



TRAITEMENT DES EAUX BRUTES ET RECYCLÉES DE LA STATION D'EAU POTABLE ROCADE (MARRAKECH)

Réalisé par :
EL ALAOUI Chaimaa
SGHIR Zineb

Juin 2019

Encadrées par :
Pr. A. BENKADDOUR
Dr. A. AIT HMANE

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	4
LISTE DES ABREVIATIONS	5
LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES TABLEAUX	9
LE CENTRE NATIONALE D'ETUDE ET DE RECHERCHE SUR L'EAU ET L'ENERGIE : CNEREE ...	10
INTRODUCTION	12
PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	14
I. LES EAUX USEES	14
I.1 DEFINITION	14
I.2 LES DIFFERENTS TYPES D'EAUX USEES.....	14
I.3 LES PROBLEMATIQUES DES EAUX DOMESTIQUES DANS LES MILIEUX RURAUX.....	15
II. L'EPURATION	16
<i>II.1 Définition</i>	<i>16</i>
<i>II.2 Techniques à faible coût</i>	<i>16</i>
<i>II.2.1 Filtre planté de roseaux à écoulement vertical</i>	<i>16</i>
<i>II.2.2 Lagunage naturel</i>	<i>17</i>
<i>II.2.2 Lagunage naturel</i>	<i>17</i>
<i>II.3 Technique pratiquée dans le Centre National d'Etudes et de Recherches sur l'Eau et l'Energie (CNEREE) de l'Université Cadi Ayyad</i>	<i>17</i>
II.3.1 La technologie du filtre imbriqué	18
a) <i>Présentation de la technique</i>	<i>18</i>
b) <i>Les avantages de la technologie.....</i>	<i>18</i>
c) <i>Historique</i>	<i>18</i>
d) <i>Composition d'un filtre imbriqué</i>	<i>19</i>
e) <i>Projet pilote de STEP par filtre imbriqué de l'annexe de la faculté des Sciences Juridique, Economiques et Sociales de Marrakech.....</i>	<i>20</i>
- <i>Fiche technique.....</i>	<i>20</i>
- <i>Principe de fonctionnement du système</i>	<i>21</i>
<i>II.3.2 Mécanisme de traitement des eaux par filtre imbriqué.....</i>	<i>22</i>
a) <i>Élimination de la matière en suspension (M.E.S) des eaux usées</i>	<i>22</i>

b) <i>Élimination de la matière organique</i>	22
c) <i>Élimination d'azote</i>	22
d) <i>Élimination du phosphore</i>	23
III. RELATION SOL - EAU TRAITE - PLANTE	23
DEUXIEME PARTIE : METHODES ET MATERIELS	24
I. L'EAU	24
I.1 <i>Prélèvement des échantillons d'eau</i>	24
I.2 <i>Paramètres physico-chimiques de l'eau</i>	24
I.2.1 <i>La conductivité électrique et le pH</i>	24
I.1.2 <i>DCO : demande chimique en oxygène</i>	25
I.1.3 <i>Le nitrate</i>	26
I.1.4 <i>Le phosphore total PT</i>	26
II. LE SOL	27
II.1 <i>pH et la conductivité</i>	27
II.2 <i>Azote Kjeldhal NTK</i>	28
II.3 <i>Carbone organique total</i>	29
III. LES PLANTES CULTIVES	30
III.1 <i>Généralités</i>	30
III.2 <i>Étude de l'évolution du Maïs</i>	31
TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSIONS	32
I. PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU	32
I.1 <i>Paramètres mesurés in-situ</i>	32
I.1.1 <i>Potentiel hydrogène (PH)</i>	32
I.1.2 <i>Conductivité électrique(CE)</i>	32
I.1.3 <i>Demande chimique en oxygène (DCO)</i>	34
I.1.4 <i>Nitrate</i>	35
I.1.5 <i>Phosphore total</i>	37
II. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DU SOL	38
II.1 <i>Les paramètres in- situ</i>	38
II.2 <i>Carbone organique (COT) et la matière organique (MO)</i>	40
II.3 <i>NTK : azote total Kjedhal</i>	41
II. PLANTE DU MAÏS	43
CONCLUSION GENERALE	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	48
ANNEXES	48

LA LISTE DES NORMES MAROCAINES DES EAUX DESTINEES A L'IRRIGATION 50

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de notre stage et qui nous ont aidé lors de la rédaction de ce rapport.

Tout d'abord, nous adressons nos remerciements à notre professeur, Mr Driss CHAFIKI de la faculté des sciences et techniques Marrakech FSTG qui nous a beaucoup aidé dans notre recherche de stage. Son écoute et ses conseils nous ont permis de réussir notre stage, et professeur Laila Mandi directrice du centre nationale d'Etude et de la Recherche sur l'Eau et l'Energie CNEREE qui a bien voulu nous accueillir au sein du centre .

Nous tenons à remercier vivement notre encadrant de stage au niveau du centre CNEREE Mr Abdessamad HEJJAJ, responsable du laboratoire de sciences de l'eau et l'environnement , pour son soutien et son encadrement durant la période du stage.

Nos sincères remerciements vont également au Professeur REDDAD Aicha notre enseignante à la FSTG, qui nous a fait l'honneur d'examiner ce rapport et en siégeant dans ce jury.

Nos vifs remerciements s'adressent aussi à Mme Khadija ZIDAN et Mr Sofyan SBAHI et tous les membres du CNEREE.

Liste des abréviations

AFNOR : association française de la normalisation

AT : Abattement total

CNEREE : centre nationale d'Etude et de la Recherche sur l'Eau et l'Energie

C.M.S : couche de mélange du sol

C.P : couche perméable

C.E : conductivité hydraulique

DCO : demande chimique en oxygène

C.O.T : carbone organique totale

D.O : densité optique

EX : Exutoire

E : entrée

F.S : fosse septique

F.V : filtre imbriqué verticale

F.H : filtre imbriqué horizontale

F.P.R.V : filtre planté à roseaux à écoulement verticale

Fe²⁺ : ion ferreux

Fe³⁺ : ion ferrique

L.M : longueur moyenne

l. m : largeur moyenne

M.S.L : Multi-Soil-Layering

M.E.S : matière en suspension

M.O : matière organique

NH₄⁺ : azote ammoniacale

NO₂⁻ : nitrite

NO₃⁻ : nitrate

NTK: azote total kjeldhal

NO₂: dioxyde d'azote

NO: monoxyde d'azote

P.T : phosphore totale

PH: potentiel hydrogène

STEP : station d'épuration

TDC : Taux de croissance

T.M : tige moyenne

Liste des figures

Figure 1 : Schéma illustrant la filtration par les roseaux

Figure 2 : Structure du filtre imbriqué

Figure 3 : Diagramme du potentiel d'Hydrogène pH

Figure 4 : Diagramme de la Conductivité Electrique CE dans les différents points des prélèvements.

Figure 5 : Diagramme de la concentration de la DCO (mg/l)

Figure 6 : Diagramme de la concentration du Nitrate (mg/l)

Figure 7 : Diagramme du phosphore total PT

Figure 8 : Diagramme de la Conductivité Electrique CE.

Figure 9 : Diagramme du potentiel d'Hydrogène ph, SB : Sol irrigué par l'eau brute, ST : Sol irrigué par l'eau traité, SP : sol irrigué par l'eau du puits.

Figure 10 : Diagramme de la concentration du Carbone Organique Total COT et de la matière organique MO en mg/l.

Figure 11 : Diagramme de l'Azote Total Kjeldhal NTK en mg/g.

Figure 12 : Diagramme de la croissance des plantes irriguées par l'eau brute pendant 3 suivies, TM : Tige moyenne, LM : Longueur moyenne, lm : largeur moyenne.

Figure 13 : Diagramme de la croissance des plantes irriguées par l'eau traitée pendant 3 suivies.

Figure 14 : Diagramme de la croissance des plantes irriguées par l'eau de puits pendant 3 suivies, TM : Tige moyenne, LM : Longueur moyenne, lm : largeur moyenne.

Figure 15 : Diagramme du taux de croissance pendant trois suivies.

Figure A.1 : Plaque chauffante.

Figure 1.2 : La balance

Figure A.3 : Réacteur du phosphore total

Figure A.4: Composition des CM.

Figure A.5 : Parcelle irriguée par l'eau puits.

Figure A.6 Parcelle irriguée par l'eau brute.

Figure A.7 : Parcelle irriguée par l'eau du traitée.

Figure A.8 : Dosage de $K_2Cr_2O_7$ par le sel de Mohr.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Résultats du suivie des paramètres in-situ

Tableau 2 Résultats d'analyse de la DCO.

Tableau 3 : L'abattement de la DCO.

Tableau 4 : Les valeurs de la concentration du nitrate.

Tableau 5 : L'abattement du nitrate en %

Tableau 6 : Résultats d'analyse du phosphore total en mg/l.

Tableau 7 :L'abattement du phosphore total PT en %.

Tableau 8 : Les résultats du pH et de la conductivité (ST : Sol irrigué par l'eau traité, SP : sol irrigué par l'eau du puits.

Tableau 9 : Résultats des mesures du Carbone organique COT et de la matière organique MO.

Tableau 10 : Résultats d'analyse de l'azote total Kjeldhal NTK.

Tableau 11 : Mesure de l'évolution de 3 suivies des plantes de Maïs irriguées par l'eau brute.

Tableau 12 : Mesure de l'évolution de 3 suivies des plantes de Maïs irriguées par l'eau traitée.

Tableau 13 : Mesure de l'évolution de 3 suivies des plantes de Maïs irriguées par l'eau du puits.

Tableau 14 : Le taux de croissance de Maïs.

Le Centre Nationale d'Etude et de Recherche sur l'Eau et l'Energie : CNEREE

Le centre Nationale d'Etude et de recherche sur l'Eau et l'Energie (CNEREE) , dans lequel s'est déroulé notre stage , est créé dans le cadre du plan quinquennal de développement économique et social 2000-2004 par la ministre de l'Education Nationale , de l'Enseignement supérieure , de la formation des Cadres de la recherche Scientifique .Il s'inscrit dans le cadre de la politique générale de l'Université Cadi Ayyad pour s'intégrer dans l'espace socio-économique du pays . Il traduit donc la volonté d'accompagner les efforts de développement au Maroc et fait de l'université un instrument d'épanouissement technologique et socio-économique. Les objectifs du CNEREE s'articulent autour de 2 principaux thèmes d'enjeux socio-économiques de grande envergure (majeur) pour le Maroc, à savoir l'Eau et l'Energie.

