de trace. Cependant peu d'éléments traces sont reconnus nécessaires au développement de la vie végétale mais en très faible concentrations. Ce sont : le fer, le bore, le zinc, le molybdène et le cuivre (Cauchi et al, 1996).

Quelques substances retrouvées dans les effluents sont reconnues indispensables pour le développement des plantes, à condition que leur concentration ne dépasse certaine limite. Nous allons voir par la suite ces substances appelées substances nutritives.

#### I.4.4 Substances nutritives

L'azote, le potassium, le phosphore et les oligo-éléments sont indispensables dans la vie des végétaux, tout comme certains éléments traces se trouvant dans les eaux usées en quantité appréciables mais en proportion très variable par rapport aux besoins de la végétation.

- L'azote : sa forme dans les eaux usées est organique ou ammoniacale dissoute. Il est généralement oxydé pour prévenir une consommation d'oxygène dans la nature et un risque de toxicité par l'ammoniaque gazeux dissous, en équilibre avec l'ammoniac (Martin, 1979).
- Le phosphore : dans les eaux résiduaires la concentration du phosphore varie de 6 à 15 mg.L<sup>-1</sup>. Cette quantité est trop faible pour modifier le rendement, mais au cas où il y a excès il est retenu par le sol par des réactions d'adsorption et de précipitation. La rétention est d'autant plus tangible que le sol contient des oxydes de fer, de calcium ou d'aluminium en quantité importante.
- Le potassium : dans les effluents secondaires, le taux de potassium est de 10 à 30 mg.L<sup>-1</sup> (FAO, 2003).
- Le chlore et le sodium : ils posent problème, particulièrement en bord de mer quand les réseaux d'égout drainent les phréatiques saumâtres. Leur origine peuvent être naturelle (mer : 27 g.L<sup>-1</sup> de chlorure de sodium), humaine (dans les urines : 10 à 15 g.L<sup>-1</sup> par jour) ou industrielle (industrie pétrolière, galvanoplastie, agroalimentaire) (Faby, 1997).

Les eaux résiduaires ont leurs caractéristiques propres, différentes de celles des eaux naturelles. La partie suivante présente les caractéristiques physiques, chimiques et microbiologiques des eaux usées.

### I.5 CARACTERISTIQUES DES EAUX USEES

#### I.5.1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

##### i. La température

Il est nécessaire de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, c'est un facteur écologique important du milieu. La température joue un rôle dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité. De même sur la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. Sur le métabolisme de croissance des microorganismes dans l'eau, elle agit également comme un facteur physiologique. L'augmentation de la température favorise l'autoépuration et accroît la vitesse de sédimentation présentant ainsi un intérêt dans les stations d'épuration.

## ii. La conductivité

La conductivité de l'eau est la mesure de sa capacité à conduire le courant électrique entre deux électrodes. Les matières dissoutes dans l'eau se trouvent, pour la plupart, sous forme d'ions chargés électriquement. La conductivité permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau c'est-à-dire apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau. Ci-après un tableau démontrant la relation entre la conductivité et la minéralisation.

**Tableau 6: Relation entre conductivité et minéralisation**

Conductivité	Minéralisation
0 – 100 $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Minéralisation très faible
100 – 200 $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Minéralisation faible
200 – 333 $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Minéralisation moyenne accentuée
333 – 666 $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Minéralisation accentuée
666 – 1000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Minéralisation importante
> 1000 $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Minéralisation élevée

Ce tableau montre la relation la conductivité et la minéralisation. Au fur et à mesure que la conductivité augmente, la minéralisation est élevée. La conductivité est alors un paramètre pouvant estimer la minéralisation d'une eau.

## iii. La turbidité

La turbidité est la mesure de la transparence de l'eau. C'est réduction de la transparence du liquide due à la présence des matières non dissoutes, les matières en suspension fines comme les argiles, les grains de silice et les microorganismes. La turbidité peut aussi être causée par les matières colloïdales d'origine organique ou minérale. Elle représente l'opacité d'un milieu trouble. Les fortes précipitations induisent les pics de la turbidité, les aménagements qui provoquent une augmentation des ruissellements superficiels et l'érosion du sol accentue également la turbidité telles les pratiques agricoles laissant le sol à nu.

## iv. Les matières en suspension (MES)

Les MES représente les matières filtrables, celles qui ne sont ni à l'état dissous ni à l'état colloïdale. Ces matières peuvent être organiques et/ou minérale, elles permettent de bien

évaluer le degré de la pollution de l'eau. Leur teneur et leur composition varie selon les cours d'eau. Les MES dépendent de la nature du sol traversé et de la saison du rejet. Leur teneur élevé dans les eaux naturelles empêche la pénétration des rayons solaires, diminuer l'oxygène dissous et ainsi limiter le développement de la vie aquatique.

v. Les matières décantables

Ce sont les matières de grande taille entre 40µm et 5mm, elles se déposent par traitement physique ou chimique. Peuvent être d'origine minérale, végétale ou animale.

### I.5.2 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

i. Le potentiel hydrogène pH

Le pH conditionne les équilibres physico-chimiques de l'eau. Il représente la basicité ou l'alcalinité de l'eau. Pour les eaux naturelles il est lié à la nature du sol traversé. Pour la plupart le pH dépend de l'équilibre calco-carbonique :



Le pH est un indicateur de la qualité de l'eau, c'est un paramètre important pour définir le caractère incrustant ou agressif de l'eau.

ii. La demande biologique en oxygène DBO5

La DBO5 exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques présentent dans les eaux usées par les bactéries du milieu par oxydation. Ces microorganismes consomment de dioxygène lors de l'oxydation des composés organiques biodégradables. La mesure de cette demande biochimique en oxygène permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables d'où le degré de pollution de l'eau. Pour les stations d'épuration qui épure par voie biologique, la valeur de la DBO5 est intéressante car l'évolution de cette valeur permet de suivre l'efficacité du traitement. Elle peut être caractérisée par les besoins épuratrices des bactéries. La DBO5 montre l'influence possible des eaux usées sur les cours d'eau récepteurs, du point de vue de la diminution de leur teneur en oxygène. Pour la dégradation des composés glucidiques, lipidiques et protidiques, elle se traduit tout d'abord par la décomposition des chaînes carbonées. Celle-ci demande beaucoup de temps, donc par convention la DBO5 est mesurée par la consommation d'oxygène à 20°C dans l'obscurité pendant cinq jours d'incubation d'un échantillon. Ce temps assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonés.

Les facteurs influents sur la valeur de la DBO5 sont :

- La variation de la température affectant tous les processus biologiques.

- Les microorganismes doivent être assez nombreux.
- Un milieu pauvre en dérivés azotés et phosphatés (sels nutritifs) entraîne une baisse de la DBO5.
- Un pH entre 6,5 et 8,5 sinon la valeur mesurée ne correspondra qu'à une fraction de la DBO5 réelle.

Quant à la présence des métaux lourds comme le cuivre, le cadmium et le chrome même en faible quantité inhibe l'action des bactéries. La dégradation et la consommation du dioxygène se passe alors selon cette relation du premier ordre :

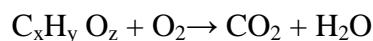
$$DBO_t = DBO_{finale} (1-10^{-kt}) \quad (2)$$

Avec  $k$  = coefficient moyen du temps de réaction

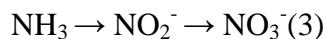
$t$  = temps d'incubation en jour

$DBO_{finale}$  est la somme de la  $DBO_{finale}$  des composés carbonés et azotés

Le processus d'oxydation représenté par l'équation (2) de la DBO traduit l'oxydation des matières carbonées :



On peut représenter l'oxydation des matières azotées comme suit:



### iii. La demande chimique en oxygène DCO

La DCO est la teneur des matières organiques, biodégradables ou non. C'est la mesure de la quantité dioxygène nécessaire à l'oxydation des matières organiques présentes (protéines, lipides, glucides...) dans les eaux résiduaires. C'est-à-dire que la DCO est la demande chimique en oxygène mesurée en gramme par litre exprimant la quantité du dioxygène fournie par le bichromate de potassium indispensable pour oxyder, en présence de permanganate, les substances dans l'eau notamment les éléments chimiques.

La différence entre la DCO et la DBO indique l'importance des matières organiques peu ou pas organiques. Dans les contrôles routiniers de même origine, on peut écrire cette relation :  $DCO = kDBO5$ . Donc afin d'avoir une idée de la pollution organique, il est important d'établir des relations entre DBO5, DCO et COT (Carbone Organique Totale).

Prenons l'exemple du glucose qui est une substance totalement biodégradable, la DBO finale établie est environ 90% de la DTO (Demande Théorique en Oxygène). Les 10% des matières organiques initiales évoluent sous forme d'un résidu cellulaire non biodégradable donc ils ne sont pas mesurés par la DBO par contre c'est la DCO qui les mesure (Moussa, 2005).

Par conséquent, on a :

$$DCO \text{ (mg.L-1)} = \frac{DBO_{finale}}{0,90} = DTO \text{ (Demande Théorique en Oxygène)} \quad (4)$$

Si le rapport entre la DBO et la DCO est supérieure ou égale à 0,6 les substances sont dites biodégradables. Il existe des valeurs guides pour ces paramètres afin de savoir les traitements à appliquer (OMS, 1986).

#### iv. Carbone organique total (COT)

Le carbone organique est constitué de divers composés organiques à plusieurs états d'oxydation, dont certains sont susceptibles d'être oxydés par des procédés biologiques ou chimiques. Ces fractions sont caractérisées par la demande biologique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO)(Conv. 1990). Le dosage du COT permet de mesurer certaines matières organiques qui échappent soit à la DBO soit à la DCO. Le COT ne mesure pas l'azote et l'hydrogène qui peuvent être pris en compte par la DBO et la DCO.

Le COT détermine les composés organiques naturels ou synthétiques dans les eaux résiduaires tels les celluloses, les sucres et les huiles.

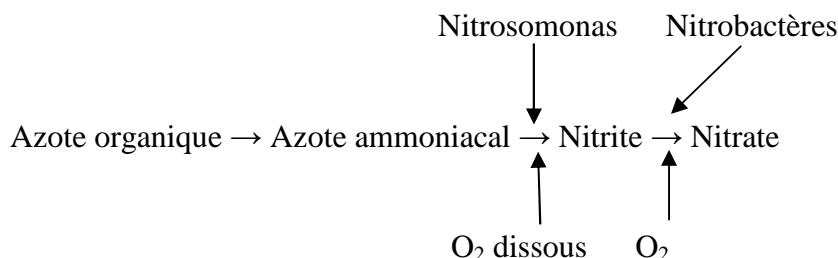
Il y a une relation entre DCO et COT impliquant le rapport stœchiométrique. Le rapport des poids moléculaires du carbone et de l'oxygène d'une eau usée se rapproche de ce rapport(Tarmoul et Sodi, 2007).

$$\frac{\text{DCO}}{\text{COT}} = \frac{32}{12} = 2,66 \text{ (selon Eckenfelder) (5)}$$

#### v. Azote

Dans les eaux usées domestiques, on retrouve l'azote sous forme organique et ammoniacal. L'azote organique est un composant majeur des protéines, il est recyclé en continu par les plantes et les animaux.

L'azote ammoniacal se présente sous deux formes en solution : l'ammoniac NH<sub>3</sub> et l'ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Il est toxique sous forme NH<sub>4</sub><sup>+</sup> car sa présence dans les eaux est due à un processus de dégradation incomplète des matières organiques. En milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrite puis en nitrate. Cette transformation provoque une consommation d'oxygène (Tarmoul et Sodi, 2007).



Dans de domaine de production d'eau potable, la présence d'ammoniaque nécessite l'augmentation de consommation en chlore lors de la désinfection. Pour les faunes aquatiques, c'est la forme NH<sub>3</sub> qui leur est toxique. Mais encore la toxicité dépend de la température et du pH.

Ainsi on peut calculer la dose de toxicité comme suit :

$$|\text{NH}_3| = |\text{NH}_4^+| \times \frac{1}{1 + 10^{(\text{pH} - 0,03t)}}$$

Avec t = température (Rodier, 1984)

#### vi. Nitrite et nitrate

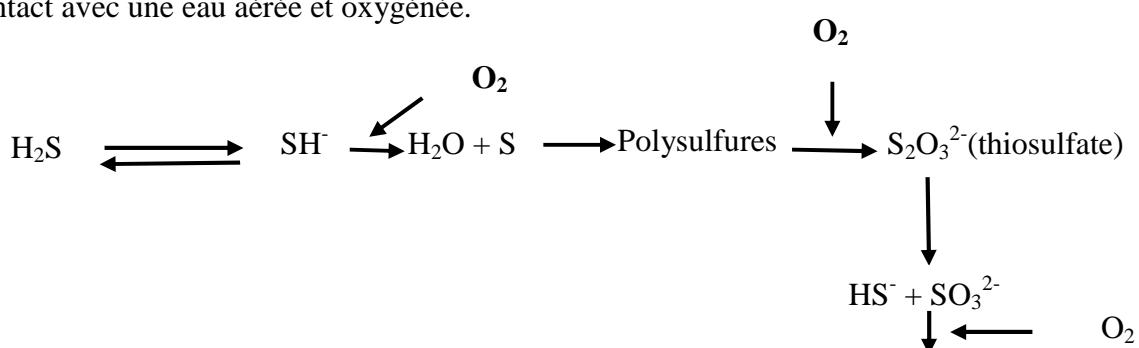
Les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) sont des composés intermédiaires du processus de nitrification et de dénitrification. Les nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) sont un stade entre l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et les ions nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), les nitrosomonas qui sont des bactéries nitrifiantes transforment l'ammonium en nitrate. C'est la nitrification. La toxicité des nitrites augmente avec la température, ils sont dangereux pour les êtres vivants aquatiques même à faible concentration (Rodier, 2009). Chez les humains, l'intoxication par les nitrites se traduit par une méthémoglobinémie ou formation des nitrosamines (OMS 2, 1986).

Tandis que les nitrites par l'action des bactéries dites nitrobactères se transforment en nitrates, c'est la dénitrification. Les nitrates ne sont pas toxiques mais à une teneur élevée, ils provoquent l'eutrophisation du milieu. Par contre, ils jouent un rôle de fertilisants chez les plantes qui assimilent l'azote sous la forme NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Généralement, la teneur des nitrates dans l'eau est plus élevée, 50mg.L<sup>-1</sup>. (OMS 3, 1986)

Les nitrites et nitrates proviennent de l'utilisation des engrains, de l'industrie chimique et de l'industrie alimentaire.

