

## Liste des abréviations, sigles et unités

<b>°C</b> : Degrés Celsius	<b>ml</b> : millilitre
<b>µm</b> : micromètre	<b>mm</b> : millimètre
<b>cm</b> : centimètre	<b>MMS</b> : matières minérales en suspension
<b>DBO</b> : Demande biochimique en oxygène	<b>MVS</b> : matières volatiles en suspension
<b>DBO5</b> : Demande biochimique en oxygène en 5 jours	<b>n°</b> : numéro
<b>DCO</b> : Demande chimique en oxygène	<b>OD</b> : Oxygène dissous
<b>g</b> : gramme	<b>PET</b> : Polyéthylène
<b>h</b> : heure	<b>PP</b> : Polypropylène
<b>ISO</b> : International Standardization Organization	<b>PVC</b> : Polyvinyl chloride (ou Polychlorure de vinyle)
<b>j</b> : jour	<b>S.A.</b> : Société anonyme
<b>kg</b> : kilogramme	<b>SEMA</b> : Sources d'Eaux Minérales d'Andranovelona
<b>l</b> : litre	<b>STAR</b> : Société Tananarivienne d'Articles Réfrigérés
<b>m</b> : mètre	<b>STEP</b> : Station de traitement et d'épuration
<b>m³</b> : mètre cube	<b>TDS</b> : Total Dissolved Solids
<b>MES</b> : Matières en suspension	<b>THB</b> : Three Horses Beer
<b>mg</b> : milligramme	

## Glossaire

- **Anoxie** : désigne une diminution de la quantité d'oxygène.
- **Biomédias** : Supports en plastique assez fins et/ou assez légers pour être maintenus en suspension dans les réacteurs à lits bactériens.
- **Eutrophisation** : C'est le processus par lequel des nutriments s'accumulent dans un milieu ou un habitat (terrestre ou aquatique).
- **Lyse** : Employé comme diminutif d'hydrolyse. En biologie, la lyse est la destruction de la membrane plasmique de cellules eucaryote ou bactéries par action d'un agent physique, chimique ou biologique et menant à la mort de la cellule. Les produits résultants sont des lysats.



## Liste des figures

Figure 1: Principe de l'épuration biologique aérobie .....	13
Figure 2: Variation en fonction du temps de la biomasse de la pollution organique et de la consommation en oxygène .....	14
Figure 3 : Principe de la nutrition bactérienne .....	15
Figure 4 : Les étapes de la métabolisation de la pollution azotée .....	17
Figure 5 : Les étapes de formation du biofilm sur la surface des supports .....	18
Figure 6 : Principe de l'épuration biologique aérobie, culture fixée .....	18
Figure 7 : Les différentes phases de la métabolisation anaérobie de la pollution .....	22
Figure 8 : Digesteur conventionnelle .....	22
Figure 9: Processus de fabrication des boissons gazeuses .....	31
Figure 10 : Plan de la Station d'épuration d'eaux usées de l'usine Andraharo .....	33
Figure 11 : Dégrilleur avec tamis élévateur .....	35
Figure 12 : Schéma d'un canal jaugeur type venturi .....	38
Figure 13 : Canal jaugeur de type Venturi .....	38
Figure 14 : Principe de l'Oxyjet source: Site internet Dom'eau .....	40
Figure 15 : Prise d'air par soutirage naturel type venturi .....	41
Figure 16: Support des micro-organismes : Biomédias .....	42
Figure 17: Organigramme simplifié de la STEP .....	44
Figure 18: Graphe de comparaison DCO et MES .....	48
Figure 19 : Mise en évidence de la montée de la DCO de l'effluent brut lors des destructions .....	50
Figure 20: Système de neutralisation de l'effluent dans le bassin d'aération .....	51
Figure 21 : Evolution de la DCO de l'effluent brut avant et après la limitation des destructions .....	55
Figure 22 : Evolution du pH de l'effluent brut après neutralisation .....	57
Figure 23: Aspect global par semaine de la variation de l'oxygène dissous dans le bassin d'aération .....	60
Figure 24: DCO et DBO5 de l'effluent traité année 2016 .....	61
Figure 25 : Evolution de la DCO de l'effluent traité .....	63
Figure 26 : Evolution de la DBO5 de l'effluent traité .....	64
Figure 27: Clarificateur classique avec raclage de boues et aspiration au fond du clarificateur .....	67

## Liste des tableaux

Tableau 1: Pondération des métaux et métalloïdes lors du calcul du Métox .....	11
Tableau 2 : Résultats d'analyse mensuelles durant l'année 2016 .....	47
Tableau 3 : Correspondance entre le débit de l'effluent brut et le débit de la pompe acide .....	56
Tableau 4 : Evolution du pH de l'effluent brut après neutralisation .....	57
Tableau 5 : Extrait de résultats d'analyse de l'effluent brut.....	59
Tableau 6 : DCO et DBO5 mensuelles de l'année 2016.....	61

# Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Les eaux usées et les traitements des eaux résiduaires

- I. Généralités sur les eaux usées et le traitement des eaux résiduaires
- II. Critères globaux de pollution
- III. Les types de traitements des eaux usées

Chapitre II : Cas de la Station d'Épuration des Eaux Usées de l'Usine Boisson Gazeuse STAR Andraharo

- I. Présentation de l'entreprise
- II. La Station de Traitement et d'Épuration de l'usine Andraharo

Chapitre III : Etat des lieux, études d'améliorations et réalisations

- I. Résultats d'analyses avant améliorations
- II. Analyse des problèmes
- III. Actions correctives et résultats
- IV. Perspectives

Conclusion générale

## **Introduction générale**

L'essor de l'industrie s'est toujours accompagné de l'exploitation de l'eau. L'eau est indispensable et utilisée comme matière première, fluide thermique, liquide de nettoyage et bien d'autres encore. Considérée autrefois comme inépuisable et gratuite, l'eau est de nos jours une denrée rare et limitée. Dans plusieurs pays du monde notamment à Madagascar, l'eau est devenue un problème majeur. Devenue très difficile à trouver, la plupart du temps, elle est polluée et devient impropre à la réutilisation et à la consommation. L'environnement se dégrade et les eaux de surface sont les plus touchées par cette pollution généralisée. Pourtant, utiliser l'eau c'est la polluer. Les industries utilisent beaucoup d'eau mais l'enjeu écologique les oblige à l'utiliser d'une manière respectueuse.

Le Groupe STAR est l'un des pionniers des industries Malagasy et il possède de loin les plus grands complexes agro-industriels à Madagascar. Son implication dans la protection de l'environnement se démontre par sa gestion des ressources en eau et par l'installation dans tous ses sites industriels de systèmes de traitement et d'épuration des eaux usées.

Notre contribution a été dirigée selon les lignes suivantes. D'abord, une prise en connaissance de l'état des lieux de la STEP de la STAR Andraharo ainsi que des résultats d'analyses de l'effluent brut et de l'effluent traité a été nécessaire. Ensuite, nous avons analysé les informations obtenues. Puis, appuyées par des études bibliographiques sur le sujet, des suggestions ont été émises et des actions ont été faites. Enfin, après observation des effets des changements, des rétroactions sont faites si nécessaire.

Ce mémoire se compose alors de trois grands chapitres. Le premier chapitre consiste en des études bibliographiques sur les eaux usées, notamment les généralités sur les eaux usées et leur traitement, les critères de pollution et les types de traitement. Le second chapitre présentera le milieu d'étude : l'Usine boisson gazeuse Andraharo et sa station d'épuration des eaux usées. Les résultats d'analyses initiaux y seront cités. Dans le dernier chapitre se fera l'analyse des problèmes rencontrés par la STEP avant de relater les suggestions et les actions correctives faites. Enfin, les résultats y seront présentés et discutés.

## **Chapitre I : Les eaux usées et les traitements des eaux résiduaires**

Rapport-Gratuit.com

## **Introduction**

L'eau est indispensable en industrie. Elle est utilisée en grande quantité lors des procédés industriels et se trouve polluée à la fin. C'est ainsi qu'on obtient les eaux usées. Avant de les rejeter dans la nature, elles doivent subir un traitement pour atténuer les pollutions. Pour assurer ce traitement, il faut d'abord déterminer les sources et le degré de pollution. Ce n'est qu'ensuite que l'on pourra bien choisir parmi les différents moyens de traitement.

# **I. Généralités sur les eaux usées et le traitement des eaux résiduaires**

## **I.1. Définitions**

### **I.1.1. Eau usée**

C'est l'eau qui, après utilisation, devient chargée en matières minérales et/ou organiques, en matières en suspension ou en solution, et dont certaines peuvent avoir un caractère toxique et sont susceptibles de contaminer le milieu où elles seront déversées. [1]

### **I.1.2. Traitement d'eau usée**

C'est l'ensemble des procédés réalisés pour éliminer les pollutions dans l'eau usée.

Le traitement a pour but d'obtenir une eau épurée qui satisfait aux normes de rejet édictées par la législation, afin d'assurer un rejet sans risque pour les êtres vivants dans le milieu naturel ou d'avoir de l'eau réutilisable. [1]



### **I.1.3. Traitement biologique**

Le traitement biologique aérobie consiste à utiliser le pouvoir auto-épurateur des rivières dans des bassins. Ce traitement utilise les micro-organismes qu'on trouve dans la nature. Ces micro-organismes sont soit aérobies (ont besoin d'oxygène pour vivre), soit anaérobies (survivent seulement dans un milieu sans oxygène).

Parmi eux, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires. Cette microflore, extrêmement riche, peut s'adapter à divers types de polluants qu'elle consomme sous forme de nourriture (substrats). Il est ainsi possible d'utiliser systématiquement cette microflore dans un processus contrôlé pour réaliser l'épuration des eaux résiduaires. [2]

## **I.2. Les eaux résiduaires**

### **I.2.1. Origine des eaux résiduaires**

L'étude d'un traitement d'eau résiduaire passe obligatoirement par la connaissance des sources polluantes. Dans notre cas, nous nous intéressons aux eaux résiduaires industrielles, donc à toute eau qui est susceptible de sortir de l'usine.[3]

#### *I.2.1.1. Eaux techniques*

- Eau du circuit de refroidissement

Les circuits de refroidissement génèrent beaucoup d'eau non polluée car cette dernière n'est pas en contact avec les produits. Toutefois, à ces eaux sont ajoutés des produits chimiques afin de préserver le circuit de refroidissement, comme les anti-corrosions qui sont des inhibiteurs d'oxygénation.

- Eau des chaudières et circuits vapeurs

Les circuits de vapeur et les chaudières ne génèrent pas de grandes pertes d'eau mais seulement celles déversées pendant les purges. Ces eaux sont toutefois très toxiques pour les micro-organismes car elles contiennent des anti-corrosions.

#### *1.2.1.2. Eaux de lavage : sols, machines, bouteilles*

L'eau issue des lavages est très chargée en produits : des matières premières, des liqueurs de fabrication, des huiles de machines, des produits détergents et désinfectants. Les eaux de lavage ont des débits très variables et sont occasionnelles.

#### *1.2.1.3. Eaux de fabrication*

L'eau de fabrication dépend du type d'industrie, la pollution peut être biodégradable, minérale, organique et aussi toxique.

Les pollutions toxiques peuvent être traitées spécialement afin de les recycler ou stockées dans un bassin et rejetées à débit mesuré réduisant ainsi les perturbations dues à leur toxicité.

#### *1.2.1.4. Eaux des services généraux*

Ce sont les eaux usées domestiques de l'usine. Celles qui proviennent des toilettes, douches, cantines et autres sources d'eau ne provenant pas de la production proprement dite. Ces eaux usées sont chargées et doivent être traitées avant leur rejet ou leur réutilisation.

Dans certaines installations, les eaux issues de l'usine sont séparées des eaux de services généraux et eaux de pluie, dans ce cas le réseau est dit réseau séparatif. Dans le cas contraire, si toutes les eaux sortant de l'usine, y compris les eaux de pluie et des services généraux, sont rassemblées en un seul réseau, on a un réseau unitaire.

### **1.2.2. Nocivité et effets de la pollution sur le milieu naturel**

#### *1.2.2.1. Pollution insoluble*

Les pollutions insolubles peuvent être des matières en suspension grossières décantables, fines dispersées ou colloïdales.

Rejetées dans la nature, les pollutions insolubles augmentent la turbidité de l'eau empêchant ainsi les rayons lumineux de pénétrer dans le milieu aqueux.

Les êtres vivants y auront du mal à survivre. Les végétaux ont besoin de lumière pour faire la photosynthèse, les animaux (poissons) ont besoin des végétaux

pour se nourrir et les pollutions insolubles peuvent étouffer les poissons. Les pollutions insolubles grossières peuvent se décanter et sont sources de dépôts entraînant des inondations.

#### *1.2.2.2. Pollution toxique*

Nombreux sont les produits toxiques dans les effluents industriels. Ils peuvent être d'origine minérale : métaux lourds, cyanures, sulfures, etc. Ou d'origine organique comme les composés phénolés ou les hydrocarbures et leurs dérivés et bien d'autres encore. Ces pollutions toxiques entraîneront la mort des êtres vivants dans le milieu de rejet même à très faible concentration ( $< 1 \text{ mg/l}$ ).

#### *1.2.2.3. Pollution organique*

Les pollutions organiques sont issues des matières organiques non toxiques mais consomment l'oxygène dissous dans l'eau réceptrice et entraînent ainsi le décès des poissons et la fermentation anaérobie dans le fond des cours d'eau ou des rivières.

#### *1.2.2.4. Pollution azotées et phosphorées*

Les éléments nutritifs à base d'azote (azote organique, ammoniacale, nitrate) et à base de phosphore (phosphores et phosphates) issues des eaux usées entraînent le développement excessif des algues et planctons créant le phénomène d'*eutrophisation*. L'*eutrophisation* perturbe la qualité de l'eau. Les algues et planctons consomment tout l'oxygène dissous, rendant l'eau non viable pour les animaux aquatiques (surtout les poissons) et non réutilisable.

#### *1.2.2.5. Autres types : pollution thermique et pollution radioactive*

La température est un facteur à ne pas négliger, les poissons ne peuvent pas résister dans un milieu à plus de 35°C.

D'autres types de pollutions peuvent être rencontrés dans les rejets industriels comme les rejets radioactifs ou les rejets renfermant des germes pathogènes ou virus dangereux. Mais ces derniers sont très rares et dépendent des activités de l'industrie. [3]

## **II. Critères globaux de pollution**

L'utilité des critères globaux de pollution est d'évaluer grâce à des paramètres le risque polluant associé aux effluents.

Quelques concepts globaux émergent en effet en examinant l'impact d'un rejet sur un milieu naturel:

- la présence de matières en suspension provoque la mort des poissons par asphyxie et empêche la pénétration de la lumière dans les eaux,
- les matières oxydables consomment l'oxygène dissous et entraînent l'asphyxie des êtres vivants,
- la présence de substances à effet toxique dans les rejets inhibe le développement de certains organismes aquatiques ou provoque leur mortalité,
- le rejet de composés azotés et phosphorés peut provoquer un développement exagéré de végétaux dans les eaux de surface (*eutrophisation*).

Ces considérations sont à l'origine du développement des paramètres suivants.[4]

### **II.1. Les matières en suspension (MES)**

Elles représentent, la fraction constituée par l'ensemble des particules, organiques (matières volatiles en suspension ou MVS) et minérales (matières minérales en suspension ou MMS) non dissoutes de la pollution. Elles constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'un effluent. Les matières volatiles en suspension (MVS) représentent la fraction organique de MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES séchées à 105°C et les

MES à 525°C donne la « perte au feu » et correspond à la teneur en MVS en (mg/l) d'une eau.

Les matières minérales (MMS) représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son « extrait Sec » constitué à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les Chlorures, les phosphates, etc.

L'abondance des matières minérales en suspension dans l'eau augmente la turbidité, réduit la luminosité et donc abaisse la productivité d'un cours d'eau, entraînant ainsi une chute du taux d'oxygène dissous et freinant les phénomènes photosynthétiques qui contribuent à la ré-aération de l'eau. [4]

## **II.2. Les matières oxydables**

Le rejet de matières organiques dans le milieu naturel conduit à une dégradation de ces matières organiques, provoquant la consommation de l'oxygène du milieu. Une simulation de cette consommation en oxygène a été établie en utilisant :

- une oxydation chimique de l'effluent. C'est ce qui a été développé dans la méthode de la DCO (demande chimique en oxygène).

La Demande Chimique en Oxygène (DCO) est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation chimique de toute la matière organique biodégradable ou non, contenue dans les eaux à l'aide du bichromate de potassium à 150°C. Elle est exprimée en mg O<sub>2</sub>/l.

- une dégradation par voie biochimique (biodégradation) en mettant l'échantillon en présence d'une population de microorganismes. Cela a donné naissance au paramètre DBO (demande biochimique en oxygène).

Ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie. Pour la mesurer, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours ; c'est la DBO<sub>5</sub>.

La valeur du rapport DCO/DBO indique le **coefficient de biodégradabilité** d'un effluent, qui dépend de son origine.

- $DCO/DBO_5 < 3$  effluent facilement biodégradable
- $3 < DCO/DBO_5 < 5$  effluent moyennement biodégradable
- $DCO/DBO_5 > 5$  effluent difficilement biodégradable, voire non biodégradable.