Missions et objectifs du CNEREE :

Les objectifs ont été spécifiés dans les deux domaines de l'Eau et d'Energie, il s'agit notamment de :

- Promouvoir la recherche dans le domaine de l'eau et d'énergie renouvelable.
- Développer une expertise dans le domaine de l'eau et des énergies renouvelables.
- Entretenir une collaboration avec les organismes intervenants dans les domaines de l'Eau et de l'Energie pour assurer un transfert efficace de la technologie.

Laboratoire de CNEREE :

- Laboratoire des Sciences de l'Eau et l'environnement (S2E) : Responsable, Prof. Laila MANDI ;
- Laboratoire de l'énergie renouvelable et efficacité énergétique (EnR2E) :

Responsable, Prof. Ibrahim BENHAMOU ;

- Laboratoire mixte internationale/ télé détection et ressource en eau en méditerranée semi-aride (TREMA). Responsable, Prof. Saïd KHABBA (FSSM) et Dr. Jarlan Lionel (IRD) ;
- Laboratoire membres du PC2E.

INTRODUCTION

Le Maroc se considère parmi les pays qui ont encore le problème d'assainissement des eaux usées surtout au niveau du monde rural où l'augmentation de la consommation d'eau potable a fait augmenter les rejets des eaux usées domestiques. Dans ce cadre, chaque maison dans une petite collectivité rurale (un douar) qui n'a pas un réseau d'assainissement creuse une grande fosse pour collecter les eaux usées.

La plupart du temps, ces fosses sont mal construites car elles laissent les eaux usées s'infiltrer au sol sans aucun traitement ce qui produit une pollution dans les eaux souterraines d'où la nécessité d'installer des systèmes d'assainissement liquide et des stations de traitement pour collecter les eaux usées domestiques dans ces zones et les traiter avant de les rejeter au milieu naturel.

En raison de l'aridité, de la rareté et de la non-durabilité des ressources en eau naturelles, de nombreux pays en développement ont tendance à utiliser les eaux usées pour la production végétale. L'utilisation des eaux usées traitées en irrigation présente de nombreux avantages et inconvénients pour le sol, les cultures et l'environnement.

Malgré l'existence des stations d'épuration des eaux usées par boue activée qui est utilisée dans les villes connaissant une grande population comme la ville de Marrakech. Elles restent non adaptable dans le monde rural et demande un grand capitale pour la construction.

La biotechnologie du traitement des eaux usées domestiques qui est adapté avec les petites collectivités (soit dans un milieu rural ou urbain) pour le moment, c'est la

biotechnologie du filtre imbriqués MSL et elle a donné des résultats satisfaisantes au niveau de son rendement épuratoire de la pollution des eaux usées domestiques.

Cette technologie a été découverte au Japon en 1990, après elle a subit aux plusieurs études par plusieurs chercheurs pour développer son rendement épuratoire et elle est réalisée au Maroc pour la première fois en 2014.

PREMIERE PARTIE : Synthèse bibliographique

I. Les eaux usées

I.1 Définition

Les eaux usées sont des eaux contaminées par les activités humaines et rejetées après leur utilisation domestique ou industrielle.

L'eau est essentielle à nombreuses activités domestiques et industrielles. Après usage, cette eau contient de nombreux contaminants biologiques et chimiques. On dit alors que cette eau, contaminée et rejetée après usage, est usée. Les eaux usées peuvent contenir plusieurs éléments indésirables :

- du sable et d'autres matières en suspension;
- des micro-organismes pathogènes pouvant causer des maladies (bactéries et parasites);
- des déchets organiques en décomposition;
- des produits chimiques divers (produits nettoyants, solvants, hydrocarbures médicaments, etc.).

Afin de réduire les risques de contamination et de perturbation des écosystèmes aquatiques, on doit traiter les eaux usées et les rendre propres avant de les retourner dans l'environnement. Le traitement des eaux usées comprend une suite d'opérations impliquant à la fois des procédés physiques, chimiques et biologiques.

I.2 Les différents types d'eaux usées

Eaux usées domestiques : Essentiellement porteuses de pollution organique et se répartissant en eaux ménagères ou grises (salles de bains et cuisines) généralement chargées

en détergents, en graisses, en solvant et en débris organiques ; et en eaux vannes (rejets des toilettes) caractérisées par une importante charge en diverses matières organiques azotées et en germes fécaux et pathogènes.

Eaux usées industrielles : Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques azotées ou phosphorées, elles peuvent aussi contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures...

Eaux de pluie : Elles peuvent également constituer une cause de pollution importante, pouvant se charger d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles), puis en ruisselant, elles se chargent des résidus déposés sur les toits, les chaussées et les sols (poussières, huiles de vidange, carburant, résidus de pneus, métaux lourds.

Le travail, mené dans le cadre de notre projet de fin d'étude, portera principalement sur l'eau domestique.

I.3 Les problématiques des eaux domestiques dans les milieux ruraux

Les accroissements démographiques dans le milieu rural a fait augmenter la consommation d'eau potable et par conséquent l'augmentation des rejets des eaux domestiques dans ces zones, mettant en évidence la nécessité de collecter et de traiter ces effluents. Selon le recensement de 2014 la population dans les milieux ruraux est d'environ 14,6 Millions dont 89% ne disposent pas d'installation d'assainissement liquide. Le traitement des eaux usées constitue l'un des plus grands problèmes environnementaux, L'absence de réseau public, le manque de station d'épuration, l'absence de contrôle et de sensibilisation à l'environnement préalablement génèrent de nombreuses maladies et épidémies.

II. L'épuration

II.1 Définition

L'épuration des eaux est un ensemble de techniques qui consistent à purifier l'eau pour le rendre utilisable dans l'irrigation selon les normes associées ou d'être jetés dans la nature sans aucun risque.

II.2 Techniques à faible coût

II.2.1 Filtre planté de roseaux à écoulement vertical

- **Principe de fonctionnement :**

Le filtre planté de roseaux à écoulement vertical est alimenté en surface. L'effluent circule verticalement à travers un massif de graviers fins. Ce massif filtrant permet de retenir les matières en suspension à la surface du filtre, ou elles s'accumulent (Fig. 1).

Par ailleurs, les micro-organismes y assurent les processus de dégradation de la matière organique et un début de nitrification y est observé.

Le FPRV peut donc effectuer à la fois le prétraitement, en retenant les matières solides, et le traitement, grâce à l'action des micro-organismes.

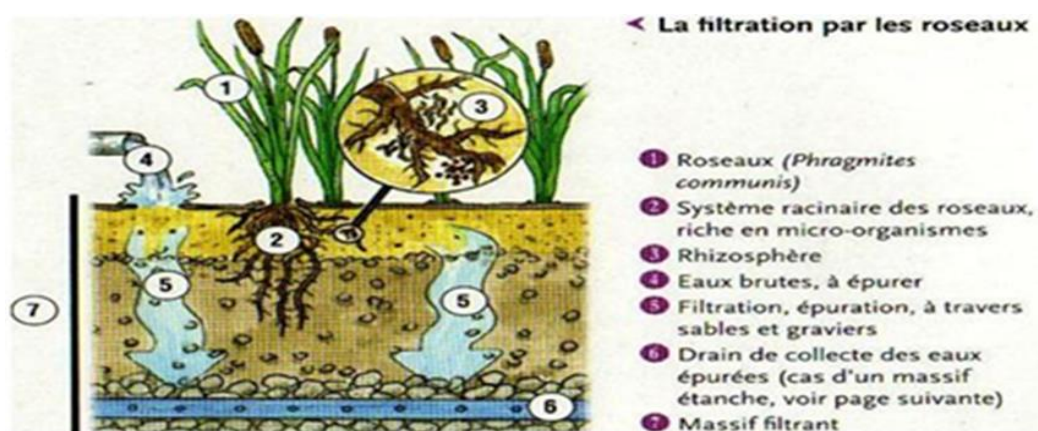


Figure 1 : schéma illustrant la filtration par les roseaux.

II.2.2 Lagunage naturel

C'est une technique adaptée au Maroc à faible coût pour le traitement des eaux usées rurales, elle comprend 3 types de bassins : Un bassin anaérobie, un bassin facultatif et un bassin de maturation. Le procédé de traitement des eaux usées est basé sur les bactéries par la photosynthèse et le pouvoir germicide de la lumière et de certaines algues.

Le bassin anaérobie permet de diminuer la charge en matière organique. L'anaérobiose est obtenue en apportant un effluent très chargé en matière organique. Ce type de bassin pose parfois des problèmes d'odeur notamment à cause de la formation des composés soufrés.

Le bassin facultatif permet le développement des algues photosynthétiques qui vont produire de l'oxygène, tout en diminuant la charge en matière organique. Enfin, le bassin de maturation va permettre l'élimination des pathogènes sous l'action conjuguée des ultraviolet et du pouvoir germicide de certaines algues.

II.3 Technique pratiquée dans le Centre National d'Etudes et de Recherches sur l'Eau et l'Energie (CNEREE) de l'Université Cadi Ayyad

La préservation de la ressource hydrique est donc devenue un enjeu du XXIème siècle et les techniques de recyclage des eaux usées se développent afin de réduire la consommation des eaux.

Au cours des dernières années, une nouvelle technologie des eaux usées, le filtre imbriqué, a été introduit et testé avec succès pour le traitement des eaux usées. Il utilise le sol naturel afin de faciliter le traitement des eaux usées, en se basant sur l'adsorption, l'infiltration et la biodégradation comme processus majeur qui se déroule dans le filtre.

II.3.1 La technologie du filtre imbriqué

a) Présentation de la technique

La technique du **filtre imbriqué** (Multi-Soil-Layering) est une nouvelle technologie à faible coût, qui repose sur une filtration des eaux usées sur un milieu poreux qui joue le rôle de filtre physique et de support à des réactions biologiques à caractère aérobie et anaérobie (Chen et al. 2009).