#### vii. Sulfure

On retrouve le sulfure, sulfure d'hydrogène y compris, dans les eaux usées et surtout dans les rejets des papeteries ou des tanneries. Il se transforme rapidement en sulfate s'il entre en contact avec une eau aérée et oxygénée.



Métabolisme du sulfure d'hydrogène H<sub>2</sub>S (Lawers, 2007)

### viii. Chrome

La présence du chrome est souvent liée aux rejets industriels. Les rapports de l'organisation mondiale de la santé indique que quelque microgramme de ce métal est utile pour l'équilibre du métabolisme du glucose, des protéines, des lipides et il a un effet protecteur contre l'artériosclérose (OMS, 1976).

### **I.5.3 CARACTERISTIQUES MICROBIOLOGIQUES**

Dans l'eau, on peut retrouver des organismes libres, citons par exemple les planctons et les macro-invertébrés. Les planctons sont en suspension dans l'eau et sont composé de zooplancton et de phytoplancton. Les macro-invertébrés sont constitués par les larves d'insectes, insectes aquatiques, crustacées et gastéropodes. Les organismes formant le plancton jouent un rôle important sur la qualité de l'eau. Ils produisent des substances toxiques et hébergent des germes pathogènes pour l'homme (Rodier, 2009).

Les agents pathogènes dans l'eau sont les virus, les bactéries et les protozoaires et les helminthes. Ces organismes accompagnent les matières fécales. Ils sont donc présents dans les eaux usées (Baumont et al, 2004).

Dans le premier chapitre, l'accent est mis sur les types des eaux résiduaires, leurs compositions et leurs caractéristiques. Le nouveau chapitre que nous allons exposer concerne la pollution environnementale et, notamment la pollution de l'eau.

## CHAPITRE II : ETUDE DE LA POLLUTION

La pollution désigne toutes activités, d'origine anthropique, apportant des changements au fonctionnement de l'écosystème. C'est donc une dégradation physique, chimique et bactériologique des qualités naturelles de l'environnement. Elle perturbe les conditions de vie des faunes et des flores et compromets l'équilibre du milieu naturel. Cependant, il existe des pollutions dues à des phénomènes naturelles, comme par exemple l'éruption d'un volcan. Une éruption génère des nombres de particules modifiant la nature.

### II.1 POLLUTION DE L'EAU

Une eau est polluée quand sa qualité naturelle est altérée. Une eau polluée est dangereuse pour les usagers et l'écosystème aquatique. La pollution peut atteindre les eaux de surfaces et/ou les eaux souterraines. La demande en eau ne cesse d'augmenter, il convient donc de distinguer l'eau prélevée, consommée et perdue. Mais surtout il faut examiner l'état dans lequel elle est remise. L'homme rejette dans l'eau de surfaces toutes sortes de déchets liés à son activité. Les rivières reçoivent ainsi les déchets ménagers, industriels et agricoles.

Il y a des signes caractérisant la pollution :

#### Signes caractéristiques physiques

L'eau polluée, en général, n'est pas claire et dégage une odeur nauséabonde. Les particules en suspension, les pellicules flottantes d'huiles et substances similaires en sont les signes. On reconnaît les eaux polluées par son odeur, sa turbidité, sa température, son pH et par sa teneur en oxygène dissous.

#### Signes caractéristiques chimiques

Les signes chimiques sont la demande chimique en oxygène, la demande biochimique en oxygène, la teneur en azote ammoniacal, la concentration substances toxiques et radioactives.

#### Signes caractéristiques biologiques

L'eutrophisation en est un signe, elle caractérisée par l'abondance des organismes libres et agents pathogènes.

Cette partie examine la pollution de l'eau en mettant en exergue la cause de la pollution de l'eau et les types de pollution affectant l'eau.

## **II.1.1 ORIGINE DE LA POLLUTION DE L'EAU**

La plupart des activités humaines qui utilisent de l'eau produisent des eaux usées. La demande en eau dans son ensemble augmente, la quantité des eaux usées produites et leurs charges polluantes sont également en augmentation constante.

La pollution de l'eau résulte souvent des activités humaines ; industries, agricoles et des décharges domestiques. Quant à son origine naturelle, elle est due à des catastrophes naturelles telle une éruption volcanique.

Les eaux souillées rejetées par les maisons contenant des matières fécales, des papiers toilettes, des déchets d'aliments, des graisses, des cosmétiques, des médicaments, des germes pathogènes mais également les eaux évacuées par les hôpitaux, les laboratoires, les restaurants, les bouchers, les boulanger et bien d'autres, qui pour des raisons d'hygiènes utilisent souvent des produits spécifiques contaminent les ressources en eau.

L'utilisation intensive des engrains et des pesticides provoquent une altération de la qualité de l'eau. Avec les eaux de ruissellement, ces produits infectent les cours d'eau. Par infiltration des eaux de pluies et des eaux d'arrosage les eaux souterraines sont sujettes à la pollution. Par exemple, les engrains azotés sont source de nitrate.

Les industries génèrent également des polluants très diverses selon les produits fabriqués, les processus de fabrication, l'utilisation de l'eau dans ces processus. On peut y retrouver des matières organiques, biocides, métaux, hydrocarbures, ...

## **II.1.2 TYPES DE POLLUTIONS**

Les trois types de pollution de l'eau que nous allons exposer maintenant sont : la pollution physique, la pollution chimique et la pollution microbiologique.

### **II.1.2.1 Pollution physique**

La pollution physique résulte des décharges de déchets et des particules solides apportés par les eaux de ruissellement et les eaux résiduaires industriels. Ce sont des éléments grossiers comme les sables ou les matières en suspension.

Il peut y avoir aussi les liquides de refroidissement issus des centrales thermiques, nucléaires ou raffineries, la température élevée de ces liquides induit la diminution de la teneur en oxygène dissous. En cas de rejet direct dans le milieu naturel, la température accélère la biodégradation ainsi que la prolifération et la propagation des germes. Un accroissement de la température favorise les effets néfastes de la pollution.

Une pollution peut être également d'origine radioactive. Les sources de pollution sont essentiellement les installations nucléaires. Sur le plan écologique, la difficulté est due au fait que le seul moyen de faire disparaître la radioactivité est de laisser l'élément se désintégrer spontanément. Les substances radioactives ont un effet direct sur la population aquatique en raison de leur toxicité et de leur propriété cancérogène.

### II.1.2.2 Pollution chimique

La pollution chimique est le résultat des rejets chimiques d'origine domestique, agricole et industriel. On peut regrouper la pollution en deux catégories : organique et minérale.

■ Pollution organique : cette catégorie regroupe les effluents chargés en matières organiques biodégradables. Elles proviennent des effluents domestiques (déjections humaines, graisse,...) et des rejets des usines agroalimentaire (laiteries, sucreries, abattoirs,...). Les principaux polluants organiques sont les hydrocarbures, les pesticides, les détergents. La première conséquence à cette pollution est la consommation d'oxygène dissous dans les eaux.

Les hydrocarbures : ce sont des substances peu soluble dans l'eau et difficilement biodégradables. En surface, ils forment un film et empêche les échanges gazeux. Ils sont issus des transports et des industries pétrolières (encyclopedia, 1995).

Les pesticides : généralement ils sont utilisés en agriculture. Les effets néfastes des pesticides sont une rémanence et une stabilité chimique induisant à une accumulation dans les chaînes alimentaires, ils provoquent aussi une rupture de l'équilibre naturel.

Les détergents : issus des effluents urbains et industriels. La formation des mousses, l'apparition du goût de savon et le ralentissement du transfert et de la dissolution de l'oxygène dans l'eau sont les suites de leur présence.

■ Pollution minérale : les polluants minéraux sont principalement les éléments minéraux nutritifs et les métaux lourds. Ils provoquent des troubles aux fonctionnements des faunes et flores aquatiques (Mayet, 1994).

Les éléments nutritifs proviennent pour la plupart de l'agriculture et des effluents domestiques. Ils sont à l'origine de la prolifération excessive d'algues et de planctons dans le milieu.

Les métaux lourds sont le mercure Hg, le cadmium Cd, le plomb Pb, l'argent Ag, le cuivre Cu, le zinc Zn, le nickel Ni et le chrome Cr. Ces éléments peuvent avoir une origine naturelle mais souvent ils sont apportés par les rejets industriels. Ils ont la particularité de s'accumuler dans les organismes vivants affectant ainsi la chaîne alimentaire (Keck et Vernus, 2000).

### II.1.2.3 Pollution microbiologique

Les polluants biologiques sont couramment liés au péril fécal. On peut classer ces organismes en quatre groupes, par ordre croissant de taille : les virus, bactéries, protozoaires et helminthes.

Les virus : ce sont des organismes de petites tailles (10 à 350 nm), ils se multiplient en infectant un organisme hôte. Ce sont les plus préoccupants en matière de transmission par l'eau des maladies infectieuses. Dans les eaux usées urbaines, on estime leur concentration entre  $10^3$  et  $10^4$  particules par litre. Les virus entériques sont ceux qui se multiplient dans le trajet intestinal. Parmi les virus entériques humains, les plus importants sont les : entérovirus, rotavirus, rétrovirus, adénovirus et virus de l'hépatite A (Asanao, 1998).

Les bactéries : ce sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau, ayant une taille entre 0,1 à 10  $\mu\text{m}$ . Dans les fèces, la quantité moyenne de bactéries est environ 1012 bactéries par gramme de fèces. Pour les eaux usées urbaines, elles contiennent environ 106 à 107 par 100 mL. (Asano, 1998). Parmi les plus fréquemment rencontrés, il y a les coliformes et les streptocoques. Le terme coliforme regroupe un certain nombre d'espèces bactériennes Gram négatif (Gram<sup>-</sup>) appartenant à la famille des *Entériobacteriaceae*, ce sont des bactéries que l'on peut trouver dans l'intestin. Quant aux streptocoques, ils sont de la famille des *Streptococcaceae*, ce sont des bactéries Gram positif (Gram<sup>+</sup>). Pour les streptocoques fécaux, leur habitat naturel est le tube digestif des animaux à sang chaud.

Les protozoaires : ce sont des organismes unicellulaires, ils se développent au dépend de leur hôte. Ce sont des parasites pathogènes pour l'homme et transmissibles par l'eau. Tous les protozoaires sont associés à des manifestations épidémiques dues à l'eau de boisson (Valiron, 1983).

Les helminthes : Ils ne sont pas forcément véhiculés par l'eau, cependant on a pu déceler une grande variété d'œufs et de larves d'helminthes dans l'eau de boisson. Ceux qui sont apportés par l'eau sont : les Trématodes (douve), les Cestodes (ténia) et les Nématodes (vers rond).

La partie précédente nous a permis de souligner l'étude de la pollution de l'eau. Quant à la suivante, elle montrera à quel point les eaux résiduaires sont considérées comme un fardeau en assainissement. Elles sont déversées directement dans le milieu naturel.

## II.2. DEVERSEMENT DES EAUX USEES DANS LE MILIEU NATUREL

La pollution n'est pas un phénomène récent ou accidentel. C'est un problème qui compte parmi les plus antiques. Aux époques préhistoriques, les premières cités se constituèrent avec leurs ruisseaux d'écoulement des effluents domestiques. Depuis ces temps, la pollution a sévi. Cependant, jusqu'à l'avènement de la civilisation industrielle, son étendue et sa nature ont été limitées. Dans tous les pays, à l'exception des plus développés, la grande majorité des eaux résiduelles sont directement rejetées dans l'environnement, sans traitement adéquat. Ce qui a des effets néfastes pour la santé humaine, la qualité des ressources en eau, l'écosystème et même la productivité économique. Aujourd'hui les ménages et les industries émettent des eaux usées d'une ampleur colossale. Les industries, les fermes d'élevage, les ménages déversent les eaux usées dans les cours d'eau avoisinant. Et ces rejets augmentent d'autant plus que l'explosion démographique par contre le pouvoir auto-épurateur de la nature suit une évolution inverse. De ce fait nous accumulons des masses énormes de déchets en élaborant des substances minérales et organiques non biodégradables. Cette accumulation perturbe les mécanismes de fonctionnement de la biosphère. Conscients de ces perturbations et des conséquences, des lois sur les rejets ont été élaborées.

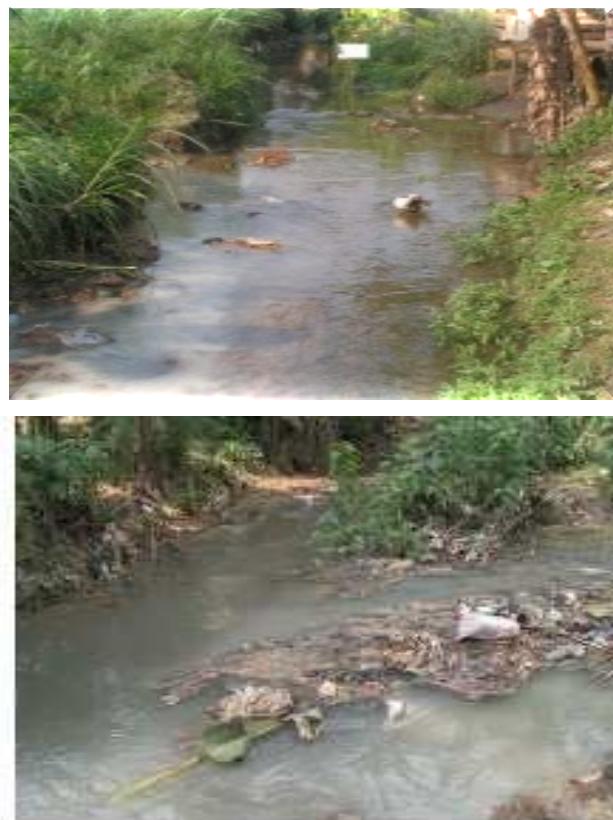
Il existe des normes régissant les rejets des eaux dans la nature. Elles ont été conçues dans le but d'éviter tout risque de contamination tant pour la santé humaine que pour l'environnement. Ci-après le tableau contenant ces normes de rejet.