[4]

### II.3. L'azote et le phosphore

L'azote et le phosphore sont des nutriments indispensables pour le développement des êtres vivants pourtant leur rejet et leur présence excessifs dans les milieux aquatiques sont néfastes et contribuent à l'*eutrophisation* de ces derniers (prolifération excessive d'algues et de planctons. Leurs équilibres sont alors bouleversés. L'*eutrophisation* est donc une menace aussi bien pour la faune que pour la flore. D'une manière générale, les perturbations engendrées peuvent être de nature diverses :

- physico-chimiques : modification des paramètres physico-chimiques du cours d'eau initial (pH, température, teneur en oxygène dissous, augmentation de la turbidité et des matières en suspension, enclenchement du processus d'*eutrophisation*, etc.) ;
- biologiques : perturbation de l'équilibre biologique.[5]

#### II.3.1. L'azote :

L'azote est présent dans les eaux usées sous les différentes formes chimiques suivantes : ion ammonium  $NH_4^+$ , ion nitrite  $NO_2^-$  et ion nitrate  $NO_3^-$ .

Plusieurs analyses pour déterminer la teneur en azote sont possibles :

- azote total : représente la somme de tous ces composés,
- azote Kjeldahl : représente l'azote organique et l'azote ammoniacal, Dans l'azote organique sont inclus ceux des amines, des amides, de l'urée, de l'acide uréique etc.
- azote ammoniacal, ( $NH_3$ )
- nitrates ( $NO_3^-$ )

- nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

### **II.3.2. Le phosphore**

Le phosphore est présent dans l'eau sous plusieurs formes : phosphate, polyphosphate, phosphore organique etc. L'ion orthophosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) est la forme la plus abondante dans l'eau et provient en majeure partie des déjections animales et des produits de lessive. Il joue un rôle important dans la respiration des cellules vivantes, dans le stockage et le transfert de l'énergie. A concentration élevée dans l'eau, il provoque l'*eutrophisation*. La protection des milieux aquatiques induit l'abattement du phosphore.

Par contre, la réutilisation des eaux à des fins agricoles ne nécessite pas une réduction des teneurs en azote et en phosphore.

## **II.4. Les substances à effets toxiques**

Le métox ou l'ensemble des métaux toxiques désigne un indice destiné à quantifier les pollutions toxiques, métaux ou métalloïdes présents dans les eaux.

Le métox est calculé en faisant la somme pondérée (exprimée en g/l) de huit métaux et métalloïdes, la concentration de chacun d'entre eux étant affectée d'un coefficient de pondération. Définis sur la base d'études scientifiques (tests biologiques), ces coefficients de pondération sont d'autant plus élevés que la toxicité à long terme de l'élément considéré est importante.

Les 8 métaux et métalloïdes retenus et leurs coefficients de pondération sont les suivants :

*Tableau 1: Pondération des métaux et métalloïdes lors du calcul du Métox[4]*

Métaux et métalloïdes retenus	Coefficients de pondération
Arsenic	10
Cadmium	50
Chrome	1
Cuivre	5
Mercure	50
Nickel	5
Plomb	10
Zinc	1

Le métox peut s'exprimer en unité pondérale (g/l) mais il sert le plus souvent à exprimer des flux de pollution en faisant la somme moyenne par unité de temps (généralement la journée) de la masse d'éléments présents dans l'effluent analysé, chaque masse étant multipliée par les coefficients respectifs définis ci-dessus. Le métox s'exprimera alors en g/j. [4]

### **III. Les types de traitements des eaux usées**

#### **III.1. Traitements primaires**

Les traitements primaires ou prétraitements préparent l'effluent brut avant les traitements biologiques qui sont les principaux traitements.

##### **III.1.1. Traitements physiques**

Les traitements physiques ont pour but d'éliminer les déchets grossiers, les sables, les huiles et graisses. Ils sont situés en amont des traitements biologiques afin de protéger les ouvrages des détériorations causées par ces déchets. Il y a le dégrillage pour enlever les déchets grossiers, le dessablage pour enlever les sables et le déshuilage pour séparer l'eau brute des huiles et des graisses.



### **III.1.2. Traitements chimiques**

Des rectifications chimiques doivent être faites avant les traitements biologiques. Le pH doit être entre 6,5 et 8. Plusieurs méthodes pourront être adoptées afin de régulariser le pH mais l'ajout d'acide dans un bassin tampon reste la plus utilisée.

Des éléments nutritifs sont indispensables pour la survie des micro-organismes épurateurs : le Carbone (C), l'Azote (N) et le Phosphore (P). Ces derniers doivent être dans un équilibre pondéral. Le taux en éléments chimiques nutritifs des micro-organismes doit être équilibré en suivant le rapport :  $C/N/P = 100/5/1$ . Pour les traitements aérobies à l'effluent brut, on doit ajouter des éléments nutritifs qui sont l'azote et le phosphore. Le taux d'azote peut être augmenté par l'introduction d'urée et celui de phosphore par l'ajout d'acide phosphorique.

## **III.2. Traitements secondaires - Traitements biologiques**

Le traitement biologique est la principale étape de traitement d'une station d'épuration d'eau usée. Il fait appel aux activités biologiques pour consommer la plus grande partie des matières organiques présentes dans les eaux usées. Il existe plusieurs types de traitements mais on peut les diviser en deux groupes : les traitements biologiques aérobies et les traitements biologiques anaérobies.

Les procédés aérobies utilisent des micro-organismes qui ont besoin d'oxygène, ce sont les procédés aérobies en culture libre : épuration par boue activée et lagunage et les procédés aérobies en culture fixée : lit bactérien et biofiltration.

Les procédés anaérobies utilisent le pouvoir épurateur de micro-organismes anaérobies pour éliminer les pollutions par méthanisation. [1], [6]

### **III.2.1. Traitements biologiques aérobies**

#### *III.2.1.1. Culture libre ou boue activée*

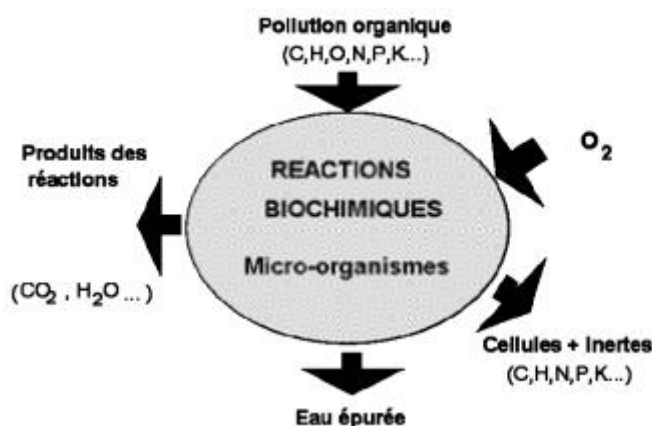
Le procédé par boues activées met en œuvre un réacteur aérobie avec des biomasses en suspension. Il fut mis au point à Manchester en 1914 par ARDEN et LOCKETT. Le procédé reproduit industriellement l'effet auto-réparateur des

rivières. La dégradation des éléments polluants par les microorganismes (bactéries, protozoaires, métazoaires) étant la base du principe d'épuration par boues activées, suivi de la séparation des biomasses et de l'eau épurée par décantation. [7]

Pour le procédé par boue activée, dans un bassin aéré, la boue formée par les microorganismes épurateurs et l'eau à épurer sont mélangés. L'ensemble forme la liqueur mixte ou liquide interstitiel. La décantation se fait dans un clarificateur spécialement aménagé, l'eau et la boue se séparent. Une partie de la boue est renvoyée dans le bassin d'aération pour assurer une concentration constante de la biomasse. Une autre partie est éliminée ou valorisée après avoir fait l'objet d'un traitement d'épaississement. [7]

#### *La boue activée :*

Les micro-organismes responsables de l'épuration s'agglomèrent sous forme de floccs et se développent en utilisant la pollution comme substrat nécessaire à la production d'énergie vitale et à la synthèse de nouvelles cellules vivantes (Figure 1). Une partie des éléments polluants qui n'est pas dégradée biologiquement peut être adsorbée et incorporée aux floccs de boues.



*Figure 1: Principe de l'épuration biologique aérobie [2]*

Les phases de développement de la boue activée reposent sur des lois de croissance bactérienne à partir des travaux de Monod suivi des études récentes d'Eckenfelder et McKinney.

Dans la croissance bactérienne les phases se distinguent par leurs différences de taux de croissance.

- 1) **Phase d'acclimatation** : les bactéries s'adaptent au substrat à dégrader, le taux de croissance est nul ou faiblement positif.
- 2) **Phase de croissance exponentielle** la vitesse de croissance est constante, les besoins en oxygène des cellules durant cette phase sont assez variables suivant les espèces.
- 3) **Phase de ralentissement** et d'arrêt de la croissance, cette phase correspond à une diminution de la concentration du substrat et de la vitesse de croissance.
- 4) **Phase de décroissance**, la stabilisation de la culture conduit rapidement au décès des micro-organismes et s'accompagne d'une lyse des cellules libérant des produits divers. Durant cette période, les besoins en oxygène sont limités aux besoins respiratoires d'entretien des cellules; c'est une phase de décroissance dite **phase de respiration endogène**. [2], [6]

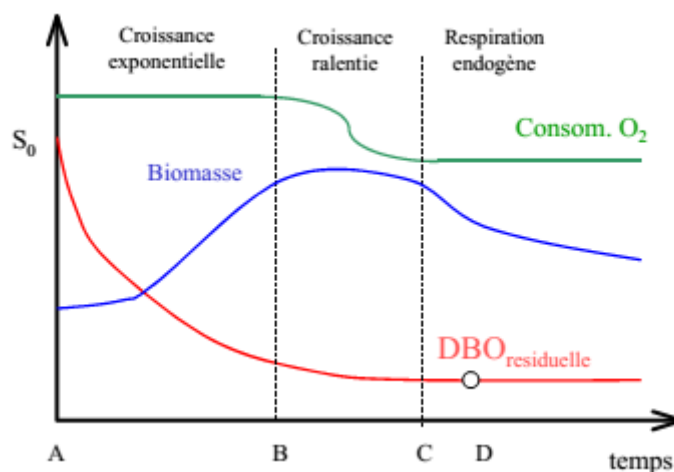


Figure 2: Variation en fonction du temps de la biomasse de la pollution organique et de la consommation en oxygène [2]

So : Teneur en substrat à l'origine.

Les micro-organismes dans la boue activée :

- Bactéries :
  - Bactéries Gram négatifs : coliformes, *Enterobacter*, *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Zooglea*

- Bactéries Gram positifs : *Micrococcus*, *Arthrobacter*, corynéformes, mycobactéries
- Levures et champignons filamenteux : Présents en faibles quantités
- Protozoaires :
  - Rhizopodes ou amibes
  - Ciliés : *Vorticella*, *Epistylis*, *Apidisca*, *Opercularia*
- Métazoaires :
  - Rotifères et nématodes (vers)

Les réactions mises en jeu lors du traitement biologique sont:

- Élimination de la pollution carbonée

Le traitement des pollutions carbonées se passe au sein des cellules des micro-organismes. Il se divise en trois parties, à savoir :

- l'assimilation (ou **anabolisme**) qui est l'utilisation des matières polluantes pour la synthèse de nouvelles cellules
- la respiration (ou **catabolisme**) qui permet la combustion des substrats afin de libérer l'énergie nécessaire aux micro-organismes pour assurer leurs fonctions vitales
- la **respiration endogène** au cours de laquelle les micro-organismes utilisent leur propre matière en guise de substrat.

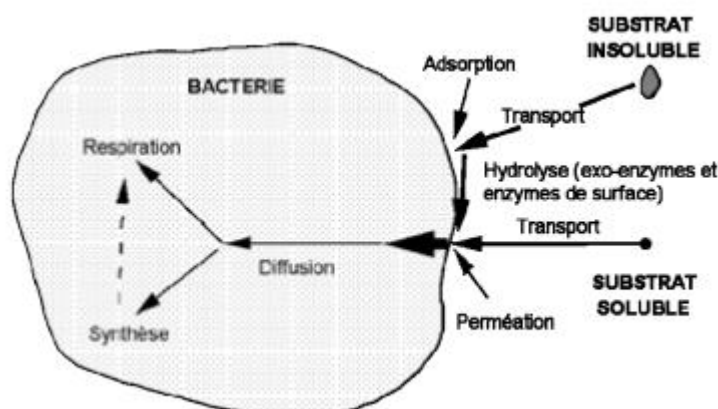
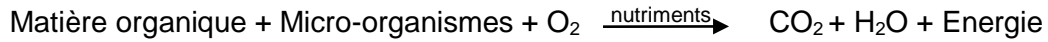


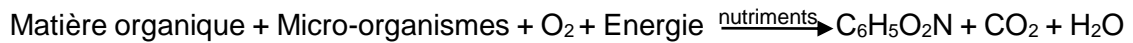
Figure 3 : Principe de la nutrition bactérienne [2]

Les mécanismes réactionnels de la métabolisation aérobie de la pollution carbonée sont (6):

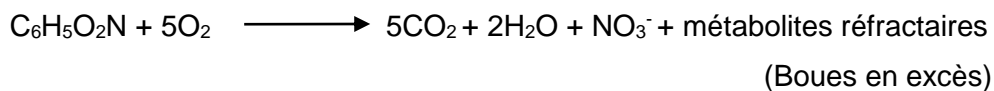
- Réaction de catabolisme



- Réaction d'anabolisme



- Respiration endogène



- Elimination de la pollution azotée [7]

L'élimination de la pollution azotée s'effectue en plusieurs étapes successives :

- L'ammonification : Il s'agit de la transformation de l'azote organique (c'est-à-dire lié à un radical carboné) en azote ammoniacal, réalisée par des réactions de type hydrolyse, désamination oxydative et désamination réductive.
- La nitrification : Cette réaction réalise l'oxydation par voie biologique de l'azote ammoniacal en nitrites puis en nitrates en faisant intervenir des micro-organismes strictement aérobies caractérisés par un métabolisme autotrophe vis-à-vis du carbone, c'est-à-dire qu'ils synthétisent leur matière vivante à partir du carbone minéral (carbonate).



- La dénitrification consiste en la réduction des nitrates formés en azote gazeux par des bactéries hétérotrophes placées dans un milieu *anoxie* (pauvre en

oxygène). L'oxygène combiné des nitrates sert à dégrader le carbone organique nécessaire à la croissance de ces bactéries

Les étapes des réactions d'élimination de l'azote sont résumées dans la Figure 4.

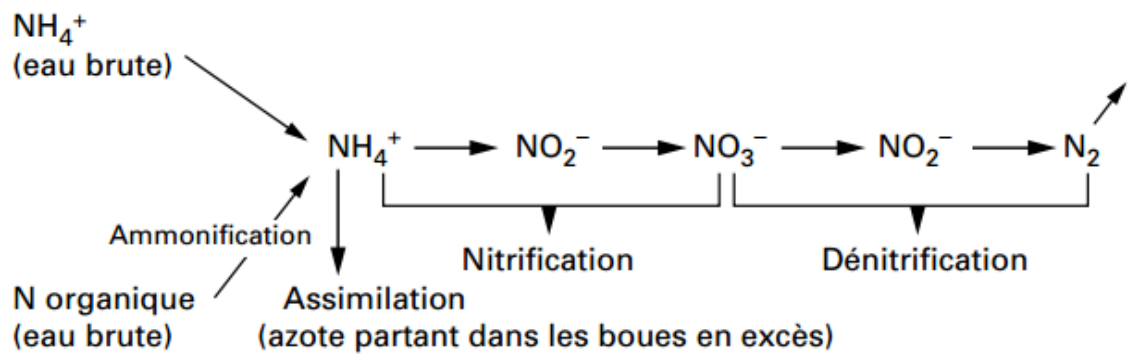


Figure 4 : Les étapes de la métabolisation de la pollution azotée

#### III.2.1.2. Culture fixée

La technique des lits bactériens consiste à faire ruisseler les eaux à traiter sur un support solide où se développe une culture de micro-organismes épurateurs, le "film biologique" ou "biofilm". Les eaux usées traversent le réacteur et, au contact du film biologique, les matières organiques se dégradent.