Le traitement des **eaux usées** par le système du **filtre imbriqué** est basé sur le pouvoir épurateur du sol et avec l'intervention d'autres matériaux qui permettent d'éliminer la matière en suspension et dégrader les pollutions organiques, azotées et phosphoriques.

b) Les avantages de la technologie

Le système filtre imbriqué s'est avéré très efficace pour le traitement des différents types des eaux usées (eaux des rivières polluées, eaux usées issues des exploitations laitières et les lixiviats) ;

Le coût d'investissement est réduit grâce à l'utilisation des matériaux locaux moins chers et disponibles au niveau de tous les milieux;

Le système filtre imbriqué est performant dans la réduction des matières en suspension et la matière organique;

Le système ne demande pas d'énergie pour son fonctionnement et occupe une faible superficie, ce qui peut être une solution efficace et appropriée pour le traitement des eaux usées dans les petites collectivités des pays en développement.

L'eau traitée par le système filtre imbriqué pourrait être recyclée et réutilisée dans l'irrigation des cultures.

c) Historique

La technique du filtre imbriqué a été découverte au Japon par Wakatsuki et al. en 1990. Elle a été effectuée à la première fois comme une solution pour le traitement des eaux usées domestiques des petites collectivités, après elle est utilisée aussi pour le traitement des

rivières polluées (Masunaga et al., 2003), pour le traitement des eaux usées des exploitations laitières et pour le traitement des lixiviats (Yi-dong et al., 2013).

La technologie du filtre imbriqué est introduite pour la première fois au Maroc en 2014 mais elle est très utilisée dans les pays asiatiques tels que le Japon, la Chine et la Thaïlande car ce type de système de traitement des eaux usées est principalement simple à construire, et il se caractérise d'une facilité à la gestion, avec une simple maintenance et le plus important ce système de traitement est adaptable à l'environnement rural.

d) Composition d'un filtre imbriqué

Le système de traitement des eaux usées par filtre imbriqué est un procédé d'épuration aérobie composé de couches perméables à l'eau et des couches de mélange sol qui sont arrangées en alternance sous forme des briques et posées horizontalement sur des étages d'une épaisseur de 5 cm : Couche perméable CP à l'eau: constituée de gravier, ponce, perlite ou zéolite avec un diamètre fin et uniforme de 3 à 5 mm, de manière à améliorer la distribution de l'eau. Ces couches en gravier du massif filtrant constituent des zones perméables permettant d'atténuer les risques de colmatage en retenant une grande partie des matières en suspension en surface.

Couche de mélange sol : constituée par un mélange de matériaux composés essentiellement du sol, charbon, fer et sciure de bois (Fig.A.4, Annexe) avec les proportions suivantes :

Sol (70 %) : support des processus d'épuration des eaux usées ;

Charbon de bois (10 %) : source de carbone supplémentaire pour les micro-organismes,

Sciure de bois (10 %) : signalée comme étant un adsorbant efficace, car elle contient une concentration élevée de cellulose, qui adsorbe de manière irréversible les substances polluantes contenues dans les eaux usées. En outre, elle est aussi une source de carbone pour les micro-organismes (Sato et al. 2005a).

Fer (10 %) : comme la capacité d'adsorption d'un sol au phosphore est positivement liée à sa composition en fer actif, l'addition de fer augmente considérablement l'efficacité d'adsorption du phosphore (Chen et al. 2007b).

e) **Projet pilote de STEP par filtre imbriqué de l'annexe de la faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales de Marrakech**

- Fiche technique

Porteur du l'initiative : Centre National d'études et de Recherches sur l'eau et L'énergie (CNEREE), Université Cadi Ayyad;

Population cible : 1200 Etudiants en 2016 et 1800 Etudiants à l'horizon 2036;

Description du dispositif : Le système est composé :

Dégrilleur / dessableur : élimination des déchets grossiers et sable dans les eaux usées;

Fosse septique: traitement primaire;

Filtre imbrique à écoulement vertical: traitement secondaire;

Filtre imbriqué à écoulement horizontal: traitement tertiaire;

Bassin de stockage: stockage des eaux traitées pour réutilisation;

Alimentation du système: pompage solaire;

Capacité du système: traitement d'un débit des eaux usées de 16m³/ jour en 2016 et 25 m³ /jour à l'horizon 2036;

Surface occupée: 175m²;

Surface irriguée: 1/2 hectare;

Financement du projet: Université Cadi Ayaad;

Coût du projet: 350 000,00 DHS;

Bénéficiaire: faculté des sciences juridiques, économiques et sociales-Marrakech;

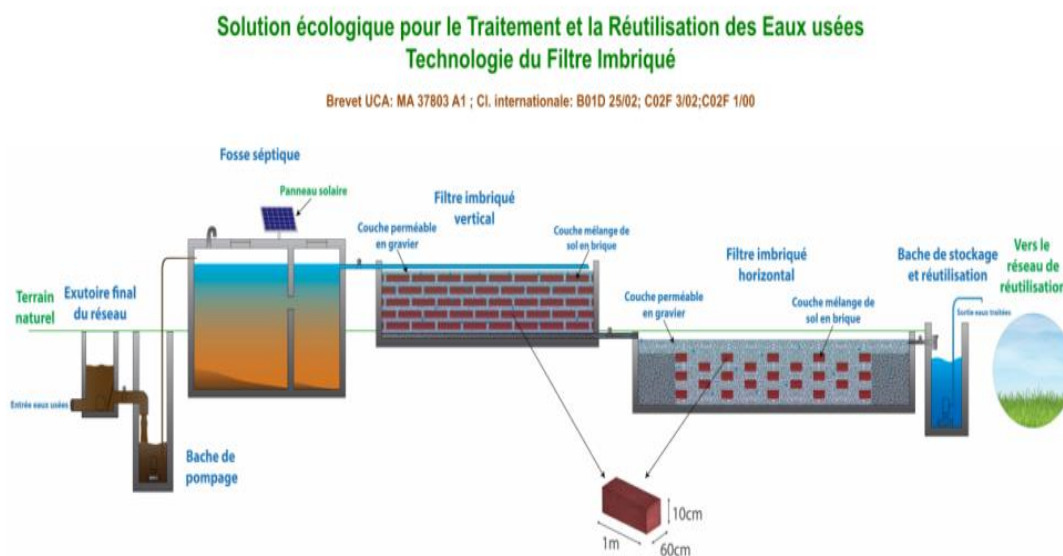


Figure 2 : Station du filtre imbriqué

- Principe de fonctionnement du système

Les eaux usées domestiques se caractérisent par des concentrations élevées en matière organique, d'azotes minéraux et d'azote organique et de la pollution phosphorique. Ces pollutions contenues dans ces eaux se dégradent par différentes voies qui se basent sur trois principes dans le système du filtre imbriqué :

Infiltration, biodégradation et l'adsorption qui sont des processus majeurs qui se déroulent dans le filtre (Chen et al., 2009).

Le principe de fonctionnement du procédé du filtre imbriqué repose sur deux points fondamentaux qui sont l'aération et l'hydraulique du système :

Aération : Le procédé étant aérobie grâce au couche perméable de gravier et la présence d'un tube d'aération qui est injecté verticalement jusqu'à la quatrième couche de mélange.

Hydraulique : L'effluent doit avoir un temps de contact suffisamment grand avec les couches de mélange sol pour pouvoir être épuré.

II.3.2 Mécanisme de traitement d'eaux usées par le filtre imbriqué

a) Élimination de la matière en suspension (M.E.S) des eaux usées

La matière en suspension contenue dans les eaux usées s'éliminent au niveau du système de filtre imbriqué par voie physique, lorsque l'effluent s'écoule au niveau de la couche perméable qui contient le gravier elle subit une filtration. Les éléments grossiers de la matière organique qui ont un diamètre supérieur à celui des pores de la couche perméable vont être retenus. Par contre, les autres éléments qui possèdent des tailles petites peuvent passer à des niveaux profonds du système. Si les eaux usées à traiter sont très chargées de la matière en suspension ou en éléments volumineux, il est nécessaire d'effectuer un prétraitement pour diminuer leurs charges en matière et pour éviter le colmatage du système.

b) Élimination de la matière organique

La matière organique se dégrade par l'intervention des micro-organismes qui existent au niveau du sol des couches de mélange du sol, cette dégradation se fait dans des conditions d'aérobie (en présence d'oxygène), l'O₂ provient du tube d'aération qui est installé dans le système filtre imbriqué. L'élimination de la matière organique par le système se réalise dans les couches supérieures du système où l'oxygène existe avec des grandes quantités car l'air lorsqu'il entre au système à travers le tube d'aération, il se propage vers le haut traversant les pores du système.

c) Élimination d'azote

Cette élimination se fait successivement par les réactions de nitrifications et dénitrifications.

L'élimination de l'azote par le système filtre imbriqué se fait par l'intervention des bactéries nitrifiantes et dénitrifiantes en deux phases différentes: phase avec conditions aérobies et l'autre avec conditions anaérobies. Dans les conditions aérobies l'azote ammoniacale NH₄⁺ s'oxyde en nitrite NO₂ - par l'intervention des bactéries nitrifiantes,

puis les nitrites se transforment en nitrate NO_3^- . Dans les conditions anaérobies les nitrates obtenus vont transporter vers les C.M.S et ils vont se réduire en azote gazeux (N_2 , NO , N_2O) (Li et al., 2011).

d) Élimination du phosphore

Le phosphore peut être adsorbé sur les hydroxydes de Fe et Al dans le sol. (Sato et al., 2005). En effet, le fer ajouté dans les couches de mélange sol est transformé en fer ferreux (Fe^{2+}), qui est ensuite transporté vers la couche perméable de gravier et oxydé en ion ferrique (Fe^{3+}), ce qui permet l'adsorption et la précipitation du PO_4^{3-} - P au cours de la percolation des eaux usées à travers le système filtre imbriqué (Wakatsuki et al., 1993; Chen et al., 2009).

III. Relation sol - eau traité - plante

Le sol est un support naturel de la plante vu qu'il permet son alimentation en eau et en sels minéraux. Ce sol peut être irrigué par l'eau traitée provenant du filtre imbriqué s'il répond aux normes d'irrigation.

L'utilisation des eaux usées en irrigation peut avoir des effets bénéfiques pour le sol et la plante parce qu'elle constitue une source de nutriments qui apporte dans l'agriculture des réponses aux problèmes de pénurie d'eau. C'est une option de plus en plus envisagée à la croissance démographique, la récurrence de sécheresse ou les changements climatiques entraînent une augmentation de la demande en eau en irrigation pour la production agricole.

