

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

GLOSSAIRE

INTRODUCTION

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre 1 : GENERALITES SUR LA POZZOLANE

Chapitre 2 : GENERALITES SUR LES EAUX USEES

Chapitre 3 : GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES EAUX USEES

PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre 1 : PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE

Chapitre 2 : MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

PARTIE 3 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Chapitre 1 : EFFETS DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE AVEC LA POZZOLANE SUR
LES QUALITES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DES EAUX USEES

Chapitre 2 : EFFETS DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE AVEC LA POZZOLANE SUR
LES QUALITES BACTERIOLOGIQUES DES EAUX USEES

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBGRAPHIQUES

ANNEXE

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ABREVIATIONS

ASR : Anaérobie Sulfito-Réductrice

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

Cl⁻ : Chlorure

Cm : Centimètre

°C : Degré Celsius

E1 : Eau avant traitement

E2 : Eau après traitement

FCV : Fleur de Chaux Ventilée

JIRAMA : JIro sy RAno MAlagasy

Km : Kilomètre

MECIE : Mise En Compatibilité des Investissements avec l'Environnement

MES : Matières En Suspension

NO₂⁻ : Nitrite

NO₃⁻ : Nitrate

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

pH : potentiel Hydrogène

PK : Point Kilométrique

RN : Route Nationale

SO₄²⁻ : Sulfate

UFC : Unité Formant Colonie

S/m : Siemens par mètres

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Pouzzolane naturelle	4
Figure 2 : Formation des pouzzolanes.....	6
Figure 3 : Les gisements des pouzzolanes à Madagascar.....	7
Figure 4 : Schéma de la station d'épuration d'eau de la société Epsilon	22
Figure 5 : Les bassins de la station d'épuration de la société Epsilon.....	24
Figure 6 : Le premier bassin a pouzzolane.....	25
Figure 7 : Le deuxième bassin a pouzzolane.....	25
Figure 8 : Entrée de l'eau dans le bassin.....	25
Figure 9 : Regard du traitement biologique.....	26
Figure 10 : Les ASR présentes dans l'eau.....	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Composition chimique moyenne de la pouzzolane.....	8
Tableau 2 : Récapitulation des résultats des analyses physiques avant et après le traitement biologique.....	38
Tableau 3 : Récapitulation des résultats des analyses chimiques avant et après le traitement biologique.....	40
Tableau 4 : Récapitulation des résultats des analyses biologiques avant et après le traitement biologique.....	41
Tableau 5 : Qualités bactériologiques de l'eau avant et après le traitement biologique.....	42

GLOSSAIRE

Lapillis : ce sont des matières volcaniques projetées et solidifiées dans l'air. Les lapillis ont un diamètre allant de quelques millimètres à quelques centimètres.

Scorie : ce sont aussi des matières volcaniques, rudes au toucher, légères, et qui se trouvent en projection ou à la surface de certaines coulées de laves. Les scories ont un diamètre allant d'une dizaine de centimètres.

Roseau : ce sont des plantes des sols humides d'assez grande taille, à tige creuse et rigide, plus ou moins ligneuse.

INTRODUCTION

Depuis la nuit des temps, Madagascar n'avait jamais connu le manque d'eau. Et voilà que maintenant les problèmes surgissent subitement et la JIRAMA n'arrive plus à satisfaire les besoins en eaux de la population. En effet, ce phénomène est constaté dans plusieurs régions de Madagascar et surtout dans la capitale.

Ces problèmes sont généralement dus au changement climatique et aux dégradations de l'environnement mais surtout à la régénération trop tardive de nos eaux usées qui s'infiltrent pour rejoindre la nappe phréatique.

C'est pourquoi l'Etat et les sociétés industrielles ont décidé d'avoir recours aux réglementations concernant la protection de l'environnement. A titre d'exemple, la charte de l'environnement et le décret MECIE (Mise En Compatibilité des Investissements avec l'Environnement) encouragent et poussent les industriels à rechercher des solutions pour rendre leurs effluents aussi sains que possible.

Parmi ces résolutions, plusieurs industries construisent une station d'épuration pour leurs eaux usées. Citons par exemple les industries textiles d'Antananarivo.

Dans ce mémoire, nous avons choisi la société Epsilon qui est une grande industrie textile moderne possédant sa propre station d'épuration d'eaux usées. Notre choix est surtout motivé par son utilisation d'un matériau local : « la pouzzolane » pour le traitement biologique qui nous intéresse dans ce travail.

En bref, nous allons vérifier l'efficacité de la pouzzolane qui tient le rôle de support biologique. Nous allons analyser l'eau avant et après son passage par le filtre à pouzzolane. Notre objectif est de constater les changements au niveau de chaque paramètre physico-chimique ou bactériologique que nous avons analysé après passage dans les bassins de traitement.

Pour mener à bien ce travail, nous l'avons divisé en trois parties distinctes :

- ✓ La première partie est une synthèse bibliographique concernant, la pouzzolane, les eaux usées et le traitement des eaux usées.
- ✓ La deuxième partie est consacrée à la présentation de la cadre d'étude et aux matériels et méthodes d'étude.
- ✓ Nous allons voir dans la troisième partie les résultats et interprétations.

Rapport-Gratuit.com

PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : GENERALITES SUR LA POZZOLANE

1.1 Définitions [1], [10]

La pouzzolane est une roche naturelle produite lors d'une éruption volcanique. Elle est généralement constituée par des scories (projections) volcaniques basaltiques ou de composition proche et présente une structure alvéolaire. Sa couleur peut être rouge (rouge brique), noire et même grise. Ce sont des matériaux légers de densité inférieure à 1, poreux, abrasifs, réfractaires et isolants.

Le terme pouzzolane désigne aussi tout matériau naturel ou artificiel riche en silice et alumine, apte à réagir en température ambiante avec la chaux en solution aqueuse afin de donner naissance à des produits ayant de propriétés liantes, principalement des silicates et aluminates de calcium.



Figure 1 : Pouzzolane naturelle

1.2 Les différents types de pouzzolanes [1], [10]

On distingue deux groupes : les pouzzolanes naturelles et les pouzzolanes artificielles.

➤ Les pouzzolanes naturelles :

Les pouzzolanes naturelles sont généralement d'origine volcanique. Elles sont constituées naturellement par des matériaux aux propriétés pouzzolaniques qui peuvent être améliorées par un traitement approprié.

➤ Les pouzzolanes artificielles :

Les pouzzolanes artificielles sont des matériaux, qui après un traitement approprié en particulier thermique possèdent une activité pouzzolanique.

Exemples de pouzzolanes naturelles : les tufs volcaniques, les roches sédimentaires siliceuses, lapillis, ponces, scories...

Exemples de pouzzolanes artificielles : les cendres de balles de riz, les laitiers de haut fourneau, ...

1.3 Mode de formation de la pouzzolane naturelle [2]

La pouzzolane appartient à la famille des roches éruptives. Les roches éruptives proviennent de la consolidation de magma. Le magma générateur de ce produit est une masse en fusion qui contient en proportion notable des gaz dissous du fait de la pression. Le jeu des failles et des fissures permet dans un premier temps au magma de se trouver une issue : il se produit une détente de gaz, qui se traduit par la formation de bulles. Dans un deuxième temps, ce jeu contribue à l'ascension vers la surface du magma, au sein duquel s'individualisent les gaz et la lave. La lave est expulsée en surface sous forme de coulées ou de projection. Les pouzzolanes appartiennent à ce dernier.

Les éruptions volcaniques caractérisées par des explosions violentes projettent des débris de toutes grandeurs. Les matériaux plus fins, constitués de cendres, peuvent être transportés par le vent et tomber en pluie, loin du centre d'émission, c'est le cas des pouzzolanes.

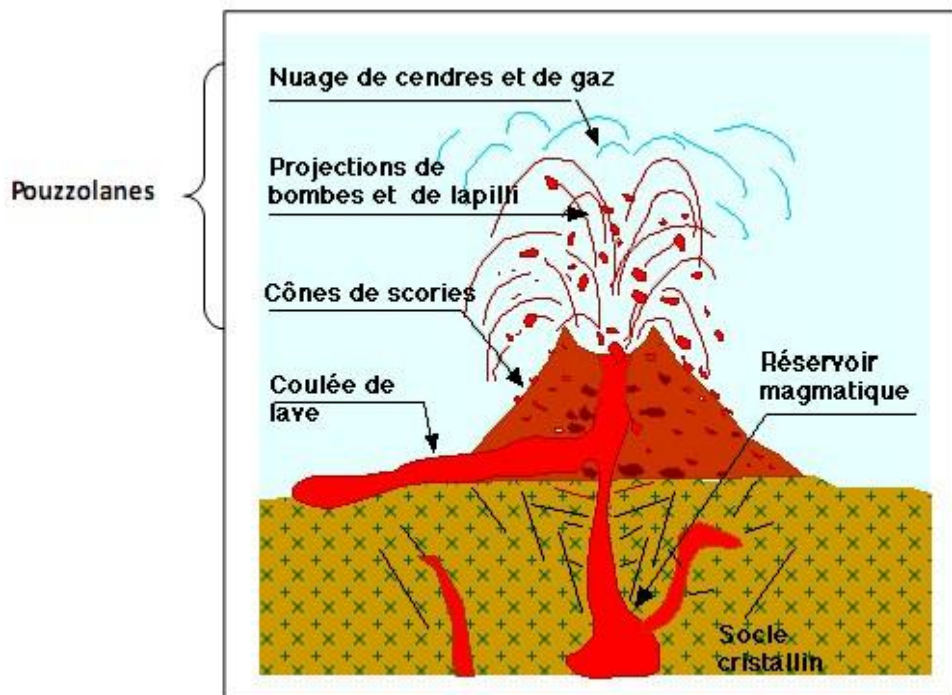


Figure 2 : Formation des Pouzzolanes [11]

D'après leur taille, on distingue les cendres (<2 mm), des lapillis (2 à 64 mm) et des blocs ou des bombes (>64 mm).