Dans les procédés fixés, c'est la capacité qu'ont la plupart des microorganismes à produire des exopolymères permettant leur fixation sur des supports très divers, sous forme de biofilm, qui est utilisée. Celui-ci se développe sur toute la surface du support, et la production de nouvelles cellules bactériennes le fait croître en épaisseur. L'oxygène et les nutriments solubles sont véhiculés par l'eau à traiter qui diffuse à travers le biofilm. Les bactéries fixées présentent généralement des activités spécifiques supérieures à celles observées en cultures libres. De plus, il y a des possibilités de développement des bactéries autotrophes (anaérobie) sur la surface des supports où pourrait se passer la nitrification. La fixation des micro-organismes sur les supports suit les étapes suivantes :

- Fixation des micro-organismes sur la surface des supports
- Développement des micro-organismes sur la surface du support ou colonisation
- Croissance des micro-organismes sur le support

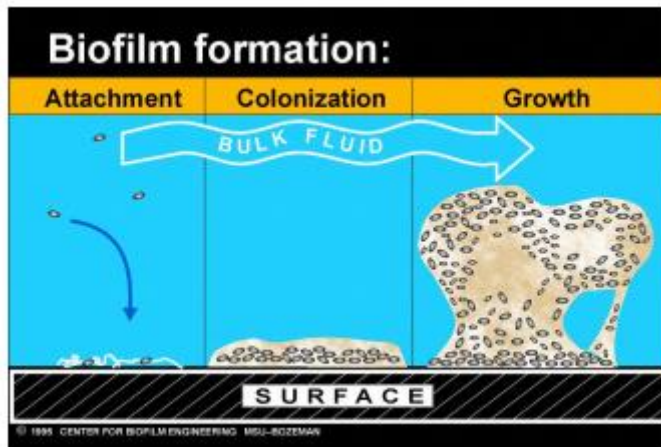


Figure 5 : Les étapes de formation du biofilm sur la surface des supports [8]

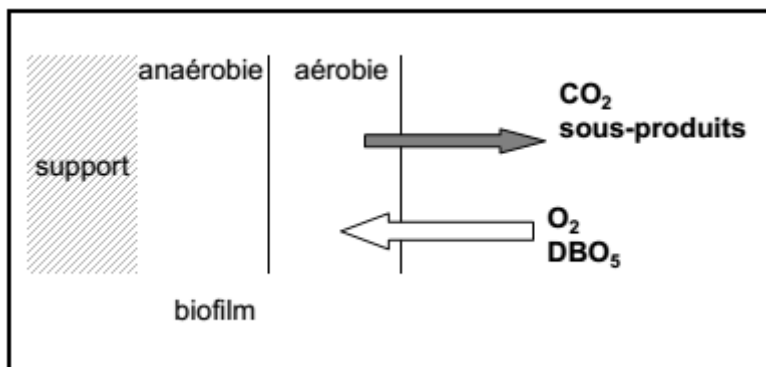


Figure 6 : Principe de l'épuration biologique aérobie, culture fixée [8]

Pour optimiser une filière de traitement utilisant des cultures fixées, il convient de prétraiter l'effluent par décantation, ou au moins par un bon tamisage.

L'activité d'une culture bactérienne dépend, en particulier, de sa surface d'échange entre substrat et oxygène.

Plusieurs procédés mettent en œuvre la technique de cultures fixées.

On distingue généralement:

**- les Lits bactériens**

On fait ruisseler l'eau à traiter, préalablement décantée, sur un garnissage poreux ou caverneux accumulé sur une hauteur convenable et qui sert de support aux micro-organismes épurateurs. Le matériau peut être naturel : gravier, roche volcanique (pouzzolane) ou synthétique : PVC, PET ou PP. [8]

**- les Biodisques,**

On développe un biofilm sur des plaques circulaires en matière plastique en rotation lente dans des cuvettes semi-circulaires traversées par un courant d'eaux résiduaires à traiter. La biomasse est fixée sur des disques en rotation montés verticalement et immergés à 40 % dans l'eau à traiter. Le biofilm a une épaisseur de 1 à 3 mm et de 2 à 4 m de diamètre. Les biodisques tournent à une vitesse de 1 à 2 tours/minutes. [9]

**- Biofiltres** ou technique par cultures fixées sur milieu granulaire fin.

L'ouvrage se présente comme un filtre garni en matériaux de granulométrie suffisamment faible pour obtenir un effet de filtration efficace. Le matériau sert simultanément de support à la biomasse de type fixé que l'on maintient dans des conditions aérobies dans le filtre. [9]

*III.2.1.3. Lagunage aérée*

Le lagunage aéré est une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène.

Dans un bassin appelé étage d'aération, les eaux usées sont dégradées par des micro-organismes qui consomment et assimilent les nutriments. Le principe de base est le même que celui des boues activées avec une densité de bactéries faible et l'absence de recirculation.

L'oxygénation est assurée par un aérateur de surface ou une insufflation d'air. La consommation électrique de chacun de ces deux procédés est similaire à celle d'une boue activée.



Dans l'étage de décantation, assuré principalement par une ou deux simples lagunes, les matières en suspensions (amas de microorganismes et de particules piégées) s'agglomèrent lentement sous forme de boues. Ces dernières doivent être régulièrement extraites. [10]

### III.2.2. Traitements biologiques anaérobies

La méthanisation ou digestion méthanique est un traitement biologique de dépollution des effluents liquides organiques par fermentation anaérobie. La digestion assure la conversion de la majeure partie du carbone organique en un biogaz combustible composé en grande partie de méthane

La cinétique des réactions mises en jeu dans la méthanisation est lente ce qui se traduit par un investissement élevé compte tenu de l'importance en volume des réacteurs biologiques anaérobies.

La digestion anaérobie s'effectue spontanément lorsqu'une pollution organique concentrée est maintenue en l'absence d'oxygène.

Les processus biochimiques intervenant dans la dégradation anaérobie des composés organiques s'opèrent en deux étapes essentielles :

— une **phase acide de liquéfaction** (hydrolyse) des composés organiques aboutissant à la formation d'acides gras volatils ;

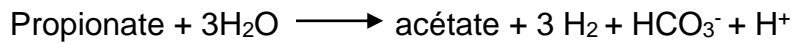
Cette phase fait intervenir des bactéries spécifiques aérobies facultatives ou anaérobies du genre *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Streptococcus*, etc., qui sécrètent des enzymes extracellulaires capables d'hydrolyser les macromolécules organiques complexes (protéines, lipides, hydrates de carbone) de l'eau résiduaire, en molécules plus petites qui serviront de substrats aux bactéries méthaniques.

L'hydrolyse conduit principalement à la formation de molécules, de faible masse moléculaire, appelées acides volatils. Ce sont essentiellement des acides gras en C2, C3, C4, C5, c'est-à-dire les acides acétiques, propionique, butyrique, valérique et isovalérique.

— une **phase de gazéification** : acétogénèse et méthanogénèse dont les produits finals sont le méthane (CH<sub>4</sub>) et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Dans la seconde phase, l'acétogénèse permet d'abord la transformation des acides volatils à longues chaînes en acide acétique et hydrogène.

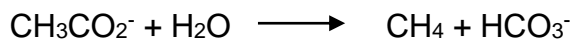
Les réactions mises en jeu sont décrites par les réactions :



La méthanogénèse assure ensuite par des bactéries anaérobies strictes, la transformation des acides volatils en produits gazeux finals CH<sub>4</sub> et CO<sub>2</sub>.

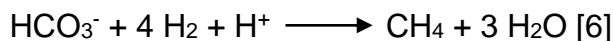
Plusieurs espèces de bactéries méthaniques interviennent :

Certaines assurent la dégradation des acétates selon la réaction :



(Environ 70 à 75 % du méthane produit en digestion anaérobie).

D'autres utilisent comme source d'énergie l'hydrogène « arraché » enzymatiquement aux composés organiques qui, lors d'une réaction de réduction du CO<sub>2</sub>, est à l'origine de la production de méthane selon la réaction



La Figure 7 résume les différentes étapes du traitement biologique anaérobie.

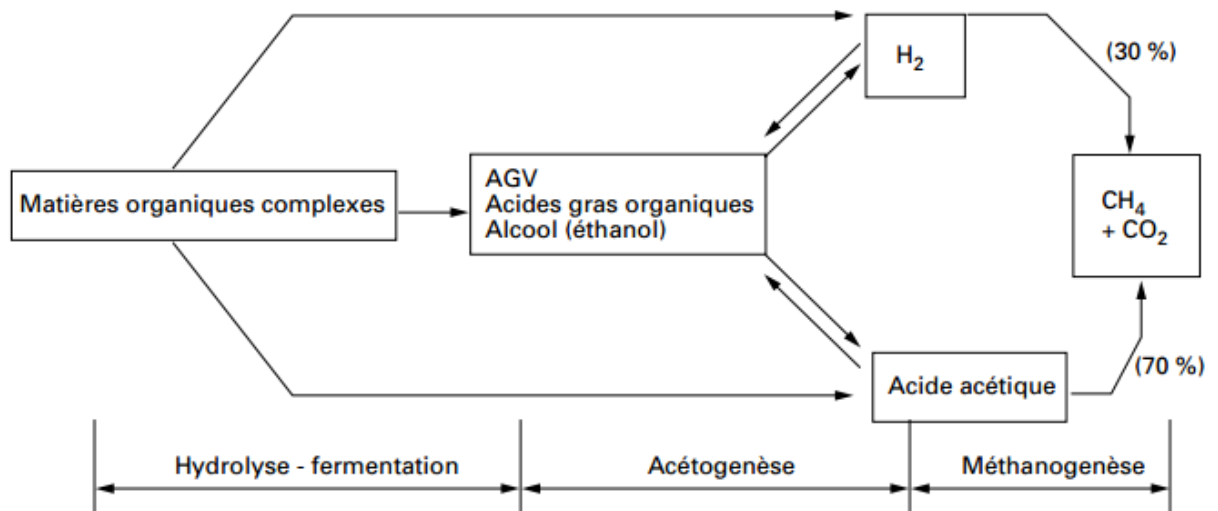


Figure 7 : Les différentes phases de la métabolisation anaérobie de la pollution

On constate un regain d'intérêt pour la dépollution des rejets industriels biodégradables fortement concentrés ( $\text{DBO}_5 > 3\,000 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ) par fermentation anaérobie, essentiellement comme premier étage d'un traitement biologique en vue d'une élimination de 70 à 85 % de la pollution carbonée.

Le traitement présente un certain nombre d'avantages par rapport à un traitement aérobie :

- faible consommation d'énergie pour les besoins du process ;
- faible production de boues biologiques en excès (5 fois moins que pour un traitement aérobie) ;
- et surtout récupération d'un biogaz (à 70 % de méthane) pouvant être utilisé industriellement comme source d'énergie.

Sur le plan technologique, le biométhaniseur peut fonctionner avec une biomasse en suspension ou avec une biomasse fixée sur un support. [1]

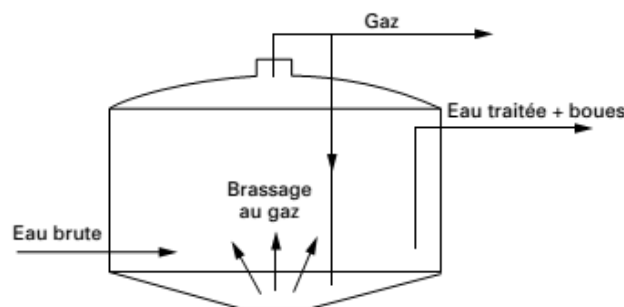


Figure 8 : Digesteur conventionnelle. [6]

### III.3. Clarification

Dans le clarificateur, l'opération mise en jeu est la séparation de l'eau épurée et de la biomasse épuratrice par décantation.

La décantation est une opération unitaire, parmi les techniques de séparation liquide-solide basées sur le phénomène de sédimentation, qui consiste à séparer d'un liquide les particules en suspension en utilisant les forces gravitaires. [6]

La boue est soit reconduite dans le bassin de traitement pour maintenir la concentration en biomasse dans les bassins soit éliminée dans le cas où la concentration en biomasse dans les bassins est suffisante.

L'eau épurée sort du clarificateur par la surverse. Un système de raclage enlève les boues à la surface. [6]

### III.4. Traitements tertiaires

Ce terme désigne un traitement complémentaire permettant d'obtenir une qualité d'effluent traité supérieure à celle obtenue par les procédés biologiques classiques.

Il s'agit en fait d'affiner l'eau en poussant l'épuration le plus loin possible avec la possibilité de viser deux objectifs différents :

- L'amélioration des performances sur les paramètres classiques (MES, DBO5, DCO). Le traitement tertiaire est alors un affinage qui peut être obtenu par différentes techniques : micro tamisage, filtration sur sable, lagunage, adsorption sur charbon actif...
- L'action spécifique sur un paramètre qui n'est que peu ou pas touché par les traitements classiques. C'est le cas de la désinfection, par laquelle on s'attache à réduire la pollution bactérienne ou le cas des procédés visant l'élimination des éléments nutritifs (azote ou phosphore) qui sont des facteurs d'*eutrophisation* des germes nocifs, des bactéries. [5]

### **III.5. Traitement des boues**

Les boues des stations d'épuration des eaux usées proviennent des décanteurs primaires et secondaires. Un enchaînement d'opérations élémentaires constitue la filière de traitement des boues.

Les buts des traitements des boues sont premièrement de réduire leur nuisance olfactive, c'est-à-dire le pouvoir fermentescible des boues, ce qui implique leur stabilisation biologique (digestions anaérobie et aérobie) ou chimique. Deuxièmement, le but est de réduire le volume des boues afin de faciliter leur manutention et de diminuer les frais pour leur élimination finale. L'opération se fait en deux étapes. Une première étape d'épaississement par décantation, flottation et/ou centrifugation, une deuxième étape de déshydratation par drainage naturel ou essorage mécanique selon les principes de la centrifugation (décanteuses continues) ou de la filtration (filtres sous vide, sous pression ou à bandes presseuses).

Pour l'élimination finale des boues déshydratées, on peut envisager la mise en décharge, la valorisation agricole (ou un autre type de valorisation) et l'incinération. [1]

## Conclusion

Dans les industries, les eaux sont polluées selon leur utilisation : dans les circuits de refroidissement, les chaudières, les lavages de sols, machines, différents matériels et machines, lors des fabrications et des services généraux. Les pollutions peuvent être insolubles, toxiques, organiques azotées ou phosphorées. Avant de les déverser dans la nature, les eaux usées sont traitées par les différentes techniques d'épuration. Ces techniques sont les traitements primaires, physiques et chimiques, les traitements biologiques aérobies par culture libre ou par culture fixée, lagunage aéré et le traitement biologique anaérobie ou méthanisation. Tous les traitements se terminent par une clarification et dans certains cas par d'autres traitements tertiaires plus poussés.

## **Chapitre II : Cas de la Station d'Épuration des Eaux Usées de l'Usine Boisson Gazeuse STAR Andraharo**

## Introduction

Le but du traitement des eaux usées est d'avoir une eau épurée respectant les normes de rejet exigées par la législation locale et les organisations affiliées, afin d'assurer une évacuation sans danger dans le milieu naturel. Dans notre cas, les exigences suivies sont celles de « The Coca-cola Company » : Standards for treated wastewater quality (août 2006) et la législation locale : Loi n° 2003-464 (15 avril 2003).

A cause de l'hétérogénéité de l'effluent brut venant de l'usine (contenant des pollutions minérales, organiques, solubles, colloïdales ou en suspension) l'installation de traitement des eaux usées se compose de plusieurs opérations, à savoir le traitement physique et le traitement biologique.

La STEP de l'usine Andraharo se divise en quatre grandes parties. Le prétraitement, le bassin d'aération, les bioréacteurs et le clarificateur. Ces ouvrages peuvent être regroupés en trois catégories ou zones de traitement : traitement primaire ou prétraitement, traitement secondaire ou traitement biologique, regroupant le traitement par boue activée et par lit bactérien (bioréacteurs), et enfin le traitement tertiaire composé de la clarification et des filtres à sable. En plus, la station de traitement des eaux usées est dotée d'un circuit d'évacuation des boues, résidus des traitements biologiques.

Le choix des procédés de traitement a été dirigé par l'insuffisance d'espace pouvant être alloué à l'installation. Cela a mené à l'installation en série de deux systèmes : un traitement par boue activée et un traitement par culture fixée. Dans ce chapitre, nous allons faire une étude approfondie des différents procédés de traitement des eaux résiduaires dans l'usine d'Andraharo en décrivant les opérations unitaires mises en jeu.



# **I. Présentation de l'entreprise**

## **I.1. Informations sur l'entreprise**

*Dénomination* : GROUPE STAR

*Statut juridique* : Société Anonyme (S.A.)

*Siège Social* : Rue Dr Joseph Raseta Andranomahery BP 3806 101  
Antananarivo

*Activité* : Fabrication et distribution des produits : bières, boissons gazeuses,  
boissons énergisantes, eau de source naturelle

*Actionnaires* :

- Groupe CASTEL BEER
- Etat Malagasy
- Particuliers

*Site web* : <http://www.groupe-star.com/>

*Filiales* :

- Brasseries STAR Madagascar
- MALTO
- SEMA Eau Vive
- Nouvelle Brasserie de Madagascar [11]

## **I.2. Historique**

La STAR, Société Tananarivienne d'Articles Réfrigérés est une société anonyme (S.A.) créé en 1953 par la société Rochefortaise. La société a eu la licence d'embouteillage des produits de « Coca-Cola ». En même temps, la société produisait ses propres produits : les marques caprices et cristal. L'usine se situait pendant ce temps à Soanierana Antananarivo. Mais un peu plus tôt en 1947 une brasserie a été déjà créée par la société Rochefortaise à Antsirabe. La STAR a traversé plusieurs évolutions qu'on peut résumer par ordre chronologique:

1947 : Création d'une Brasserie à Antsirabe par la Société ROCHEFORTAISE

1953 : Création de la société STAR

1956 : Installation de l'usine à Diégo Suarez pour desservir la zone Nord de Madagascar

1958 : Lancement de la bière THB

1970 : le SEMA Eau Vive (Sources d'Eaux Minérales d'Andranovelona) fut créé, produisant l'eau minérale Eau Vive

1976 : L'usine Boisson Gazeuse a été regroupée à Tanjombato

1989 : La STAR a été rachetée par le Groupe Fraise

1997 : L'usine de Boisson Gazeuse a été déplacée à Andraharo, son emplacement actuel

2011 : Le Groupe Castel (Numéro 1 en bières et boissons gazeuses en Afrique francophone) rachète STAR

2014 : Acquisition de la Nouvelle Brasserie de Madagascar par le Groupe STAR avec la licence d'embouteillage de la bière Skol

2015 : Les brasseries STAR Madagascar reçoivent le certificat ISO 9001

2016 : Tout le périmètre du Groupe STAR obtiennent le certificat ISO 9001

En ce moment, le groupe STAR regroupe les Brasseries STAR Madagascar, MALTO, SEMA Eau Vive et la Nouvelle Brasserie de Madagascar. [11]

### **I.3. Activités**

Le Groupe STAR est spécialisé dans la production et la vente de boissons gazeuses, eau minérale, jus plats, boissons énergisantes et bières. Sa principale filiale Brasseries STAR est composée de :

- Usine Andraharo qui produit les boissons gazeuses, jus plats et boissons énergisantes,
- Usine Antsirabe qui produit les bières de la marque THB « Three Horses Beer » et Castel,
- Usine Diego-Suarez qui produit en même temps les boissons gazeuses, jus plats et boissons énergisantes et les bières de la marque THB.
- Usine Ambatolampy, (Nouvelle brasserie de Madagascar) produit exclusivement les bières de la marque internationale Skol,

- Usine Andranovelona (SEMA Eau Vive) embouteille les eaux de source minérale Eau Vive et Cristalline. [11]

#### I.4. Usine Boisson Gazeuse Andraharo

Comme cité précédemment, l'usine située à Andraharo où nous avons réalisé notre travail fabrique les boissons gazeuses :

- Les produits de ©The Coca-cola Company : Coca-cola®, Fanta® orange, Fanta® ananas, Fanta® pomme, Sprite®, Caprice® Bonbon Anglais, Caprice® Orange, Caprice® Grenadine, Caprice® Tonic, Cristal.
- La boisson énergisante XXL®
- Les jus plats Judor® : Judor® Orange et Judor® Cocktail.