DEUXIEME PARTIE : Méthodes et matériels

I. L'eau

I.1 Prélèvement des échantillons d'eau

Ces prélèvements sont effectués chaque 15 jours, on prend les échantillons d'eau de 5 points différents de la station STEP de l'annexe de la faculté juridique :

- ◆ De l'exutoire final du réseau
- ◆ De la bache du pompage
- ◆ De la sortie de la fosse septique
- ◆ De la sortie du filtre imbriqué vertical
- ◆ De la sortie du filtre horizontal

Les échantillons doivent être toujours prélevés avec précaution dans des bouteilles stériles en verre de volume de 500ml pour les analyses bactériologiques et d'autres en plastiques de volume de 250ml pour les analyses physico-chimiques, puis ces échantillons seront conservés dans des réfrigérateurs sous une température de 4C.

I.2 Paramètres physico-chimiques de l'eau

Pour suivre les performances et le fonctionnement de la STEP, on effectue des analyses physico-chimiques pour les échantillons d'eaux prélevés. Parmi ces analyses, on a :

I.2.1 La conductivité électrique et le pH

La conductivité traduit la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, c'est le taux des ions dissous (TDS) qui donne une idée sur la minéralisation totale de l'eau, sur sa qualité et elle est exprimée en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Il mesure la concentration des ions H^+ d'eau.

✓ **Matériels**

- pH mètre Edge;
- Bêchers en verre.

✓ **Réactifs**

- Solution étalon (l'eau distillée).

✓ **Mode opératoire**

- Étalonner l'électrode du pH mètre avec l'eau distillée initialement et après chaque mesure;
- Mettre les solutions d'échantillons d'eau dans les bêchers;
- Noter le pH et la conductivité;

NB : les bêchers doivent être rincés avec la solution étalon.

I.1.2 DCO : demande chimique en oxygène

Elle exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon.

✓ **Matériels**

- Réacteur de minéralisation ;
- Tubes à essai bien lavés et abondamment rincée à l'eau ;
- Pipette.

✓ **Réactifs**

- Solution sulfurique
- Solution de digestion

✓ **Mode opératoire**

On prend 1 ml d'échantillon d'eau avec une répétition des tubes en ajoutant 1,75 ml de la solution sulfurique et 0,75ml de la solution de digestion.

On agite les tubes et on les porte à l'ébullition à 150C pendant 2heures.

On lit la D.O par le spectrophotomètre à 620nm après refroidissement.

I.1.3 Le nitrate

- Principe

Les nitrates sont réduits en nitrite par un passage par une colonne cadomium-cuivre ;

Les nitrites sont déterminés par spectrométrie d'absorption moléculaire.

I.1.4 Le phosphore total PT

Le PT est obtenu après minéralisation en milieu acide (acide sulfurique), en présence de persulfate de sodium à 200°C pendant deux heures. Les formes organiques et combinées du phosphore sont ainsi transformées en orthophosphates solubles. Ces derniers sont dosés comme les orthophosphates.

✓ **Matériel**

Rampe de minéralisation ;

Dispositif du chauffage ;

Burette ;

Matériel courant du laboratoire.

✓ **Réactifs**

En plus des réactifs du (dosage des ortho phosphates) ;

Acide sulfurique (H₂SO₄);

Persulfate de sodium (Na₂O₈S₂).

✓ **Mode opératoire**

- Minéralisation

On prend 5ml d'échantillon et on ajoute 0,5 de l'acide sulfurique et une pincée de persulfate de potassium, puis on agite les tubes à visser et on les met dans les réacteurs (Figure A.3, Annexe).

On chauffe les solutions à 200 C pendant 2heures, puis on les laisse refroidir et on règle le pH de l'échantillon à 1,5-2,5 avec NaOH (3N).

- Dosage

On prend 10ml de l'échantillon et on ajoute 0,5ml de l'acide ascorbique et 2ml du réactif combiné avec une agitation des tubes.

On attend 30min et on lit la DO à 700nm.

II. Le sol

II.1 pH et la conductivité (µS/cm) (X 31 – 104)

✓ **Principe**

Le pH et la conductivité sont mesurés après une mise en suspension de l'échantillon de sol séché à l'air dans l'eau dans un rapport 1/5 (v/v).

✓ **Matériel**

- pH mètre;
- Agitateur va et vient;
- Tubes de 50 ml avec bouchons.

✓ **Protocole**

On rajoute 10g du sol dans un 20 ml de l'eau distillée;

En agitant la suspension pendant 30min a l'aide d'un agitateur mécanique;

Le ph est mesuré à l'aide d'un pH-mètre.

II.2 Azote Kjeldhal NTK

✓ **Principe**

Cette méthode comprend 2 étapes :

- ❖ La digestion de l'échantillon dans l'acide sulfurique concentré à des températures élevées pour convertir l'azote minéral sous forme ammoniacal
- ❖ La détermination de l'ammonium dans l'extrait par titration de NH_3 dégagé par distillation à vapeur

✓ **Réactifs**

Catalyseur Kjeldhal ($\text{K}_2\text{SO}_4 + \text{SE}$)

L'acide sulfurique concentré (H_2SO_4)

L'hydroxyde de sodium NaOH 10N

Acide borique H_3PO_4 (1N)

Phénolphtaléine

Indicateur coloré(Dachéro)

✓ **Matériel**

Materas ;

Appareil de la minéralisation ;

Distillateur ;

Appareil de titration ;

Matériel courant de laboratoire.

✓ **Mode opératoire**

Dans un matras, on met un 1g de sol, 20ml de l'acide sulfurique concentré et 0,5g du catalyseur Kjeldahl.

On fait bouillir les solutions jusqu'elles deviennent blanches et on les laisse refroidir sous la hôte.

On récupère le minéralisat dans 100ml de l'eau distillée pour la distillation.

Dans les matras de distillation, on ajoute quelques gouttes de phénolphtaléine et de la soude 40% jusqu'à une coloration rose.

Dans un erlenmeyer de 250ml, on met de l'acide borique. Après 8min on ajoute quelque goutte du Dacherol et on titre avec de l'acide sulfurique.

II.3 Carbone organique total

✓ **Principe**

Le carbone de la matière organique est oxydé par un oxydant puissant (le bichromate de potassium) en milieu sulfurique jusqu'à le dégagement du CO₂ (méthode d'Anne décrite par Aubert, 1978).

L'excès de bichromate est titré par une solution de sulfate de fer et d'ammonium (Sel

de Mohr : Figure A.8, Annexe) en présence d'un indicateur de diphénylamine.

✓ **Réactifs**

Bichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$)

Acide sulfurique concentré (H_2SO_4)

Diphénylamine

Fluorure de Sodium NAF

Sel de Mohr (0,2N)

✓ **Mode opératoire**

On prend 1g de l'échantillon puis on ajoute 10ml de $K_2Cr_2O_7$ et 5ml de H_2SO_4 .

On chauffe sur une plaque chauffante (Figure A.1, Annexe) les solutions jusqu'à l'apparition de la première goutte sur les parois du erlenmeyer. Après on complète le volume à 100ml et on prélève 20ml en ajoutant 200ml de l'eau distillée.

On ajoute 1,5g de fluorure de sodium, 3 gouttes de diphénylamine et on dose l'excès de $K_2Cr_2O_7$ par le sel de Mohr (zone de virage : vert clair).

III. Les plantes cultivés

III.1 Généralités

Nous avons effectué dans notre étude un suivi de la croissance de 3 parcelles de la plante du Maïs afin de savoir l'impact des eaux d'irrigation sur cette plante.

Le Maïs est une plante annuelle appartenant à la famille des les poaceae, cultivés par d'une part pour ses graines riches en amidon et d'autre part comme une plante fourragères, il est généralement connu par son exigence en lumière, en eau et en fertilisants pour son développement. Il préfère généralement les sols meubles, riche en matières organiques et bien humides par contre les sols acides ou salés sont à éviter, ils limitent les rendements.

III.2 Étude de l'évolution du Maïs

✓ **Objectif**

Étude de la croissance des plantes irriguées par 3 types différents d'eaux (eau traitée, eau brute et eau de puits).

✓ **Matériel**

Les mesures de croissance de la plante considérée sont effectuées soit par une règle ou un mètre.

✓ **Mode opératoire**

- ◆ Sur les 5 plantes choisies sur la ligne de chaque parcelle, un suivi de dimensions des feuilles a été effectué depuis la levée jusqu'à la floraison.
- ◆ Les mesures concernant la longueur L_f (mesuré du point d'insertion jusqu'à la pointe) et la longueur maximal W_f de toutes les feuilles.
- ◆ Sur les 5 plantes, on mesure aussi la tige depuis la surface du sol jusqu'à l'entre nœud de chaque feuille.
- ◆ Si le long de la pénicule est visible, sa mesure est faite à partir de la limite supérieure du dernier entre nœud jusqu'à sa pointe supérieure.

TROISIEME PARTIE : Résultats et discussions

I. Paramètres physico-chimiques de l'eau

I.1 Paramètres mesurés in-situ

Les paramètres mesurés in-situ de l'eau lors de son passage par la station sont le potentiel d'hydrogène pH, la conductivité électrique CE et la température T°C. Ces paramètres, rappelons-le, sont mesurés à l'exutoire, à l'entrée de la station, au niveau de la fosse septique et au niveau des différents filtres verticaux et horizontaux (Tab. 1) afin de suivre la performance et le fonctionnement de la station STEP.

I.1.1 Potentiel hydrogène (PH)

La figure 3 ci-dessous et le tableau 1 montrent que le pH de l'eau traitée a diminué de 8,42 à 7,88 lors de son passage dans le système de traitement filtre imbriqué. Nous pensons, que ce changement est lié aux réactions de nitrification et de dénitrification.

La valeur du pH d'eau traitée, mesurée dans ce travail, s'inscrit entre 6,5-8,4. Elle est donc conforme aux normes nationales d'eau destinée à l'irrigation.

I.1.2 Conductivité électrique(CE)

Les valeurs mentionnées dans le diagramme de la figure 4 et le tableau 1 montrent que ce paramètre diminue d'une manière régulière durant le passage des eaux usées brutes à travers le filtre imbriqué. Il passe de 1268 à 884 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La réduction de la conductivité électrique est attribuée à des phénomènes d'adsorption des cations sur les couches de mélange sol.