**Tableau 7: Norme de rejet international selon OMS**

Caractéristiques	Normes (OMS)
pH	6,5 – 8,5
DBO5	<30mg.L <sup>-1</sup>
DCO	<90mg.L <sup>-1</sup>
MES	<20mg.L <sup>-1</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	<0,5mg.L <sup>-1</sup>
NO <sub>2</sub>	1mg.L <sup>-1</sup>
NO <sub>3</sub>	<1mg.L <sup>-1</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<2mg.L <sup>-1</sup>
Température	<30°C
Couleur	Incolore
Odeur	Inodore

A Madagascar, ces normes peinent à être suivies et pour cause l'absence et/ou l'inexistence des stations d'épuration des eaux usées. Or les peu des stations existantes ne sont même pas chargées de l'épuration des effluents domestiques mais seulement pour les grandes industries. Raison pour laquelle les rivières sont devenues des égouts à ciel ouvert. Par conséquent l'équilibre de la nature est perturbé. Et ce déséquilibre a des effets immédiats sur l'utilisation de l'eau mais également il peut provoquer des effets à long terme, parfois même irréversibles dans le domaine de la vie humaine.

La rivière de Tsiandanitra reçoit les effluents domestiques des villageois. Donc toutes sortes de pollution apportées par les rejets trouvent refuge dans le lit de cette rivière.



**Figure 5: Canal d'évacuation**

Voici quelques exemples des conséquences des eaux usées non traitées sur la santé humaine, l'environnement et l'économie :

**Tableau 8 : Impacts du rejet des eaux usées non traitées**

Domaines d'impacts	Exemples d'impacts
Santé	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Augmentation des maladies dues à la dégradation de la qualité de l'eau potable.</li> <li>■ Augmentation des maladies dues à l'insalubrité des aliments (contamination poisson, légumes)</li> <li>■ Augmentation des maladies en raison de la qualité des eaux de baignade.</li> </ul>
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Odeurs nauséabondes</li> <li>■ Dégradation des écosystèmes aquatiques (eutrophisation)</li> <li>■ Bioaccumulation des toxines</li> <li>■ Réduction de la biodiversité</li> </ul>
Economie	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Augmentation du fardeau financier sur les soins de santé</li> <li>■ Accroissement du cout de traitement de l'eau (approvisionnement en eau potable)</li> <li>■ Baisse de la valeur marchande des poissons, crustacés, mollusques et diminution des prises</li> <li>■ Réduction des loisirs aquatiques (baisse du nombre de touristes)</li> <li>■ Baisse de la productivité agricole et de la valeur marchande des récoltes</li> </ul>

Ce sont des exemples des impacts négatifs du rejet des eaux usées sans traitement adéquats. Selon ces exemples les répercussions du non gestion des eaux résiduelles atteignent différentes domaines. Ainsi, les impacts causés par les eaux usées non traitées affaiblissent la capacité des écosystèmes à fournir des services liés à l'eau.

Parlons maintenant de notre méthodologie d'étude, commençant par le lieu de prélèvement et la prise des échantillons, suivis par les analyses des paramètres physiques et chimiques.

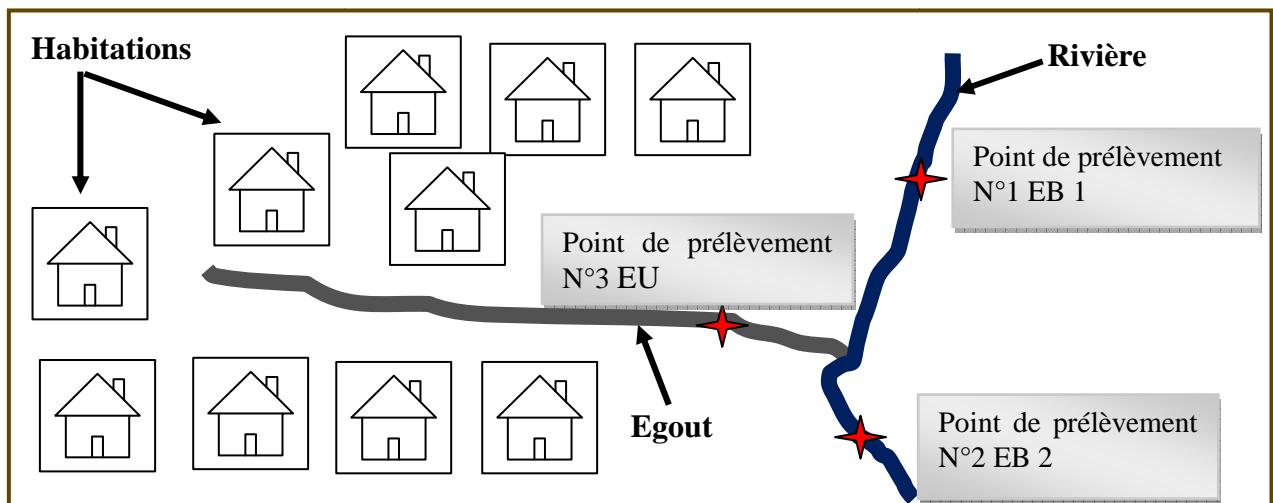
## II.3. METHODES D'ANALYSE

Afin d'avoir une idée précise de la pollution de l'eau et d'évaluer le cas de contamination, il est nécessaire voire indispensable d'effectuer des analyses. Tant pour l'eau de la rivière et les eaux résiduaires. Déterminer les différents paramètres nous permet d'évaluer le degré de pollution. Notre objectif est d'effectuer des analyses des eaux usées rejetés par les villageois et des analyses de l'eau de la rivière.

### II.3.1 Lieu de prélèvement

Notre étude concerne l'arrondissement d'Andrianjato-Nord, plus précisément le village d'Antamponjina qui est le plus proche de la rivière de Tsiamannitra.

Les prélèvements des échantillons ont été faits en trois points. Notre premier point de prélèvement est au niveau de la rivière en amont du point de rejet, le second en aval et le troisième s'agit de l'eau résiduaire.



**Figure 6: Prélèvement de l'échantillon des eaux résiduaires**

### **II.3.2 Echantillonnage**

Concernant la prise des échantillons, on a eu recours à des récipients en plastiques en raison des facilités qu'ils représentent pour le transport et de la possibilité de leur usage unique étant donné leur prix compétitif.

Cependant, le mode de prélèvement est différent selon l'origine de l'eau. Pour une eau de rivière la bouteille est plongée à une certaine distance du fond (50 cm) et de la surface, assez loin des rives ou des bords ainsi que des obstacles naturelles ou artificielles. Tandis que pour les eaux résiduaires, l'échantillon est prélevé au point de rejet de l'égout.

### **II.3.3 Analyses des paramètres**

Afin de pouvoir assimiler les caractéristiques propres des eaux usées, il sera mieux de jeter un coup d'œil aux différents paramètres à savoir la température et la conductivité, la turbidité, le pH, le titre alcalimétrique, le titre hydrotimétrique, le DBO, le DCO et les matières en suspension. Ces paramètres caractérisent les eaux résiduaires, raison pour laquelle nous portons de plus amples explications à leur propos.

#### **Température et conductivité**

La conductivité est la capacité d'une solution, d'un métal ou d'un gaz autrement dit de tous les matériaux, à faire passer un courant électrique. Dans une solution ce sont les anions et les cations qui transportent le courant. La conductivité ( $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ) se mesure en appliquant un courant électrique alternatif (I) à deux électrodes immergées dans la solution et en mesurant la tension (V) qui en résulte. Il est nécessaire que la tension appliquée soit assez faible pour éviter le phénomène d'électrolyse. Lors de cette expérience, les cations migrent en direction de l'électrode négative, les anions se dirigent vers l'électrode positive et la solution se comporte comme un conducteur électrique.

La conductivité est dépendante de la température ; si la température augmente, la conductivité augmente aussi. Le conductimètre mesure la conductivité et la température réelles puis en utilisant un facteur de correction de température, il va convertir la valeur de la conductivité pour la ramener à la température de référence désirée ( $20^\circ\text{C}$  ou  $25^\circ\text{C}$ ) et afficher le résultat obtenu. Ainsi, le résultat de la conductivité doit toujours être associé à une température, sinon il n'est pas exploitable.

## ✚ Turbidité

La turbidité est en relation avec la mesure des matières en suspension, elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique. L'appréciation de l'abondance de ces particules mesure son degré de turbidité. La turbidité peut être évaluée par un certain nombre de méthodes. Elle est appréciée soit par rapport à des solutions témoins opalescentes (formazine, mastic,...), soit par la mesure de la limite de visibilité d'un objet défini (fil de platine, disque de Secchi). Pour notre cas, on a utilisé un turbidimètre. Les échantillons doivent être agités vigoureusement avant la mesure. L'unité de la turbidité est NephelometricTurbidityUnity NTU.

## ✚ Potentiel hydrogène pH

Le pH est relié à l'activité en protons par : $pH = -\log [H_3O^+]$

Les valeurs du pH peuvent être calculées dans des cas simples. Dans les eaux naturelles, la valeur du pH est imposée par l'équilibre de l'acide carbonique. Pour la mesure du pH, il y a plusieurs méthodes telles la méthode colorimétrique ou la méthode potentiométrique avec électrode de verre.



**Figure 7: Conductimètre-Spectrophotomètre-Turbidimètre-pH-mètre**

## ✚ Dureté ou titre hydrotimétrique TH

La dureté ou titre hydrotimétrique est une grandeur reliée à la somme des concentrations en cations métalliques, sauf les métaux alcalins ( $Na^+$ ,  $K^+$ ). Dans la plupart des cas la dureté est surtout due aux ions alcalino-terreux ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ). Pour notre cas, nous avons déterminé la dureté totale ou titre hydrotimétrique qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne et la dureté calcique correspondant à la teneur en sels de calcium. La dureté est exprimée en degré français ( $^{\circ}f$ ) qui représente la dureté d'une solution contenant 10 mg de carbonate de calcium dans 1 L.

La détermination de la dureté totale se fait par titrimétrie à l'EDTA, méthode permettant de doser rapidement les ions calcium et magnésium. Cette méthode a pour principe d'amener les alcalino-terreux à former un complexe par le sel de l'acide éthylènediaminetétracétique à pH égal à 10. La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur le noir d'ériochrome. La différence entre la dureté totale et la dureté calcique donne la dureté magnésienne.

#### **Titre alcalimétrique TA et titre alcalimétrique complet TAC**

Le titre alcalimétrie TA et titre alcalimétrie complet TAC traduisent l'alcalinité de l'eau. Elle correspond à la présence des ions hydroxyles ( $\text{OH}^-$ ), de carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et de bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ). L'alcalinité est l'inverse de l'acidité. L'unité utilisée est le degré français dont  $1^\circ\text{f}$  correspond à  $10 \text{ mg.L}^{-1}$ .

La détermination des titres alcalimétriques est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué, en présence d'un indicateur colorée.

Pour la détermination du TA, on ajoute 2 gouttes de phénol phtaléine dans l'eau à analyser et titrer avec de l'acide chlorhydrique ou sulfurique. Une coloration rose doit se développer dans le cas contraire le TA est nul.

Concernant le TAC, on ajoute 2 goutte de vert de bromocrésol et de rouge de méthyl et titrer avec l'acide chlorhydrique ou sulfurique jusqu'à ce que le vert disparaisse et noter le volume du début de virage.

#### **Demande biochimique en oxygène DBO5**

Le test de la demande biochimique en oxygène constitue un moyen pour l'étude des phénomènes naturels de destruction des matières organiques. Les difficultés d'application, d'interprétation des résultats, de reproductibilité, sont liées au caractère biologique de la méthode. La courbe de consommation d'oxygène est d'abord faible puis s'élève rapidement jusqu'au plateau, sous l'action de la phase logarithmique décroissance.

#### **Demande chimique en oxygène DCO**

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau. La mesure correspond à une estimation des matières oxydables dans l'eau quelle que soit leur origine organique ou minérale.

## Matières en suspension

La détermination des matières en suspension dans l'eau s'effectue par filtration ou par centrifugation. Les matières grossières en suspension doivent être préalablement éliminées par passage sur un tamis et les dépôts restant dans le flacon de prélèvement soigneusement repris. L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle. La teneur de l'eau en matières en suspension( $\text{mg.L}^{-1}$ ) est donnée par l'expression :

$$MS = \frac{M1 - M0}{V} \times 1000$$

$M0$  = masse du disque filtrant avant utilisation (mg)

$M1$  = masse du disque filtrant après utilisation (mg)

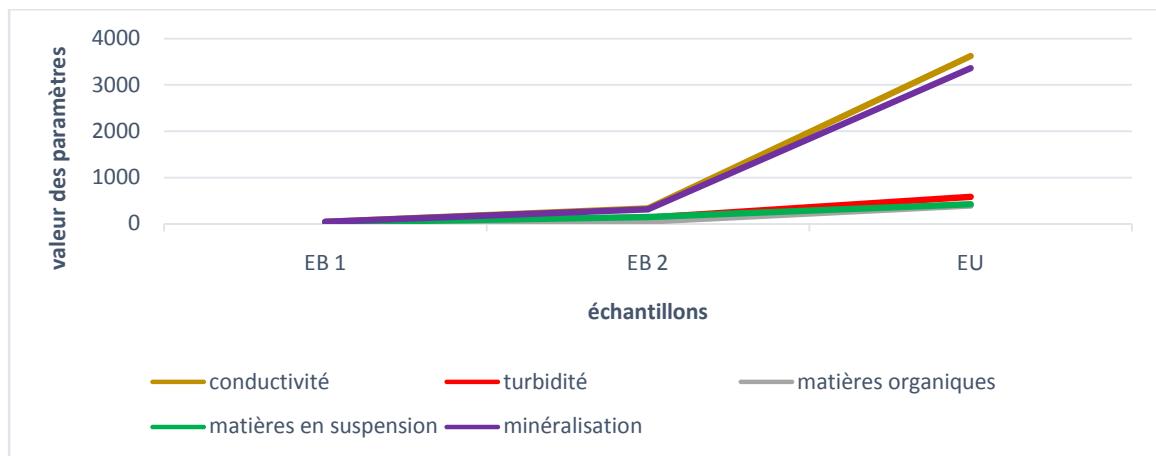
$V$  = volume d'eau utilisé (mL)

## II.4. RESULTATS

Le tableau ci-dessous montre les résultats des analyses effectués.