Les boissons produites peuvent être en format :

- 150 cl en PET
- 100 cl en verre
- 50 cl en PET
- 35 cl en PET
- 30 cl en verre

Les processus de fabrication de boissons dépendent du type de boisson.

Pour les jus gazeux les étapes sont décrites dans la Figure 9

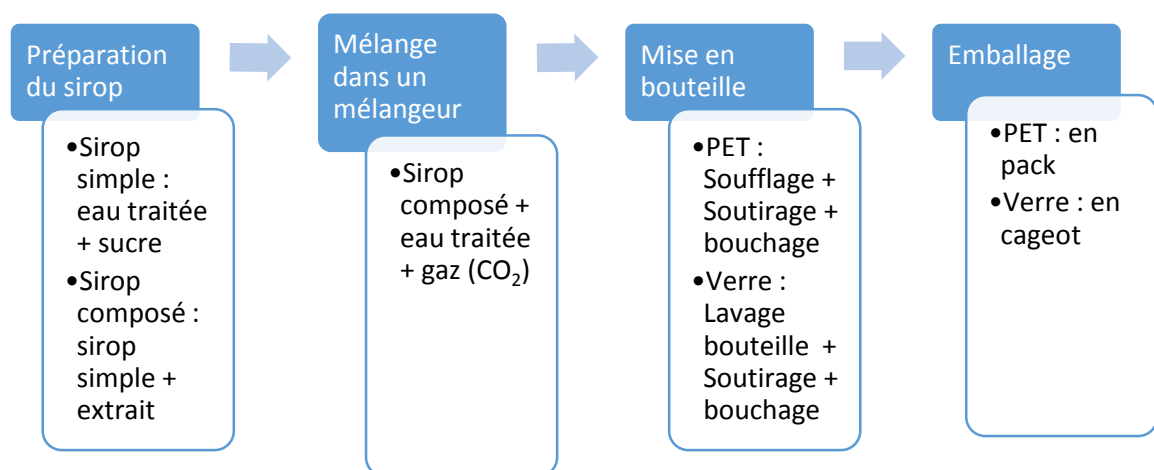


Figure 9: Processus de fabrication des boissons gazeuses

Pour les jus plats, il n'y a pas d'ajout de gaz ( $\text{CO}_2$ ) dans le mélangeur.

Pour l'eau gazeuse, il n'y a pas d'ajout de sirop, seulement l'eau et le gaz qui sont mélangés dans le mélangeur. [11]

## II. La Station de Traitement et d'Épuration de l'usine Andraharo

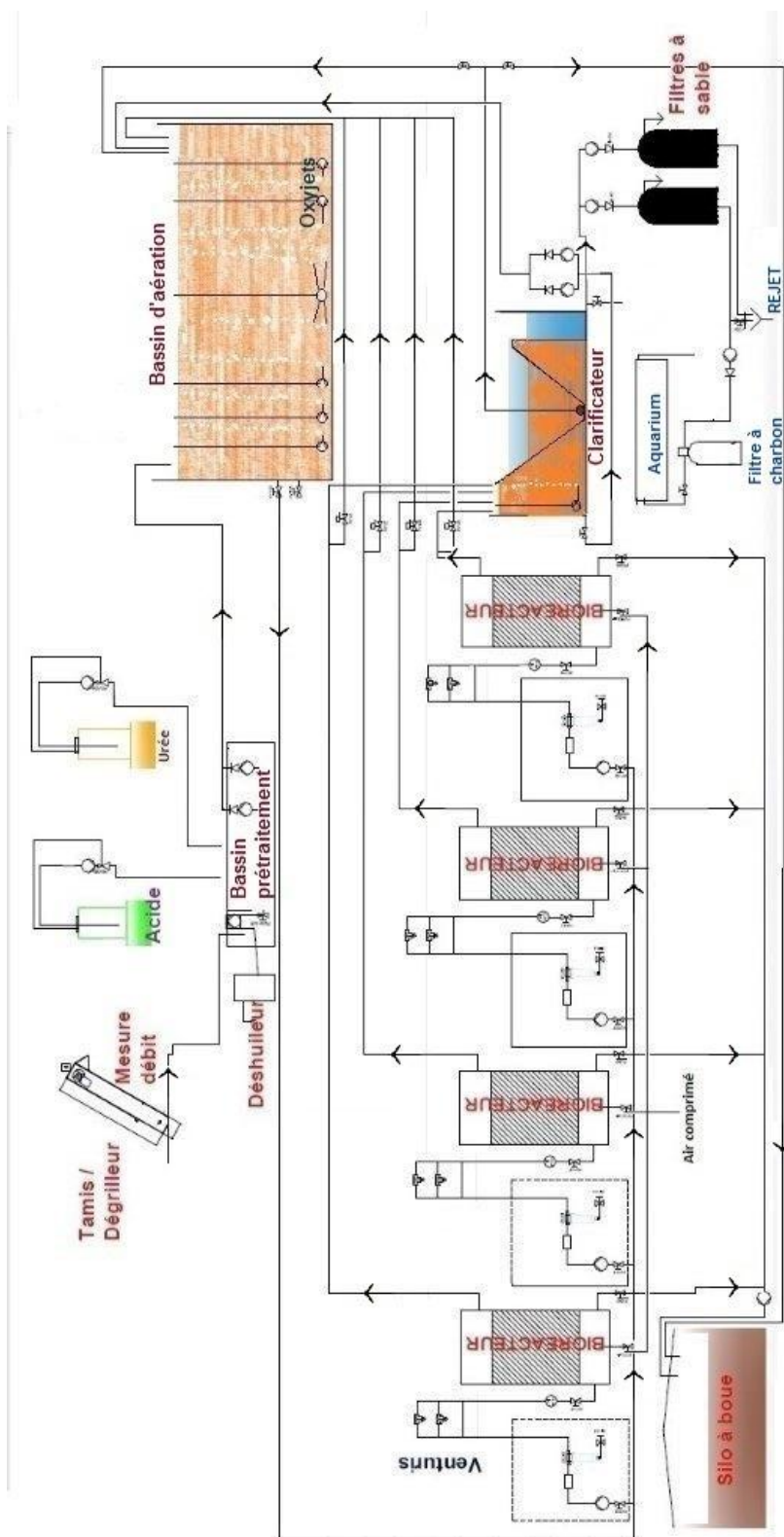


Figure 10 : Plan de la Station d'épuration d'eaux usées de l'usine Andraharo

## **II.1.      Traitement primaire ou prétraitement**

Avant d'entrer dans la zone de traitement biologique l'effluent, brut doit subir des opérations de prétraitement. Le prétraitement est composé de traitements physiques et chimiques.

Le traitement physique a pour but d'enlever les particules en suspension grossières et les huiles et graisses qui se décantent.

Les différentes étapes de traitements peuvent varier selon le type d'effluent à traiter. Le prétraitement physique comprend :

- l'opération de dégrillage pour enlever les matières en suspension ou flottantes grossières (plus de 1 cm de diamètre)
- et le dessablage pour éliminer les sables et graviers (diamètre : 20  $\mu$ m à 1 cm ou plus) par décantation et le déshuilage pour éliminer les huiles et graisses par flottation ou décantation inverse. [12]

Le prétraitement chimique a pour but quant à lui de régler les paramètres chimiques de l'effluent brut afin que l'effluent corresponde aux conditions chimiques du traitement biologique à savoir le pH et le rapport entre les éléments nutritifs : carbone, azote et phosphore.

## II.1.1. Traitements physiques

### II.1.1.1. Dégrillage

Afin de protéger les ouvrages, les déchets entraînés par l'effluent brut sont enlevés dès leur arrivée dans la station grâce au dégrillage mécanique. Le dégrilleur est composé d'une grille qui retient les grosses particules supérieures à 2 mm de diamètre. Une brosse mécanique inclinée enlève automatiquement les déchets retenus sur la paroi du dégrilleur.



Figure 11 : Dégrilleur avec tamis élévateur [13]



#### *II.1.1.2. Déshuilage et dégraissage*

L'effluent brut contient de faibles quantités d'huile et de graisse qui flottent facilement. Dans un bassin, l'eau et l'huile sont séparées par décantation. Un racleur et une pompe flottante assurent l'enlèvement des particules flottantes, l'eau déshuillée passe par le fond du bassin pour poursuivre les étapes de traitement.

#### *II.1.1.3. Dessablage*

L'effluent à traiter ne contient que très peu de particules sableuses. Une succession de lits de décantation superposés suffisent pour le dessabler. Les particules de sable se déposent au fond des lits et sont enlevés périodiquement.

### **II.1.2. Traitements chimiques**

#### *II.1.2.1. Neutralisation du pH*

Le pH de l'effluent brut peut varier selon le type de produit s'y trouvant. Il peut être acide  $\text{pH} < 7$  ou basique  $\text{pH} > 7$ . Pour le traitement biologique, le pH du milieu doit être entre 6,5 et 8.

La méthode la plus simple pour neutraliser un effluent est d'y ajouter de l'acide pour un effluent basique, ou de la base pour un effluent acide. La neutralisation se fait dans le bassin d'égalisation.

Dans notre cas, avant toute modification, l'effluent brut est basique, son pH est entre 12 et 10. On le neutralise à l'aide d'injection d'acide sulfurique à 98%. La neutralisation se passe dans le bassin d'aération qui est aussi le bassin d'égalisation. Une sonde à pH mesure le pH dans le bassin d'aération et injecte de l'acide quand le pH est supérieur à 8. L'injection s'arrête lorsque le pH détecté par la sonde est égal à 7.

#### *II.1.2.2. Ajout d'éléments nutritifs pour les micro-organismes*

L'ajout d'éléments nutritifs se fait dans le bassin de prétraitement. Il n'existe pas d'appareil de mesure en ligne permettant d'analyser le teneur en azote N ou en phosphore P mais une étude doit être faite au préalable. Le calcul de l'azote et

du phosphore nécessaires est fait en se basant sur la valeur moyenne du DBO5. En se basant sur la valeur moyenne du DBO5 on fait le calcul de l'azote et du phosphore nécessaire. Rappelons que le rapport doit être :

$$\text{DBO5/N/P} = 100/5/1$$

Le débit d'introduction des produits se fait ensuite automatiquement par régulation de la pompe doseuse par rapport au débit à l'entrée du bassin tampon. L'urée est utilisée comme source d'azote et l'acide phosphorique comme source de phosphore. L'étude de l'effluent brut à traiter montre que le taux en phosphore est équilibré par rapport au DBO5. De ce fait, on ne rajoute que de l'azote à l'aide de l'urée.

### **II.1.3. Autres équipements**

#### *II.1.3.1. Mesure de débit*

Après le dégrillage, un canal jaugeur sert à mesurer le débit à l'entrée de l'effluent.

Le canal jaugeur utilisé ici est de type venturi ouvert. On utilise une méthode indirecte de détermination de débit, consistant en une mesure de la hauteur d'eau dans une conduite. L'eau s'écoule dans la conduite qui est à fond plat à contraction latérale pour la faire passer d'un régime turbulent à un régime laminaire réduisant ainsi les erreurs. Le canal ne doit pas être noyé. Sur la partie laminaire est mesurée la hauteur de l'effluent à partir de laquelle on déduit le débit par la formule :

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \times \sqrt{g} \times C_v \times C_d \times b \times h^{3/2}$$

Q : débit

$C_v$  : coefficient de vitesse d'approche

$C_d$  : coefficient tenant compte de l'épaisseur des couches limites en paroi

b : largeur du col

h : hauteur mesurée

g : accélération de la pesanteur

$C_v$  est donné par des tables et  $C_d$  est en rapport avec les mesures sur place, dépend de la nature de l'effluent.

La détection de la hauteur se faisait à l'aide d'une sonde à ultrason. La mesure servait à ajuster la pompe doseuse d'urée et d'acide. Le détecteur n'est plus fonctionnel, un simple autocollant traduit la hauteur en millimètre et le débit correspondant en  $m^3/h$ .

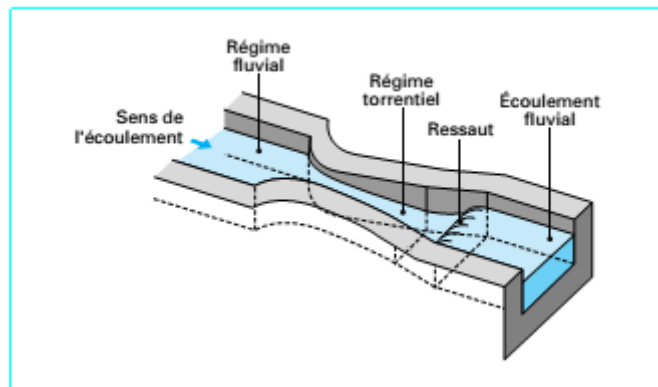


Figure 12 : Schéma d'un canal jaugeur type venturi

Figure 13 : Canal jaugeur de type Venturi [13]

#### II.1.3.2. Bassin de relevage

Le bassin de relevage est le dernier bassin avant le bassin de traitement biologique. Il sert à modérer le débit de l'eau venant de l'usine pour qu'on ait un débit constant à l'entrée du bassin d'aération. Deux pompes fonctionnent alternativement en fonction de la hauteur de l'eau dans le bassin d'aération.

## **II.2. Traitements secondaires : les traitements biologiques**

Après le prétraitement, l'eau présente encore des pollutions dissoutes ou en suspension. Pour les éliminer en partie, on fait appel au pouvoir auto-épurateur des micro-organismes autotrophes ou hétérotrophes présents dans la nature. Ces micro-organismes utilisent les matières organiques carbonées biodégradables comme substrat principal. Des conditions physico-chimiques doivent être respectées pour assurer le bon développement des micro-organismes et ainsi un bon traitement biologique. [1], [6]

A cause de l'espace restreint disponible dans l'usine d'Andraharo, deux procédés biologiques en série sont utilisés afin d'assurer un traitement optimal.

- Le traitement biologique aérobique par boue activée ou culture bactérienne libre
- et le traitement biologique aérobique par culture fixée ou communément appelé lit bactérien.

### **II.2.1. Traitement biologique aérobique par culture bactérienne libre : boue activée**

#### *II.2.1.1. Principe*

Comme expliqué dans le premier chapitre, le traitement biologique aérobique repose sur la consommation des polluants biodégradables par les micro-organismes aérobiques et l'adsorption par le floc formé par ces derniers des polluants non-dégradables. C'est ainsi que se forme la boue activée.

Dans un bassin de 1200 m<sup>3</sup>, l'effluent contenant la pollution et les micro-organismes épurateurs sont mis en contact. Les conditions de vie des micro-organismes doivent être respectées. De ce fait, l'équilibre entre aération, présence des éléments nutritifs, pH et un brassage optimum pour le maximum de mélange doit être établi.

Cinq (05) Oxyjets ou Venturi-jet sont utilisés dans le bassin d'aération pour assurer le mélange et une bonne aération. L'Oxyjet aspire de l'eau et de l'air et injecte le mélange dans le bassin, comme l'indique la Figure 14.

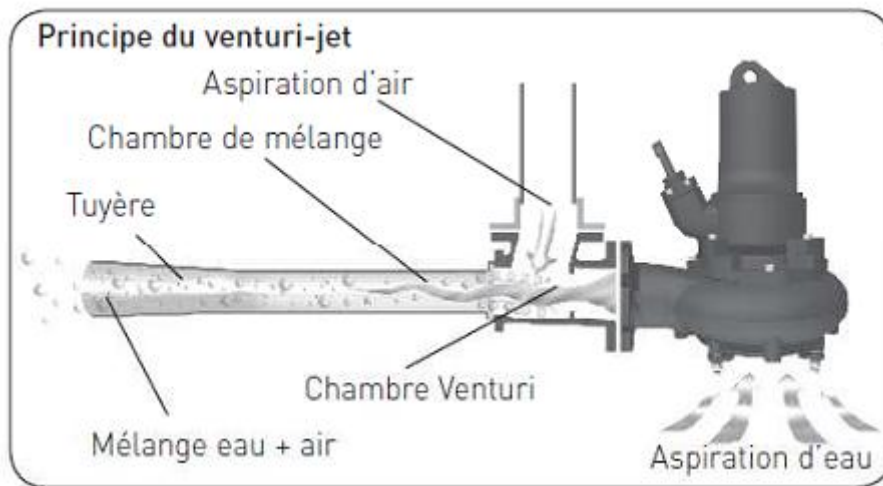


Figure 14 : Principe de l'Oxyjet source: Site internet Dom'eau

L'oxygénation se mesure par le paramètre oxygène dissous qui doit être supérieur à 2 mg/l. Au-delà de 3 mg/l, l'énergie est gaspillée. En dessous de 0,3 mg/l, le bassin est en *anoxie*.