Tableau 1 : Résultats de suivi des paramètres mesurés in-situ

	PH	T°C	CE ($\mu\text{s}/\text{cm}$)
Exutoire	8.42	22.46	1268
Entrée	8.46	22.49	1203
FS	8.36	22.97	947
VF	7.33	22.96	1085
VH	7.88	23.04	884

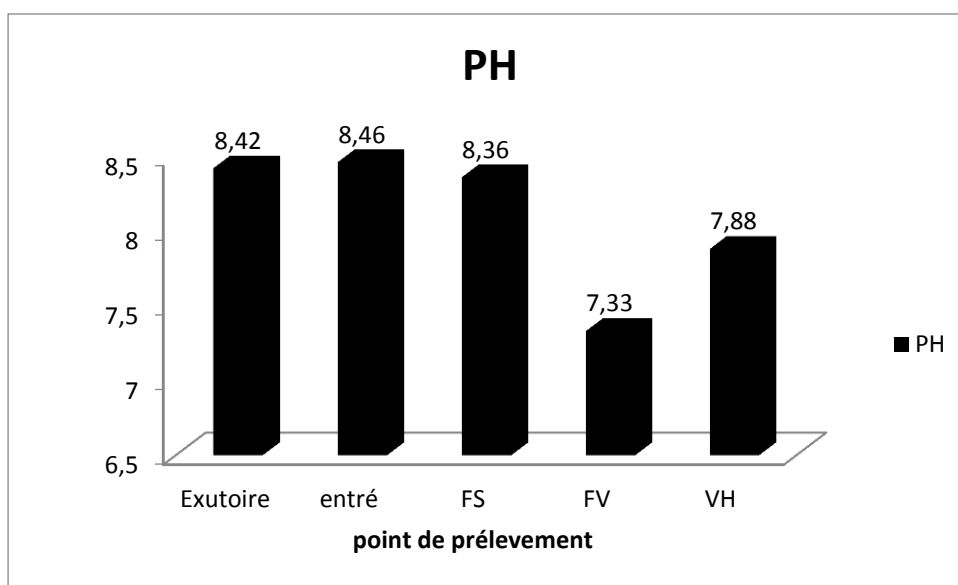


Figure 3 : Diagramme du potentiel d'Hydrogène pH

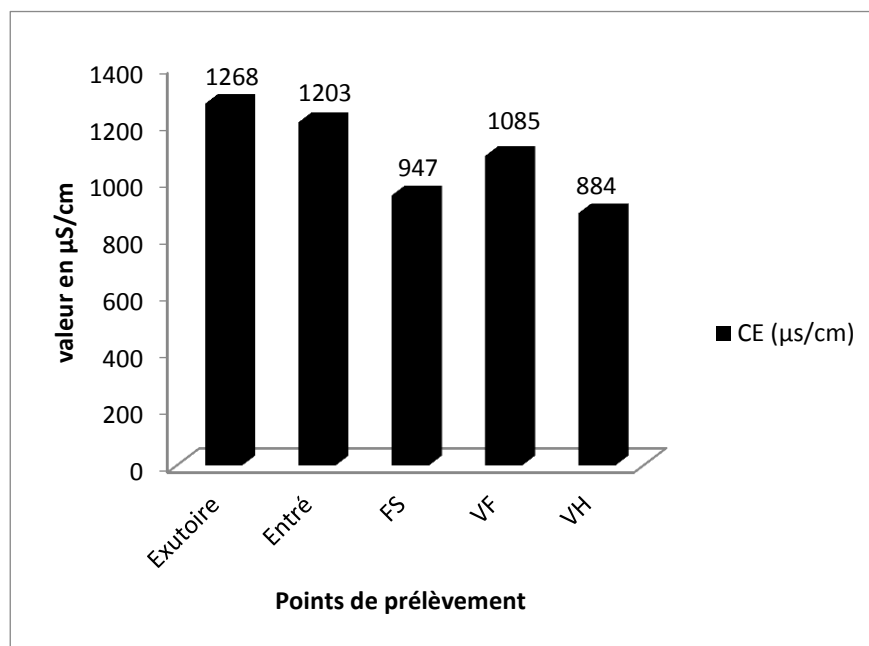


Figure 4: diagramme de Conductivité Electrique CE dans les différents points de prélèvement

I.1.3 Demande chimique en oxygène (DCO)

L'examen du tableau 2 et de la figure 5 montre une diminution de la concentration du DCO depuis l'entrée de l'eau dans la station STEP jusqu'à sa sortie. Cette diminution est très remarquable dans la fosse septique où interviennent des micro-organismes spécifiques de la dégradation de la matière organique dans des conditions aérobies afin de l'utiliser comme source de carbone et d'énergie.

Le pourcentage d'abattement obtenu par STEP des filtres imbriqués est de 74.8% (Tab. 3). En effet, lorsque les eaux usées sont déversés dans le système, la matière organique est absorbée par le sol qui se trouve dans les couches de mélanges et par le gravier aussi, puis elle est ensuite dégradée par les micro-organismes.

Tableau 2 : Résultat d'analyse de la DCO

Date de prélèvement	DCO(mg/l)				
	EX	E	FS	FV	FH
01/05/2019	508	404	172	141	128

Tableau 3: l'abattement de la DCO en %

Abattement				AT
E1-FS	FS-FV	FV-FH	FS-FH	
57%	18%	9%	26%	74.8%

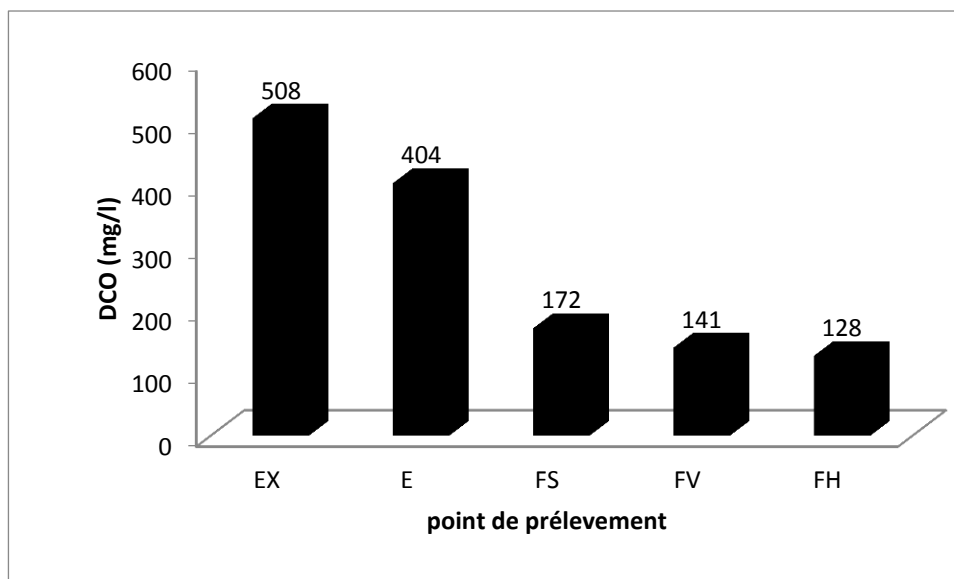


Figure 5 : diagramme de la concentration de la DCO (en mg/l)

I.1.4 Nitrate

L'analyse des tableaux 4, 5 et de la figure 6 montrent une augmentation de la concentration en nitrate avec un moyen d'élimination de 48%. Lorsque l'eau brute passe par la fosse septique. Cette augmentation serait due à des réactions de nitrification liées à la

présence des micro-organismes nitrifiantes notamment des bactéries Nitrospirae, Nitrosospira sp et Nitrospira sp. (Chansonet al., 2015). L'arrivée de l'eau au filtre vertical s'accompagne par une forte augmentation de NO₃⁻. Celle-ci serait due à l'aération artificielle par les tubes d'aération en PVC. Le passage de l'eau dans le filtre horizontal s'accompagne par contre par une régression de NO₃⁻ qui serait du NO₃⁻ en N₂, NO₂ par des bactéries dénitrifiantes dans des conditions anaérobies (Mazunga et al., 2007).

Tableau 4 : Les valeurs de la concentration du nitrate mg/l

Date de prélèvement	NO ₃ ⁻				
	EX	E	FS	FV	FH
01/05/2019	0.3987	0.0443	1.1961	41.0218	21.1754

Tableau 5: L'abattement d'élimination de nitrate en %

Abattement		
E1-FS	FS-FV	FV-FH
-	-	48%

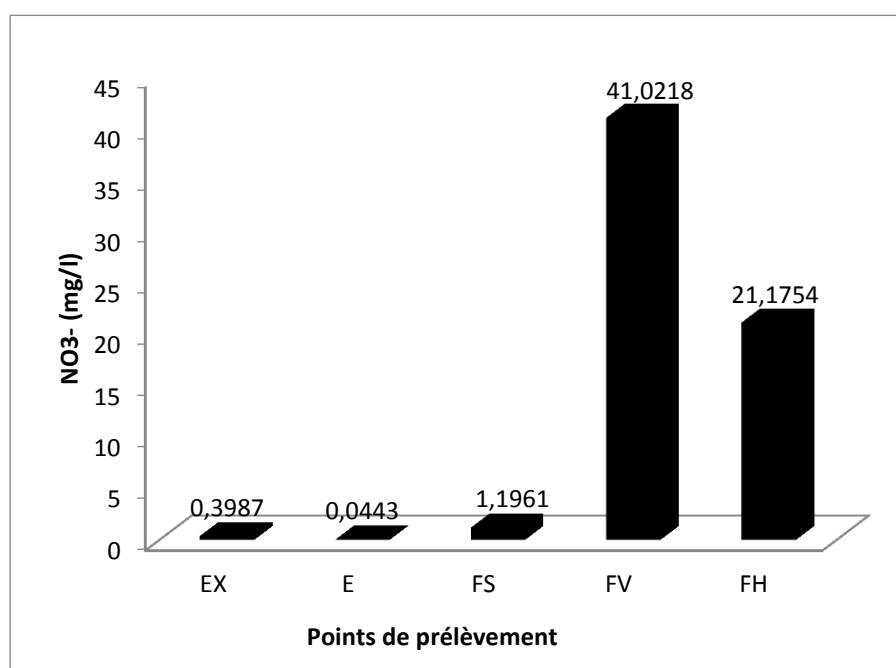


Figure 6 : Diagramme de la concentration du nitrate

I.1.5 Phosphore total

L'analyse du tableau 6 et la figure 7 révèle que la diminution du phosphore total avec un taux d'abattement de 89.9% (Tab. 7), cette diminution commence à partir de l'entrée de la station et la fosse septique. Cette diminution pourrait être reliée à l'intervention des bactéries déphosphatantes.