**Tableau 9: Résultats des analyses**

Paramètres	Amont du rejet EB 1	Aval du rejet EB 2	Eaux usées EU	Normes de rejet
Température °C	23,2	23,5	24	30
Conductivité $\mu\text{S.cm}^{-1}$	45,8	334	3624	200
Turbidité NTU	34,5	129	584	25
pH	6,88	7,89	8,02	6 à 9
Minéralisation $\text{mg.L}^{-1}$	42	310	3360	
Dureté totale °f	1,6	6,6	16	18
Dureté calcique °f	0,7	2,2	1,7	18
Titre alcalimétrique °f	0	0	0	
Titre alcalimétrique complet °f	0,9	0,5	0,4	
Matières organiques $\text{mg.L}^{-1}$	2,5	52	395	
Ammonium $\text{mg.L}^{-1}$	1,06	3	3	15
Fer totale $\text{mg.L}^{-1}$	0,06	0,04	0,12	
Chlorures $\text{mg.L}^{-1}$	2,84	26,98	763,96	250
Sulfates $\text{mg.L}^{-1}$	5,47	30,87	39,94	250
Nitrites $\text{mg.L}^{-1}$	0	0,59	0	0,2
Nitrates $\text{mg.L}^{-1}$	11,08	0	0	20
Sodium $\text{mg.L}^{-1}$	1,61	5,22	419,96	
DBO5 $\text{mg.L}^{-1}$		135	729,6	50
DCO $\text{mg.L}^{-1}$		518,5	4348,8	150
Calcium $\text{mg.L}^{-1}$	2,8	8,8	6,8	
Magnésium $\text{mg.L}^{-1}$	2,187	10,692	34,749	
Carbonates $\text{mg.L}^{-1}$	0	0	0	
Bicarbonates $\text{mg.L}^{-1}$	10,98	6,1	4,88	
MES $\text{mg.L}^{-1}$	26,5	148,5	425	60



**Graphique 1: Evolution des paramètres selon leur origine**

Sur notre graphique, les courbes de la conductivité et de la minéralisation suivent la même évolution. Il existe alors une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité. La conductivité augmente avec la minéralisation.

Il en est de même pour la turbidité et le taux des matières en suspension. La turbidité est en relation avec la mesure des matières en suspension car elle donne une indication sur la teneur en matières colloïdales.

## II.5 INTERPRETATIONS DES RESULTATS

Afin d'avoir une idée précise du degré de la pollution générée par les eaux résiduaires, nous avons effectué des analyses. Ce sont des analyses standards, la connaissance des taux de tous les paramètres sont nécessaires mais ceux qui nous intéressent et indispensable pour mesurer le degré de la pollution sont les paramètres qui caractérisent les eaux résiduaires.

Les résultats des trois échantillons sont très différents. EB 1 et EB 2 sont des échantillons de la rivière, malgré leur même origine les valeurs des paramètres tels la conductivité, la turbidité, la minéralisation, les matières organiques et les matières en suspension présentent une grande différence. Cette dernière explique la concentration élevée des charges polluantes déversées dans la rivière.

La conductivité d'EB 1 (conductivité=45,8  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ ), pour une eau de surface, est normale pourtant plus en aval c'est-à-dire après rejet des eaux résiduaires dans la rivière elle a augmenté. Elle est de 334  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  pour EB 2 et 3624  $\mu\text{S.cm}^{-1}$  pour EU or quand il s'agit d'eaux usées rejetées dans le milieu naturel la conductivité ne doit pas dépasser 200  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ . Il en est de même pour les valeurs caractérisant la minéralisation ; 42mg.L<sup>-1</sup> pour EB 1- 310mg.L<sup>-1</sup> pour EB 2 et elle atteint 3360 pour EU. La conductivité et minéralisation élevées

pour EB 2 et EU sont des preuves qui démontrent la pollution de l'eau. Ainsi des sels sont dissous dans l'eau et ils sont responsables de cette hausse.

Prenons le taux des matières des en suspension, la norme exige  $60 \text{ mg.L}^{-1}$  ; or nous avons  $425 \text{ mg.L}^{-1}$  pour EU ce qui dépasse largement la valeur normale. Par conséquent, la ressource dans laquelle cette eau usée est déversées sera très chargées en matières en suspension (EB 2 : MES  $148.5 \text{ mg.L}^{-1}$ ). Il en est de même pour la turbidité qui est très élevée pour EB 2 (Turbidité : 129NTU). La turbidité est en relation avec la mesure des matières en suspension, la turbidité donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales organique ou minérale. C'est pour cette raison que sur le graphique, la courbe représentant la turbidité et les matières en suspension se chevauchent presque. Le changement de ces deux paramètres est dépendant l'un de l'autre.

TA mesure la totalité des bases libres, ici TA est nul. Lors de la mesure par dosage par une solution titrée d'acide en présence de phénolphtaléine, il n'y a pas virage de couleur parce que le pH des échantillons est inférieur à 8,3. Tandis que TAC mesure l'ensemble des anions, quand TA est nul. Il correspond à la somme :

$$\text{TAC} = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Or  $[\text{CO}_3^{2-}]$  et  $[\text{OH}^-]$  sont négligeables devant  $[\text{HCO}_3^-]$  d'où :

$$[\text{HCO}_3^-] = [\text{H}_3\text{O}^+]$$

Ainsi TAC ne mesure que la concentration en ion bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Par conséquent, la concentration de bicarbonate dans l'eau a pu être mesurée par la relation :

$$[\text{HCO}_3^-] = \text{TAC} \times 12,2$$

Cela explique les valeurs qui diminuent dans nos résultats. Elles suivent les changements effectués par le TAC.

Concernant la dureté de nos échantillons : EB 1 est une eau très douce ( $\text{TH} = 1,6$ ), EB 2 de faible dureté ( $\text{TH} = 6,6$ ) et EU de dureté moyenne ( $\text{TH} = 16$ ). Nous tenons à rappeler la dureté correspond à la concentration des cations métalliques, sa valeur est surtout due aux ions calcium et magnésium. Nos résultats peu élevés sont alors expliqués par la teneur faible de notre site en calcium et magnésium.

La concentration des matières organiques, figurant dans le tableau suivant :

	EB 1	EB 2	EU
Matières organiques ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	2,5	52	395

La concentration des matières organiques dans la rivière avant le rejet est de  $2,5 \text{ mg.L}^{-1}$  ; après rejet elle augmente à  $52 \text{ mg.L}^{-1}$  et pour l'eau usée elle s'élève jusqu'à  $135 \text{ mg.L}^{-1}$ . Le

rejet domestique contient ainsi une charge importante en matières organiques, contaminant par la suite la rivière dans laquelle elle est déversée. Or ces déversements entraînent des déficits en oxygène dissous parce que ces matières organiques nécessitent une quantité d'oxygène pour leur décomposition. Par conséquent l'équilibre biologique de la rivière est perturbé, elle est appauvrie en oxygène. Raison pour laquelle les matières organiques font partie des charges polluantes.

Cependant il existe deux paramètres permettant l'évaluation des matières organiques : la DBO et la DCO.

Ce tableau contient les résultats de la mesure de la DBO et de la DCO :

	EB 2	EU
DBO (mg.L <sup>-1</sup> d'oxygène)	135	729,6
DCO (mg.L <sup>-1</sup> d'oxygène)	518,5	4348,8

La DBO est un moyen permettant l'étude des phénomènes naturels de destruction des charges organiques polluantes par les microorganismes. C'est ce phénomène d'auto-épuration qui, tend à consommer de l'oxygène, est mesurée par la DBO. Ainsi la DBO permet d'apprécier la charge en substances putrescibles d'un milieu. Elle est influencée par la nature et la quantité de microorganismes présents.

La DCO permet d'évaluer la charge polluante des eaux et les matières oxydables présentes d'origine minérale ou organique. C'est la consommation en oxygène pour l'oxydation des matières organiques. Pour nos échantillons, sa valeur est 518,8 mg.L<sup>-1</sup> d'oxygène pour EB 2 et 4348,8 mg.L<sup>-1</sup> d'oxygène pour EU, la norme exige pour ce paramètre 150 mg.L<sup>-1</sup>. On peut alors en conclure que la rivière, après rejet des eaux résiduaires domestiques très chargées en pollution, renferme à son tour également une quantité considérable des matières polluantes. Donc le rapport entre la DCO et la DBO (DCO/DBO) indique la charge en matières organiques peu ou pas biodégradable. La part des matières organiques biodégradables est représentée par la DBO tandis que la DCO représente l'ensemble des matières oxydables.

La présence de nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) et de nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) est preuve d'une pollution minérale, ils sont d'origine anthropique. Naturellement une eau ne contient ni nitrite ni nitrate. La concentration de nitrite (0,59mg.L<sup>-1</sup>) retrouvée dans l'échantillon d'eau usée provient de la pollution. Une fois que l'eau rejoint la rivière, il y a dilution d'où la valeur nul dans la rivière. Les résultats et les interprétations que nous venons d'aborder ont montré les effets du rejet des eaux usées sans traitement dans le milieu naturel principalement dans les rivières. Par le chapitre suivant exposons les traitements adéquats afin de remédier à ces conséquences.

## CHAPITRE III TRAITEMENTS DES EAUX USEES

Les traitements des eaux usées jouent un rôle primordial dans la gestion des ressources en eau en vue de la durabilité et de la promotion de l'assainissement. Il y a différents types de ces traitements en question dont nous aborderons dans le tableau ci-dessous.

### III.1 DIFFERENTS TYPES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES

**Tableau 10: Types de traitement des eaux usées**

Types	Types d'eaux usées	Avantages	Inconvénients	Composants éliminés
Systèmes septiques	Eaux usées domestiques	Simple, robuste, entretien facile	Faible efficacité de traitement, nécessité d'un traitement secondaire, le contenu doit être retiré à intervalle régulier	DBO, DCO, matières en suspension totales, graisse
Toilettes à compostage	Excréments humains, papier toilette, déchets alimentaires	Réduire la consommation de déchets et favoriser le recyclage des nutriments (utilisation des boues en agriculture)	Besoin d'une conception et d'une maintenance appropriée afin de protéger l'environnement et la santé humaine	Volume réduit de 10 à 30%
Filtre anaérobiose	Eaux usées domestiques et industrielles stabilisées de faible rapport DCO/DBO	Si les eaux usées sont convenablement prétraitées il offre une efficacité de traitement élevée	Le matériau de filtre peut être onéreux, le filtre peut s'encrasser, les effluents ne sont pas inodores	DBO, matières dissoutes totales, matières en suspension totales
Traitements anaérobiose (par exemple bio-digesteur, refoulement anaérobiose de boue en nappe)	Excréments humains, déchets animaux et agricoles	Recyclage de la ressource : le gaz produit peut être utilisé pour la production d'électricité, la cuisine et l'éclairage	Exploitation et entretien complexes, risque de blocage du digesteur par des solides réduisant son efficacité	DCO, DBO, matières en suspension totales, graisse
Zones humides artificielles	Eaux usées domestiques et agricoles, traitement tertiaire pour les industries	Demande en énergie faible ou nulle, coût de maintenance faible	Nécessite de vastes étendues de terres, possibilité d'encrassement du système	Matières en suspension totales, DCO, azote total, phosphore total
Traitements biologiques	Eaux usées domestiques	Bon niveau d'élimination de	Exigences de maintenance élevées,	DBO, matières en suspension, azote total,

aérobiose (par exemple les boues activées)	et agricoles, eaux usées des papeteries, industrie chimique	DBO, l'usine peut être exploitée pour faciliter l'élimination de l'azote et du phosphore, rapide, inodore et économique par rapport à d'autres méthodes	inefficacité en eau profonde (les bassins sont généralement peu profonds), élimination limitée des charges bactériennes et forte production de boues	phosphore total
Système de membranes ; microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse	Eaux usées stabilisées, peuvent être utilisées en combinaison avec les processus biologiques	Processus qui ferment le cycle de l'eau et produisent une eau de haute pureté pour réutilisation	Coûts élevés et besoins élevés en termes d'exploitation, d'entretien et de consommation d'énergie	La microfiltration et l'ultrafiltration éliminent tous les agents biologiques et les macromolécules, la nanofiltration élimine les molécules organiques simples ; l'osmose inverse élimine les ions inorganiques
Etangs de stabilisation des eaux usées à base de lentille d'eau	Eaux usées domestiques et agricoles	Pas de risque d'encrassement, taux élevés d'élimination de nutriments	Nécessite de vastes étendues de terres, nécessite des récoltes constantes, inadapté aux régions très venteuses	DBO, matières en suspension, azote total, phosphore total, métaux

(Base de données OMS et ONU 2015)

Actuellement, il existe nombreux traitements pouvant être appliqués aux eaux usées. Le choix de ces méthodes dépend souvent de l'origine de l'eau, un traitement appliqué pour les résiduaires d'une tannerie ou d'une teinturerie est différent de celui appliqué pour les eaux résiduaires urbaines ou les écoulements agricoles.

Cette partie montre comment les eaux usées sont de plus en plus considérées comme une ressource potentielle avec des avantages communs allant de la résilience climatique à la récupération des sous-produits. Notre choix se porte sur la digestion anaérobie. Cette méthode permet une double valorisation des rejets notamment les matières organiques et de l'énergie, c'est l'intérêt spécifique à la méthanisation par rapport aux autres filières.

### **III.2 VALORISATION DES REJETS**

Un rapport de l'ONU sur la gestion de l'eau et du déchet le dit sans ambiguïté : « si les citoyens ne s'investissent pas dans la gestion de déchets de leur ville, aucune technologie au monde ne peut résoudre le problème » ainsi, il est de devoir de tout un chacun de prendre des mesures pour réduire les rejets.

Près de la moitié de la population des pays en développement sera, à un moment ou un autre, affectée par une maladie liée à une eau salubre ou un manque d'eau, à un assainissement insuffisant ou inexistant, ou à une mauvaise gestion des ressources en eau.

En matière d'assainissement, les efforts se concentrent sur l'équipement des ménages en latrines. Néanmoins c'est insuffisant pour éloigner les habitants des matières fécales car une fois remplies, les fosses des latrines doivent être vidangées donc il faut trouver des moyens de traiter leur contenu. Ainsi, nous avons opté pour l'assainissement autonome pour les petites communautés et les zones rurales ayant une faible densité.

Les villageois n'ont pas les moyens techniques, humains et financiers pour planter et gérer les réseaux d'égouts. Ces derniers nécessitent un investissement très important et sont délicats à entretenir et difficile à gérer. Afin d'assurer un bon assainissement, il importe de prendre en compte la filière dans sa globalité. Trouver des solutions pour l'évacuation et le traitement des eaux usées. Cependant ces solutions dépendent de différents critères, tels les moyens financiers locaux et les statuts fonciers, la consommation d'eau des usagers, la densité de la population et les compétences requises pour la gestion des infrastructures.