1.4 Gisements des pouzzolanes [3]

A Madagascar, les pouzzolanes naturelles se trouvent dans les régions suivantes :

Massif d'Ambre ;

Ile de Nosy-Be ;

Massif de l'Itasy ;

Massif de l'Ankaratra ;

Massif de l'Ankaizina.

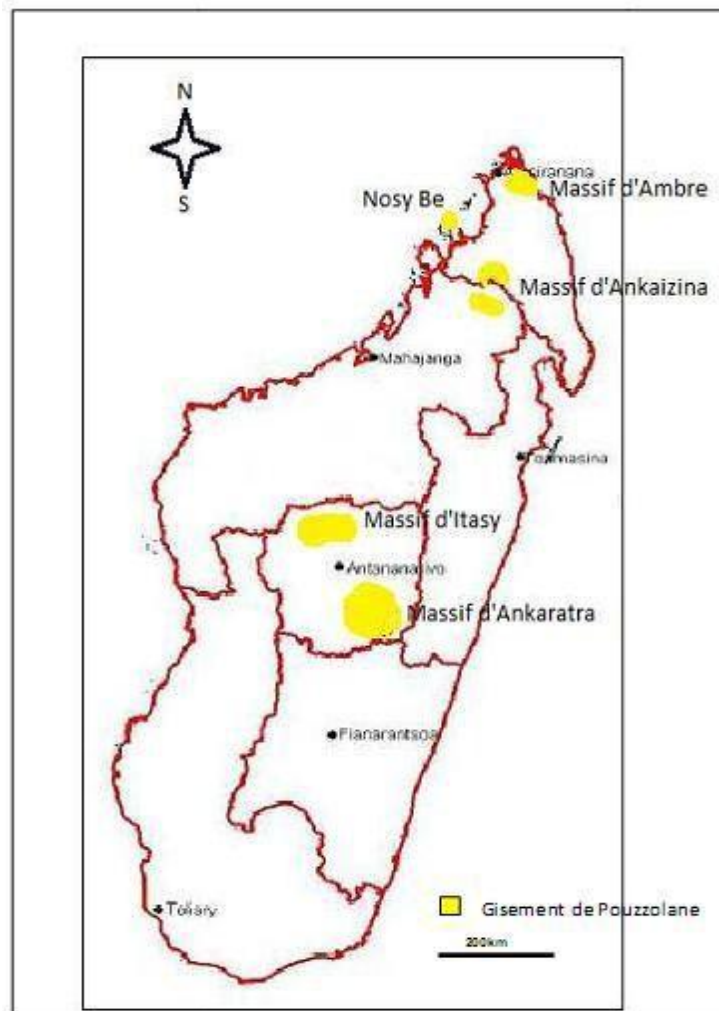


Figure 3 : Les gisements de pouzzolanes à Madagascar [3]

1.5 Caractéristiques des pouzzolanes [4]

1.5.1 La couleur

La pouzzolane a une couleur qui varie généralement du noir au rouge (rouge brique à brun foncé), marron à gris, exceptionnellement jaune.

Cette couleur est liée au rapport des pourcentages pondéraux des oxydes ferreux et ferriques, soit : $f = \frac{FeO}{Fe_2O_3}$

Si $f < 0,02$: la coloration est uniformément rouge pour les matériaux réduits à l'état des fines;

Si f est voisin de 0,10 : la coloration vire au brun

Si f atteint 0,27 : les produits sont uniformément noirs.

1.5.2 Les compositions chimiques

Le tableau suivant donne la composition moyenne de la pouzzolane

Tableau 1 : Composition chimique moyenne de la pouzzolane [1] :

Eléments majeurs	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
Teneurs maximales	40-42%	15-30%	10-15%

Ce tableau qui présente la composition chimique moyenne montre que les éléments majeurs constituant les pouzzolanes sont le Silicium, l'Aluminium et le Fer. Mais c'est la silice qui domine en quantité par rapport aux autres.

1.6 Quelques propriétés de la pouzzolane naturelle [2]

- La densité varie en fonction de la granulométrie (les éléments les plus fins sont les plus denses). A l'état brut, ces matériaux présentent une densité supérieure à 1, exception faite des granulométries grossières (au-delà de 10 à 20 mm) ;

- La structure alvéolaire des pouzzolanes et leur porosité confèrent à ces matériaux une capacité d'absorption d'eau (20 à 30% de leur poids sec) et d'isolation thermique et /ou phonique.
- En ce qui concerne leur comportement thermique, la pouzzolane a une température moyenne de fusion 1140°C et présente une mauvaise conductibilité thermique.

1.7 Effet de la température sur les pouzzolanes naturelles [3]

Par chauffage, il se produit d'abord un changement de la stabilité, par perte des constituants volatiles et formation d'une masse poreuse, puis un affaissement de la structure à plus haute température. La formation de la masse poreuse se produit dans le domaine de température compris entre 550°C et 980°C. L'activité pouzzolanique maximale est acquise entre 550°C et 870°C. L'effet de la température sur la pouzzolane dépend non seulement de la composition minéralogique ou chimique mais encore de la durée de traitement.

1.8 Principales applications industrielles [3]

Les pouzzolanes sont des granulats légers utilisés dans différents secteurs industriels du fait de leurs propriétés liées à leur composition chimique, leur faible densité et leur forte porosité que leur confère leur structure alvéolaire.

Les principaux usages sont les suivants :

Viabilité : construction de terrains de sport et structuration des chaussées, recouvrement de câblages et de canalisations souterrains, décoration ;

Bâtiments : fabrication de bétons légers, de blocs légers (parpaings), moellons, murs et cloisons ; constitution de couches sous dalle et sous carrelage, etc...

Agriculture : drainage, amendement des sols et substrats de cultures ;

Assainissement : systèmes de filtres d'eau potable, plateaux absorbants et lits bactériens des stations d'épuration, filtre de fosses septiques, traitement biologique des eaux usées.

CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES EAUX USEES

L'utilisation des eaux engendre un nouveau produit appelé effluent ou eau usée. Les problèmes liés aux eaux usées sont aussi anciens que ces eaux elles-mêmes et ils s'aggravent suivant la croissance démographique, l'amélioration de la qualité de vie des populations et le développement des activités industrielles.

2.1 Définition [6], [7]

Les eaux usées sont des eaux chargées de polluants, solubles ou non, provenant essentiellement de l'activité humaine. Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels.

2.2 Types des eaux usées [6], [7]

On distingue d'abord trois grandes catégories d'eaux usées : les eaux usées domestiques, les eaux usées industrielles, les eaux usées agricoles.

2.2.1 Les eaux domestiques :

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau. Elles sont essentiellement porteuses de pollution organique. Elles se répartissent en eaux ménagères, qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques et en eaux "vannes". Il s'agit des rejets des toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux.

2.2.2 Les eaux usées industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient selon le type d'industrie concernée (chimique, pétrochimique, pharmaceutique, minière, sidérurgique, mécanique, électronique, textile, agroalimentaire ...) En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des

produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures. Il faut connaître les procédés de fabrication et le circuit des réactifs et des produits pour déterminer la nature et la composition des polluants. Il est évident que les effluents déversés sans traitement approprié entraînent des changements indésirables dans le milieu récepteur.

A Madagascar, parmi les grandes industries polluantes, l'industrie textile occupe une place suffisamment importante.

2.2.3 Les eaux usées agricoles :

L'agriculture, l'élevage, l'aquaculture et l'aviculture sont responsables du rejet de nombreux polluants organiques et inorganiques dans les eaux de surface et souterraines. Ces contaminants comprennent à la fois des sédimentations provenant de l'érosion des terres agricoles, des composés phosphorés ou azotés issus des déchets animaux et des engrais commerciaux, notamment les nitrates. La modernisation de l'agriculture et son intensification ont été généralement accompagnées d'une utilisation abusive et non réactionnelle des engrais azotés.

Les pesticides utilisés en agriculture pour protéger les cultures et les récoltes contre les insectes prédateurs afin d'augmenter les rendements sont aussi une source de contaminants. Par ailleurs la plupart des pesticides ne sont pas biodégradables.

2.3 Caractéristiques des eaux usées [8]

Dans ce sous chapitre nous passerons en revue les principaux paramètres physico-chimiques analysés au cours de la partie expérimentale ainsi que les paramètres biologiques et bactériologiques les plus rencontrés dans les eaux usées.

2.3.1 Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques sont tous les éléments physiques ou chimiques constitutifs de la structure naturelle de l'eau et que l'on doit éventuellement prendre en compte lors de son analyse.

➤ **La température**

Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation des sels dissous donc sur la conductivité électrique, dans la détermination du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels, etc.

Elle est exprimée en °C.