Au niveau du filtre imbriqué (vertical et horizontal), l'élimination du phosphore se fait par voie chimique grâce à la présence du fer, représenté ici par les clous de fer métallique contenu dans la couche de mélange.

Tableau 6 : Résultats d'analyse du phosphore total en mg/l

Date de prélèvement	PT (mg/l)				
	EX	E	FS	FV	FH
01/05/2019	7,02	3,26	2,43	1,58	0,71

Tableau 7: l'abattement du phosphore total en %

L'abattement			
E1-FS	FS-FV	FV-FH	FS-FH
25%	33%	56%	71%
L'abattement total = 89.9%			

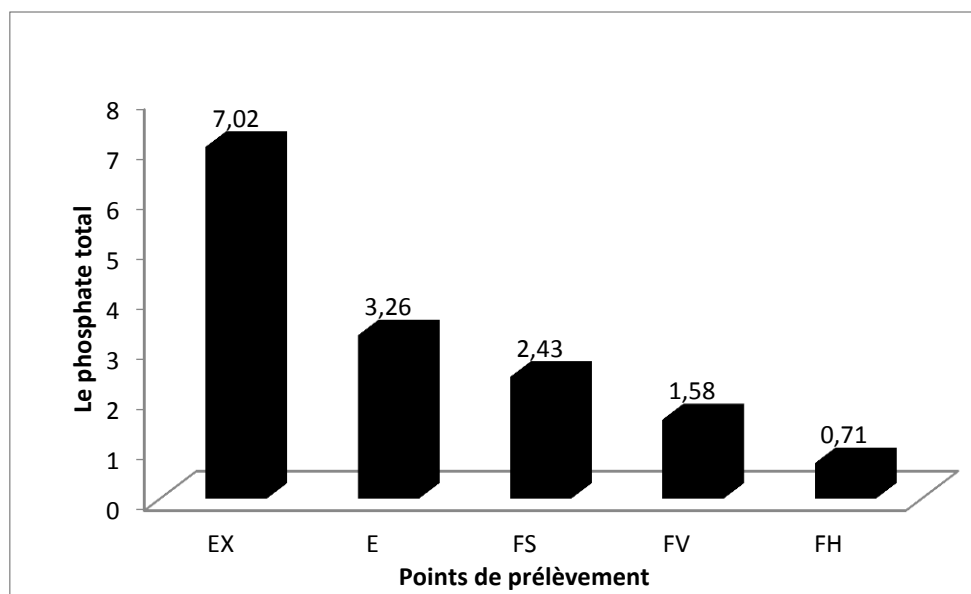


Figure 7: Diagramme du phosphore total PT

→ D'après les résultats obtenus à l'échelle de laboratoire montre que la technique du traitement des eaux usées domestiques par filtre imbriqué est très efficace dans le traitement des eaux usées en termes d'élimination du phosphore total, de la matière organique et de nitrate.

II. Les paramètres physico-chimiques du sol

II.1 Les paramètres in- situ

L'analyse des résultats du tableau 8 et des figures 8 montrent que la conductivité est élevée dans le sol irrigué par l'eau brute que les autres types du sol car cette eau est beaucoup plus chargée en ions dissous ce qui entraîne une forte minéralisation. On remarque aussi une augmentation du pH (Tab.8 et Fig.9) du sol après son irrigation par les trois types d'eaux mais la valeur de pH du sol irrigué par l'eau brute reste la plus grande (8.76). Cette augmentation pourrait être due soit à la présence des molécules minérales à bases de carbone en suspension dans les différents types de l'eau soit à l'existence du carbonate de calcium dans le sol.

Tableau 8 : Les valeurs du potentiel d'Hydrogène pH et la conductivité électrique CE, SB : Sol irrigué par l'eau brute, ST : Sol irrigué par l'eau traitée, SP : Sol irrigué par l'eau du puits

	SB	ST	SP
PH	8.76	8.70	8.58
CE (µs/cm)	1110	700	919

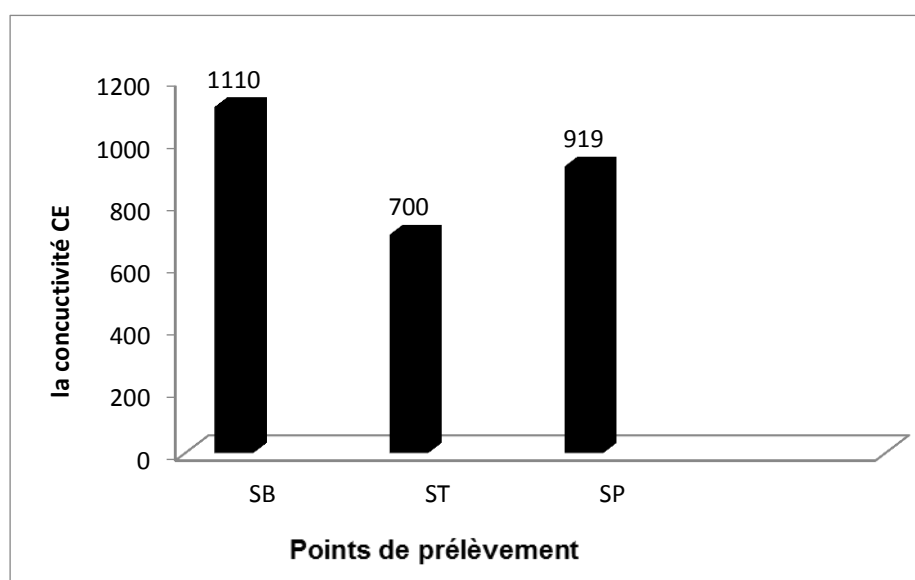


Figure 8 : Diagramme de la conductivité électrique en µS/cm

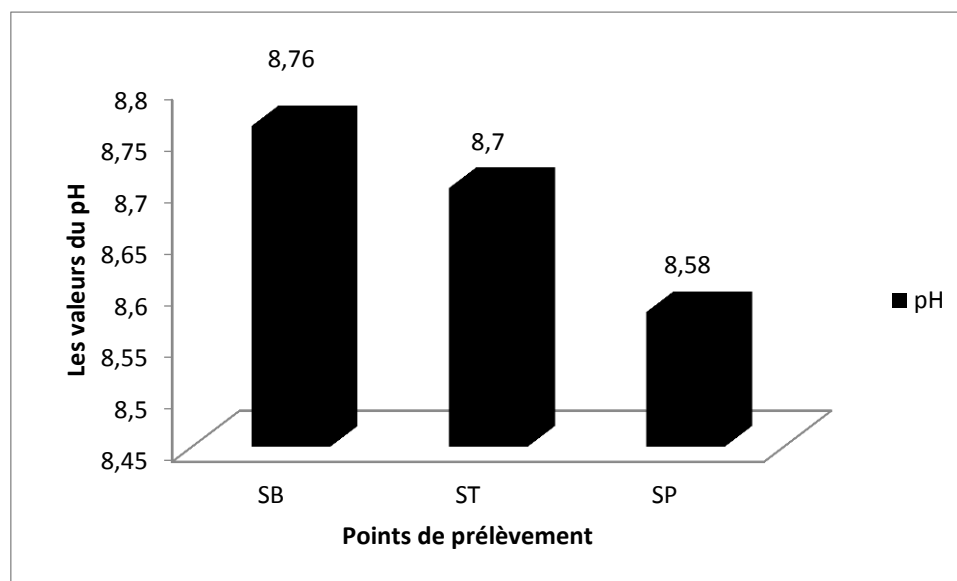


Figure 9 : Diagramme du potentiel d'Hydrogène pH, SB : Sol irriguée par l'eau brute, ST : Sol irrigué par l'eau traitée, SP : Sol irrigué par l'eau du puits.

II.2 Carbone organique (COT) et la matière organique (MO)

D'après le tableau 9 et la figure 10 ci-dessus, la quantité de la MO et COT est élevée dans le sol irrigué par l'eau brute par rapport aux autres types du sol. Ceci est dû à la richesse de l'eau brute en matière organique décomposée et en suspension dans l'eau.

Nous pouvons déterminer le pourcentage de la MO en appliquant la relation suivante : $\%MO = \%COT * 1,724$ puis on convertit les valeurs en mg/g.

Tableau 9 : Résultats des mesures du carbone organique totale COT et la matière organique MO en mg/g

	T	SB	ST	SP	ST ₀
V(K₂Cr₂O₇) en ml	5	2.75	4.8	3.75	6
COT en mg/g		13.8	1.2	7.6	0
MO en mg/g		23.8	2	13.1	0

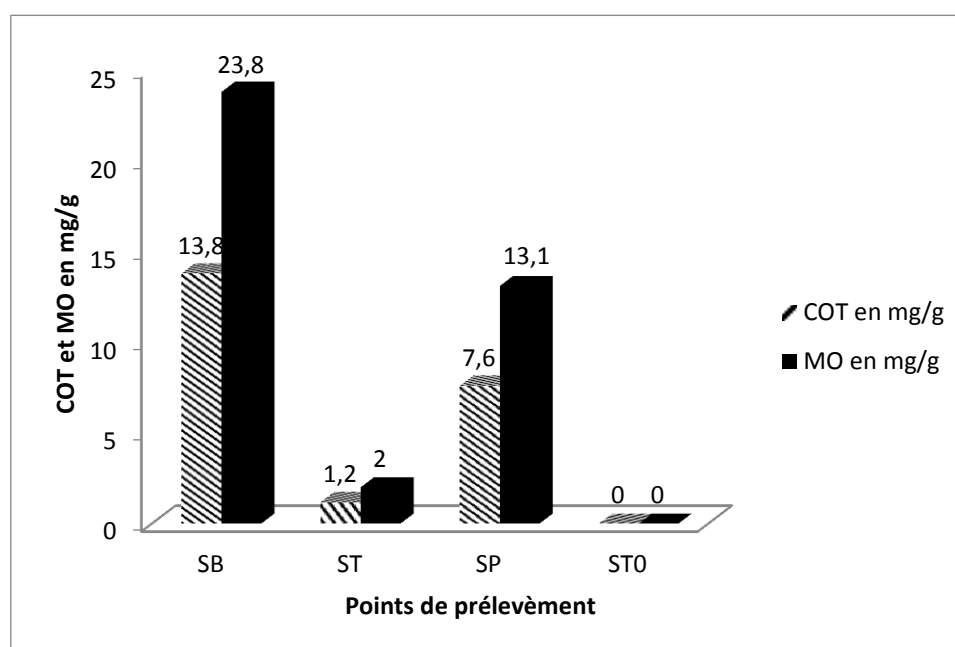


Figure 10 : Diagramme de la concentration du carbone organique total COT et de la matière organique MO en mg/g.