Les eaux usées ont été longtemps considérées comme un fardeau en matière d'assainissement, mais avec la raréfaction de l'eau cette situation connaît une évolution. On reconnaît de plus en plus l'importance de la collecte, du traitement et de la réutilisation des eaux usées. La question qui préoccupe tous les pays est les infrastructures mais et surtout pour les pays en développement. D'après une enquête menée par l'UNESCO, sur 181 pays, seuls 55 disposent des informations sur la génération, le traitement et l'utilisation des eaux usées. Les autres ne disposent que d'informations partielles ou n'en ont pas du tout. Or ces goulets

d'étranglements en matière d'information entravent la recherche et le développement nécessaires pour les technologies innovantes et l'adaptation aux spécificités et besoins locaux. La gestion améliorée des eaux usées implique aussi bien la réduction de la pollution à la source que l'élimination de contaminants des flux des eaux, la réutilisation et la récupération des sous- produits utiles (ONU-Eau, 2017). Ces actions entraînent des avantages sociaux, environnementaux et économiques pour la société dans son intégralité. Contribuent également au bien-être général et la santé ainsi qu'au développement durable.

### **III.2.1 DIGESTION ANAEROBIE**

La digestion anaérobie ou la méthanisation est un processus biologique naturel basée sur la dégradation par des microorganismes de la matière organique. Cette dégradation de la matière organique est réalisée en absence d'air et de lumière. C'est une réaction anaérobie, contrairement au compostage qui est une réaction aérobie.

La digestion anaérobie aboutit à la production de biogaz, mélange gazeux saturé en eau à la sortie du digesteur et composé majoritairement de méthane dont 50% à 70%, 20% à 50% de gaz carbonique et de quelques gaz traces dont le sulfure d'hydrogène, l'azote et l'ammoniac. Le biogaz contient 6 kWh.m<sup>-3</sup> d'énergie brute soit 100 L de méthane par 1m<sup>3</sup> de déchet. Pour la cuisson, ce gaz est équivalent à 0,5 kg de gaz propane ou butane, 2 kg de charbon et 6 kg de bois. Ainsi, on peut l'utiliser sous différentes formes : combustion pour la production d'électricité et de chaleur, production d'un carburant ou injection dans le gaz naturel après épuration. Quatre secteurs sont favorable au développement de la digestion anaérobie : agricole, industriel, déchets ménagers et boues urbaines.

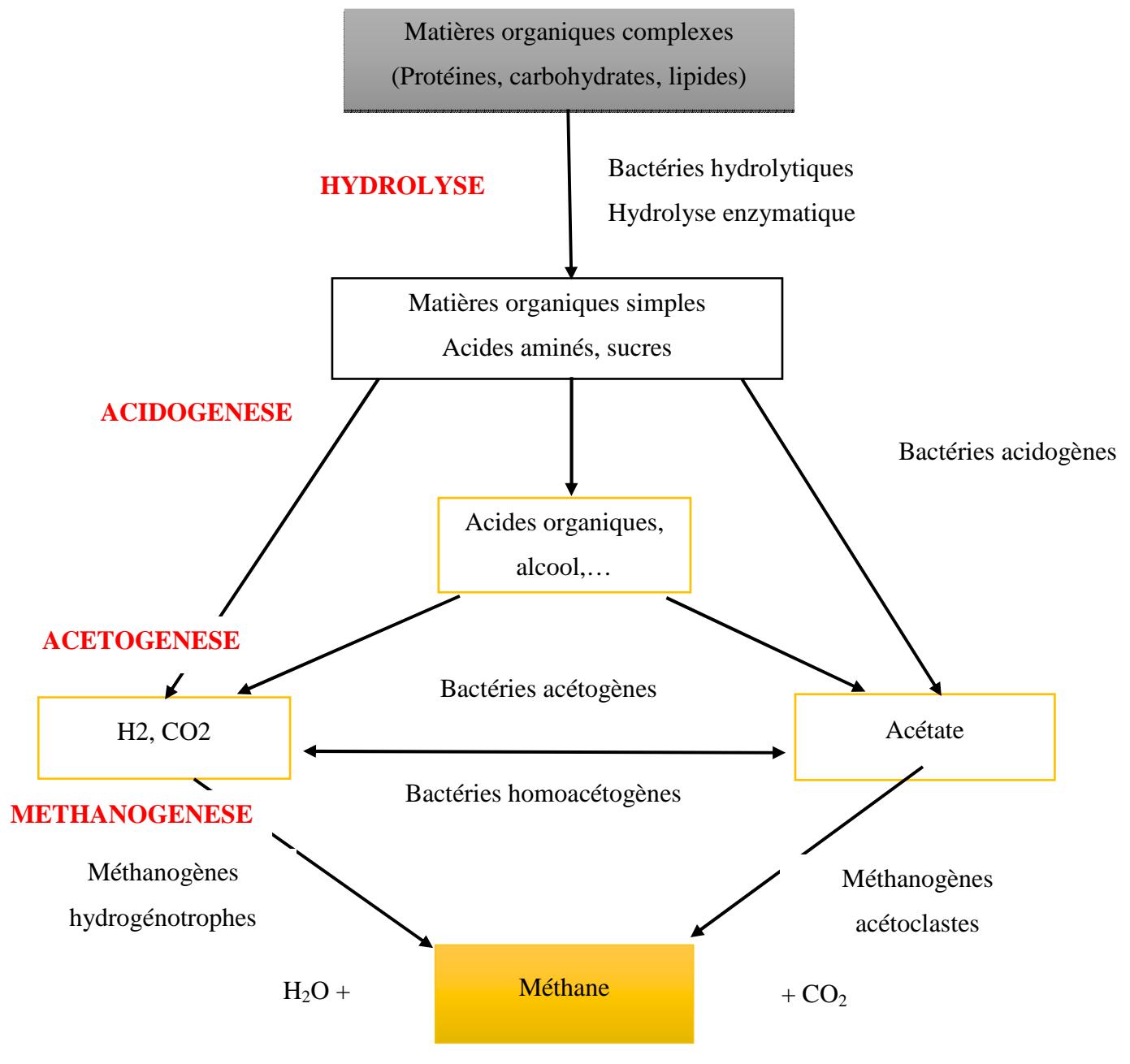
La méthanisation produit également le digestat, c'est une substance humide riche en matière organique souvent utilisé comme fertilisant.

Le tableau suivant nous exposera les avantages de la méthanisation ainsi que ses inconvénients.

**Tableau 11: Avantages et inconvénients de la méthanisation**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Diminution de la quantité des déchets organiques.</li> <li>■ Promotion de l'hygiène et de l'assainissement par la réduction des eaux usées éparpillées.</li> <li>■ Préservation des ressources en eau vue que les eaux résiduelles domestiques ne seront plus déversées dans le milieu naturel.</li> <li>■ Réduction du nombre de microorganisme pathogène.</li> <li>■ Fixe les métaux lourds sous des formes inassimilables et non toxiques par les organismes vivants.</li> <li>■ Diminution de l'émission de gaz à effet de serre par substitution à l'usage d'énergies fossiles et d'engrais chimiques.</li> <li>■ Intérêt agronomique lié à une concentration importante en azote ammoniacal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Lors de la conception du projet, il est nécessaire de s'assurer de la maîtrise de la ressource des déchets à méthaniser.</li> <li>■ Couts d'investissement importants.</li> <li>■ En milieu urbain, nécessite une surface de 28m<sup>2</sup> pour l'implantation du site.</li> </ul>

### III.2.2 PRINCIPE DE LA DIGESTION ANAEROBIE



### III.2.3 ETAPES DE LA DIGESTION ANAEROBIE

La production de gaz par digestion anaérobie est le résultat de quatre étapes biochimique dans lesquelles des grandes chaînes de carbone sont transformées en alcools et acides gras pour devenir ensuite du méthane et du dioxyde de carbone.

Hydrolyse

L'hydrolyse d'une substance est sa décomposition par l'eau grâce aux ions  $\text{H}_3\text{O}^+$  et  $\text{OH}^-$  provenant de la dissociation de l'eau. Pour une digestion anaérobie, c'est une étape enzymatique dans laquelle les macromolécules sont réduites en monomères.

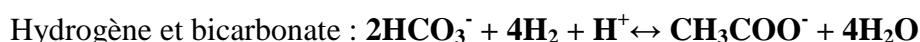
Les polysaccharides sont transformés en monosaccharides. Les protéines en acides aminés. Les lipides transformés en longues chaînes d'acides gras. Et les acides nucléiques transformés en bases azotées.

#### Acidogenèse

Les composés produits par l'hydrolyse, lors de cette étape, sont absorbés par des bactéries fermentaires qui métabolisent les monomères afin de produire des acides gras volatils (isobutyrate, propionate, butyrate,...), des alcools, du sulfure de dihydrogène, du dioxyde de carbone et de l'hydrogène. Les bactéries participant à cette étape ont un temps de duplication très court et un taux de duplication plus important par rapport aux autres populations de bactéries, ainsi cette étape est très rapide.

#### Acétogenèse

Cette étape assure la transformation des produits formés précédemment en acétate, hydrogène ou dioxyde de carbone sous l'action des bactéries acétogènes. Le temps de déroulement est beaucoup plus rapide.



#### Méthanogenèse

Les composés formés par les réactions précédentes sont convertis en méthane par des bactéries méthanogènes. Leurs temps de dédoublement est un peu plus rapide que celui des bactéries acétanogènes.

Il existe deux familles de bactéries méthanogènes, la première population est formée des méthanogènes hydrophiles produisant du méthane à partir d'hydrogène et du bicarbonate ou du formate. Dont ci. Après les réactions :



La deuxième famille comprend les méthanogènes acétoclastes qui produisent du méthane à partir d'acide acétique.

Réaction de conversion de l'acétate en méthane et dioxyde de carbone :



### III.2.4 TYPES DE DECHETS

Toute installation de biogaz est alimentée par différents substrats organiques et fermentescibles. Ils peuvent être solides, liquides ou pâteux. Ainsi toutes les matières organiques susceptibles d'être décomposer peuvent être utilisé. Cependant, la méthanisation convient particulièrement aux matières organiques facilement dégradables et riches en eau.

Origine de déchets :

- Déchets agroalimentaires : les déchets des industries alimentaires dont l'apport organique est important telles abattoirs, laiteries, fromageries, caves vinicoles, déchets boueux des produits alimentaires provenant du lavage, du nettoyage sont excellent pour la fermentation.
- Déchets agricoles : les résidus de récolte, eaux de salle de traite, les lisiers de bovins et de porcs ou encore de la fiente de volailles.
- Déchets ménagers : de préférence doivent être triés à la source fractions fermentescibles des ordures ménagères, restes alimentaires et matières de vidange.

Pour notre étude, les déchets que nous utilisons sont d'origine agricole et ménagère. L'élevage de bovins et de porcs est l'activité de 75% des habitants. Les bœufs produisent 26 à 28 m<sup>3</sup> de lisiers par an. Les lisiers constituent un bon substrat pour la méthanisation en raison de la présence et du taux élevé (82%) de la matière sèche volatile, substance qui est à la fermentation. Le pH approprié à la fermentation anaérobiose est compris entre 7,0 et 7,5. Une autre raison pour l'utilisation des lisiers car son pH est légèrement basique 7,4. Il en est également de même pour les lisiers de porcs. La teneur de méthane produite à partir de ces matières est 60% (Sarah et al, 2009)

Les eaux usées domestiques, les restes alimentaires et les ordures ménagères biodégradables sont également amenés à être fermenter. Les restes alimentaires et les ordures sont un excellent substrat pour produire du biogaz en raison de leur teneur énergétique très importante. Concernant les eaux résiduaires, les matières organiques qu'elles renferment sont excellentes pour la fermentation. Elles ont un taux de matières 11% et leur potentiel méthanogène est 20 m<sup>3</sup> de biogaz par mètre cube. Pour garantir un rendement énergétique maximal, seule la part organique biodégradable importe. Cette part est représentée par la DCO, et pour notre cas nous avons une teneur en DCO très élevée.

La partie précédente porte sur le principe et les étapes de la fermentation, dans la suivante nous exposerons les processus de la méthanisation et la construction d'un digesteur selon FAFAFI.

### **III.2.5 PROCESSUS DE LA METHANISATION (FAFAFI)**

#### **III.2.5.1 A PROPOS DE LA FAFAFI**

FAFAFI ou « FAnentananamombanyFAmbolenasyFlompiana » est une association confessionnelle créée en 1989. Elle a comme objectif d'appuyer les paysans à gérer d'une manière soutenue les ressources naturelles pour leur autopromotion ; pour la plénitude de leur développement : spirituel, intellectuel et physique et surtout pour leur développement durable. FAFAFI s'active dans 5 districts de la Région de Haute Matsiatra dont Fianarantsoa, Isandra, Lalangina, Vohibato et Ambohimahasoa. Leurs bénéficiaires sont les ruraux, pauvres, hommes et femmes, individus et associations.

La méthodologie d'approche de la FAFAFI est basée sur une approche participative pour valoriser les connaissances propres des participants avant de leur proposer les innovations nécessaires. Et ainsi considérer les participants comme étant des personnes capables d'agir et de transformer leur vie. Avec cette méthode, les activités de l'association sont les suivantes : sensibilisation, formation, encadrement technique et socio-organisationnel, suivi et évaluation.

Les domaines de compétences de la FAFAFI sont multiples dont l'agriculture, l'élevage, l'environnement, l'énergie verte, la nutrition et l'artisanat. Parmi ces activités, ce qui nous intéresse est la production d'énergie verte ou biogaz.

#### **III.2.5.2 CONSTRUCTION DU DIGESTEUR**

En 1995, Madagascar comptait en superficie 20 000 000ha de forêt. 2017, il n'en restait plus que 9 220 000ha dont 6 000 000ha sont des aires protégées. Ces surfaces ne cessent de régresser en raison de l'exploitation abusive. Les bois sont utilisés, principalement, pour le bois de chauffe et le charbon. Une famille de 4 personnes a besoin de 1,8kg de bois de chauffe par jour en moyenne. Et il faut 12kg de bois pour avoir 1kg de charbon. Cependant, les feux de brousse sont aussi facteurs de destruction continue de la forêt. Les conséquences de la disparition massive de la forêt sont nombreuses et de grandes envergures pour l'environnement et la population. Raison pour laquelle des solutions sont recherchées afin de protéger l'écosystème. Une de ces solutions est l'utilisation des alternatives au charbon telle la production de biogaz.

FAFAFI travaille sur la construction du digesteur, là où la digestion anaérobie s'effectue, et du cheminement du gaz ainsi son utilisation.

L'implantation du digesteur nécessite une surface de 28m<sup>2</sup> et une profondeur 1,60m, un endroit ensoleillé de préférence et éloigné d'un puits d'eau.