Le pH dans le bassin est contrôlé en continu pour s'assurer qu'il est dans la plage de bon fonctionnement, entre 6,5 à 8.

Le taux en éléments nutritifs dans le bassin doit respecter le rapport :

$$\text{taux en carbone C} / \text{taux en azote N} / \text{taux en phosphore P} = 100/5/1$$

Le taux en carbone étant mesuré par la DBO5, le taux en azote et en phosphore respectivement par l'azote total et le phosphore total.

#### II.2.1.2. Paramètres de contrôle

Des contrôles systématiques permettent de surveiller la STEP. Pour le bassin d'aération, les points à surveiller sont :

- L'effluent à l'entrée du bassin d'aération

À l'entrée du bassin, l'effluent doit avoir :

- Un pH entre 6,5 et 8
- Un rapport en nutriments C/N/P = 100/5/1

- L'effluent à la sortie du bassin

L'analyse de l'effluent à la sortie du bassin permet de savoir l'état du mélange eau-boue dans le bassin, à savoir :

- L'oxygène dissous qui doit être > 2 mg/l

- Le pH entre 6,5 et 8
- La concentration en biomasse : MES = 2 000 mg/l au moins
- Le volume de boue après 30 minutes de décantation aux alentours de 500 ml/l
- La couleur du mélange qui doit être rouge brique.

## II.2.2. Traitement biologique aérobie par culture bactérienne fixée : lit bactérien

### *Principe*

Le traitement biologique par culture fixée a le même principe que la culture libre. Les micro-organismes sont fixés sur des supports en PVC. Parmi les technologies disponibles, à la STEP de l'usine Andraharo est utilisé la technologie lit bactérien co-courant ascendant avec un support en vrac.

A l'intérieur de quatre bassins cylindriques, des supports en plastiques appelés *biomédias* sont dispersés. Ils sont retenus à la partie supérieure et à la partie inférieure du bassin par une grille. L'eau est d'abord aérée par deux systèmes de prise d'air, soutirage naturel (de type venturi) et à injection d'air comprimé, avant d'être injectée dans le bas du réacteur.

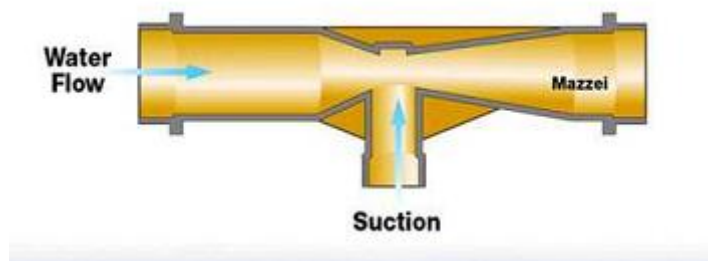


Figure 15 : Prise d'air par soutirage naturel type venturi [13]

L'eau à épurer mélangée à l'air entre en contact avec les micro-organismes fixés sur les *biomédias*. Les réactions se passent à la surface des micro-organismes fixés.

Le décolmatage des *biomédias* doit être fait hebdomadairement pour éviter le l'encombrement et aussi pour renouveler la biomasse épuratrice.



*Figure 16: Support des micro-organismes : Biomédias [13]*

### **II.2.3. Clarification**

#### *Principe*

A la sortie des bioréacteurs, le mélange eau-boue arrive dans un bassin appelé bassin clarificateur. Ce bassin est divisé en deux parties : externe et interne. Dans la partie externe, le mélange est brassé avec un oxyjet afin d'assurer une aération et un bon mélange eau-boue. Dans la partie interne calme s'effectue la décantation. C'est dans cette partie calme que l'eau et la boue se séparent. L'eau sort du clarificateur par un trop plein. Une partie de la boue est renvoyée vers le bassin d'aération afin d'assurer le maintien de la concentration en boue dans ce dernier. Le reste est à éliminer pour ne pas dépasser la concentration en biomasse dans le bassin d'aération.

### **II.2.4. Filtre à sable**

#### *Principe :*

Pour épurer l'effluent traité, deux filtres à sable sont installés à la sortie du clarificateur. Les filtres à sable servent à retenir les matières en suspension. Chaque jour, ils sont lavés à contre-courant et manuellement.

A la sortie des filtres à sable, l'eau épurée est déversée dans la nature par l'intermédiaire des canaux des services municipaux.

### *Paramètres de contrôle*

A la sortie de la STEP, les principaux paramètres à contrôler sont :

- Le pH
- L'oxygène dissous
- La DCO
- La DBO5
- L'azote
- Le phosphore
- La teneur en MES
- La teneur en solides dissoutes donnée par la TDS
- Les coliformes

Le diagramme ci-dessous (Figure 17) résume les étapes de traitement des eaux usées dans la station d'épuration.



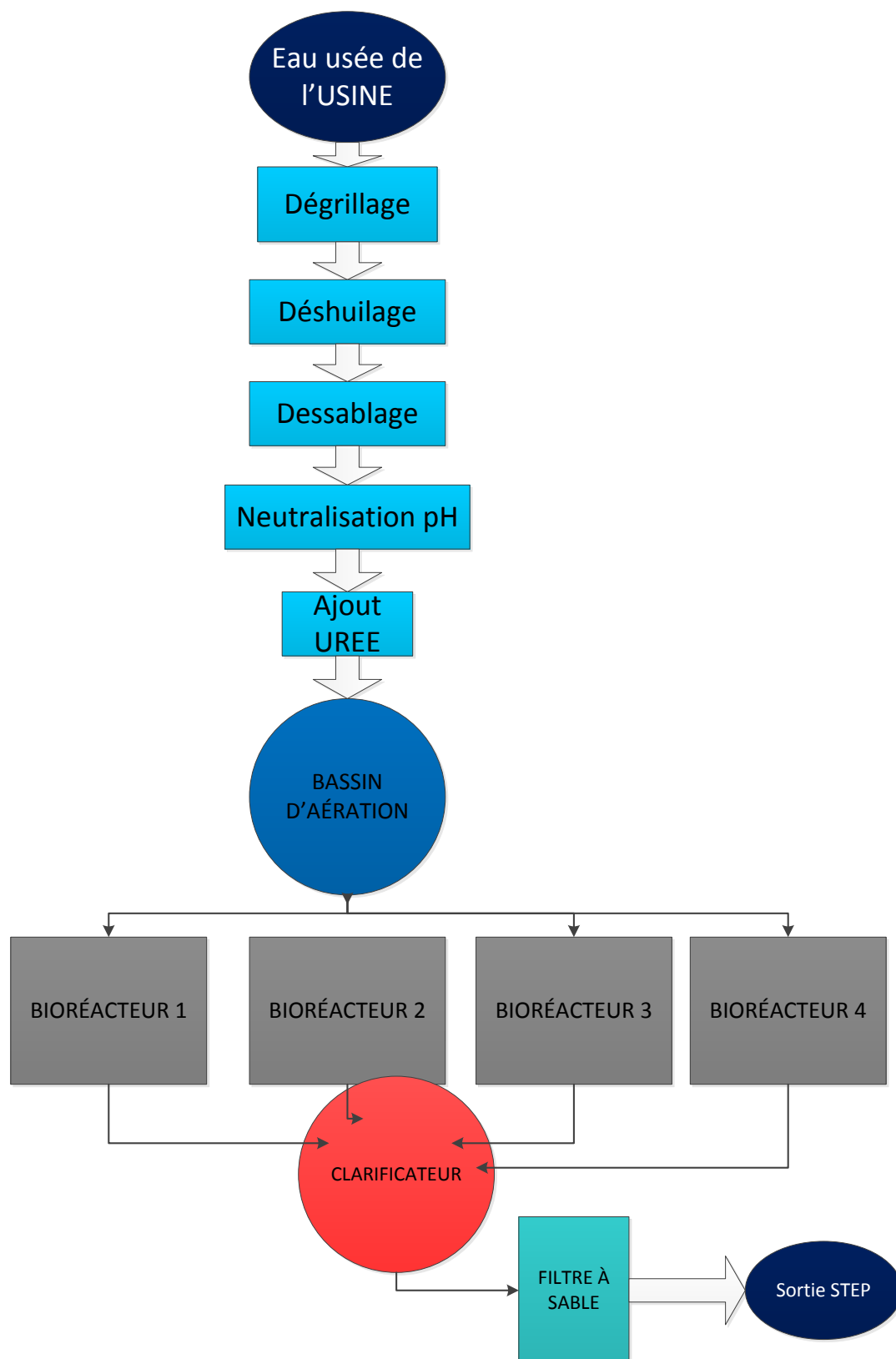


Figure 17: Diagramme simplifié de la STEP

## Conclusion

La station de traitement des eaux usées de l'usine Andraharo est composée des étapes de prétraitement, de traitement biologique aérobie par culture libre, de traitement biologique aérobie par culture fixée, d'un clarificateur et d'un filtre à sable. Dans l'étape de prétraitement, les impuretés insolubles sont éliminées. Dans les bassins de traitement biologique par culture fixée et culture libre, les polluants solubles et en suspensions sont éliminés par adsorption et dissolution. Les résultats obtenus lors des contrôles journaliers avant intervention ont montré que les caractéristiques de l'effluent traité ne sont pas dans les normes.

## **Chapitre III : Etat des lieux, études d'améliorations et réalisations**

## I. Résultats d'analyses avant améliorations

Pour diriger notre étude d'amélioration, nous nous basons sur les résultats d'analyse initiaux. Les principaux critères de pollutions globaux au sein de l'entreprise STAR, qui sont la DCO et la DBO5, sont en hausse par rapport aux valeurs normales acceptées.

En effet, ces paramètres déterminent la concentration en éléments consommateurs d'oxygène et donc polluants. Ce sont les critères de pollutions de base que la société utilise pour se référer et que nous utilisons aussi pendant l'étude. Les certificats internationaux que le Groupe STAR détient (ISO 9001 et FSSC 22000) rend le fait d'être en règle sur le plan environnemental plus important. En plus, les exigences de Coca-cola et de l'Etat Malagasy obligent la société à investir dans la mise en norme de l'effluent traité.

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** résume les valeurs moyennes mensuelles des critères physico-chimiques essentiels durant l'année 2016 avant notre intervention.

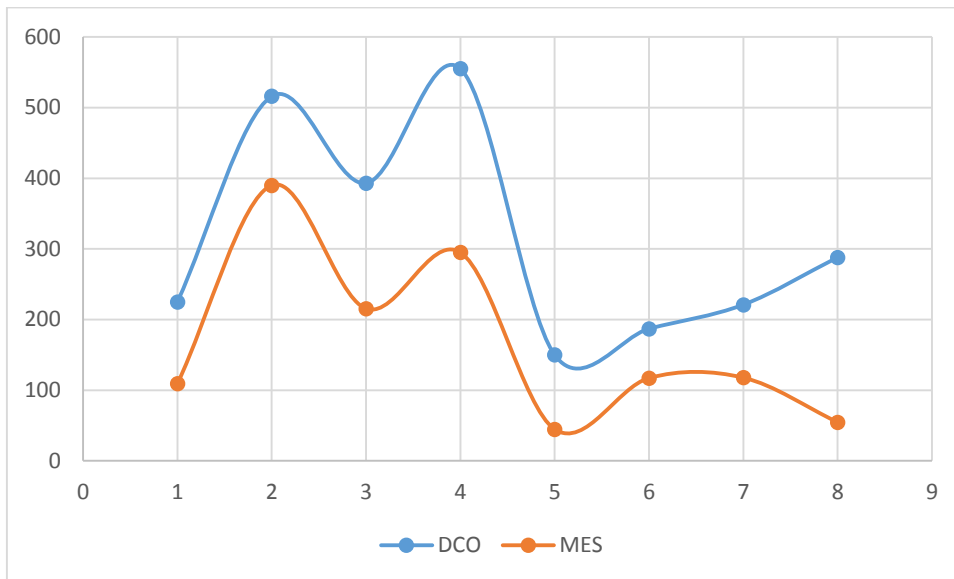
*Tableau 2 : Résultats d'analyse mensuelles durant l'année 2016 (source : Usine STAR)*

	pH	DCO	DBO5	MES
Normes	6,5 - 8	< 150 mg/l	< 50 mg/l	< 50 mg/l
<b>Janvier</b>	7,61	225	48	109
<b>Février</b>	7,56	516	54	390
<b>Mars</b>	7,67	393	43	216
<b>Avril</b>	7,45	555	109	295
<b>Mai</b>	7,84	150	26	45
<b>Juin</b>	7,72	187	38	117
<b>Juillet</b>	7,57	221	48	118
<b>Août</b>	7,58	288	68	55

Les valeurs de pH sont conformes à la norme, il y a neutralité. Les valeurs de DCO observées sont nettement supérieures à la normale qui est de 150 mg/l.

Tandis que pour la DBO5, les valeurs oscillent autour de la valeur normale de 50 mg/l, mais parfois elle est supérieure à cette norme. Les valeurs de MES sont la plupart du temps supérieures à la normale qui est de 50mg/l.

Une similitude entre l'évolution des valeurs de DCO et celle de MES a été observée, comme le montre la Figure 18.



*Figure 18: Graphe de comparaison DCO et MES*

L'évolution de la DCO est proportionnelle à celle de la MES. Ceci s'explique par le fait que les MES qui sont des particules oxydables augmentent la valeur de la DCO. Cette constatation justifie le choix des paramètres DCO et DBO5 comme les principaux critères globaux de la pollution.

## **II. Analyse des problèmes**

Les examens faits préalablement ont démontré que les augmentations des DCO et DBO5 de l'effluent traité sont causées par les DCO et DBO5 de l'effluent brut élevées et l'inefficacité du traitement.

### **II.1. DCO et DBO5 de l'effluent brut élevées**

Les sources présumées de ce problème sont :

#### **II.1.1. La destruction massive de produits finis et matières premières impropres à la consommation**

Tous les produits impropres à la consommation, produits finis périmés, produits jugés hors normes et matières premières impropres sont impérativement détruits dans l'usine.

Les destructions se font à l'entrée de la station et de manière spontanée et non étudiée. Nos investigations ont permis de comprendre que des pics de pollutions de l'effluent brut (mise en évidence par des valeurs de DCO = 6600 mg/l) provoquent des instabilités de la station d'épuration comme nous montre la Figure 19 : Mise en évidence de la montée de la DCO de l'effluent brut lors des destructions. L'effluent traité se dégrade quelques jours après et des effluents traités hors normes sont obtenus. Ces pics de pollutions sont à 75% dus à des destructions de produits (jus) ou extraits ou produits chimiques hors normes, les 25% restants ne sont pas répertoriés.

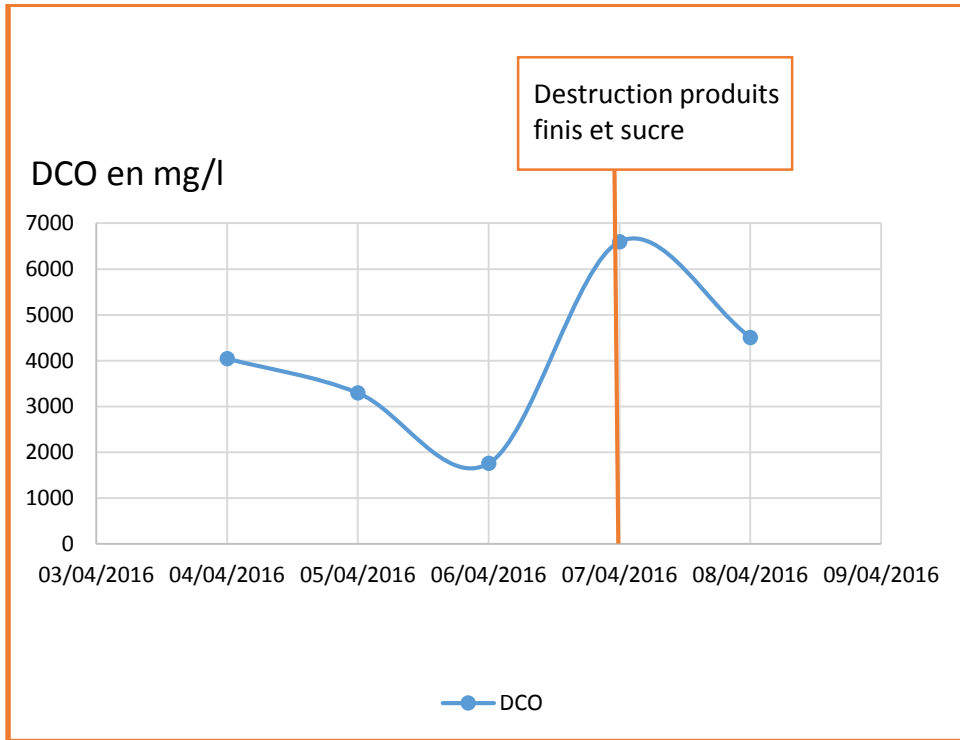


Figure 19 : Mise en évidence de la montée de la DCO de l'effluent brut lors des destructions

Dans le cas pris comme exemple, la destruction s'est opérée pendant une journée entière. L'augmentation de la DCO de l'effluent brut est évidente.