➤ **Le pH**

La mesure du pH permet de savoir l'acidité ou la basicité de l'eau.

➤ **La conductivité**

La conductivité est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations.

L'unité de la conductivité est le siemens par mètre (S/m).

➤ **La turbidité**

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence des matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les limons, les grains de silice et les microorganismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale.

L'unité est NTU (Nephelometric Turbidity Unit).

➤ **Les matières en suspension (MES)**

La pollution particulaire est due à la présence de particules de grande taille, supérieure à 10µm, en suspension dans l'eau, et que l'on peut assimiler aux matières en suspension (MES). En fonction de la taille des particules, on distingue les matières grossières ou décantables (diamètre supérieur à 100 µm) et les matières en suspension.

On peut également prendre en compte une partie des matières colloïdales, de dimension inférieure, qui constituent la limite entre la phase solide et la phase dissoute (entre 1 et 10⁻² µm).

2.3.2 Paramètres biologiques

➤ **DCO**

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelque soit leur origine organique ou minérale.

La DCO est la concentration, exprimée en mg.L^{-1} d'oxygène équivalente à la quantité de dichromates consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par la norme.

➤ **DBO₅**

La demande biochimique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène, exprimée en milligramme, qui est consommée dans les conditions de l'essai, c'est-à-dire après incubation pendant 5 jours à 20°C et à l'obscurité ; par certaines matières présentes dans un litre d'eau, pour assurer leur dégradation par voie biologique.

Pratiquement, la demande biochimique en oxygène devrait permettre d'apprécier la charge du milieu considéré en substances putrescibles, son pouvoir auto-épurateur et d'en déduire la charge maximale acceptable, principalement au niveau des traitements primaires des stations d'épuration.

2.3.3 Paramètres microbiologiques

Les eaux usées contiennent de nombreux germes (champignons, amibes, protozoaires, bactéries, virus) dont certains sont pathogènes ; le rejet des eaux usées dans le milieu naturel fait courir ainsi un risque pour la santé. Les bactéries sont couramment recherchées dans l'eau, principalement comme témoins de contamination fécale.

Les principaux microorganismes indicateurs de contamination fécale des eaux usées sont :

L'*Escherichia coli* qui a une haute spécificité diagnostique, sa présence dans une eau est le signe de contamination par des excréta humains ou animaux.

Les Coliformes totaux se présentent sous forme de points jaune, capables de croître en aérobiose à 30°C.

Les Anaérobies Sulfito-Réductrices (ASR) se présentent sous forme de point noir avec auréoles noires, sa présence marque la contamination par des matières fécales humaines ou animales et /ou des matières organiques en voie de purification.

Les Streptocoques fécaux sont des bactéries en chaînette. Ce sont des matières fécales humaines et animales. Ils sont extrêmement résistants aux agents chlorés.

2.4 Différents types de pollution de l'eau [6], [7], [12]

La pollution de l'eau est une modification néfaste des eaux causée par l'ajout de substances susceptibles d'en changer la qualité, l'aspect esthétique et son utilisation à des fins humaines.

L'origine de la pollution de l'eau est multiple. Les polluants sont notamment les microorganismes pathogènes, les matières organiques, les nutriments, les métaux lourds et les produits chimiques toxiques. Ces agents polluants peuvent être d'origine organique, physique, chimique ou biologique, et provoquer une gêne, une nuisance ou une contamination.

2.4.1 Pollution organique

Les matières organiques ont longtemps été les principaux polluants des milieux aquatiques. Elles proviennent des déchets domestiques (les ordures ménagères, les excréments), de l'agriculture (lisiers ou urines) ou de l'industrie (agroalimentaire, textile ...).

2.4.2 Pollution microbienne

Elle est une autre forme de pollution organique. En effet, les déchets tels que les excréments contiennent des germes dits pathogènes comme les virus et les bactéries.

Par ailleurs, certaines bactéries sont véhiculées par l'eau. Ces germes peuvent provoquer de graves maladies comme le choléra.

2.4.3 Pollution thermique

Elle correspond à l'augmentation ou à la diminution de la température de l'eau par rapport à la normale. Cette pollution affecte le milieu aquatique, sur les algues par exemple, on peut observer de fortes proliférations ou un taux de mortalité important. Ce type de pollution est lié particulièrement à l'industrie.

2.4.4 Pollution chimique

Elle est majoritairement caractérisée par la pollution azotée et phosphorée. Elle est généralement due aux activités agricoles et industrielles. Leur toxicité varie selon la nature de la substance et sa concentration.

CHAPITRE 3 : GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES EAUX USEES

Les méthodes de traitement des eaux usées sont diverses et peuvent être classées en deux catégories : les traitements physicochimiques et les traitements biologiques

3.1 Traitements physico-chimiques [7], [8], [9]

3.1.1 Les prétraitements

Les eaux brutes subissent à l'arrivée dans une station d'épuration un certain nombre d'opérations mécaniques ou physiques destinées à extraire le maximum d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour un traitement ultérieur.

Les opérations de prétraitement sont les suivantes (une station de traitement peut comporter une ou plusieurs de ces opérations selon son importance et la qualité de l'eau brute) : le dégrillage, le dessablage, le dégraissage et déshuilage, le tamisage.

3.1.2 Traitement physico-chimique : Coagulation – Flocculation

Cette étape concerne l'élimination des colloïdes dans l'eau.

➤ Coagulation

La coagulation consiste à déstabiliser les particules par action de réactif chimique qui annule les forces répulsives ou agissent sur l'hydrophile des particules colloïdales.

➤ Flocculation

La flocculation est l'agglomération des particules « déchargées » en microflocs puis en flocs plus volumineux décantables.

Cette flocculation peut être améliorée par ajout d'un autre réactif : le floculant (polymères de synthèse en général).

3.1.3 Décantation

La décantation permet le dépôt des particules en suspension dans l'eau. Ces particules peuvent résulter de la coagulation-floculation ou elles sont déjà existées dans l'eau.

3.1.4 Filtration

Le principe de la filtration consiste à faire passer le mélange solide liquide à travers un support filtrant. Les particules solides sont retenues par la surface du filtre et le liquide lui passe à travers. Si les matières en suspension à retenir ont une dimension supérieure à celle des pores, elles sont retenues à la surface du filtre, la filtration est dite en surface ou en gâteau ou encore en support. Dans le cas contraire, les matières sont retenues à l'intérieur de la masse poreuse, la filtration est dite en volume ou en profondeur ou encore sur lit filtrant.

3.2 Le traitement biologique [7], [8], [9]

L'élimination des matières organiques implique le recours à des traitements biologiques qui font intervenir des organismes vivants, essentiellement des bactéries. Ces traitements sont basés sur la capacité des micro-organismes à oxyder les matières minérales et les matières constitutives de la DCO et de la DBO d'une part (aérobiose), et à réduire d'autre part les molécules comportant de l'oxygène : NO_3 , SO_4 et CO_2 . Ils vont permettre ainsi d'éliminer la pollution soluble biodégradable et une partie des MES. Ce traitement fait intervenir le principe du lit bactérien ou de lagunage.

3.2.1 Traitement par lit bactérien

L'épuration des eaux par lit bactérien est une méthode biologique par cultures fixées. Ce système est le plus souvent utilisé pour les eaux très chargées provenant d'industries agroalimentaires, textiles ou autres...

Cette technique consiste à faire supporter les microorganismes épurateurs par des matériaux poreux ou caverneux et inertes appelés garnissage. Dans les lits bactériens (ou filtres bactérien ou bio-filtre), la masse active des micro-organismes se fixe sur des supports poreux inertes ayant un taux de vide d'environ 50 % (minéraux,

comme la pouzzolane et le coke métallurgique, plastiques, les roches volcaniques, les cailloux) à travers lesquels on filtre l'effluent à traiter. L'eau à traiter est dispersée en tête de réacteur et ruisselle par gravité au sein des porosités du garnissage. Lorsque la pellicule bactérienne devient trop importante, elle se détache naturellement ; elle doit alors être séparée de l'effluent par décantation. Les bactéries présentes assurent ainsi la dégradation de la pollution carbonée et partiellement de la pollution azotée. La circulation de l'air s'effectue naturellement ou par ventilation et apporte l'oxygène nécessaire aux bactéries.

3.2.2 Traitement par lagunage ou la phytoépuration

L'épuration par lagunage consiste à faire passer les effluents des eaux usées brutes ou prétraitées dans un bassin naturel. La pollution est alors dégradée par l'activité bactérienne, l'activité photosynthétique et l'assimilation des substances minérales. Il permet une épuration à charges organique élevées, une bonne élimination de l'azote et du phosphore, ainsi qu'une faible production de boues en excès, mais nécessite des superficies importantes et un contrôle d'exploitation rigoureux.

3.2.2.1 Le principe général de lagunage

Cette filière d'épuration s'appuie sur le pouvoir épurateur des végétaux aquatiques : algues, hydrophytes (plantes d'eau libre) et héliophytes (plantes du bord des eaux).

Tous les lagunages appliquent le principe suivant : après une première décantation, les eaux usées traversent des bassins de lagunage plantés ou non.

L'épuration s'effectue par les plantes et par les micro-organismes fixés sur leurs racines et sur des substrats (sable, pouzzolane...), grâce à l'effet filtrant du sol. Dans certains types de lagunes, les conditions aérobies et anaérobies se succèdent ou coexistent, ce qui permet d'obtenir un bon rendement d'épuration des nutriments (azote et phosphore).