Les plans de construction et la réalisation du digesteur se trouveront à l'annexe.

Ci-après quelques images illustrant les étapes de construction et d'alimentation d'un digesteur :



Construction du digesteur



**Méthane CH<sub>4</sub>**

Alimentation du digesteur



Four à deux feux



Lampe



Ricecooker

### III.2.5.3 MATIERES A FERMENTER

Les zones d'action de FAFAFI se trouvent dans les régions rurales, où les populations sont des éleveurs de bovins c'est leur principale activité mise à part la culture de riz et des légumes. Raison pour laquelle les techniciens ont décidé d'utiliser les lisiers de bovins comme matières à fermenter vue leur abondance et leur taux élevé en matière sèche volatile (82%)

rendant ainsi les lisiers de bovins un excellent substrat pour la méthanisation. La protection de la forêt et de l'environnement est aussi une cause que tenaient à cœur l'association et les paysans.

Pour alimenter le digesteur, il faut 1m<sup>3</sup> de déchet pour obtenir 100L de gaz méthane. Lors du chargement, le lisier doit être dilué avec du liquide ; la quantité du liquide doit être deux fois celle du déchet. Donc quotidiennement les paysans chargent le digesteur avec un seau de 15L de lisier dilué dans deux seaux de 15L soit 30L d'eau. Et un apport continu de matière, chaque jour ou chaque semaine, permet une production constante et régulière. Pour une meilleure production de gaz méthane, 40% du contenu du digesteur est la matière à fermenter le volume d'eau doit être 60%. Il faut ainsi une grande quantité de liquide.

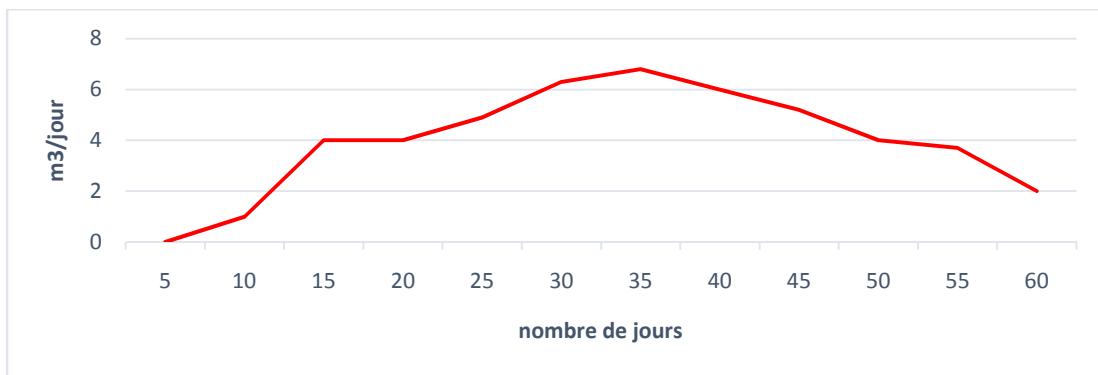
Pendant la fermentation des matières organiques, d'autres gaz sont produits avec le méthane. Ainsi pour que seul le méthane soit utiliser, il y a un filtre qui sert à retenir ces autres gaz. Parmi ces derniers, on peut citer le dioxyde de carbone, l'azote, l'hydrogène et le sulfure d'hydrogène.

**Tableau 12: Quantité de gaz sortant du digesteur**

Composés	Taux (%)
Méthane CH <sub>4</sub>	50-75
Dioxyde de carbone CO <sub>2</sub>	20-45
Eau H <sub>2</sub> O	2-7
Azote N <sub>2</sub>	<2
Oxygène O <sub>2</sub>	<2
Sulfure d'hydrogène H <sub>2</sub> S	<1
Hydrogène H <sub>2</sub>	<1

Ce tableau montre les différents gaz produits lors d'une fermentation ainsi que leur quantité respective. Cependant cette quantité peut changer selon la nature des déchets. Ces valeurs sont celles d'une fermentation de lisier de bovins. Après, le passage au niveau du filtre seulement le méthane est drainé par les tuyauteries alimentant les lampes ou le four. Concernant les vapeurs d'eau, ils sont retenus par un décanteur posé à la sortie du digesteur.

Le graphe ci-dessous est un exemple montrant la quantité de gaz produit si on remplit une cuve de 10m<sup>3</sup> d'une seule traite pendant deux mois. La quantité de matière introduite dans le digesteur sera 8m<sup>3</sup>.



**Graphique 2: Quantité de gaz produit**

La courbe représentant la quantité de gaz est une courbe, la formation du méthane commence à partir du cinquième jour et augmente jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur maximale vers le trente-cinquième jour ou à la moitié du laps de temps pendant lequel le digesteur n'est pas alimenté. Et cette ne cesse de décroître jusqu'au soixantième jour. La production n'est donc pas constante si on remplit le digesteur une seule fois pendant deux mois. Pourtant si l'alimentation se fait quotidiennement ou une fois par semaine, la courbe représentant la production sera linéaire. Mais pour une alimentation par jour ou par semaine la quantité des matières ajoutées ne sera pas la même que lors d'un chargement pour deux mois.

### III.2.5.4 CONDITIONS ESSENTIELLES D'UNE BONNE FERMENTATION

Il y a trois conditions essentielles pour une bonne fermentation dont :

i) Mise à l'abri de l'air

La fermentation méthanique doit se faire sans oxygène, en milieu anaérobiose d'où la raison d'un digesteur hermétique. L'entrée d'air permettra l'accès d'autres bactéries concurrents et conduisant la formation d'autre gaz.

ii) Maintien d'une température voisine de 35°C

La production augmente avec la température, au-dessous de 6°C il n'y aura pas de production. Cependant, la production diminuera vers 48°C c'est-à-dire les ferment ralentissent leur activité et à 75°C ils sont détruits.

iii) Réaction du milieu légèrement alcalin

Le pH doit rester aux alentours de 7 et 8, en utilisant des matières courantes comme les déjections on obtient ce pH.

Nous venons d'aborder le principe et les processus de la fermentation. Et dans cette partie, nous présenterons l'étude d'impact de la digestion anaérobiose tant sur le plan hygiène et assainissement, sur le plan environnementale et économique.

### III.3 ETUDE D'IMPACT DE LA DIGESTION ANAEROBIE

Les eaux usées sont composées d'environ 99% d'eau et 1% de matières solides en suspension, colloïdales et dissoutes.

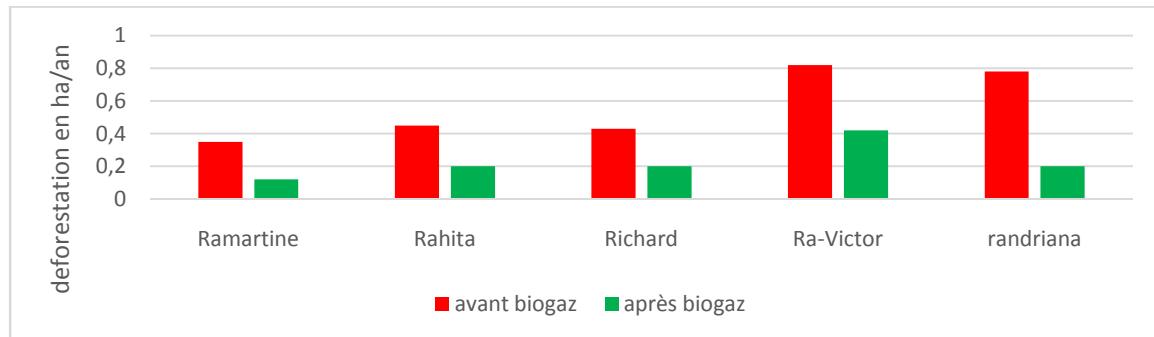
On peut classer les conséquences de l'émission des eaux usées non traitées ou mal traitées en trois catégories : i) Effets nocifs pour la santé humaine ; ii) Impact négatif sur l'environnement ; iii) Répercussions néfastes sur les activités économiques.

#### III.3.1 ASSAINISSEMENT ET HYGIENE

L'élimination des déchets dans l'eau et l'évacuation des eaux usées provenant des sources domestiques, commerciales et industrielles restent la méthode principale pour l'assainissement. Dans le monde 60% de la population sont connectées à un réseau d'égout mais seule une petite partie des eaux usées collectées sont traitées. Actuellement, les systèmes d'assainissement autonome sont en plein essor. Ils sont adaptés au milieu rural et pour une faible densité de la population. Ces systèmes permettent de récupérer de l'énergie et des nutriments.

Les avantages de la gestion des déchets humains pour la société sont considérables, en matière de santé publique. La production d'eaux usées connaît une accélération avec la croissance des établissements informels. Les habitants dépendent des toilettes communes non connectées à un égout, utilisent des espaces ouverts ou se débarrassent des fèces dans des sacs en polythène.

#### III.3.2 ENVIRONNEMENT

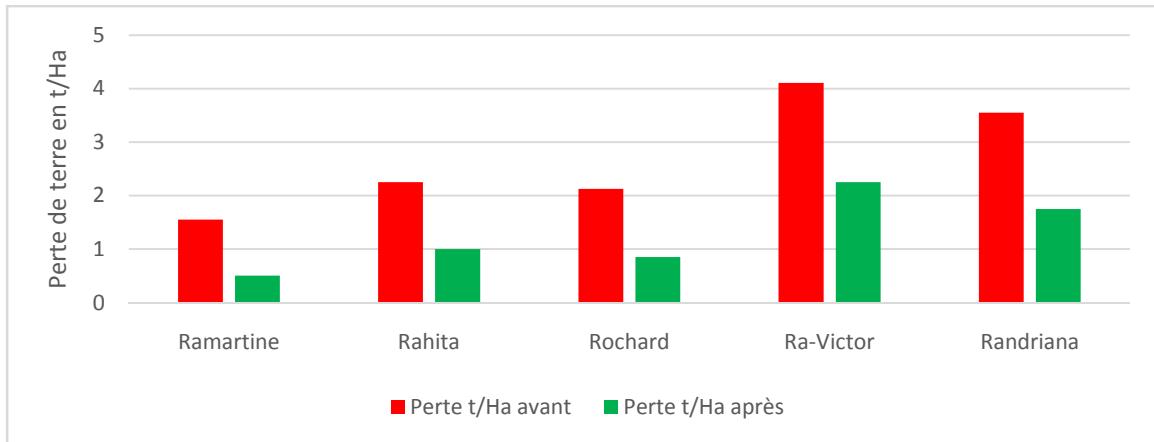


*Graphique 3: Superficie des forêts détruites*

Cet histogramme représente la superficie de forêt en hectare abattue chaque année pour subvenir aux besoins d'un ménage.

Pour le premier cas, madame Ramartine et ses quatre enfants, elle estime que leur besoin annuel en bois est d'environ 0,35Ha. Ces bois sont destinés pour usage domestique, le bois de chauffe qui sert essentiellement à cuire leurs repas trois fois par jour. Cette famille possède un

digesteur alimenté par du lisier de bovins quotidiennement. La fermentation produit assez de gaz pour la cuisson et l'éclairage de la maison. Ainsi, la demande en bois de la famille a beaucoup diminué. Elle est réduite à la cuisson du manioc



**Graphique 4: Perte de terre par la coupe de bois**

#### PRESERVATION DES RESSOURCES NATURELLES (BUCAS)

Le Bureau de Coordination des Actions Sociales (BUCAS) œuvre pour les actions sociales de la Diocèse d'Antananarivo. « Société promotrice de la dignité humaine » telle est sa vision, son travail est ainsi de mettre en place un développement intégral de la personne humaine.

BUCAS travaille dans le domaine de la préservation de l'environnement, l'insertion socio-professionnelle des jeunes, le renforcement des capacités de communication telles l'alphabétisation et la formation des leaders et dans la sensibilisation et la lutte contre l'injustice sociale. La préservation de l'environnement est focalisée dans la protection des ressources naturelles : la forêt, l'eau et la terre.

Face à la détérioration globale de l'environnement en raison des dégâts que nous causons par l'utilisation irresponsable et l'abus des ressources naturelles, il faut se référer à la problématique écologique. C'est une crise, une conséquence dramatique de nos activités sans contrôle et exploitations inconsidérées. Notre milieu naturel n'est perçu d'aucunes autres significations que celles deservir à un usage une consommation dans l'immédiat dans quel cas la génération future est ignorée (J.Paul II, 1979)

L'accès à l'eau est un des indicateurs de la situation concernant l'épuisement de la ressource naturelle. L'eau est indispensable pour la vie humaine et pour le soutien des écosystèmes terrestres et aquatiques donc elle représente une question de première importance. La provision d'eau n'a pas connue une évolution, elle est restée constante depuis longtemps. Par conséquent, dans les grandes villes où a lieu une explosion démographique et un taux important d'exode rural, la demande dépasse l'offre mais également la ressource n'est pas

gérer de façon équitable et impartiale. Entrainant de graves conséquences à court ou à long terme. Un autre problème lié à l'eau est sa qualité et les services hygiéniques. Dans les zones enclavées, l'approvisionnement en eau se fait dans des sources, des rivières et parfois même dans les flaques d'eau. Les populations de ces zones n'ont pas accès à l'eau potable, leur santé est alors en péril ; le choléra et les diarrhées sévissent et frappent les plus vulnérables. De ce fait il en est de même pour l'hygiène et l'assainissement. Les ressources d'eau souterraine sont menacées par la pollution. Les détergents et les produits chimiques utilisés par la population continuent de se déverser dans les rivières, les lacs et les mers.

Alors que la qualité et la quantité de l'eau disponible se détériorent, à certains endroits, la ressource est privatisée et transformée en marchandise sujette aux lois du marché. Or l'accès à une eau potable est un droit humain primordial, fondamental et universel. Les pauvres qui n'y ont pas accès sont les plus durement touchés. Ne pas leur permettre accès à l'eau potable et hygiène et assainissement est leur nier le droit à la vie, enraciné dans leur dignité inaliénable. Il faut donc fournir l'eau potable et l'hygiène à tous, de façon équitable. Ne pas gaspiller l'eau et préserver les ressources contre les pollutions. C'est une question éducative et culturelle parce que la conscience de la gravité de ces conduites, dans un contexte de grande injustice, manque (P. François, 2015)

Les ressources de la terre font un objet de dépréciation due aux activités commerciales et productives fondées sur l'immédiateté. Les faunes et les flores disparaissent dont l'immense majorité disparaît pour des raisons qui tiennent à une activité humaine. Diverses espèces qui peuvent être des ressources clés pour subvenir, à l'avenir, pour certaine nécessité humaine ou pour réguler certains problèmes de l'environnement.