### II.1.2. Des pics de pollutions inopinés

A part les destructions répertoriées, des pics de pollutions inexplicables (25 % des cas) sont aussi observés occasionnellement. Ces pics de pollutions sont dus à des destructions illicites ou des déversements accidentels dans les lignes et machines de production.

## II.2. Traitement de l'effluent brut inefficace

### II.2.1. Le pH du bassin d'aération non homogène

L'effluent à partir de l'usine est basique (pH entre 10 et 12), à cause de l'emploi de soude et d'autres produits dans les laveuses de bouteilles. Cet effluent doit être neutralisé avant d'entrer dans le bassin d'aération.

Avant notre intervention, la station de neutralisation était directement raccordée au bassin d'aération donc l'effluent brut basique entre directement dans ce bassin. Ce système de neutralisation provoque le non homogénéité du pH dans le bassin et des diminutions brusques du pH dans certaines zones à cause de l'injection d'acide.

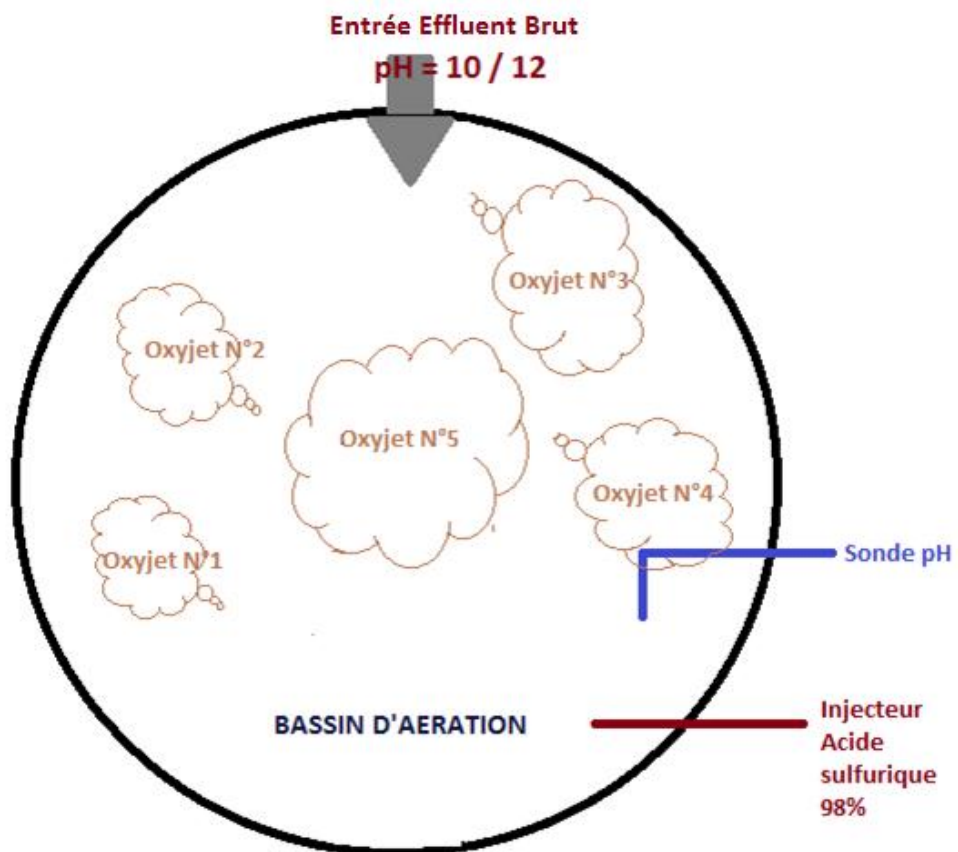


Figure 20: Système de neutralisation de l'effluent dans le bassin d'aération

Dans le bassin d'aération, ce sont les oxyjets qui jouent le rôle de mélangeur. L'effluent brut est introduit à partir de la partie nord du bassin comme nous



montre la Figure 20. L'acide quant à lui est injecté après une sonde pH sur l'autre partie du bassin. Il y a alors une grande variation du pH entre ces deux points.

Les variations de pH provoquent la transformation de la microflore de la boue activée, rendant ainsi la boue difficilement décantable.

### **II.2.2. Ajout de nutriments non étudié**

Le nutriment ajouté est l'urée. L'urée ajoutée pour l'apport d'azote dans l'effluent brut n'est pas contrôlée. Le débit d'injection n'est pas déterminé. La pompe devrait être réglée à partir de la mesure en continu du débit de l'effluent à l'entrée, or le débitmètre ne fonctionne pas, la pompe est réglée manuellement.

### **II.2.3. Effluent brut à débit et à pollution variable**

L'effluent à l'entrée de la Station d'Épuration a un débit très variable. De même, la pollution mesurée par la DCO varie selon la production ou les lavages des machines et les circuits de l'usine. Cette variation de débit provoque une déstabilisation du système dans le bassin d'aération. En effet, les volumes des bassins de traitements ont été calculés à partir du débit. Les variations de débits créent alors des instabilités au sein du système. Ces chocs de charge hydraulique et chimique perturbent la viabilité des microorganismes.

### **II.2.4. Suivi d'oxygénation inexistant**

A notre arrivée, l'appareil de suivi d'oxygénation de la station était endommagé. Aucun remplacement n'avait encore été envisagé. Pourtant, l'oxygénation du milieu est primordiale pour les micro-organismes épurateurs qui sont aérobies. Son suivi est d'autant plus important, car l'oxygénation est un paramètre très important pour la viabilité des micro-organismes. S'il y a manque d'oxygène ( $OD < 0,3 \text{ mg/l}$ ) le milieu est en *anoxie*.

### **II.2.5. Mauvaise aération du bassin biologique**

Après l'acquisition d'un appareil de mesure in-situ d'oxygène dissous (oxymètre), il a été constaté que l'oxygène dissous dans le bassin d'aération n'était pas suffisant. Le taux d'oxygène dissous était de l'ordre de 0,5 mg/l alors que la valeur recommandée est de 2 mg/l. Quand l'usine fonctionne à plein régime, c'est-à-dire avec trois lignes de production, l'oxygène dissous peut même descendre en dessous de 0,3 mg/l. Dans ce cas, le bassin d'aération est en *anoxie*. En même temps, une prolifération importante de mousse est observée. La présence de trop de mousse accentue l'*anoxie* du bassin et l'*anoxie* provoque la destruction des micro-organismes. Le bassin devient nauséabond et l'eau noirâtre.

### **II.2.6. Difficultés de décantation**

Des problèmes de décantation sont observés pendant les essais de décantation.

- Des boues filamenteuses difficilement décantables se forment. Les boues se décantent très lentement. De temps à autre, des remontées de boues sont même observées.
- Les boues se décantent très peu ou pas du tout. Pour un litre de mélange décanté après 30 minutes, 95 à 90 % du volume est encore occupé par la boue.

En outre, l'installation de clarification est défectueuse. Des trous sont observés sur la paroi de la jupe du clarificateur. Ces trous perturbent la décantation, l'eau devient trop agitée.

### **II.2.7. Absence de matériel d'étude microbiologique**

A part le comptage des coliformes de l'effluent traité, les analyses faites sont seulement des analyses physico-chimiques.

Un microscope est nécessaire pour étudier la partie microbiologique, la nature du micro-organisme épurateur, la nature des mousses formées et la présence des micro-organismes dans l'effluent traité.

### III. Actions correctives et résultats

#### III.1. Contrôle des destructions et vigilance par rapport aux déversements accidentels et provisoires

Des décisions au niveau des responsables de l'usine ont été prises par rapport aux destructions et déversements accidentels. Les destructions ont été limitées pour que celles-ci ne provoquent pas de pics de pollution. De plus, toutes les destructions et déversements doivent être déclarés à l'avance pour être étudiés et déterminer si les produits ne perturberont pas la station d'épuration. Nous avons créé un manuel de procédure pour les destructions et les destructions ne se font que lorsque la STEP est en bon état de marche. Les restes sont évacués par des sociétés de traitement de déchets

##### *Résultats obtenus*

Diminution de la DCO de l'effluent brut.

Les déversements accidentels et les destructions de produits ou matières premières maîtrisés, la pollution de l'effluent brut mesurée par la DCO s'est stabilisée et ce dernier ne présente plus de pics de pollution.

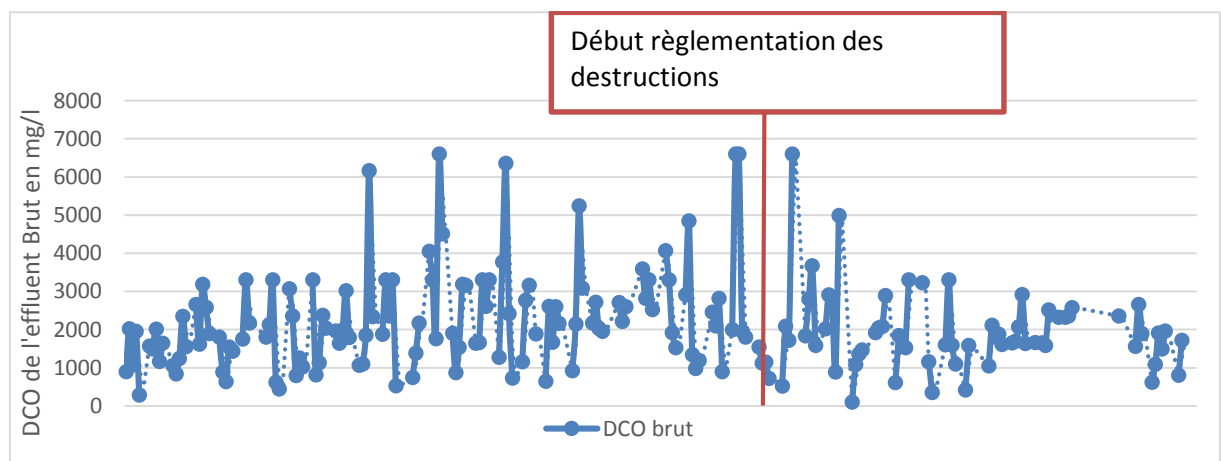


Figure 21 : Evolution de la DCO de l'effluent brut avant et après la limitation des destructions

Malgré les réglementations, des déversements illicites sont encore observés. Après plusieurs sensibilisations, des améliorations ont été obtenues.

Le bassin tampon apporterait aussi sa contribution dans l'atténuation des déversements accidentels de produits. Un système d'injection contrôlée de produits à détruire pourrait être associé à ce bassin.

### **III.2. Régularisation du pH de l'effluent brut avant son entrée dans le bassin d'aération**

La neutralisation du pH de l'effluent brut doit être faite avant son entrée dans le bassin d'aération. La station de neutralisation a été déplacée dans le bassin prétraitement. L'emplacement n'est pas très bien approprié mais les adaptations faites ont permis l'installation de la neutralisation à cet endroit.

Une neutralisation en continu a été faite au niveau du dessableur dans le bassin prétraitement. Le principe consiste au réglage automatique du débit de la pompe acide par rapport au débit de l'eau à l'entrée. Malheureusement, il n'y a pas de débitmètre électronique pour réguler la pompe acide. Un tableau de correspondance entre le débit de l'effluent brut et le débit de la pompe a été créé. La pompe doit être réglée manuellement. Elle est dotée d'un bouton rotatif de réglage de débit variant de 0 à 100.

*Tableau 3 : Correspondance entre le débit de l'effluent brut et le débit de la pompe acide*

Débit entrée en [m <sup>3</sup> /h]	5	10	15	20	25	30	35	40
Débit pompe en %	10	20	30	40	50	60	70	80

Ce tableau a été créé par expérience. A chaque augmentation du débit de l'effluent brut on fait accroître le débit de la pompe d'injection d'acide. Ce qui nous donne les résultats ci-dessous.

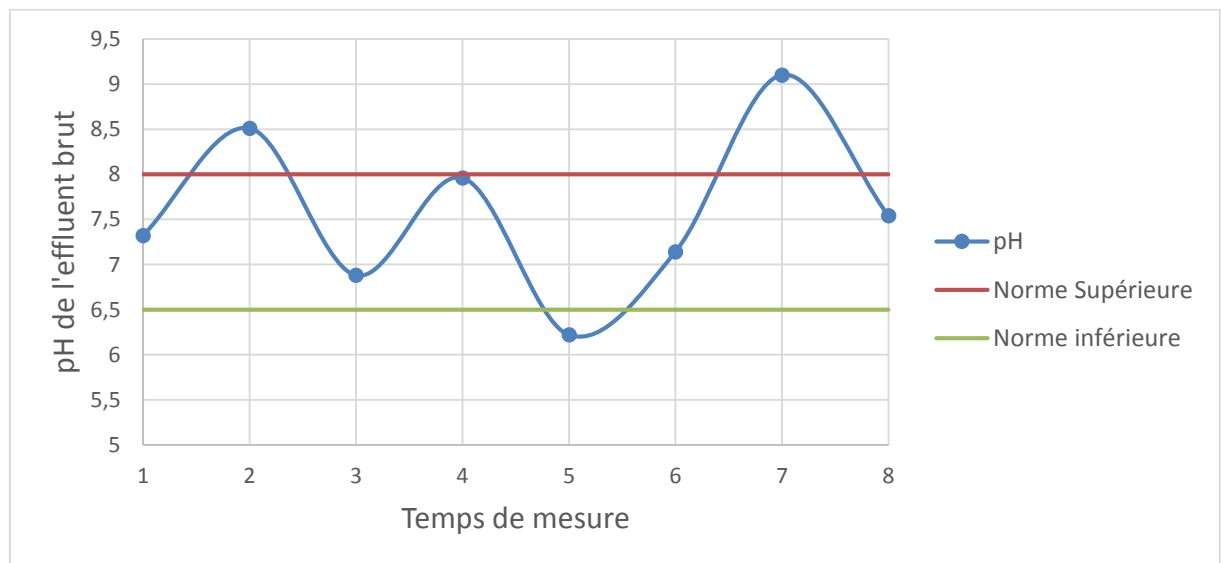
### *Résultats obtenus*

*Neutralisation du pH de l'effluent brut :*

Un suivi strict du débit de l'effluent brut, de la pompe acide et du pH a été fait pendant une journée. La pompe acide a été réglée par rapport au débit de l'effluent brut en suivant le tableau de correspondance entre le débit et la pompe acide. Les résultats suivants ont été obtenus:

*Tableau 4 : Evolution du pH de l'effluent brut après neutralisation*

Prélèvement	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	7,32	8,51	6,88	7,96	6,22	7,14	9,1	7,54



*Figure 22 : Evolution du pH de l'effluent brut après neutralisation*

Les prélèvements ont été mélangés, le pH du mélange obtenu est de 7,81. En régime normal, la neutralisation de l'effluent brut peut être maîtrisée, mais

quand l'eau venant de l'usine est en quantité plus importante ou lors des variations brusques, la station de neutralisation n'arrive pas à suivre.

Le dispositif ne permet pas d'avoir une bonne neutralisation, on n'a pas assez de mélange dans les bassins du prétraitement. La neutralisation est difficilement maîtrisable, nécessite une intervention quasi permanente d'un opérateur et nécessite une grande quantité d'acide sulfurique.

### III.3. Régularisation des nutriments

La normalisation de la teneur en nutriments de l'effluent brut se fait par l'ajout d'urée.

L'urée est composée à 46% d'élément azote. Dans un sac de 50 kg il y a 23 kg d'azote. Une pompe assure l'injection d'urée dans le bassin prétraitement, au niveau du dessableur. Le problème de l'absence de débitmètre comme avec l'acide se présente. Contrairement à la pompe acide, la pompe azote est très fragile, d'où l'adoption d'un débit moyen pour éviter de la manipuler.

4 sacs d'urée de 50kg sont dilués dans 800 litres d'eau pour avoir une solution d'urée d'environ 1000 l. Ceci donne 200kg d'urée dans le mélange.

La masse de l'azote dans la solution est alors :

$$m_{\text{azote}} = m_{\text{urée}} \times 46\%$$

$$m_{\text{azote}} = 200 \times 46\%$$

$$m_{\text{azote}} = 92 \text{ kg}$$

Un litre du mélange contient 92 g d'azote.

Le débit moyen de l'effluent brut est de  $20 \text{ m}^3/\text{h}$ , et la valeur moyenne du DBO5 est égale à 500 mg/l.

Le taux d'azote nécessaire :

$$N = \text{DBO5} \times 5\%$$

$$N = 500 \times 5\%$$

$$N = 25 \text{ mg/l}$$

Le débit moyen de l'effluent brut correspond à 10 kg de DBO5 donc à 500 g d'azote par heure. La pompe fournit au maximum (100%) un débit de 18 l/h.

Dans un litre de la solution, il y a 1,656 kg d'azote. La pompe est alors réglée à 30 % pour avoir un débit de 5.4 l/h.

#### *Résultats obtenus*

Teneur normale en nutriments de l'effluent brut respectée

Les études faites ont déterminé la quantité d'urée à injecter dans l'effluent brut. Ceci a permis d'avoir un effluent brut aux normes avant son entrée dans le bassin de neutralisation.