3.2.2.2 Les différents systèmes de lagunage

- **Le lagunage à microphytes (lagunage naturel)**

Un lagunage naturel est un procédé de traitement biologique des eaux usées se faisant dans des bassins où est maintenue une tranche d'eau de 0,8 à 1,5 m. Les microphytes qui sont des algues, les petits animaux (protozoaires, rotifères, crustacés) et les bactéries en présence d'oxygène, vont transformer les charges polluantes.

Le fonctionnement de ce système repose sur l'action combinée des algues unicellulaires et des bactéries. Grâce au rayonnement lumineux, les algues produisent de l'oxygène qui permet la respiration et le développement des colonies bactériennes. Les bactéries ainsi que certains champignons microscopiques dégradent la matière organique en azote ammoniacal. Celui-ci, dans un milieu bien oxygéné, se transforme en nitrates assimilables par les algues, tout comme les phosphates qui proviennent en majeure partie des eaux de lessives. Les algues se multiplient alors dans le milieu et ainsi de suite.

- **Le lagunage à macrophytes (phytoépuration)**

Dans ce système, l'eau est appante : 30-40 cm d'eau au-dessus d'un substrat composé le plus souvent de pouzzolane ou de sable dans lequel sont repiqués les végétaux aquatiques. Ce système nécessite une superficie suffisamment grande : 10-12 m² par usager.

Les eaux usées séjournent simplement dans une série de bassins à ciel ouvert peuplés de végétaux aquatiques. Le roseau (ou phragmite) et autres plantes vigoureuses ont été largement utilisés à cet effet sous le nom de « macrophytes ». Ces derniers consomment les composés polluants dissous dans l'eau (azote et phosphore) qui constituent pour eux des éléments nutritifs. Par ailleurs elles servent de supports à de nombreux organismes microscopiques algues et bactéries qui font le gros du travail.

Les végétaux fixent les colonies de bactéries sur la base de leurs tiges et leurs rhizomes (tiges souterraines), ce qui améliore les performances des organismes épurateurs.

Par ailleurs, ils absorbent par leurs racines une partie (10 % environ) des sels minéraux nitrates et phosphates issus de la décomposition de la matière organique présente dans les eaux usées.

Partie 2 : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE

Au cours de ce travail, nous avons fait l'étude avec les eaux usées de la société Epsilon.

1.1 SOCIETE EPSILON : données générales

La société Epsilon, créée en 1992, est une société textile, regroupée dans le « Text'Ile Mada Group ». C'est une des premières entreprises franches à Madagascar, avec un effectif de 1800 personnes.

Son activité se concentre sur la confection de vêtements sportswear, vêtements étanches et vêtements images.

Cette société se trouve à Amboropotsy Talatamaty dans la route nationale RN4, à 12 Km de la ville d'Antananarivo avec une superficie de 15000m². Sa station de traitement des eaux occupe une superficie d'environ 120m². Le traitement suit plusieurs procédures selon la nature de l'eau à traiter car cette société a deux types de traitement dans cette station d'épuration : l'eau du lac d'Andranotapahana utilisée par la société parce qu'elle n'utilise pas l'eau de la JIRAMA et l'eau usée issue de la laverie.

1.2 TRAITEMENT DES EAUX USEES DE LA SOCIETE EPSILON

Le traitement peut être divisé en quatre grandes étapes :

- Prétraitement
- Traitement physico-chimique
- Traitement biologique
- Phyto-traitement

La figure suivante donne le schéma global de cette station d'épuration

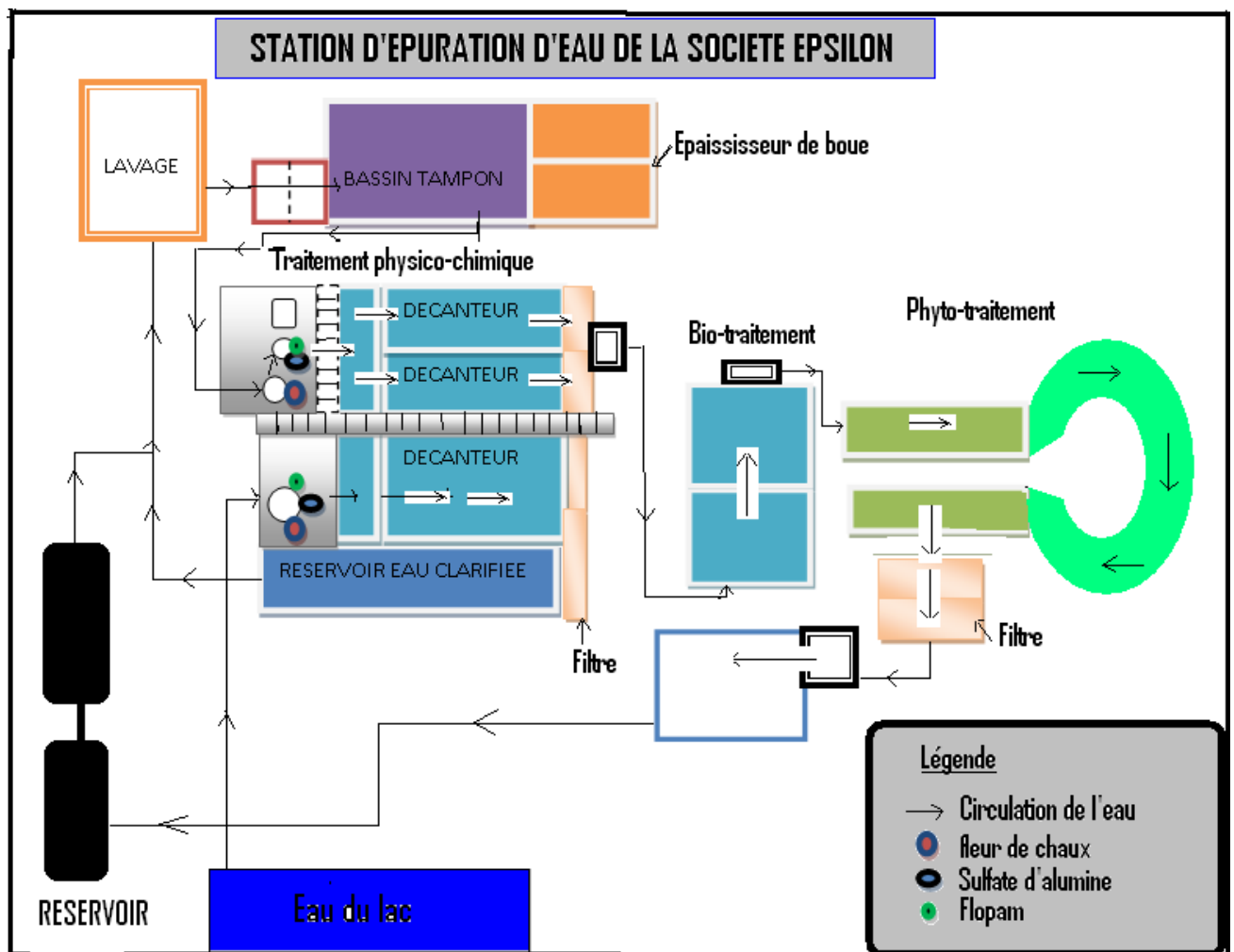


Figure 4 : Schéma de la station d'épuration d'eau de la société Epsilon [5]

1.2.1 Prétraitement

Pour la société Epsilon, le prétraitement est basé sur le dégrillage. Cette étape consiste à filtrer et vérifier les gros déchets venant de la laverie.

1.2.2 Traitements physico-chimiques

Le traitement suit les étapes suivantes :

- Coagulation-floculation
- Décantation
- Filtration

Les réactifs utilisés lors de ce traitement sont :

- le FLOPAM AN 956
- Chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$
- Chlore Cl_2
- Sulfate d'Alumine Al_2SO_4

Caractéristiques des produits chimiques

- FLOPAM AN 956 :

Le FLOPAM AN 956 est un polyacrylamide anionique et non-ioniques sous forme d'une poudre blanche utilisé pour la production d'eau potable. Il a une forte densité de charge et de très haut poids moléculaire. Sa température de stockage est entre 0 à 35°C et sa concentration d'utilisation est de 3g/l. Il fait en sorte pour que les matières de suspension flottent pendant le traitement physico-chimique, plus particulièrement à la coagulation-floculation.

- Chaux :

Le nom commercial de la Chaux est Fleur de Chaux Ventilée (FCV) ; son nom chimique et sa formule chimique est Hydroxyde de calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$. C'est une poudre blanche ou granulée, sans odeur et soluble dans l'eau (à 20°C : 1.25Kg/m³). Elle provoque un danger sérieux pour l'homme, en cas de contact avec les yeux, elle peut causer un risque des lésions oculaires graves donc il faut porter un appareil de protection des yeux mais elle n'est pas toxique. La fleur de chaux réagit avec de l'eau et forme une base.

- Chlore :

Le chlore a une formule chimique Cl_2 , de forme solide de diamètre d'environ 1mm, de couleur blanche, son odeur est suffocante et sa solubilité dans l'eau est de 8620mg/l. En contact avec la peau et les yeux, il peut causer des brûlures de la peau et de la cornée.