La sauvegarde de l'écosystème suppose un regard qui aille au-delà de l'immédiat. Le coût des dommages occasionnés par la négligence égoïste est beaucoup plus élevé que le bénéfice économique. Il s'agit de valeurs qui excèdent tout calcul. Le reste de l'humanité, présente et future payera les couts très élevés de la dégradation de l'environnement. Cependant, il est possible d'élargir le regard, on est capable de limiter et orienter la technique, la mettre au service d'un progrès plus sain, plus humain, plus social et plus intégral. Par exemple, le choix pour un système de production moins polluante. La science et la technologie peuvent impliquer, du début à la fin d'un processus, diverses intentions et possibilités pouvant se configurer de différentes manières. Un de ces possibilités est la recherche des alternatives au charbon et au feu de bois qui, pour le cas de Madagascar surtout une des causes de la dégradation de l'environnement.

### III.3.3 ECONOMIE

Selon des enquêtes menées par l'équipe de FAFAFI, l'utilisation de gaz produit à partir de la digestion des lisiers de bovins est bénéfique tout aussi bien sur le plan économique.

**Tableau 13: Avantage économique de l'utilisation de biogaz**

Avant utilisation du biogaz		Après utilisation du biogaz	
Désignation	Prix (Ariary)	Désignation	Prix (Ariary)
Bois de chauffe ou charbon	115 200	Bois de chauffe ou charbon	38 400
Pétrole (pour l'éclairage)	33 600	Pétrole (pour l'éclairage)	0
Engrais chimique (rizière)	40 000	Engrais chimique (rizière)	0
Engrais et pesticide (champ de culture)	250 000	Engrais et pesticide (champ de culture)	0
Total	438 800	Total	38 400

D'après ce tableau, il y a une grande différence de dépense. Dans les ménages des milieux ruraux, le charbon n'est utilisé que très rarement. Pour l'usage domestique, on a plutôt recourt au feu de bois. Cette pratique nécessite une quantité élevée de bois donc beaucoup de forêt à abattre afin de satisfaire les besoins d'un ménage. Or récemment, les forêts à abattre se font plus rare ; d'où l'achat des bois de chauffe à un prix exorbitant pour les paysans. C'est pourquoi, la production de gaz par fermentation présente un avantage considérable sur le plan financier d'une famille. L'utilisation du biogaz permet d'économiser pour l'achat de pétrole nécessaire pour les lampes à pétrole ; avec les ampoules fonctionnant à l'aide du gaz, on n'a plus besoin des lampes pour l'éclairage de la maison. Il en est de même pour les engrais et les pesticides, les digestats contiennent des éléments nutritifs pour les plantes notamment l'azote. Ils sont également d'excellents pesticides pour les cultures.

D'après ce que nous avons exposé précédemment, nombreux sont les impacts de la digestion anaérobiose. Par la suite, nous allons proposer une suggestion qui s'intéresse à la collecte et au traitement des eaux usées.

## SUGGESTION

Les services qui dépendent des ressources en eau sont primordiaux pour la lutte contre la pauvreté, la croissance économique et la viabilité environnementale. L'eau contribue à améliorer le bien-être social d'où un développement durable dans lequel on espère voir le monde. Raison pour laquelle l'eau et les ressources connexes doivent être gérées dans l'intérêt du bien commun dans une économie robuste. Les eaux usées ont été considérées comme fardeau en matière d'assainissement pourtant la gestion des eaux usées est une opportunité dont on ne peut négliger vue la surexploitation des ressources en eau, la pollution et le changement climatique. Les eaux usées sont une ressource utilisable, permettant la récupération d'énergie et de nutriment. Une gestion améliorée des eaux usées est un point important dans le contexte du programme du développement durable à l'horizon 2030. La cible 6.3 de l'objectif du développement durable (ODD), citée comme suit : « D'ici à 2030, améliorer la qualité de l'eau en réduisant la pollution, en éliminant l'immersion des déchets et en réduisant au minimum les émissions de produits chimiques et des matières dangereuses, en diminuant de moitié la proportion d'eaux usées non traitées et en augmentant considérablement à l'échelle mondiale le recyclage et la réutilisation sans danger de l'eau. ». Cette cible vise la réduction de la pollution, de la gestion et du traitement et leur impact sur la qualité de l'eau ambiante.

Les eaux usées demeurent une ressource inexploitée et sous-estimée. Pour notre cas, nous allons les mettre en valeur, elles constituent potentiellement abordable et durable d'eau, d'énergie et de nutriment. Dans la pratique, le but est d'aller au-delà de la simple réduction de la pollution pour chercher à obtenir une plus-value à partir des eaux usées.

Le type d'eau usée qui nous intéresse ici est les effluents domestiques constitués d'eaux vannes et d'eaux grises. Les eaux vannes sont les excréments, urines et boues fécales ; les eaux grises s'agissent de l'eau provenant de lavage, bain et lessive. Notre but consiste en la collecte de ces effluents pour ensuite les drainer dans un digesteur afin de les fermenter pour obtenir de l'énergie.

Pour notre étude il s'agit de promouvoir l'assainissement dans le village d'Antamponjina. Pour ce faire, la mise en place d'un système d'assainissement autonome est notre projet. Il consiste en la fermentation des eaux usées domestiques afin que celles-ci ne soient pas déversées dans la rivière de Tsiandanitra. Notre suggestion est de construire un bio-digesteur pour un groupe de ménage. Ainsi les effluents domestiques et les lisiers d'animaux seront

transportés par un réseau d'égout vers une cuve collectrice pour ensuite être introduites dans le bio-digesteur.

L'éparpillement et le rejet dans le milieu naturel seront considérablement diminués. Par conséquent, les villageois auront accès à un assainissement amélioré. L'énergie produite par la fermentation est utilisée pour l'électricité et la cuisine donc la diminution de l'emploi des énergies fossiles. Les sous-produits ou digestats peuvent être utilisés pour l'agriculture d'où la réduction de l'utilisation des engrains chimiques.

# CONCLUSION

Au terme de ce travail notre objectif n'est autre que de trouver une réponse appropriée à la question que nous avons posée à l'introduction. Nous avons souligné, d'après les résultats de notre recherche que faute d'infrastructures comme absence des stations d'épuration en aval des réseaux d'égouts, l'assainissement de la population et la protection des ressources en eau restaient encore des problèmes en suspens. La non-maitrise de ces systèmes d'assainissement et de la protection des ressources en eau accroît la pollution causée par le rejet des eaux usées domestiques et les lisiers de fermes. Ce rejet a des impacts considérables sur la santé, l'environnement et l'économie.

Chaque partie de ce travail a son importance particulière quand il s'agit de la recherche d'une solution adéquate à la pollution des ressources en eau et à la promotion de l'hygiène et assainissement. La première partie a été consacrée à la description des généralités notamment sur les origines et les caractéristiques des eaux usées. La connaissance de ces points nous a permis d'analyser dans la seconde partie les principales causes de pollution des ressources en eau. Et à travers celles-ci nous avons pu découvrir les caractéristiques propres des eaux polluées. Pollutions qui provoquent des impacts négatifs dans tous les domaines de la vie sociale de l'homme à savoir santé, économie, environnement. C'est pour ces raisons que nous avons insisté dans la troisième partie sur l'importance particulière de la mise en place d'un système de protection de la dégradation de la qualité naturelle de l'eau, de préservation de l'écosystème et de l'hygiène de la population. Nous sommes convaincus que la mise en place des systèmes suggérés a porté des solutions et résolutions à la réponse de la problématique que nous avons posée au début de ce travail. Le traitement anaérobiose par bio-digesteur est indispensable en vue de développement durable et intégral de tout homme et de tout l'homme. A travers le monde, l'essentiel des eaux usées n'est ni traité ni collectée. En outre la collecte elle-même n'est pas synonyme de traitement si elles seront par la suite déchargées dans l'environnement. La pollution causée par les eaux résidentielles et industrielles non traitées affaiblit la capacité des écosystèmes à fournir les services liés à l'eau. Ainsi une exigence s'impose quant à la mise en place des moyens nécessaires pour réduire l'exposition aiguë et à long terme de la population avec des substances dangereuses pour la santé et aussi pour la préservation des ressources.

Alors que les pressions dues à l'urbanisation, à la demande alimentaire et à la pénurie d'eau augmentent, la réutilisation des déchets est de plus en plus attrayante. Les travaux sur des modèles de chaines de services d'assainissement qui valorisent les nutriments, l'eau et

l'énergie sont de plus en plus nombreux. Ces modèles peuvent offrir des avantages pour la santé, l'environnement et la production alimentaire. Une fois que l'eau a été utilisée à quelque fin que ce soit, elle ne doit pas être considérée comme gaspillée. Il est nécessaire de changer de paradigme selon laquelle l'eau utilisée est un déchet à éliminer à la perception des eaux usées comme une ressource. Les eaux usées ont été longtemps négligées ; or elles constituent non seulement une solution à la raréfaction des ressources en eau mais également une source de nutriments et d'énergies efficaces et rentables. La gestion améliorée des eaux usées implique la réduction des pollutions à la source et l'élimination de contaminants des flux, la réutilisation des eaux récupérées et la récupération des sous-produits. Ces quatre points entraînent des avantages sociaux, environnementaux et économiques. Raison pour laquelle nous sommes persuadés que le traitement anaérobiose par bio-digesteur est l'un des meilleures résolutions apportées dans ce travail de recherche. Car nous avons bien souligné que la mise en place de ce système contribue au bien-être et à la santé ainsi qu'à la concrétisation du développement intégral et durable de la population impliquée.

Ce travail est encore loin d'apporter une réponse exhaustive à toute la problématique de principales causes de toute sorte de pollution des ressources en eau. A nos jours, la recherche de moyen d'assainissement et de protection des ressources en eau en vue de préserver l'écologie environnementale toute entière est un sujet d'une brûlante actualité tant sur le plan national qu'international. Sa conception n'est pas figée ou statique, elle suit le dynamisme de la mondialisation et la globalisation. Cela dit bien la limite de notre travail de recherche. Afin de pouvoir mieux approfondir cette recherche au profit de l'assainissement et la protection de la qualité naturelle de l'eau, il serait bon de travailler et de collaborer avec les différents corps des organismes étatiques ou non étatiques. Le travail n'est donc pas encore clos, il demeure ouvert et immense.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**Agenda 21**, (2008) chapitre 18 : Protection des ressources en eau douce et de leur qualité ; application d'approches intégrées de la mise en valeur, de la gestion et de l'utilisation des ressources en eau, 35p.

**Asano T**, (1998). Wastewater reclamation and reuse. Water quality management library, 1475p.

**Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconie A**, (2004), Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.

**Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconie A**, (2004), Réutilisation des eaux usées : risques sanitaires et faisabilité en Ile-de-France. Rapport ORS, 220p

**Cauchi, Hyvrard, Nakache, Schwartzbrod, Zagury, Baron, Carre, Courtois, Denis.**  
Épuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 2 : 81-118p

**Célébration de la Décennie Internationale d'action « Eau, source de vie » 2005 – 2015.** Journée mondiale de l'eau 2005, 22 mars. Guide de sensibilisation

**Dernat, Larbaigt, Derangere, Martigne, Seguret.** (1996)., Dossier : la réutilisation des eaux usées après

**Desjardins R**, 1997. Le traitement des eaux. 2<sup>ème</sup> édition. Ed. Ecole polytechnique.

**Edline F**, 1979. Epuration biologique des eaux résiduaires. Ed. CEBEDOC, Paris, 306p.

**Encyclopedia**,(1995) . Industrial chemistry, Water in Ullman's, Wiley-VCH Verlags, vol.8.

**F.VALIRON- J.MONGELLAZ**, Manuel d'assainissement spécifique pour les pays à faible revenu, Techniques vivantes, Agence de Cooperation Culturelle et Technique 1991, ISBN : 92.9028.108.4

**Faby J.A., Brissaud F**, (1997). L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office

**Food and Agriculture Organization.** (2003)., L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation. FAO Irrigation and Drainage paper, 165p.

**Keck G. et Vernus E**, (2000)., « Déchets et risques pour la santé », Techniques de L'Ingénieur, Paris, 2450p.

**Lawers R**, 2007 Toxicologie industrielle et intoxication professionnelle. Paris 693 pages

**Lettre encyclique Laudato Si du saint- père François sur la Sauvegarde de la maison commune**, 2015 2<sup>ème</sup> partie question eau, page 26

**Lettre encyclique Redemptorhominis du saint-père Jean Paul II** page 5 (4 mars 1979), n 15 : AAS 71 (1979), 287p

**Martin G.** (1979)., Le problème de l'azote dans les eaux. Ed. Technique et documentation, Paris, 279p.

**Mayet J.**, (1994), « La pratique de l'eau, Traitements aux points d'utilisation, le Moniteur » 2<sup>ème</sup> Edition, Paris, 382p

**Moussa Moumouni**. Mémoire : Les eaux résiduaires des tanneries et des teintureries : Caractéristiques physico-chimiques, bactériologiques et impact sur les eaux de surfaces et les eaux souterraines. (2005) 38p.

**Norme OMS**, Directives de qualité de l'eau de boisson. Volume 3 : Contrôle de qualité des eaux destinées à l'approvisionnement de petites collectivités, Genève 1986

**Organisation mondiale de la santé (OMS)**, Collecte d'évaluation des eaux usées des collectivités. Genève 1976

**Organisation mondiale de la santé (OMS)**, Directives de la qualité de l'eau de boisson. Volume 2 : Critères d'hygiène et documentation à l'appui, Genève 1986

**Organisation Mondiale de la Santé** 2006, Planification de la gestion de la sécurité sanitaire de l'assainissement, Manuel pour une utilisation et une élimination sûre des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères.

**Organisation Mondiale de la Santé**, Directives de qualités de l'eau de boisson. Volume 3 : contrôle de qualité des eaux destinées à l'approvisionnement de petites collectivités. Genève 1986

**Organisation Mondiale de la Santé.** Directive de la qualité de l'eau de boisson. Volume 2 :Critère d'hygiène et documentation à l'appui. Genève 1986

**PNUE programme des nations unies pour l'environnement 2006, circulareconomy** : An alternative model for economic development. Paris. PNUE

**PROTECTION DE LA NATURE,** Convention de Washington, textes communautaires et internationaux, Edition septembre 1990

**Rapport mondial des nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017.** Les eaux usées une ressource inexploitée.