*Tableau 5 : Extrait de résultats d'analyse de l'effluent brut*

DBO5	N	P	C	N	P
mg/l	mg/l	mg/l			
500	26,8	6,3	100	5,4	1,3
480	27,5	6,9	100	5,7	1,4

Les analyses de l'effluent brut après ajout d'urée sont montrées dans la partie gauche du tableau (en blanc). Sur la partie droite (en bleu) est calculée leur rapport qui doit donner  $C/N/P = 100/5/1$ .

Cependant, la quantité d'urée injectée doit être proportionnelle à la quantité de l'eau à l'entrée de la STEP, la régulation du débit de la pompe est indispensable pour une bien meilleur gestion de l'ajout d'azote. Un débitmètre à l'amont de la station doit être mis en place pour contrôler la pompe d'injection d'urée.

### **III.4. Suivi de l'oxygénation dans le bassin d'aération**

L'achat d'un oxymètre, appareil de mesure d'oxygène dissous in-situ, a été réalisé pour assurer le suivi de l'oxygène dissous dans le bassin d'aération.

Le suivi de l'oxygène dissous nous a permis de savoir que l'aération dans le bassin biologique est insuffisante. L'oxygène dissous est au-dessus de la norme (2 mg/l) en début de semaine et diminue petit à petit pendant la semaine jusqu'à avoir des valeurs en dessous de la norme. Parfois, le bassin d'aération est en *anoxie* ( $OD < 0,3$  mg/l).



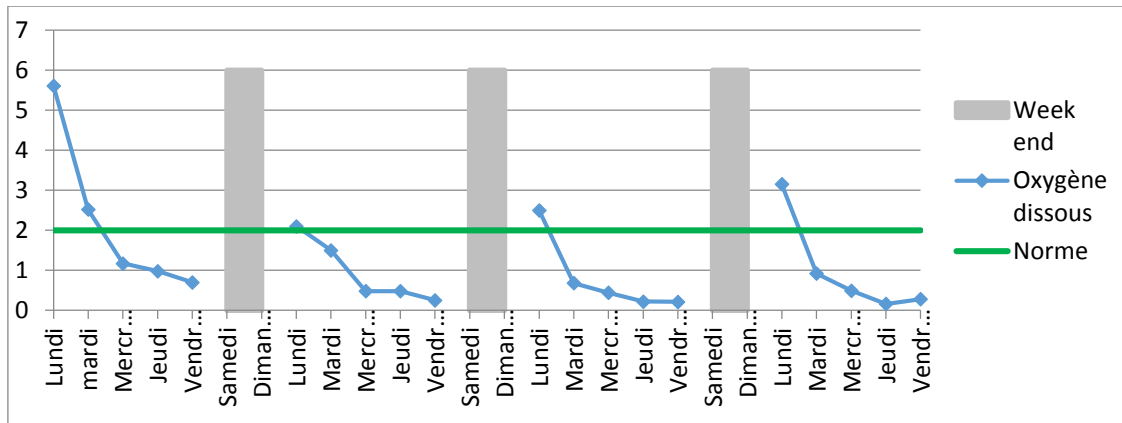


Figure 23: Aspect global par semaine de la variation de l'oxygène dissous dans le bassin d'aération

La diminution de l'oxygène dissous s'explique par la consommation de l'oxygène par les polluants et les micro-organismes pendant les temps de traitements.

La constatation de ce phénomène incitait l'usine à augmenter les systèmes d'aération dans le bassin. Ceci s'est conclu par l'achat d'une pompe dite booster pour augmenter l'aération en cas de nécessité. La pompe devrait être disponible fin mars 2017.

### III.5. Gestion de la concentration de boues

La gestion du niveau de boue dans le clarificateur est primordiale pour obtenir une bonne qualité de l'effluent traité. La boue est gérée de façon à ce que la séparation entre l'eau et la boue soit distincte pour assurer qu'elle ne déborde pas du clarificateur. La hauteur de boue dans le clarificateur doit être inférieure à 50% de la hauteur de l'eau.

Une jauge de profondeur devrait être disponible pour mesurer la hauteur de boue dans le bassin clarificateur.

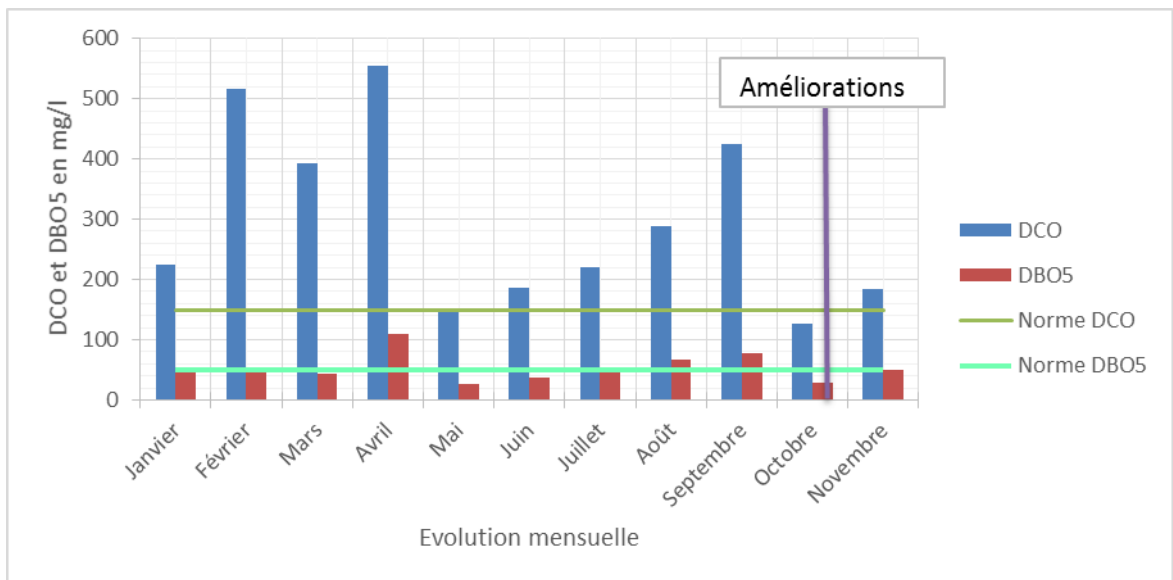
La gestion de la boue a aussi un impact sur le taux de boue dans le bassin d'aération. Une équilibre doit être faite entre le retour et l'élimination de boue afin d'optimiser la concentration de boue dans le bassin d'aération. Cette concentration doit être aux environs de 2000 mg/l.

### III.6. Diminution de la DCO de l'effluent traité

Après les modifications faites, la station d'épuration est devenue plus efficace. Ceci est justifié par la diminution de la DCO et de la DBO5 de l'effluent traité. Comme le montre le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**.

*Tableau 6 : DCO et DBO5 mensuelles de l'année 2016*

	DCO	DBO5
Normes	< 150 mg/l	< 50 mg/l
Janvier	225	48
Février	516	54
Mars	393	43
Avril	555	109
Mai	150	26
Juin	187	38
Juillet	221	48
Août	288	68
Septembre	424	77
Octobre	126	29
Novembre	184	50



*Figure 24: DCO et DBO5 de l'effluent traité année 2016*

Les DCO et DBO5 ont diminué pour les mois d'octobre et de novembre. Il y a eu une panne au mois de novembre qui a causé la montée à 1044 mg/l de la DCO d'une journée, engendrant la valeur moyenne 184 mg/l de ce mois.

Pour une vision plus précise, les Figure 25 et Figure 26 montrent l'évolution journalière de la DCO et de la DBO de l'effluent traité pendant l'année 2016.

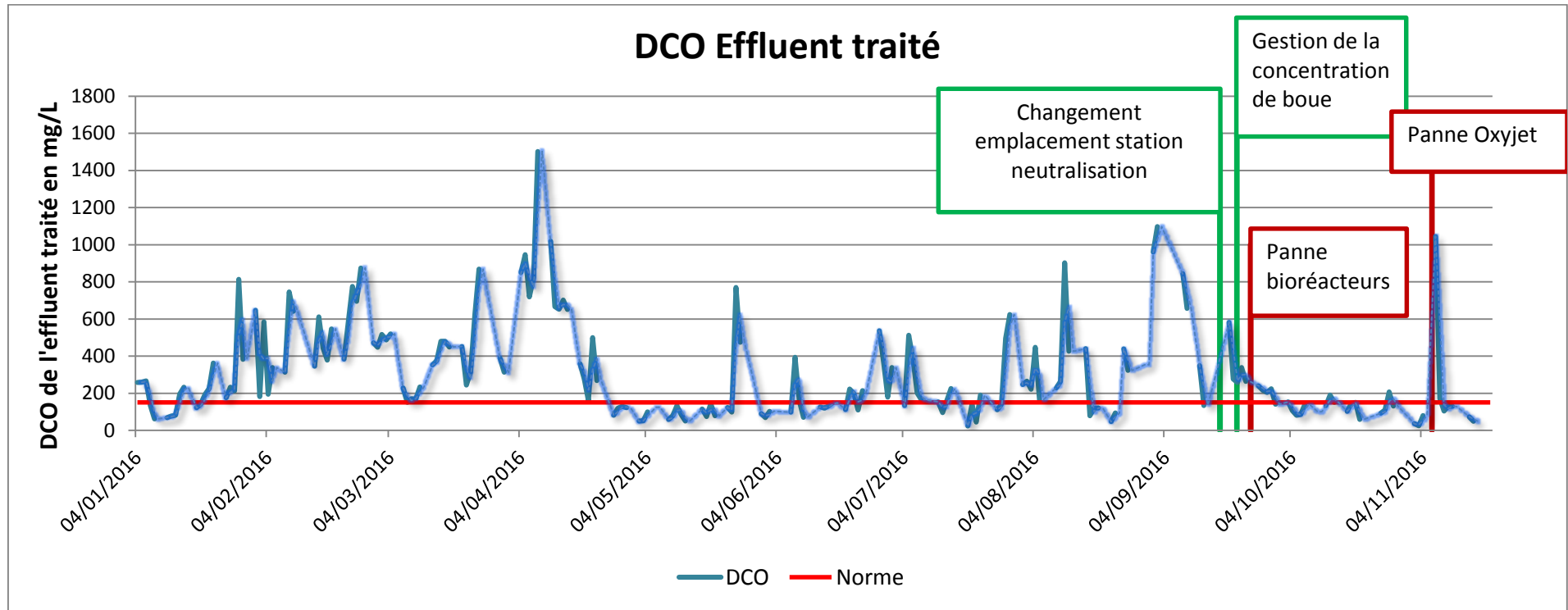


Figure 25 : Evolution de la DCO de l'effluent traité

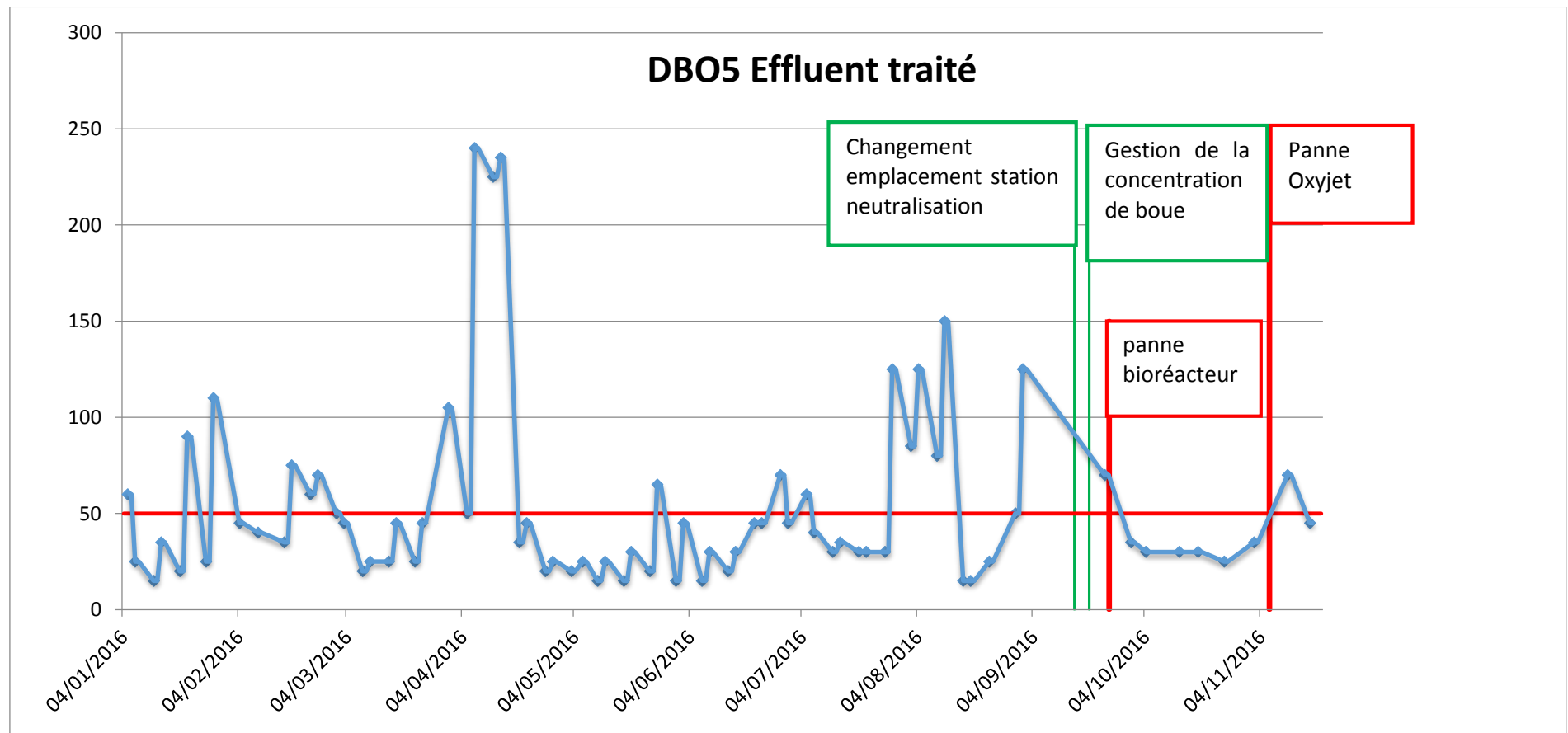


Figure 26 : Evolution de la DBO5 de l'effluent traité

Les graphes ci-dessus montrent l'évidence de la diminution de la pollution après les modifications faites, à savoir le changement de l'emplacement de la station de neutralisation et la gestion de la concentration en boue. Une augmentation brusque des paramètres globaux de pollutions est remarquée après la panne d'oxyjet le mois de novembre.

La STEP est encore fragile et il reste beaucoup de points à améliorer. Des perspectives d'améliorations sont déjà étudiées.

## IV. Perspectives

### IV.1. Bassin tampon ou bassin d'égalisation

Un bassin tampon de 400 m<sup>3</sup> de volume est en cours de construction, le chantier a commencé en décembre 2016 et devrait s'achever en mars 2017. Les principales améliorations attendues sont :

- La neutralisation efficace de l'effluent brut. Une nouvelle station de neutralisation serait installée avec le bassin pour que la neutralisation soit la plus performante possible.
- Le débit hydraulique à l'entrée du bassin d'aération serait aussi maîtrisé. Il n'y aurait plus de variations brusques du débit de l'effluent brut à l'entrée. Le débit à l'entrée du bassin d'aération serait constant même pendant les week-ends.
- Les pics de pollutions seront aussi atténués par le bassin tampon. L'effluent venant de l'usine se mélangera avec l'effluent dans le bassin tampon, atténuant ainsi les chocs de pollution.

### IV.2. Débitmètre en ligne

Même après la mise en place du bassin d'égalisation, un **débitmètre en ligne** à détecteur ultrasons est indispensable sur le canal de mesure venturi à l'entrée de la STEP pour connaître précisément et en temps réel le débit de l'effluent brut. La pompe d'injection d'urée doit être reliée à ce dispositif de mesure de débit.

### IV.3. Augmentation de l'oxygénation

Des cas de manque d'oxygénation dans le bassin biologique sont observés lors des analyses de l'oxygène dissous. Ces cas se produisent lors des fortes charges hydrauliques. Pour y remédier un **oxyjet** plus puissant va être mise en place d'ici quelques semaines. Ceci afin d'augmenter l'oxygénation en cas de baisse de l'oxygène dissous, notamment lors des hautes saisons de production.

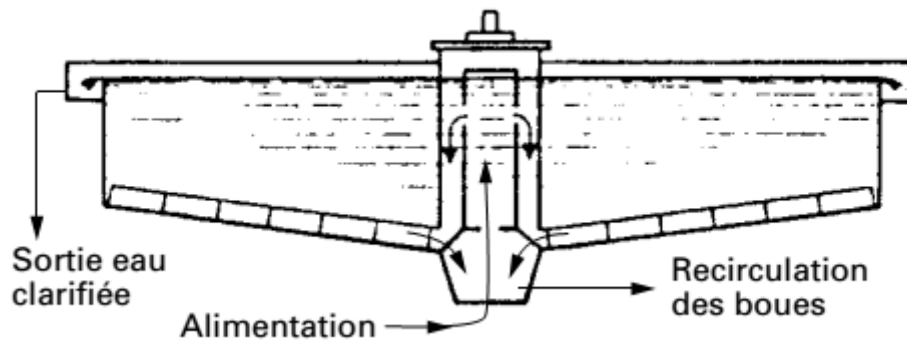
#### IV.4. Bassin clarificateur en norme

Notre système de clarification rencontre de grandes difficultés :

- Il n'y a pas de racleur pour enlever les boues surnageant
- Impossibilité de mesurer la hauteur de boues dans le clarificateur
- La pompe au fond ne crée pas un effet d'aspiration mais perturbe la boue décantée lors de sa marche.
- La jupe clarificateur comporte des fuites qui perturbent la décantation.