- Sulfate d'Alumine :

Comme son nom l'indique, il est formé par la combinaison de deux cations d'alumine et trois anions de sulfate, donc il a pour formule chimique $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Le sulfate d'alumine est utilisé pour le traitement d'eaux usées. Il a un aspect solide, inodore, de couleur blanche, sa solubilité dans l'eau est égale à 630g/l à une température d'environ 20°C.

1.2.3 Traitement biologique

Le traitement biologique de l'industrie Epsilon comprend deux bassins de bio-traitement en série de même volume, constitué de filtre à pouzzolane. Le traitement se fait en aérobie, c'est-à-dire en présence de l'oxygène. A vue d'œil, le premier bassin contient beaucoup d'algues car l'eau qui passe dans ce bassin renferme beaucoup d'effluents, donc les algues se développent très vite. Par contre, le deuxième contient moins d'algues parce que l'eau qui passe dans celui-ci est à peu près moins chargé d'effluents. Dans ces bassins, on voit des poissons qui montrent que l'eau n'est pas toxique et qu'elle est vivable.

Les photos ci-dessous montrent les bassins de traitement biologique



Figure 5 : Les bassins de la station de traitement



Figure 6 : Le premier bassin à pouzzolane



Figure 7 : Le deuxième bassin à pouzzolane

L'eau arrive dans ces bassins à l'aide des tuyaux munis d'un robinet pour régulariser le débit de l'eau à traiter.



Figure 8 : Entrée de l'eau dans le bassin

Après un séjour de cinq heures dans les bassins, l'eau arrive ensuite dans le regard du traitement biologique avant d'être versée dans le phyto-traitement. Ce regard a pour rôle de vérifier la valeur de pH après son passage dans le filtre biologique à pouzzolane.



Figure 9 : Regard du traitement biologique

1.1.2.4 Phyto-traitement

Le traitement tertiaire ou Phyto-traitement, c'est une épuration plus poussée par de faune (poissons) et flore aquatique (le vétiver et la jacinthe d'eau). Il consiste à enlever les restes des polluants pendant les deux traitements précédents.

Voici donc les différentes étapes à suivre pendant ce traitement :

Le bassin est formé d'un filtre vertical de forme rectangulaire, composé de sable et d'une culture de Vétiver. Le vétiver est une plante aquatique, elle absorbe les matières en suspensions filtrées par le sable.

Après le passage dans le filtre rectangulaire, elle suit un autre filtre de forme arrondie composé d'un filtre horizontal à pouzzolane. Avant d'arriver à ce filtre, on voit de jacinthe d'eau à la surface espacée de 1m et des poissons. La jacinthe d'eau est

également une plante aquatique, elle peut absorber les matières en suspensions. Les poissons montrent que l'eau n'est pas toxique et qu'elle est vivable.

Le traitement se termine dans un bassin rectangulaire séparé en deux parties. L'une est composée d'une succession des plantes immergées et émergées, de distance d'1m et l'autre est placée après le filtre, où l'eau est presque traitée. L'eau est alors déversée vers le milieu récepteur ou elle va directement dans le réservoir de stockage si les paramètres à l'issue de l'eau sont au voisinage de la normale.

1.3 ECHANTILLONS D'EAU A ETUDIER

Dans cette étude, c'est le bio-traitement qui nous intéresse le plus.

L'eau sortant du traitement physico-chimique a encore un peu d'odeur et un peu plus de matières en suspensions, d'où l'intervention du traitement biologique.

Dans le cadre de ce mémoire, l'eau qui fait l'objet de notre étude est l'eau usée issue de la laverie de couleur violette mais qui est devenue incolore après avoir été passée par un traitement physico-chimique. Nous avons prélevé des échantillons de cette eau avant l'entrée et à la sortie des bassins bio-traitement de la société Epsilon :

Echantillon E1 : eau avant l'entrée aux bassins bio-traitement

Echantillon E2 : eau à la sortie des bassins bio-traitement

Notre objectif est de voir l'efficacité du traitement biologique des eaux usées, avec de la pouzzolane.

CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES D'ETUDE

D'abord, nous allons voir dans ce paragraphe les paramètres avec les méthodes d'analyse de l'eau pour voir l'efficacité du traitement biologique de l'eau usée de l'industrie Epsilon avec de la pouzzolane utilisée comme bio-filtre. Ces analyses ont été faits au laboratoire de la JIRAMA à Mandroseza.

2.1 Analyses physiques

Les analyses physiques sont effectuées à l'aide des instruments de mesure et lecture directe des résultats.

➤ **Mesure du pH**

La mesure du pH permet de savoir l'acidité ou la basicité de l'eau. Elle est effectuée par la méthode potentiométrique.

Appareil utilisé : pH-mètre

Résultat : pH = lecture directe sur l'écran de l'appareil

➤ **Mesure de la conductivité**

La mesure de la conductivité se fait en plongeant l'électrode dans l'eau à analyser et la laisser pendant environ dix minutes. Les résultats sont lus sur l'écran du conductimètre.

Appareil utilisé : Conductimètre (vérification : Constante de la cellule : $0,475 \text{ cm}^{-1}$ et température de référence : 20°C lors de l'allumage)

Résultat : Conductivité = lecture directe (unité : $\mu\text{S/cm}$)

➤ **Température de l'eau**

La conductivité est en fonction de la température de l'eau. La température est mesurée en même temps que la conductivité avec le même appareil.

Appareil utilisé : Conductimètre (vérification : Constante de la cellule : $0,475\text{cm}^{-1}$ et Température de référence : 20°C lors de l'allumage)

Résultat : T° = lecture directe (unité : $^{\circ}\text{C}$)

➤ **Minéralisation totale de l'eau**

Cette mesure permet d'avoir le taux total des éléments minéraux dans l'eau à analyser.

Appareil utilisé : Conductimètre (vérification : Constante de la cellule : $0,475\text{cm}^{-1}$ et Température de référence : 20°C lors de l'allumage)

Résultat : TDS = lecture directe après avoir changé option en TDS (unité mg / l)

➤ **Turbidité**

C'est la mesure de la transparence du liquide ; plus la turbidité est faible, plus l'eau est propre (aspect : limpide)

Appareil utilisé : Turbidimètre

Résultat : Turbidité = lecture directe (unité NTU : Nephelometric Turbidity Unit)

➤ **Matières en suspension (MES)**

La méthode de détermination des matières en suspension est basée sur la méthode par filtration sur disque en fibre de verres de porosité $12\text{ }\mu\text{m}$. Cette filtration est suivie par un séchage dans une étuve à 105°C pendant deux heures et pesage du filtre.

Les matières en suspension sont calculées selon la formule suivante :

$$\text{MES (mg/l)} = \frac{M_1 - M_0}{V}$$

Avec **V** : le volume en ml de la prise d'essai de l'échantillon ;

M₀ : la masse de la membrane en mg avant l'analyse ;

M₁ : la masse de la membrane en mg après analyse.

2.2 Analyses chimiques

Les analyses chimiques se particularisent par l'utilisation de divers réactifs chimiques (catalyseur, indicateur coloré, ...) et aussi des appareils pour faciliter la lecture des résultats. Ces analyses chimiques ont été catégorisées en deux : analyse colorimétrique et volumétrique (différent de l'autre par l'utilisation d'une solution titrante)

2.2.1 ANALYSE VOLUMETRIQUE

Principe

L'analyse consiste à ajouter dans la solution à analyser différents réactifs correspondant au paramètre recherché et à titrer cette solution par un autre réactif neutralisant ceux présent dans la solution. Le résultat correspond au volume de solution versée après virage de l'indicateur coloré.

➤ **Chlorures : Méthode de Mohr**

Le nitrate d'argent précipite les chlorures sous forme de AgCl_2 .
La fin de la réaction est repérée par l'apparition de la teinte rouge brique du chromate d'argent (début du virage).

Nous avons pris 100ml des échantillons. Nous avons ajouté ensuite 3 à 5 gouttes de K_2CrO_4 . Et, nous avons titré avec AgNO_3 jusqu'au virage au rouge brique.
Soit V le volume de AgNO_3 versé :

$$\text{Cl}^- (\text{mg/l}) = V (\text{ml}) \times 35,5$$

2.2.2 MESURE SPECTROPHOTOMETRIQUE

➤ **Ammonium :**

L'ammoniaque traduit en général la dégradation incomplète des matières organiques présentes dans l'eau et peut avoir pour origine les matières végétales, les matières organiques animales et/ou humaines, les rejets industriels (engrais – textiles).

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate, qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium traités par une solution d'hypochlorite de sodium et de phénol donne du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique.

Toute la verrerie doit être lavée avec une solution d'acide chlorhydrique à 5%, rincée à l'eau désionisée ou fraîchement distillée.

L'opération suit les étapes suivantes :

Nous avons prélevé 25ml des échantillons, puis nous avons ajouté 1ml de solution de phénol, 1ml de solution de nitroprussiate et enfin 2,5ml de solution oxydante. Après agitation énergique, nous avons laissé reposer pendant une heure.

Nous avons fait la lecture au spectrophotomètre à 640nm avec le code NH49 qui donne directement la concentration de NH_4^+ en mg/l.

Préparations de la solution oxydante

La préparation de la solution oxydante dépend du nombre des échantillons à analyser. Cette solution est composée de 1/5 d'eau de javel et 4/5 de citrate de sodium.