II.3 NTK : azote total Kjeldhal

Le tableau 10 et la figure 11 montrent que le NTK du sol irrigué par l'eau brute est nettement plus grande par rapport aux autres sols. Ceci s'explique par le fait que l'eau d'irrigation est fortement chargée en azote organique (protéines, acide aminés...) et minéral (ammoniac, nitrite, nitrate). Le sol irrigué par l'eau traitée montre par contre une faible concentration de NTK. Cette diminution est due à la présence des conditions aérobies et

anaérobie dans le filtre imbriqué qui favorise la réaction de nitrification et dénitrification par les bactéries (Li et al., 2011). On note par ailleurs que le sol irrigué par l'eau de puits est plus riche en azote total que le sol témoin non irrigué (ST0).

Tableau 10 : Résultats d'analyse du NTK en mg/g

	TE	SB	ST	SP	ST0
V(H ₂ SO ₄) en ml	1.1	3.4	3	2.7	1.5
NTK mg/g		0.644	0.532	0.448	0.112

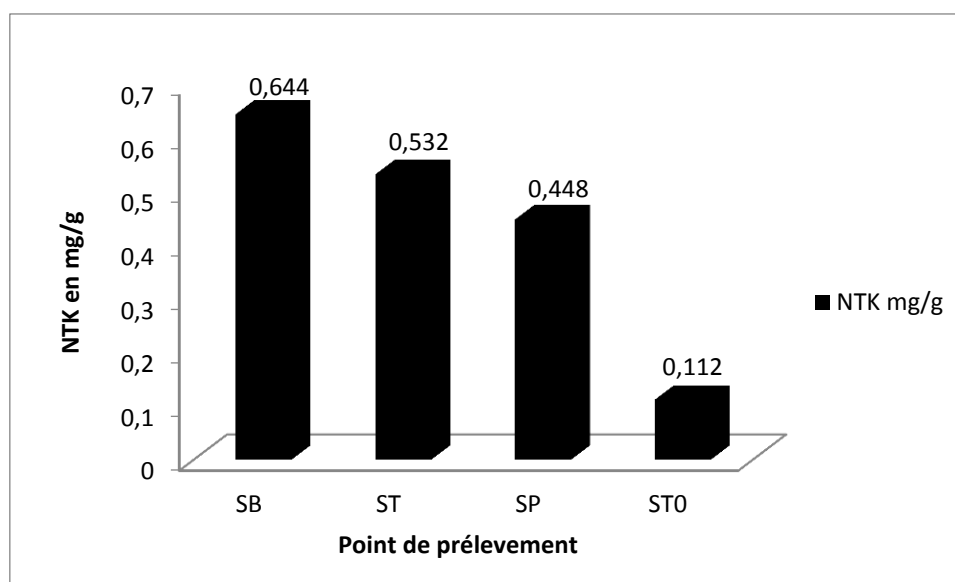


Figure 11 : Diagramme de l'azote total Kjeldhal NTK en mg/g

→ D'après les résultats ci-dessous, on peut conclure que la quantité de la matière organique MO du sol irrigué par l'eau traitée a diminué (2mg/g) ce qui implique que le système du filtre imbriqué a une grande capacité d'éliminer la matière organique. Ainsi que, l'azote total Kjeldhal a augmenté depuis le sol irrigué par l'eau du puits jusqu'à le sol irrigué par l'eau brute.

II. Plante du Maïs

Dans cette partie, nous allons présenter les résultats des mesures des deux suivis de la plante du Maïs accompagnés avec leurs interprétations.

D'après le tableau 11 et la figure 12, on constate une augmentation significative des paramètres de croissance depuis le premier suivie jusqu'à le dernier. En effet, la tige moyenne atteint la valeur 31.2cm par rapport au premier suivie (7.02cm). Ainsi que la longueur moyenne passe de 21.92cm à 47.7cm dans le troisième suivie. Concernant la largeur, elle a augmenté aussi (de 2.85cm à 5.4cm).

Tableau 11 : Mesure de l'évolution de 3 suivies des plantes de Maïs irriguées par l'eau brute.

	TM	LM	Lm
01/05/2019	7,02	21,92	2,85
19/05/2019	16,9	35,9	4,7
25/05/2019	31,2	47,7	5,4
TDC	77,5%	54,04%	47,2%

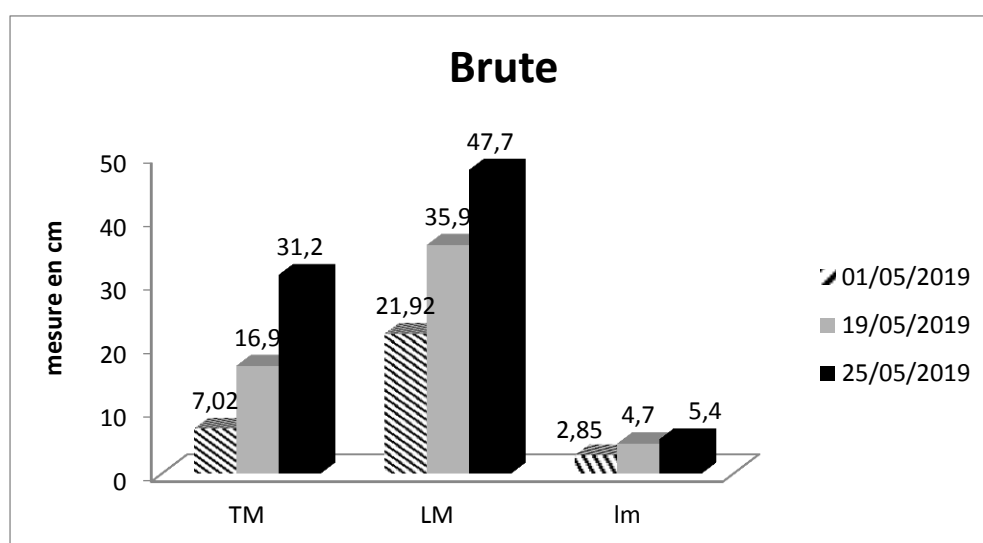
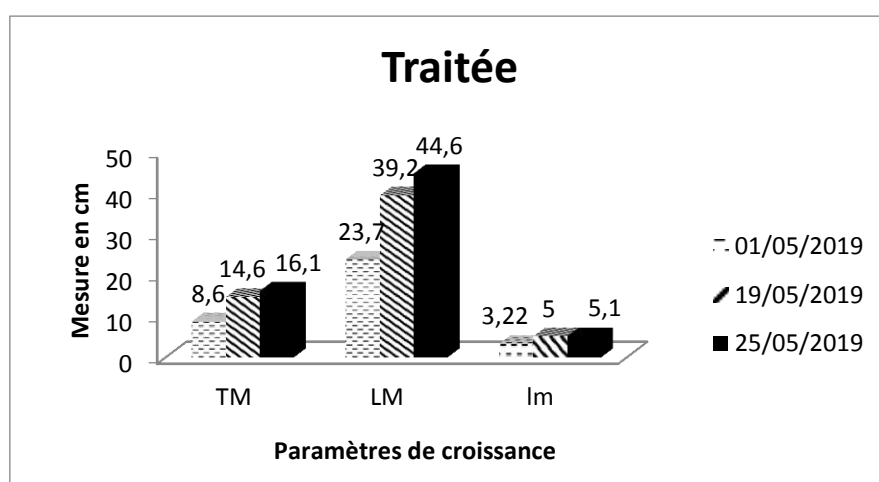


Figure 12 : Diagramme de la croissance des plantes irriguées par l'eau brute pendant 3 suivies, TM : tige moyenne, LM : longueur moyenne, Lm : Largeur moyenne.

D'après le tableau 12 et la figure 13, on constate une augmentation significative des paramètres de croissance depuis le premier suivie jusqu'à le dernier. En effet, la tige moyenne atteint la valeur 16.1cm par rapport au premier suivie (8.6cm). Ainsi que la longueur moyenne passe de 23.7cm à 44.6cm dans le troisième suivie. Concernant la largeur, elle a augmenté aussi (3.22 à 5.1cm).

**Tableau 12 : Mesure de l'évolution de 3 suivies des plantes de
Mais irriguées par l'eau traitée.**

	TM	LM	Lm
01/05/2019	8,6	23,7	3,22
19/05/2019	14,6	39,2	5
25/05/2019	16,1	44,6	5,1
TDC	46,58	46,8	36,8



**Figure 13 : Diagramme de la croissance des plantes irriguées
par l'eau traitée pendant 3 suivies.**

D'après le tableau 13 et la figure 14, on constate une augmentation significative des paramètres de croissance depuis le premier suivie jusqu'à le dernier. En effet, la tige moyenne atteint la valeur 13.2cm dans le deuxième mesure puis elle a baissé de 0.2cm dans le suivie qui suit peut être cette diminution et due à une anomalie. Ainsi que la longueur moyenne passe de 23.62cm à 42.8cm dans le troisième suivie. Concernant la largeur, elle a augmenté aussi (de 3.14cm à 4.8cm).

Tableau 13 : Mesure de l'évolution de 3 suivies des plantes de Maïs irriguées par l'eau puits.