La solution est donc de concevoir un nouveau bassin clarificateur avec un système de raclage et d'aspiration et équipé d'une passerelle pour pouvoir mesurer la hauteur de boue.

La construction commencera le troisième trimestre de cette année 2017.



*Figure 27: Clarificateur classique avec raclage de boues et aspiration au fond du clarificateur*



## Conclusion

Les études faites nous ont permis de constater les causes des problèmes à la STEP, comme les destructions illicites de produits vers la station ou le mauvais emplacement de la station de neutralisation ou encore la mauvaise aération dans le bassin biologique. Des changements ont été apportés : le contrôle des destructions, la migration de la station d'acide vers le bassin prétraitement ou la gestion de la concentration de boue dans le bassin d'aération, etc.

Malgré ces changements, le traitement est encore inefficace lorsqu'on a une forte charge hydraulique. Des perspectives ont été pensées pour y remédier. Parmi elles, la construction d'un bassin tampon et de neutralisation avant le bassin d'aération est en cours de réalisation.

## Conclusion générale

En conclusion, avant notre intervention, la station d'épuration d'eaux usées de l'usine STAR Andraharo était dans un mauvais état de fonctionnement. Les résultats des analyses ne correspondent pas aux normes. Notre objectif a été d'optimiser la STEP pour faire entrer les caractéristiques de l'effluent traité dans les normes.

Des études ont été faites. Les causes des problèmes ont pu être déterminées, telles que l'installation qui avait eu du mal à traiter les effluents bruts. En effet, dès que la DCO et la DBO5 de l'effluent brut sont en hausses celles de l'effluent traité deviennent hors normes.

Les moyens que nous avons utilisés pour atteindre nos objectifs ont été les études bibliographiques, les analyses physico-chimiques régulières pour contrôler l'avancement, et les modifications de l'installation. Les actions prises sont la limitation des destructions de produits vers la STEP, la migration de la station de neutralisation du pH vers le bassin de prétraitement. La gestion de la concentration de boue dans le bassin d'aération. Ceux-ci nous ont permis d'avoir des résultats positifs. La DCO et la DBO5 ont diminué pour entrer dans les normes. Nonobstant, des pannes dans l'installation provoquent encore des dérèglements, il y a des moments où la DCO et la DBO5 dépassent les normes. La poursuite de l'amélioration des installations permettrait de renforcer l'efficacité de la STEP. Une étude microbiologique de la boue activée et la mise en place d'une unité pilote de culture des micro-organismes pourraient être envisagées afin de mieux piloter la station.

## Annexe A : NORMES DE REJETS DES EAUX USEES

<p><b>Législation locale : Loi n° 2003-464 (15 avril 2003)</b>  <b>Exigences Coca-Cola: Standards for treated wastewater quality (août 2006)</b></p>
--

PARAMETRES	UNITES	NORMES COCA-COLA	NORMES MALAGASY
<b>FACTEURS ORGANOLEPTIQUES ET PHYSIQUES</b>			
pH	-	<b>6,5 – 8</b>	6,0 - 9,0
Conductivité	μS/cm	-	<b>≤ 200</b>
Solide total dissout	mg/l	<b>&lt; 2000</b>	-
Matières en suspension	mg/l	<b>&lt; 50</b>	≤ 60
Température	°C	<5°C de variation par rapport à la T° du milieu récepteur	≤ 30
Couleur	échelle Pt/Co	100	<b>≤ 20</b>
Turbidité	NTU	-	<b>≤ 25</b>
<b>FACTEURS CHIMIQUES</b>			
Dureté totale	mg/l	-	<b>≤ 180,0</b>
Azote ammoniacal	mg/l	<b>&lt; 2</b>	≤ 15,0
Nitrates	mg/l	-	<b>≤ 20,0</b>
Nitrites	mg/l	-	<b>≤ 0,2</b>
NTK (azote total Kjeldahl)	mg/l-N	-	<b>≤ 20,0</b>
Azote total	mg/l	<b>&lt; 5</b>	-
Phosphates	mg/l	-	≤ 10,0
Phosphore	mg/l	<b>&lt; 2</b>	-
Sulfates	mg/l	<b>&lt; 250</b>	≤ 250
Sulfures	mg/l	-	<b>≤ 1,0</b>

Huiles et graisses	mg/l	<b>&lt; 10</b>	≤ 10,0
Phénols et crésols	mg/l	-	≤ 1,0
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	mg/l	-	≤ 1,0
Agents de surface (ioniques ou non)	mg/l	-	≤ 20
Chlore libre	mg/l	<b>&lt; 0,01</b>	≤ 1,0
Chlorures	mg/l	-	≤ 250
Surfactants (LAS) réagissant au bleu de méthylène	mg/l	<b>&lt; 0,5</b>	–
<b>FACTEURS BIOLOGIQUES</b>			
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	<b>90% d'abattement</b>	≤ 160
Demande biochimique en oxygène (DBO5)	mg/l	<b>&lt; 50</b>	≤ 50
Oxygène dissous	mg/l	<b>&gt; 4</b>	–
<b>FACTEURS INDESIRABLES</b>			
<b>METAUX</b>			
Aluminium	mg/l	<b>&lt; 0,1</b>	≤ 5,0
Arsenic	mg/l	-	≤ 0,5
Cadmium	mg/l	<b>&lt; 0,02</b>	≤ 0,02
Chrome hexavalent	mg/l	<b>&lt; 0,1</b>	≤ 0,2
Chrome total	mg/l	-	≤ 2,0
Fer	mg/l	<b>&lt; 0,1</b>	≤ 10,0
Nickel	mg/l	-	≤ 2,0
Plomb	mg/l	<b>&lt; 0,1</b>	≤ 0,2
Etain	mg/l	-	≤ 10,0
Zinc	mg/l	-	≤ 0,5

Manganèse	mg/l	-	≤ 5,0
Mercure	mg/l	-	≤ 0,005
Sélénium	mg/l	-	≤ 0,02
<b>AUTRES SUBSTANCES</b>			
Cyanures	mg/l	-	≤ 0,2
Aldéhydes	mg/l	-	≤ 1,0
Solvants aromatiques	mg/l	-	≤ 0,2
Solvants azotés	mg/l	-	≤ 0,1
Solvants chlorés	mg/l	-	≤ 1,0
Pesticides organochlorés	mg/l	-	≤ 0,005
Pesticides organophosphorés	mg/l	-	≤ 0,1
Pyréthrinoïdes	mg/l	-	≤ 0,1
Phénylpyrrazoles	mg/l	-	≤ 0,05
Pesticides totaux	mg/l	-	≤ 1,0
Antibiotiques	mg/l	-	≤ 0,1
Polychlorobiphényles	mg/l	-	≤ 0,005
Radioactivité	Bq	-	≤ 20
<b>FACTEURS MICROBIOLOGIQUES</b>			
Coliformes totaux	ufc	-	≤ 500
Escherischia coli	ufc	-	≤ 100
Streptocoques fécaux	ufc	-	≤ 100
Clostridium sulfito- réducteurs	ufc	-	≤ 100

## Références

- [1] J.-C. Boeglin, *Inventaire des traitements d'eaux résiduaires*. .
- [2] Hatem Dhaouadi, *Traitement des Eaux Usées Urbaines, les procédés biologiques d'épuration*, Université Virtuelle de Tunis. 2008.
- [3] J.-C. Boeglin, *Lutte contre la pollution de l'eau; Inventaire des traitements*. .
- [4] J. Rodier, B. Legube, et N. Merlet, *L'analyse de l'eau*, 9ème édition. Dunod.
- [5] M. S. Metahri, « Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes. Cas de la STEP est de la ville de Tizi-Ouzou », THÈSE de DOCTORAT Spécialité : Agronomie Option : Génie des procédés, Université Mouloud Mammeri Algérie, Algérie, 2012.
- [6] J.-C. Boeglin, *Traitements biologiques des eaux résiduaires*. .
- [7] SAHTOUT Naziha, « Etude de station de traitement des eaux à boues activées : Optimisation de l'aération et la clarification en vue d'une bonne décantabilité des boues », 2012.
- [8] Nicolas Bernet, *Traitement biologique des eaux usées. Traitement du carbone*. .
- [9] Degrémont, *Les Feuilles Mémento Technique de l'Eau. Eaux résiduaires urbaines*. 2012.
- [10] *La Lagunage aérée*. 2007.
- [11] « Groupe STAR | ». [En ligne]. Disponible sur: <http://www.groupe-star.com/>. [Consulté le: 18-févr-2017].
- [12] Cindy Bassompierre, « Procédés à boues activées pour le traitement d'effluents papetiers : de la conception d'un pilote à la validation de modèles. », Institut National Polytechnique de Grenoble, 2007.
- [13] « Domeau Industrie | Domeau, l'eau purifiée à volonté ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.domeau.net/>. [Consulté le: 18-févr-2017].

# Table des matières

Remerciements .....	I
Liste des abréviations, sigles et unités .....	II
Glossaire .....	III
Liste des figures .....	IV
Liste des tableaux.....	V
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Les eaux usées et les traitements des eaux résiduaires.....	2
Introduction.....	3
I. Généralités sur les eaux usées et le traitement des eaux résiduaires.....	3
I.1. Définitions .....	3
I.1.1. Eau usée.....	3
I.1.2. Traitement d'eau usée .....	3
I.1.3. Traitement biologique .....	4
I.2. Les eaux résiduaires .....	4
I.2.1. Origine des eaux résiduaires .....	4
I.2.1.1. Eaux techniques.....	4
I.2.1.2. Eaux de lavage : sols, machines, bouteilles .....	5
I.2.1.3. Eaux de fabrication.....	5
I.2.1.4. Eaux des services généraux .....	5
I.2.2. Nocivité et effets de la pollution sur le milieu naturel .....	5
I.2.2.1. Pollution insoluble .....	5
I.2.2.2. Pollution toxique .....	6
I.2.2.3. Pollution organique.....	6
I.2.2.4. Pollution azotées et phosphorées .....	6
I.2.2.5. Autres types : pollution thermique et pollution radioactive.....	7
II. Critères globaux de pollution .....	7
II.1. Les matières en suspension (MES).....	7

II.2.	Les matières oxydables.....	8
II.3.	L'azote et le phosphore .....	9
II.3.1.	L'azote : .....	9
II.3.2.	Le phosphore .....	10
II.4.	Les substances à effets toxiques .....	10
III.	Les types de traitements des eaux usées.....	11
III.1.	Traitements primaires.....	11
III.1.1.	Traitements physiques.....	11
III.1.2.	Traitements chimiques.....	12
III.2.	Traitements secondaires - Traitements biologiques .....	12
III.2.1.	Traitements biologiques aérobies .....	12
III.2.1.1.	Culture libre ou boue activée .....	12
III.2.1.2.	Culture fixée.....	17
III.2.1.3.	Lagunage aérée.....	19
III.2.2.	Traitements biologiques anaérobies .....	20
III.3.	Clarification.....	23
III.4.	Traitements tertiaires.....	23
III.5.	Traitement des boues.....	24
	Conclusion.....	25
	Chapitre II : Cas de la Station d'Épuration des Eaux Usées de l'Usine Boisson Gazeuse STAR Andraharo .....	26
	Introduction.....	27
I.	Présentation de l'entreprise .....	28
I.1.	Informations sur l'entreprise .....	28
I.2.	Historique .....	28
I.3.	Activités .....	29
I.4.	Usine Boisson Gazeuse Andraharo .....	31
II.	La Station de Traitement et d'Épuration de l'usine Andraharo .....	33
II.1.	Traitement primaire ou prétraitement .....	34



II.1.1. Traitements physiques .....	35
II.1.1.1. Dégrillage .....	35
II.1.1.2. Déshuilage et dégraissage .....	36
II.1.1.3. Dessablage .....	36
II.1.2. Traitements chimiques .....	36
II.1.2.1. Neutralisation du pH .....	36
II.1.2.2. Ajout d'éléments nutritifs pour les micro-organismes .....	36
II.1.3. Autres équipements .....	37
II.1.3.1. Mesure de débit .....	37
II.1.3.2. Bassin de relevage .....	38
II.2. Traitements secondaires : les traitements biologiques .....	39
II.2.1. Traitement biologique aérobie par culture bactérienne libre .....	39
II.2.1.1. Principe .....	39
II.2.1.2. Paramètres de contrôle .....	40
II.2.2. Traitement biologique aérobie par culture bactérienne fixée .....	41
Principe .....	41
II.2.3. Clarification .....	42
Principe .....	42
II.2.4. Filtre à sable .....	42
Conclusion .....	45
Chapitre III : Etat des lieux, études d'améliorations et réalisations .....	46
I. Résultats d'analyses avant améliorations .....	47
II. Analyse des problèmes .....	49
II.1. DCO et DBO5 de l'effluent brut élevées .....	49
II.1.1. La destruction massive de produits finis et matières premières impropres à la consommation .....	49
II.1.2. Des pics de pollutions inopinés .....	50
II.2. Traitement de l'effluent brut inefficace .....	51
II.2.1. Le pH du bassin d'aération non homogène .....	51

II.2.2.	Ajout de nutriments non étudié .....	52
II.2.3.	Effluent brut à débit et à pollution variable .....	52
II.2.4.	Suivi d'oxygénation inexistant .....	52
II.2.5.	Mauvaise aération du bassin biologique .....	53
II.2.6.	Difficultés de décantation .....	53
II.2.7.	Absence de matériel d'étude microbiologique.....	54
III.	Actions correctives et résultats .....	55
III.1.	Contrôle des destructions et vigilance par rapport aux déversements accidentels et provisoires.....	55
	Résultats obtenus .....	55
III.2.	Régularisation du pH de l'effluent brut avant son entrée dans le bassin d'aération .....	56
	Résultats obtenus .....	57
III.3.	Régularisation des nutriments .....	58
	Résultats obtenus .....	59
III.4.	Suivi de l'oxygénation dans le bassin d'aération .....	59
III.5.	Gestion de la concentration de boues .....	60
III.6.	Diminution de la DCO de l'effluent traité .....	61
IV.	Perspectives .....	66
IV.1.	Bassin tampon ou bassin d'égalisation .....	66
IV.2.	Débitmètre en ligne .....	66
IV.3.	Augmentation de l'oxygénation .....	66
IV.4.	Bassin clarificateur en norme .....	67
	Conclusion.....	68
	Conclusion générale .....	69
	Annexe A : NORMES DE REJETS DES EAUX USEES .....	lxx
	Références .....	lxxiii

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du Diplôme de Master  
Titre Ingénieur en Génie des Procédés Chimiques et Industriels

OPTIMISATION D'UNE STATION D'EPURATION D'EAUX USEES PAR TRAITEMENTS  
BIOLOGIQUES AEROBIES :  
CAS DE L'USINE BOISSONS GAZEUSES STAR ANDRAHARO

**Résumé**

Ce mémoire a pour but d'optimiser la station de traitement et d'épuration des eaux usées de l'usine STAR Andraharo. La station d'épuration utilise les techniques biologiques par culture libre « boue activée » et par culture fixée « lit bactérien ». L'effluent était caractérisé par des valeurs hors normes de la DCO et de la DBO5. Les principales améliorations que nous avons proposées ont été la neutralisation du pH de l'effluent brut avant son entrée dans le bassin d'aération et la gestion de la concentration en boue activée dans le bassin. Les résultats d'analyse de l'effluent traité après les modifications sont dans les normes. Néanmoins, des instabilités du système sont observées lors de pannes matérielles ou lors des fortes charges hydrauliques à l'entrée de la STEP. La construction d'un bassin tampon avant le bassin d'aération est une perspective.

**Mots-clés** : Eaux usées, traitement biologique, boue activée, lit bactérien, DCO, DBO5

**Title** : OPTIMIZATION OF A WASTEWATER TREATMENT PLANT USING AEROBIC BIOLOGICAL TREATMENTS

**Abstract** :

The purpose of this memoire is to optimize the STAR Andraharo wastewater treatment. This plant uses biological techniques by free culture "activated sludge" and by fixed culture "bacterial bed". The effluent was characterized by values of COD and BOD5 over requirements. The main improvements we proposed were the neutralization of pH of the influent before entering the aeration basin and the management of the activated sludge concentration in the basin. The results of analysis of the treated effluent after modifications are in the standards. Nevertheless, instabilities of the system are observed during material failures or during heavy hydraulic loads at the entrance of the station. The construction of an equalizer basin before the aeration basin is a perspective.

**Keywords**: wastewater, biological treatment, activated sludge, bacterial bed, COD, BOD5

Nombre de pages : 69  
Nombre de figures : 27  
Nombre de tableaux : 6

Auteur: **RASOLOFONIRINA Mahefa**  
Lot II O 30 B Anjanahary, Antananarivo 101  
+261 33 29 731 07 ; solomahefa@gmail.com

Encadreur pédagogique : Professeur RAKOTOSAONA Rijalalaina  
Encadreur professionnel: Professeur ANDRIANARY Philippe Antoine