➤ **Nitrites :**

En présence de phénol et d'acide sulfurique, les ions ammonium forment avec les nitrites un complexe de coloration jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites.

D'abord, nous avons pris 50ml des échantillons puis nous avons versé dans chaque bécher une goutte de H_3PO_4 et 1 ml de réactif coloré. Nous avons laissé reposer 15mn.

La lecture se fait au spectrophotomètre à 540nm avec le code Ni16 qui donne la concentration de NO_2^- en multipliant par 3,29.

$$NO_2^- (\text{mg/l}) = \text{Ni16} (NO_2^-) \times 3,29$$

Autre méthode :

-Utiliser 50ml de l'eau à analyser, puis on ajoute 2ml de Zambelli et 2ml d'ammoniaque 28%.

La lecture se fait au spectromètre avec le code Nitz donne la concentration de NO_2^- en multipliant par 3,29

$$\text{NO}_2^- (\text{mg/l}) = \text{Nitz} (\text{NO}_2^-) \times 3,29$$

➤ **Nitrates:**

Les nitrates forment avec l'acide sulfosalicylique (formé par l'addition de salicylate de sodium et acide sulfurique) un dérivé qui, en milieu alcalin, donne une coloration jaune stable.

L'opération pour déterminer la concentration de nitrates dans l'eau suit les étapes suivantes :

- Prélever 10ml d'eau à analyser puis ajouter 1ml de salicylate 0,5%
- Ajouter une goutte de NaOH 3N puis sécher à l'étuve à une température de 180°C
- Après séchage, ajouter 2ml de H_2SO_4 concentré ,15ml d'eau distillée et enfin 15ml de salicylate tartrate de Na de NaOH et de K.

Lecture au spectrophotomètre à 540nm avec le code Nats donne :

$$\text{NO}_3^- (\text{mg/l}) = \text{Nats} (\text{NO}_3^-) \times 4,43$$

➤ **Sulfates:**

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de " TWEEN 20 " ou de polyvinyl-pyrrolidone des suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre.

Mode opératoire :

- Utiliser 20ml d'eau à analyser
- Ajouter 0,5ml d'HCl puis 2,5ml chlorure de baryum BaCl_2
- Agiter énergiquement et laisser reposer 15mn.
- Faire la lecture à 650nm au spectrophotomètre. Cela donne directement :

$$\text{SO}_4^{2-} (\text{mg/l}) = C^\circ$$

2.2.3 ANALYSE COLORIMETRIQUE

➤ **Dosage du fer total**

En milieu ammoniacal, le diméthylglyoxime donne en présence du fer Fe^{2+} , un complexe de coloration rose dont l'intensité est fonction croissante de la concentration.

Mode opératoire :

- Prélever 100 ml d'eau
- Ajouter 1 jauge de dithionite de sodium. Agiter jusqu'à dissolution du réactif.
- Ajouter 16 à 20 gouttes (2ml) de diméthylglyoxime. Agiter. Attendre 2 mn.
- Ajouter encore 16 à 20 gouttes (2ml) d'ammoniaque. Agiter. Attendre 2 mn.
- Comparer la couleur de cette solution avec celle des plaquettes étalons.
- Lire la teneur en fer correspondante en mg/l.

2.3 Analyses biologiques

➤ **Demande chimique en oxygène (DCO)**

Le principe de la méthode de mesure est de mettre les échantillons à analyser à l'ébullition en milieu acide, en présence d'une quantité connue de dichromate de potassium, de sulfate d'argent jouant le rôle de catalyseur d'oxydation. La détermination de l'excès de bichromate est effectuée par titrage sel de Mohr.

Dans chaque fiole, 10 ml des échantillons et 10 ml d'eau distillée (pour le blanc) sont mélangés à 5 ml de dichromate de potassium et à 15 ml de sulfate d'argent. Le mélange est placé dans le thermoréacteur pendant 2 heures. Ensuite, les fioles sont retirées et laissées se refroidir en ajoutant 75ml d'eau distillée et 5 gouttes de ferroïne. Enfin, chaque fiole est titrée avec le sel de Mohr jusqu'à la formation d'une coloration rouge brique.

Le taux de DCO se calcule par la formule suivante :

$$\text{DCO} = \frac{8000.C.(V_1 - V_2)}{V_0}$$

C : la concentration exprimée, en mol/l, de sel de Mohr (5g/l)

V₀ : le volume, en ml, de l'échantillon

V₁ : le volume, en ml, de sel de Mohr pour l'essai à blanc

V₂ : le volume, en ml, de sel de Mohr utilisé pour la détermination

8000 : la masse molaire, en milligrammes par litre, de 1/2 O₂

➤ **Demande biochimique en oxygène (DBO)**

La demande biochimique en oxygène est constituée par la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques dégradables par voie biologique (par les bactéries) dans chaque échantillon d'eau.

La mesure de la DBO s'effectue 2 fois, d'abord au plus tard 12 heures après le prélèvement de l'échantillon ensuite 5 jours dans une bouteille d'incubation à 20°C, fermé avec un bouchon muni d'un capteur de pression dans le débéomètre. Pour cela la méthode de dilution est utilisée, elle consiste à diluer l'échantillon dans une quantité d'eau telle qu'à l'issue de la mesure, le taux d'oxygène résiduel reste inférieur à 50% du taux initial.

Pour mieux étudier la DBO, 3 éléments sont tenus en compte : la préparation de l'eau de dilution, le choix du facteur de dilution et la préparation des flacons de mesure.

Pour le résultat, on mesure la variation de l'oxygène dissous au temps 0 et au temps 5 jours.

La relation suivante permet de calculer la valeur de la DBO en mgO₂ /l :

$$DBO_5 = ((P_0 - P_5) - (K_0 - K_5) \times \frac{V}{E})$$

P₀ : concentration d'O₂ dans la dilution de l'échantillon au temps 0 ;

P₅ : concentration d'O₂ dans la dilution de l'échantillon au temps 5 jours ;

K₀ : concentration d'O₂ dans l'eau de dilution au temps 0 ;

K₅ : concentration d'O₂ dans l'eau de dilution au 5 jours ;

V : volume du flacon ;

E : volume d'échantillon utilise pour la préparation de dilution

2.4 Analyses bactériologiques

Préparation d'échantillon d'eau usée à analyser

Le prélèvement d'échantillon d'eau a été effectué à l'aide d'un flacon stérile d'un litre, l'échantillon est ensuite transporté au laboratoire en le maintenant à +4°C dans une glacière. Cent (100) millilitres d'eau à analyser ou 100 ml de ses dilutions décimales sont filtrées à travers une membrane stérile de porosité 0,45 µm et de diamètre 47 mm. La dilution consiste à mélanger des quantités exactes de l'échantillon et de l'eau distillée stérile jusqu'à l'obtention d'une concentration adéquate pour le dénombrement des germes.

Dans notre cas, lors de la filtration sur membrane, nous avons dilué l'échantillon afin de faciliter le dénombrement. Nous avons pris 10ml de l'échantillon et nous l'avons ramené jusqu'à 100ml avec de l'eau distillée.

- **Recherche et dénombrement des Streptocoques fécaux**

La membrane est placée dans une boîte de pétri contenant un milieu de culture de CHAPMAN. Les cultures sont ensuite incubées à 37°C pendant 24 heures. Après incubation, les colonies de couleur violette ou rose sont dénombrées.

- **Recherche et dénombrement de coliformes totaux**

La membrane est déposée dans une boîte de Pétri contenant un milieu de culture de CHAPMAN. Après 18 à 24 heures d'incubation à 37°C, les colonies caractéristiques de point jaune dans la masse du milieu sont dénombrées.

- **Recherche et dénombrement d'*Escherichia coli***

Le genre *Escherichia* fait partie des coliformes fécaux, et est le seul qui soit sans équivoque toujours d'origine matière fécale humaine. Après filtration de l'échantillon, la membrane est placée sur le milieu de culture de CHAPMAN. Ceci permet aux colonies

de Coliformes de se développer pendant un temps d'incubation de 24 heures à 44°C. Les colonies considérées sont les colonies de coloration jaune avec des auréoles jaunes.

- **Recherche et dénombrement des bactéries Anaérobies Sulfito-Réductrices(ASR)**

Pour la recherche des bactéries anaérobies sulfito-réductrices, nous avons versé dans un tube contenant une culture bactérienne de DIENERT et GUILLERD un volume de 10ml de l'échantillon. Le dénombrement est réalisé après incubation à 37°C pendant 24 heures en anaérobiose. Les colonies caractéristiques sont de couleur noire.

Lors du dénombrement, on n'a pas pu compter les germes dans les tubes car ils sont incomptables.

Expression des résultats

Pour tout type de microorganismes et/ou de milieu de culture, les nombres de colonies supérieurs à 300 dans une boîte ont été considérés comme incomptables et n'ont pas été utilisés pour le calcul des résultats. Les résultats ont été exprimés en nombre de colonie par millilitre des échantillons selon la formule suivante :

$$N = \frac{C}{V} \times D$$

N : nombre de colonie/ml

C : nombre de colonies comptés sur la boîte

D : facteur de dilution

PARTIE 3 : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

CHAPITRE 1 : EFFETS DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE AVEC LA POZZOLANE SUR LES QUALITES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DES EAUX USEES

Les qualités physico-chimiques des eaux traitées biologiquement avec la pouzzolane ont été évaluées en considérant les paramètres physiques, chimiques et biologiques. L'approche adoptée consiste à analyser les échantillons d'eau avant et après le traitement.