	TM	LM	Lm
01/05/2019	7,88	23,62	3,14
19/05/2019	13,2	39,3	4,6
25/05/2019	13	42,8	4,8
TDC	39,4%	44,81%	34,6%

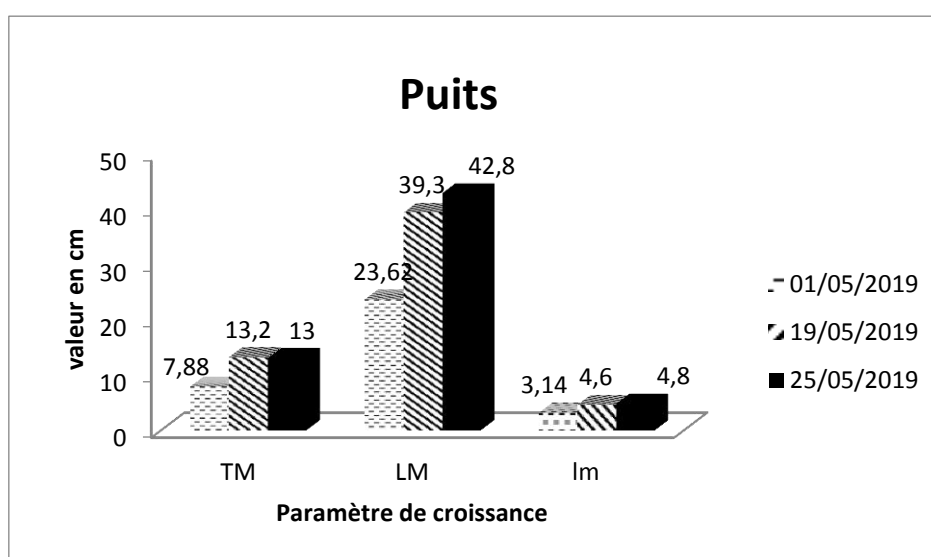


Figure 14 : Diagramme de la croissance des plantes irriguées par l'eau de puits pendant 3 suivies, TM : tige moyenne, LM : longueur moyenne, Lm : Largeur moyenne.

Selon le tableau 14 et la figure 15, on remarque que le taux de croissance dans les parcelles irriguées par l'eau brute et traitée est plus grand par rapport au celle du puits.

Tableau 14 : Le taux de croissance des plantes du Maïs

	Taux de croissance		
	TM	LM	Im
Brute	77,5	54,04	47,2
Traitée	46,58	46,8	36,8
Puits	39,4	44,81	34,6

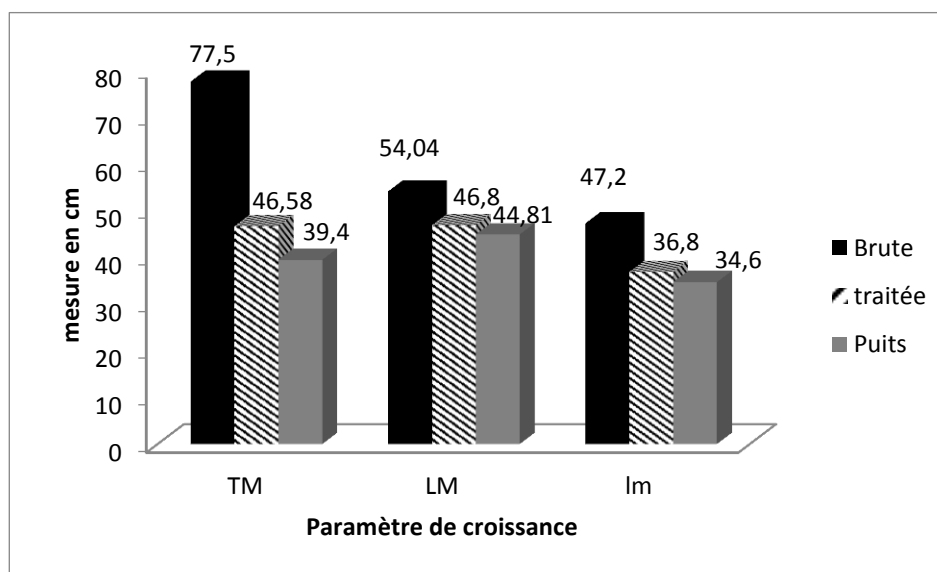


Figure 15 : Diagramme du taux de croissance des plantes pendant 3 suivies.

Conclusion générale

Dans la première partie que nous avons entamé l'étude des performances épuratoires du prototype expérimental de la station de traitement de l'Annexe de la Faculté des Sciences Juridiques, Economiques et Sociales a montré des résultats du procédés épuratoires satisfaisantes : 74.8% de l'élimination de la matière organique et une forte réduction du phosphore de 89.9%.

La deuxième partie de ce travail a été réservée à l'étude de l'irrigation des eaux usées brutes et traités sur les sols. Les résultats des expériences ont indiqué que la valeur du pH est élevée dans les sols irrigués par l'eau brute et traitée (8.76 et 8.70), une forte conductivité dans le sol irrigué par l'eau brute (1110 μ S/cm). La valeur du NTK (Azote Total Kjeldhal) a augmenté dans les sols irrigués par l'eau brute et traité (0.644mg/g et 0.532mg/g) par rapport au sol non irrigué (0.112mg/g).

La dernière partie a été consacrée à l'étude de la réutilisation des eaux usées traitées par le système filtre imbriqué en irrigation de la culture de Maïs, Ainsi, trois types d'eau d'irrigation ont été utilisés: les eaux usées brutes, les eaux usées traitées par système de filtration et les eaux de puits (témoin). Les essais expérimentaux ont montré que les plantes irriguées par l'eau brute et traité ont un taux de croissance très élevés (TM : 77.5% et 46.5% ; LM : 54.05% et 46.8% ; Im : 47.2% et 36.8%) par rapport au témoin (TM : 39.4% ; LM : 44.81% et Im : 34.6%).

Le traitement des eaux usées par système filtre imbriqué (filtre Vertical + filtre Horizontal) s'avère être une solution efficace caractérisée par des bons rendements épuratoires et un potentiel de réutilisation des eaux usées traitées en irrigation des cultures.

Références bibliographiques

Chen, X., Sato, K., Wakatsuki, T., Masunaga, T., 2007b. Effect of structural difference on wastewater treatment efficiency in multi-soil-layering systems: relationship between soil mixture block size and removal efficiency of selected contaminants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53, pp. 206-214.

Masunaga, T., Sato, K., Zennami, T., Fujii, S., Wakatsuki, T., 2003. Direct treatment of polluted river water by the multi-soil-layering method. *Water Environ. Technol.* 1, pp. 97-104.

Masunaga, T., Sato, K., Mori, J., Shirahama, M., Kudo, H., Wakatsuki, T., 2007a. Characteristics of wastewater treatment using a multi-soil-layering system in relation to wastewater contamination levels and hydraulic loading rates. *Soil Sci. Plant Nutr.* 53, pp. 215-223.

Sato, K., Masunaga, T., Wakatsuki, T., 2005a. Characterization of treatment processes and mechanisms of COD, phosphorus and nitrogen removal in a multi-soil-layering system. *Soil Sci. Plant Nutr.* 51, pp.213-221

Wakatsuki, T., Omura, S., Abe, Y., Izumi, K., Matsui, Y., 1990. Treatment of Municipal Wastewater by Multi-Soil-Layering System (Part 3) Role and Life of Purification Abilities of Soil Materials in the Systems. *Soil Sci. Plant Nutr.* 61, pp. 74-84.

Wakatsuki, T., Esumi, H., Omura, S., 1993. High performance and N and P removable on-site domestic waste water treatment system by Multi-Soil-Layering method. *Water Sci. Technol.* 27, pp. 31-40.

Yi-Dong, G., De-Fu, X., Xin, C., An-Cheng, L., Hua, F., Yu-Zhi, S., 2013. Flow patterns of multi-soillayering systems. *Deswater.* 52, pp. 4165-4169.

Annexes



Figure A.1 : plaque chauffante



Figure A.2 : Balance



Figure A.3 : Réacteur du phosphore



Figure A.4 : Composition du CM



Figure A.5 : Parcelle irriguée par l'eau du puits.



Figure A.6 : Parcelle irriguée par l'eau brute.



Figure A.7 : Parcelle irriguée par l'eau traitée

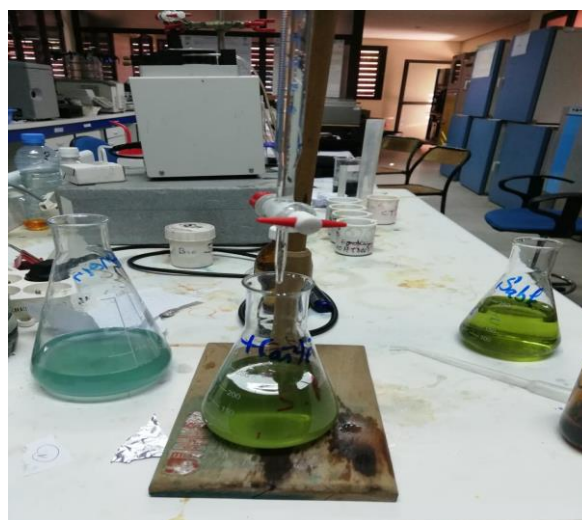


Figure A.8 : dosage de $K_2Cr_2O_7$ par le sel de Mohr.

La liste des normes marocaines des eaux destinées à l'irrigation

	Paramètres	Valeur limites
--	------------	----------------

PARAMETRES MICROBIOLOGIQUE		
1		1000/100 ml*
2	Salmonelle	Absence dans 51
3	Vibrons cholérique	Absence dans 450 ml
PARAMETRES PARASITOLOGIQUES		
4	Parasites pathogènes	Absence
5	Oeufs, kystes de parasites	Absence
6	Larves d'Ankylostomides	Absence
7	Fluococercaires de schistosoma hoematobium	Absence
PARAMETRES TOXIQUES		
8	Mercure (Hg) en mg/l	0,001
9	Cadmium (Cd) en mg/l	0,01
10	Arsenis (As) en mg/l	0,1
11	Chrome total (Cr) en mg/l	1
12	Plombe (Pb) en mg/l	5
13	Cuivre (Cu) en mg/l	2
14	Zinc (Zn) en mg/l	2
15	Sélénium (Se) en mg/l	0,02
IONS TOXIQUES (affectant les cultures sensibles)		
30	Sodium (Na)	
	Irrigation en surface (SAR***)	69
	Irrigation par aspersion en mg/l	9
31	Chlorure (cl)	
	Irrigation de surface (mg/l)	350
	Irrigation par aspersion en mg/l	15
32	Bore (B) en mg/l	3
EFFETS DIVERS (affectant les cultures sensibles)		
33	Température °C	35
34	pH	6,5-8,4
35	Matières en suspension en mg/l	
	irrigation gravitaire	200
	irrigation par aspersion et localisé	100
36	Azote nitrique (N-NO3-) en mg/l	30
37	Bicarbonate (HCO3-) (irrigation par aspersion en mg/l)	518