**Rapport sur l'état de l'environnement à Madagascar 2012,** Chapitre 3 : Eau. 35p

**Rodier J, 2009.** L'analyse de l'eau, 9<sup>ème</sup> Edition Dunod. Paris, 1578p

**Rodier J,** L'analyse de l'eau, Eaux naturelles- Eaux résiduelles- Eaux de mer. 7<sup>ème</sup> Edition Dunod 1984, 1426p

**Sarah Boyer, Diane Labrunie, Elodie Ségard, Fabrication de biogaz** : Synthèse de pétrole par fermentation à partir de déchet organique, janvier 2009

**Tarmoul F, Sodi M** ;(2007). Mémoire, « Détermination de la pollution résiduelle d'un estation d'épuration par lagunage naturel ». Tribune de l'eau n° :563/3. Ed. CEBEDOC, pp: 27-32

**Vaillant J.R.** (1974)., Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires : eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Ed. Eyrolles. Paris, 413p.

**Valiron F.,** (1983). La réutilisation des eaux usées. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 207p

# ANNEXES

## ANNEXE 1 : Mesure de la turbidité au laboratoire

### Mode opératoire :

Avant toutes mesures, il faut étalonner l'appareil au moyen des solutions étalons. Le rinçage de la cuve turbidimétriques doit être fait avec l'eau à analyser et le remplir ensuite en évitant la formation de bulle d'air.

### Unités :

Plusieurs unités sont utilisées selon le type de l'appareil :

- FTU ou FormazinTurbidityUnits
- NTU ou NephelométriqueTurbidityUnits
- JTU ou Jackson TurbidityUnits

La plus utilisée est NTU

## ANNEXE 2 : Mesure de la conductivité

### Matériels :

- Conductimètre
- Béchers

### Mode opératoire :

Opérer avec de la verrerie rigoureusement propre rincée avec de l'eau distillée,

Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité,

Puis plonger la cellule dans le récipient contenant l'eau à examiner.

NB : la mesure de la minéralisation se fait à l'aide le même appareil.

## ANNEXE 3 : Mesure du pH

### Matériels :

- pH-mètre
- Béchers

### Mode opératoire :

Rincer plusieurs fois la cellule à l'eau distillée,

Plonger cette cellule dans le bécher contenant l'eau à analyser.

## ANNEXE 4 : Détermination de MES

Méthode par Filtration sur membrane cellulosique

### Matériels :

- Dispositif de filtration sous vide ou sous pression (1 à 2 bars)
- Membranes filtrantes

### Mode opératoire :

- Laver le disque de filtration à l'eau distillée, sécher à 105°C jusqu'à masse constante M0 puis le peser à 0,1 mg près après passage au dessiccateur.
- Mettre en service le dispositif d'aspiration ou de pression.
- Verser l'échantillon de volume V sur le filtre.
- Rincer la fiole ayant contenu l'eau à analyser à 10mL d'eau distillée.
- Faire passer sur le filtre cette eau de lavage-
- Laisser essorer le filtre, sécher à 105°C.
- Laisser refroidir au dessiccateur et peser à 0,1mg près jusqu'à poids constant M1.

### Expression des résultats :

La teneur de l'eau en matière en suspension en  $\text{mg.L}^{-1}$  est donnée par l'expression :

$$\frac{M1 - M0}{V} = X1000$$

## ANNEXE 5 : Détermination de la demande chimique en oxygène

### Réactifs :

- Eau distillée
- Solution de sulfate d'argent
- Solution de sulfate de fer II et d'ammonium (sel de Mohr)
- Solution de dichromate de potassium
- Indicateur coloré (solution de férroïne)

### Mode opératoire :

- Introduire 10mL d'eau à analyser dans un ballon de 500mL avec des billes de verre.
- Ajouter 5mL de dichromate de potassium et 15mL de sulfate d'argent.
- Agiter jusqu'à parfaite dissolution.
- Porter à ébullition pendant 2 heures sous réfrigérant à reflux adapté au ballon.
- Laisser refroidir et débrancher le réfrigérant.
- Diluer à 75mL avec de l'eau distillée.
- Ajouter quelques gouttes d'indicateur coloré.

- Titrer l'excès de dichromate avec le sel de Mohr jusqu'à l'obtention de coloration rouge.
- Procéder aux mêmes opérations avec 10mL de distillée considérée comme un essai à blanc.

#### Expression des résultats :

$$\frac{8000C(V1 - V2)}{V0} = DCO \text{ en mg de dioxygène par litre}$$

C : concentration de la solution de Mohr

V0 : prise d'essai

V1 : volume de la solution de sel de Mohr versée lors de l'essai à blanc

V2 : volume de la solution de sel de Mohr versée lors du dosage de la solution à analyser

### ANNEXE 6 : Détermination de la DBO

#### Principe de fonctionnement d'un DBO-mètre :

Les échantillons d'eau résiduaires sont placés dans les flacons bruns. Ces derniers sont placés sur l'appareil et connectés par leur bouchon aux manomètres à mercure fermé dans le flacon. Au-dessus de l'échantillon se trouve l'air contenant 21% d'oxygène. Les bactéries utilisent continuellement de l'oxygène pour oxyder les matières organiques présentes ; ainsi l'oxygène est éliminé de l'échantillon. L'air au-dessus de l'échantillon remplace l'oxygène consommé et une diminution de la pression d'air se produit dans le flacon.

La diminution de la pression de l'air fait monter le mercure dans le manomètre et indique une valeur sur l'échelle de DBO en  $\text{mg.L}^{-1}$ . Le manomètre étant un système fermé, la variation de la pression atmosphérique extérieure n'affecte pas la mesure.

Le gaz carbonique est produit par les micro-organismes qui oxydent les matières organiques et doit être éliminé du système de manière à ce que la différence de pression dans le système soit proportionnelle à la quantité d'oxygène utilisée. Le gaz carbonique est absorbé en plaçant des cristaux d'hydroxyde de lithium dans la cupule de chaque flacon.

#### Mode opératoire :

- Utiliser une éprouvette propre pour mesurer le volume d'échantillon désiré dans le flacon brun (il faut se référer aux échelles). Noter que l'échantillon doit être réchauffé ou refroidi jusqu'à moins de 20°C avant d'être mesuré.
- À l'aide d'un entonnoir, vider le contenu d'une gélule d'hydroxyde de lithium dans chaque cupule. Placer une cupule dans le goulot de chaque flacon. Ne pas laisser de particule d'hydroxyde de lithium tomber dans l'échantillon.

- Placer le flacon sur l'appareil, brancher les prises électriques. Les bouchons des manomètres étant ouverts, visser légèrement les flacons. Placer l'appareil dans un incubateur à une température 20°C. Attendre 30 minutes (temps habituel nécessaire pour atteindre l'équilibre de température). Dévisser les bouchons des flacons, serrer lentement les bouchons des manomètres et visser les bouchons des flacons. Si l'échantillon n'est pas à l'équilibre de température, il peut se produire rapidement une lecture positive ou négative. Si cette variation rapide se produit, desserrer légèrement les bouchons des manomètres et des flacons et resserrer lorsque l'équilibre est atteint.
- Desserrer les bouchons sur les échelles manométriques et aligner le 0 sur le sommet des colonnes des mercures. Si les mercures ne s'alignent pas sur 0, desserrer les bouchons des flacons et ceux des manomètres, puis serrer les bouchons et réajuster les échelles.

#### **Interprétation des résultats :**

Si la mesure est effectuée correctement, les résultats des 5 premiers jours doivent indiquer une lecture de DBO de plus en plus importante.

#### **Echelle :**

Gamme de DBO	Volume d'échantillon nécessaire	Echelle
$1.35\text{mg.L}^{-1}$	420mL	$0-35\text{mg.L}^{-1}$
$0-70\text{mg.L}^{-1}$	355mL	$0-70\text{mg.L}^{-1}$
$0-350\text{mg.L}^{-1}$	160mL	$0-350\text{mg.L}^{-1}$
$0-700\text{mg.L}^{-1}$	95mL	$0-700\text{mg.L}^{-1}$

## ANNEXES7 : PLAN DE CONSTRUCTION D'UN DIGESTEUR

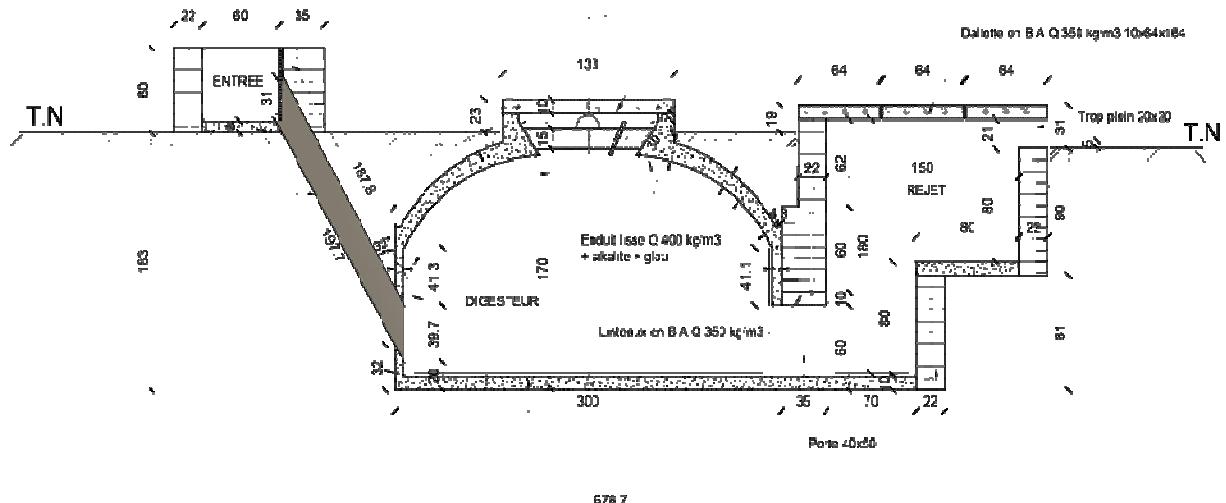


Figure 8: Coupe longitudinale d'un digesteur (FAFAFI)

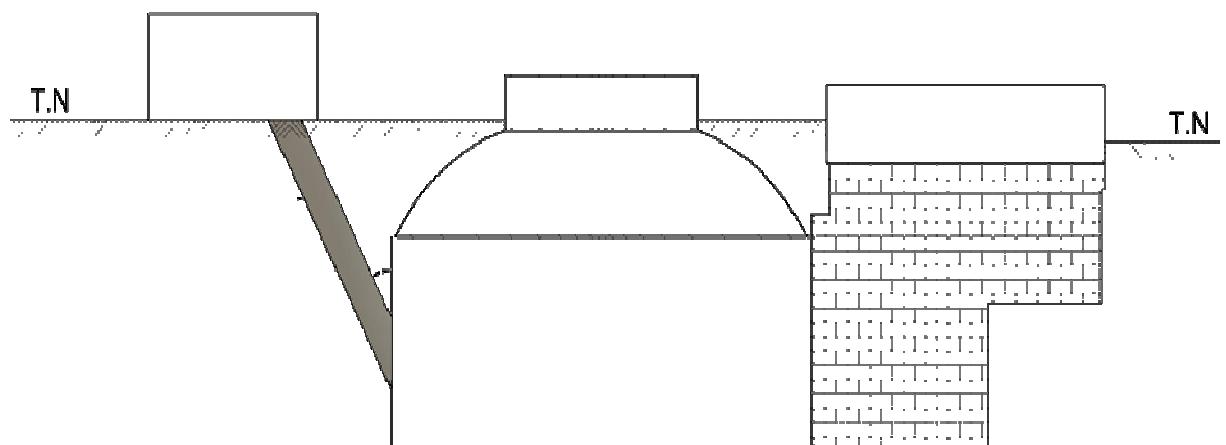


Figure 9: Face latérale droite d'un digesteur (FAFAFI)

**Etudiante: Rova Julie HANITRARIVELO**

**Encadrant : Monsieur HeryZo RANDRIANANDRAINA**

**Domaine Sciences et Technologies**

**Mention Chimie**

**Parcours Master d'Ingénierie en Sciences et Techniques de l'Eau**

## **ASSAINISSEMENT ET PROTECTION DES RESSOURCES EN EAU A TRAVERS**

### **LE TRAITEMENT ANAEROBIE PAR BIODIGESTEUR DES EAUX USEES**

#### **DOMESTIQUES**

#### **RESUME**

Toutes activités humaines utilisant de l'eau produisent des eaux usées. Elles contiennent différentes substances polluantes alors qu'elles sont directement rejetées dans l'environnement. La gestion des eaux résiduaires domestiques sont négligée d'où l'éparpillement et le rejet dans les cours d'eau. Les effets de cette négligence sont néfastes pour la santé humaine, la qualité des ressources en eau, les écosystèmes et les productivités économiques.

La gestion des eaux usées présentent une issue face aux défis auxquels les sociétés font face. Elles peuvent s'avérer être une source d'eau alternative fiable, une source d'énergie exploitable et de sous-produits utiles à la société. Plusieurs méthodes de traitement ont été mises au point dernièrement, la méthanisation constitue l'un d'entre d'eux. Cette dernière consiste en la collecte des eaux usées domestiques dans un bio-digesteur dans lequel des réactions se succèdent. Elle produit du gaz méthane qui est une énergie utilisée pour le chauffage, l'électricité et la cuisson. Cette méthode apporte solutions à la pollution que subissent les eaux naturelles à cause du rejet des eaux résiduaires domestiques, à l'écosystème mais et surtout elle permet la promotion de l'assainissement de la population.

**Mots clés :** eaux usées, pollution, méthanisation, bio-digesteur, valorisation

## **WATERCOURSE'S SANITATION AND PROTECTION THROUGH**

### **WASTEWATER BIO-DIGESTEUR ANAEROBIC TREATMENT**

#### **ABSTRACT**

All human activities using water produce naturally wastewater. It contains some pollutants which are directly rejected into the environment. Wastewater management is neglected, that's why, there are too many watercourses pollution nowdays. This neglect are harmful to human health, water resources qualities, environment and economical productivities.

Wastewater management presents a way out of the challenges in these societies. They could be a reliable alternative water sources, an exploitable energy resources, and some useful product to the society. Several treatment methods have been developed recently, and methanation is one of them. It consists in collecting domestic wastewater in a bio-digester in which reactions follow one another. It produces methane which is an energy used for heating, electricity and baking. This method is the solution to the natural water problems caused by wastewater and it permits above all the sanitation of population.

**Keywords:** wastewater, pollution, methanation, bio-digester, valorization