1.1 Effets du traitement biologique utilisant la pouzzolane sur les paramètres physiques

Le tableau suivant montre les résultats récapitulatifs de la qualité physique des eaux issues du traitement biologique utilisant la pouzzolane comme support des bactéries.

Tableau 2 : Récapitulation des résultats des analyses physiques avant et après le traitement biologique

Paramètres	E1 (Eau avant traitement)	E2 (Eau après traitement)	Norme de rejet industriel
pH	7,45	7,32	6,0-9,0
Conductivité (µs/cm)	1046	811	< 200
Matières en suspension (mg/l)	18	14	< 60
Turbidité (NTU)	105	1	< 25
Température °C	22,7	23	< 30

(Source : Auteur)

Pour les quatre paramètres physiques étudiés c'est-à-dire le pH, la conductivité, les matières en suspension et la turbidité, des différences ont été remarquées entre l'eau avant traitement biologique et l'eau traitée (tableau 1.).

Pour le pH, par rapport à E1 ayant un pH de 7,45 ; une amélioration a été remarquée pour E2 dont la valeur du pH est 7,32.

Pour les matières en suspension, une amélioration significative de la quantité des matières insolubles a été constatée. La quantité a été réduite jusqu'à 14 mg/l. L'efficacité du traitement se voit à travers la diminution de l'intensité de couleur pour chaque échantillon d'eau issue du traitement. Comparée à la couleur de l'eau E1, celle d'E2 a été nettement plus claire

Concernant la turbidité, une grande différence de la valeur de la turbidité a été constatée entre E1 et E2. L'échantillon E2 a une valeur très inférieure à la norme de rejet donc l'eau traitée est une eau de bonne qualité. La turbidité est causée par la présence de matières en suspension (MES). Cela explique la diminution de la valeur de la turbidité car nous avons vu que la MES a diminué de 14mg/l. Mais la faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale.

Pour la conductivité, nous avons remarqué une diminution de la valeur de la conductivité mais cette diminution est encore supérieure à la norme de rejet. L'eau traitée E2 a une conductivité supérieure à 500 μ S/cm, ce qui la qualifie d'eau très minéralisée. Lors de l'analyse, nous avons pris la minéralisation de l'eau traitée, ce qui est égale à 751 mg/l.

1.2 Effets du traitement biologique utilisant la pouzzolane sur les paramètres chimiques

Le tableau suivant montre les résultats récapitulatifs de la qualité chimique des eaux issues du traitement biologique utilisant la pouzzolane comme support des bactéries.

Tableau 3 : Récapitulation des résultats des analyses chimiques avant et après le traitement biologique

Paramètres	E1 (Eau avant traitement)	E2 (Eau après traitement)	Norme de rejet industriel
Nitrate (mg/l)	0	23,301	< 20
Nitrite (mg/l)	0	1,14492	< 0,2
Ammonium (mg/l)	0,825	0,275	< 15
Sulfate (mg/l)	14,029	8,272	< 250
Chlorure (mg/l)	118,215	102,95	< 250
Fer (mg/l)	Trace	Rien	< 10

(Source : Auteur)

Vu ces résultats, certains paramètres mesurés réagissent à l'effet du traitement, une amélioration qualitative est constatée. Concernant la présence des composés azotés à la fin du traitement, le phénomène d'élimination de l'azote ammoniacal (NH_4^+) se passe dans les bassins. Ces composés ammoniacaux permettent le développement des colonies bactériennes de la nitrification. Après quelque temps, elles sont suffisamment nombreuses pour les oxyder, puis leur taux diminue progressivement, alors que celui des nitrites monte. Ensuite, les bactéries de la nitrification sont suffisamment abondantes pour oxyder les nitrites en nitrates. Aussi le taux des nitrites diminue progressivement alors que celui des nitrates augmente : c'est la nitrification. Après quelques jours dans les bassins, la dénitrification complète le processus de l'élimination de l'azote. Les nitrates, sous l'action de bactéries "dénitrifiantes", sont transformés en azote gazeux. Ce gaz

s'échappe alors dans l'atmosphère. Par contre, nous avons précisé ci-dessus que le temps de passage de l'eau dans les bassins est environ de cinq heures. Donc, ce temps n'est pas suffisant pour transformer totalement l'azote ammoniacal en azote gazeux. Ceci explique le taux élevé de nitrates dans l'eau en sortant des bassins.

1.3 Effets du traitement biologique utilisant la pouzzolane sur les paramètres biologiques

Le tableau suivant montre l'évolution des caractéristiques biologiques des eaux usées après traitement biologique avec de la pouzzolane comme support des bactéries.

Tableau 4 : Récapitulation des résultats des analyses biologiques avant et après le traitement biologique

Paramètres	E1 (Eau avant traitement)	E2 (Eau après traitement)	Norme de rejet industriel
DCO (mgO ₂ /l)	208	130	< 150
DBO ₅ (mgO ₂ /l)	78	35	< 50

(Source : Auteur)

Le taux de DCO mesuré pour E2 présente une amélioration significative de la qualité de l'eau vu sa valeur qui a diminué par rapport à celle d'E1.

Le résultat du DBO₅ permet d'identifier la teneur en matières organiques biodégradables contenue dans l'eau au cours du traitement. En comparant à la valeur limite, la valeur du DBO₅ suit la norme.

La pouzzolane est donc efficace pour éliminer les matières organiques biodégradables ou non contenues dans les eaux usées.

CHAPITRE 2 : EFFETS DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE AVEC LA POZZOLANE SUR LES QUALITES BACTERIOLOGIQUES DES EAUX USEES

Pour mieux évaluer la qualité des paramètres microbiologiques de l'eau et l'efficacité du traitement biologique, l'étude s'effectue en deux étapes : une analyse avant traitement et une analyse après traitement.

2.1 Résultats

Les résultats obtenus lors des analyses sont présentés dans le tableau ci-dessous

Tableau 5 : Qualités bactériologiques de l'eau avant et après le traitement biologique

Dénombrement	E1 (colonie/100ml)	E2 (colonie/100ml)	Normes
Coliformes totaux	240	6	500
Escherichia coli ou Coliformes fécaux	8	< 1	100
Streptocoque fécaux	160	10	100
ASR	incomptable	incomptable	100

(Source : Auteur)

2.2 Interprétations

D'après ces résultats, la présence de l'ASR dans E1 est fortement supérieure aux normes, ils sont incomptables. Ce qui signifie que l'eau est polluée.

La présence de Streptocoques fécaux et les coliformes fécaux indiquent la contamination d'origine fécale. Nous avons remarqué aussi la présence des coliformes totaux mais ils sont déjà inférieurs aux normes

Comparé à celui enregistré dans l'échantillon E1, le nombre des coliformes totaux observé dans E2 a été largement réduit.

Le même phénomène a été observé chez les streptocoques fécaux. Pour l'*Escherichia coli*, on a trouvé une valeur presque nulle.

Ces résultats nous montrent que le traitement avec la pouzzolane a beaucoup amélioré la qualité de l'eau. Par contre, la présence massive de l'ASR dans l'eau explique l'existence des matières organiques encore dans l'eau.



Figure 10 : Les ASR présentes dans E1 et E2

CONCLUSION GENERALE

Pour conclure, tous les travaux au cours de ce mémoire ont enrichi nos connaissances parce que nous avons pu : maîtriser les techniques de prélèvement et d'analyse de l'eau et observer le processus de traitement des eaux usées.

Quant aux travaux proprement dits, en se référant aux normes de rejet industriel et d'après les résultats des analyses, nous constatons la bonne qualité de l'eau traitée de la société textile Epsilon.

Les analyses faites au cours de cette étude ont montré que le traitement biologique utilisant la pouzzolane à la fois comme filtre et support des bactéries est efficace pour améliorer les qualités physico-chimiques, biologiques et bactériologiques des eaux usées biodégradables. Quelques paramètres seulement ne sont pas encore dans les normes après ce traitement, comme la conductivité, les nitrites et les nitrates.

Nous pouvons dire qu'il existe encore des matières organiques et des matières en suspension après le traitement biologique. Ce problème peut être dû au développement excessif des algues qui bouchent les porosités de la pouzzolane. Cette dernière ne peut pas assurer à la fois son rôle de filtre et support aux algues. Elle est seulement devenue un support aux algues. Ceci justifie le recours au phyto-traitement (traitement tertiaire) pour éliminer les matières en suspension et les composants organiques par l'utilisation de faune et flore aquatique. Ce phyto-traitement est séparé par la succession de plusieurs filtres à sable vertical et à pouzzolane horizontale.

Nous pouvons encore faire d'autres études sur ce phyto-traitement et sur les abondantes algues dans le bassin. Nous pouvons par exemple les transformer en bio-carburant, engrais...

En conclusion, le traitement des eaux usées s'applique dans plusieurs domaines. Les industries qui possèdent une station d'épuration ont tout à gagner économiquement car même les sous-produits peuvent être revalorisés. Ils sont récupérables et transformables. Le seul obstacle au bon déroulement de ces travaux est le manque de matériels. C'est pour cette raison que les ingénieurs en Génie de procédés sont indispensables pour concevoir de nouveaux procédés et matériels pour pallier à cet obstacle.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES & WEBOGRAPHIQUES :

- [1] RASAMOELA Mamitiana Felaniaina, « Caractéristiques géotechnique et chimique des pouzzolanes dans la région de Betafo », mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur géologue, ESPA 2011
- [2] La pouzzolane-Philippe Rocher-Géologue, fiches détaillées, BRGM Auvergne
- [3] MOUSSA Abdul Karim, « Contribution à l'étude de valorisation de la pouzzolane- Quelques applications », mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du : diplôme d'études approfondies en chimie appliquée à l'industrie et a l'environnement, ESPA 2009
- [4] RABARIOELISOLO Ranto Harivola, « Contribution à l'étude d'un filtre à base de pouzzolane pour la décoloration des eaux usées », mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplômes d'études approfondies, ESPA 2014
- [5] ANDRIANANTENAINA Heritiana Georges Eloi, « Audit Environnemental de la station d'épuration des eaux usées : cas de la société Epsilon Amboropotsy Talatamaty », mémoire de diplôme d'études supérieures spécialisées, ESPA 2010
- [6] Y. Libes, « Les eaux usées et leur épuration »
- [7] Solène MOULLIN, David ROZEN-RECHELS et Milena STANKOVIC, « Traitement des eaux usées »
- [8] Jean RODIER, L'Analyse de l'eau, 9eme édition entièrement mise à jour
- [9] Dr. R. SALGHI : Professeur Habilité à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir, « Différents filières de traitement des eaux »
- [10] <http://fr.wikipedia.org/wiki/pouzzolane>
- [11] [klouky.free.fr/Histoire/les volcans](http://klouky.free.fr/Histoire/les_volcans)
- [12] [http://fr.wikipedia.org/wiki/traitement des eaux usées](http://fr.wikipedia.org/wiki/traitement_des_eaux_usées)

ANNEXE

NORMES DE REJETS INDUSTRIELS Extrait du Décret N°2003/464 du 15.04.03.

PARAMETRES	UNITE	NORMES
FACTEURS ORGANOLEPTIQUES ET PHYSIQUES		
PH		6,0 - 9,0
Conductivité	μS/cm	200
Matières en suspension	mg/l	60
Température	°C	30
Couleur	échelle Pt/Co	20
Turbidité	NTU	25
FACTEURS CHIMIQUES		
Dureté total comme CaCO ₃	mg/l	180,0
Azote ammoniacal	mg/l	15
Nitrates	mg/l	20
Nitrites	mg/l	0,2
NTK (Azote total Kjeldahl)	mg/l	20
Phosphates comme PO ₄ ³⁻	mg/l	10
Sulfates comme SO ₄	mg/l	250
Sulfures comme S ⁻	mg/l	1
Huiles et Graisses	mg/l	10
Phénols et cresols	mg/l	1
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	mg/l	1
Agents de surface (ionique ou non)	mg/l	20
Chlore libre	mg/l	1
Chlorures	mg/l	250
FACTEURS BIOLOGIQUES		
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	150
Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	mg/l	50
FACTEURS INDESIRABLES		
METAUX		
Aluminium	mg/l	5
Arsenic	mg/l	0,5
Cadmimum	mg/l	0,02

Chrome hexavalent	mg/l	0,2
Chrome total	mg/l	2
Fer	mg/l	10
Nickel	mg/l	2
Plomb	mg/l	0,2
Etain	mg/l	10
Zinc	mg/l	0,5
Manganèse	mg/l	5
Mercure	mg/l	0,005
Sélénium	mg/l	0,02
AUTRES SUBSTANCES		
Cyanures	mg/l	0,2
Aldéhydes	mg/l	1
Solvants aromatiques	mg/l	0,2
Solvants azotés	mg/l	0,1
Solvants chlorés	mg/l	1
Pesticides organochlorés	mg/l	0,05
Pesticides organophosphorés	mg/l	0,1
Pyréthrinoïdes	mg/l	0,1
Phénylpyrrazoles	mg/l	0,05
Pesticides totaux	mg/	1
Antibiotiques	mg/l	0,1
Polychlorobiphényle	mg/l	0,005
RADIOACTIVE	Bq	20
FACTEURS MICROBIOLOGIQUES		
Coliformes totaux		500
Escherischia coli	colonie	100
Streptocoques fécaux		100
Clostridium sulfito-réducteurs.		100

(**Source** : Décret n° 2003/464 du 15 avril 2003 portant sur la classification des eaux de surface et la réglementation de rejets d'effluents liquides)

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	I
SOMMAIRE.....	III
LISTE DES ABREVIATIONS	IV
LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX.....	V
GLOSSAIRE.....	VI
INTRODUCTION	1
PARTIE 1 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	3
Chapitre 1 : GENERALITES SUR LA POZZOLANE.....	4
1.1 Définitions.....	4
1.2 Les différents types de pouzzolanes.....	4
1.3 Mode de formation de la pouzzolane naturelle.....	5
1.4 Gisements de la pouzzolane à Madagascar.....	6
1.5 Caractéristiques de la pouzzolane.....	8
1.6 Quelques propriétés de la pouzzolane naturelle.....	8
1.7 Effet de la température sur la pouzzolane naturelle.....	9
1.8 Principales applications industrielles de la pouzzolane.....	9
Chapitre 2 : GENERALITES SUR LES EAUX USEES	10
2.1 Définition	10
2.2 Types des eaux usées.....	10
2.3 Caractéristiques des eaux usées.....	11
2.4 Différents types de pollution de l'eau.....	14
Chapitre 3 : GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES EAUX USEES.....	16
3.1 Traitements physico-chimiques.....	16
3.2 Traitement biologique.....	17
PARTIE 2 : ETUDE EXPERIMENTALE	20
Chapitre 1 : PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE.....	21
1.1 Société Epsilon : données générales.....	21
1.2 Traitement des eaux usées de la société Epsilon	21
1.3 Echantillons d'eau à étudier	27

Chapitre 2 : MATERIELS ET METHODES D'ETUDE.....	28
2.1 Analyses physiques.....	28
2.2 Analyses chimiques.....	30
2.3 Analyses biologiques.....	33
2.4 Analyses bactériologiques.....	35
PARTIE 3: RESULTATS ET INTERPRETATIONS.....	37
Chapitre 1 : EFFETS DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE AVEC LA POZZOLANE SUR LES QUALITES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES DES EAUX USEES.....	38
1.1 Effets du traitement biologique utilisant la pouzzolane sur les paramètres physiques.....	38
1.2 Effets du traitement biologique utilisant la pouzzolane sur les paramètres chimiques.....	40
1.3 Effets du traitement biologique utilisant la pouzzolane sur les paramètres biologiques.....	41
Chapitre 2 : EFFETS DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE AVEC LA POZZOLANE SUR LES QUALITES BACTERIOLOGIQUES DES EAUX USEES	42
2.1 Résultats.....	42
2.2 Interprétations.....	43
CONCLUSION.....	44
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	45
REFERENCES WEBOGRAPHIQUES.....	45
ANNEXE.....	i
TABLE DES MATIERES.....	iii

TITRE DU MEMOIRE : ETUDE DE L'EFFICACITE DU TRAITEMENT BIOLOGIQUE DES EAUX USEES AVEC DE LA POZZOLANE

Nombre de pages : 57

Nombre de tableaux : 5

Nombre de figures : 10

FAMINTINANA

Betsaka ny fomba azo anadiovana ny rano maloto avy amin'ireo taozava-baventy mpamokatra lamba. Ny nosafidiansika teto dia ny "katsaoka" izay manana ireo toetra ilaina amin'ny fanadiovana ara-biolojika ny rano. Ny asa natao teto ary dia nanaporofa fa ny katsaoka dia azo antoka eo amin'ny fitazonana ireo loto mitsingevana, hita maso na tsia sy ireo mikraoba ao anaty rano maloto.

RESUME

Beaucoup de matériaux et de procédés peuvent être utilisés pour le traitement des eaux usées de l'industrie textile. Dans le cadre de ce mémoire, nous avons choisi d'étudier l'efficacité de la pouzzolane pour le bio-traitement. Nous avons analysé des échantillons d'eau avant et à la sortie du bio-filtre à pouzzolane. Les principaux résultats des analyses des paramètres de l'eau nous ont montré l'efficacité de ce type de traitement. Les qualités physico-chimiques biologiques et bactériologiques de l'eau traitée sont améliorées. Le traitement biologique avec de la pouzzolane est alors efficace pour les effluents de l'industrie textile.

Mots clés : Pouzzolane, eaux usées textiles, traitement biologique, bio-filtre

ABSTRACT

Many materials and processes can be used for the treatment of wastewater in the textile industry. In this paper we have chosen to study the effectiveness of pozzolan for biological treatment. We have analyzed Water samples before and at the output of the pozzolan biofilter. The main results of the analyzes of the water parameters showed us the effectiveness of this type of treatment. The physico-chemical, biological and bacteriological qualities of the water Treated water are improved. The biological treatment with pozzolan is then effective for effluents from the textile industry.

KEYS WORDS: Pouzzolan, textile wastewater, biological treatment, biofilter

Auteur : ANDRIANANJA Herimasinavalona

Rapporteur : Docteur RATSIMBA Marie Hanitriniaina

Adresse de l'auteur : Lot AB 111 Bis Ambohimamory, 102 Antananarivo

Tél : 0349105544