



République algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université KASDI MERBAH OUARGLA

N° d'ordre :
N° de série :



Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Civil et Hydraulique
Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat LMD

Spécialité : Hydraulique

Option : *Aménagement hydraulique en milieu aride*

Présentée par : **Fatiha GHERAIRI**

Thème

L'influence des caractéristiques physico-chimiques des matériaux filtrants sur l'efficacité de la filtration biologique

Soutenu le : **05 / 12 / 2017**

KRIKER Abdelouahed	Professeur, Univ. K.M. Ouargla	Président
HAMDI AISSA Bealhadj	Professeur, Univ. K.M. Ouargla	Rapporteur
SEKIRIFA Med Lamine	M.C.A, Univ.K.M. Ouargla	Examineur
MESSIKH Nabil	M.C.A, Univ. 21 Aout 55. Skikda	Examineur
BOUTAGHANE Hamouda	M.C.A, Univ, B.M. Annaba	Examineur
TOUIL Youcef	M.C.B, Univ.K.M. Ouargla	Invité

Année Universitaire : 2016/2017

Résumé

Dans le contexte de traitement des eaux usées nous avons évalué à l'échelle de laboratoire l'efficacité de filtration lente sur des colonnes optimisées dans des travaux antérieurs. Notre travail est scindé en trois parties :

- L'étude comparative de deux matériaux granulaires, à savoir, le verre broyé et le sable de dunes. A travers les résultats obtenus, le verre broyé s'est avéré très efficace, comme support filtrant, avec un rendement allant jusqu'à 93.24 %, obtenu pour la DCO et 98.93 % pour la DBO₅.

- La deuxième partie, portée sur l'efficacité de la filtration, avec un dispositif contenant un lit filtrant de sable lavé, à des CU différentes, a donné des résultats satisfaisants. Ces derniers ont montré une efficacité d'élimination de la matière organique, avec un rendement allant jusqu'à 96,77 %, obtenu pour la DCO et 99,88 %, pour la DBO₅.

- En dernier lieu, des pilotes contenant un lit fixe de sable de dunes (sable de N'GOUSSA lavé de la région d'OUARGLA), à des porosités différentes, a mis en relief une efficacité d'élimination de la matière organique, avec un rendement allant jusqu'à 98,52 %, obtenu pour la DCO et de 99,16 %, pour la DBO₅.

Les résultats obtenus ont été largement discuté et comparé à des travaux antérieurs dans notre laboratoire et ceux de la littérature. Il s'avère que nos résultats sont très satisfaisants, mais doivent être complété par l'évaluation d'autres paramètres caractérisant le traitement proprement dit.

Mots clés : verre broyé, filtration biologique, traitement, eaux synthétique, sable de dunes, rendement épuratoire, matériaux granulaires. Coefficient de l'uniformité, porosité

الملخص

في سياق معالجة مياه الصرف الصحي، قيمنا في مختبرنا مدى الكفاءة للترشيح البطيء في أعمدة بالمقاييس الأمثل المنجزة في أعمال السابقة. تم تقسيم عملنا إلى ثلاثة أجزاء:

- دراسة مقارنة اثنتين من المواد الحبيبية، هما الزجاج المسحوق ورمل الكثبان. ومن خلال النتائج المحصل عليها، أبرزنا أن الزجاج له فعالية معتبرة، كمرشح بطيء، مع مردود وصل إلى 93.24% بالنسبة للطلب الكيميائي للأكسجين (COD)، و98.93% بالنسبة لـ

BOD₅.

- الجزء الثاني، يتعلق بكفاءة الترشيح، لعمود يحتوي على طبقة من الرمل المغسول مع معاملات حبيبية CU مختلفة. تحصلنا على نتائج مرضية، حيث أظهرت فعالية للقضاء على المواد العضوية، مع كفاءة وصلت إلى 96.77% بالنسبة لـ COD و99.88% لـ

BOD₅.

- وأخيراً، مرشحات مكونة من رمل مغسول لـ 'نقوسة' بمنطقة ورقلة وبمساميات مختلفة، أبرزت كفاءة جيدة في إزالة المواد العضوية، مع مردود وصل إلى 98,52%، بالنسبة لـ

COD و99,16 بالنسبة لـ BOD₅.

وقد نوقشت النتائج على نطاق واسع مع مقارنة بالأعمال السابقة المنجزة بمختبرنا ومرجعية أخرى. وتبين أن نتائجنا مرضية للغاية، ولكن يجب أن تستكمل بتقييم عوامل أخرى تميز المعالجة نفسها.

الكلمات المفتاحية: الزجاج المسحوق، الترشيح البيولوجي، الحبيبية، المعالجة، المياه المستعملة، رمل الكثبان، المسامية.

Abstract

In the context of treatment of wastewater, we evaluated the efficiency of slow filtration columns optimized in previous works. Our work is split into three parts:

- The comparative study of two granular materials, namely, the crushed glass and sand dunes. Through the results achieved, the crushed glass proved to be very effective, as filtering medium, with a performance up to 93.24%, obtained for the COD and 98.93 % for the BOD₅.
- The second part, on the efficiency of filtration, with a device containing a filter bed of washed sand, with different CU, gave satisfactory results. These showed an effectiveness of elimination of organic matter, with a performance up to 96.77 %, obtained for the COD and 99.88 % for the BOD₅.
- Lastly, columns containing a fixed bed of sand dunes (washed NGOUSSA sand in the Ouargla region), with different porosity, has highlighted efficiency of removal of organic matter, with a performance up to 98,52 %, obtained for the DCO and 99,16 % for the BOD₅.

Results have been widely discussed and compared to previous work in our lab and those in the literature. It turns out that our results are very satisfactory, but must be supplemented by the assessment of other parameters characterizing the treatment itself.

Key words: crushed glass, biological filtration, treatment, waste waters, dune sand, treatment efficiency, granular materials. Coefficient of uniformity, porosity.

Remerciements

Ce modeste travail est le fruit d'une collaboration de plusieurs parties auxquelles je tiens à remercier et rendre hommage.

Avant tout, je tiens à glorifier Dieu pour ses bienfaits, et surtout de m'avoir donné le courage et la volonté de poursuivre mes études en poste graduation.

Ma sincère gratitude et mes plus amples remerciements à mes encadreurs Monsieur HAMDI ISSA Bealhadj ; d'avoir cru en moi et accepter de me confier l'élaboration de ce mémoire et également à Monsieur TOUIL Youcef d'avoir proposé le thème. Mes encadreurs mon aidé et soutenu énormément, tout en suivant les démarches scientifiques de toute leur volonté.

Je tiens à remercier très vivement et respectueusement Monsieur KRIKER Abdellouahed pour m'avoir honoré d'accepter la présidence du jury. Aussi à tous les membres du jury aux Docteur SEKIRIFA Med Lamine, Docteur MESSIKH Nabil et Docteur BOUTAGHANE Hamouda.

Egalement, je remercie tous les organismes administratifs pour leur hospitalité et pour m'avoir aidé dans la collecte des données en particulier :

- à mon premier le directeur de Laboratoire de bio-géochimie des milieux désertiques, Monsieur : Hadj MAHAMMAD Mahfoud, de nous ont réceptionné, et la mise en disposition le matériel du laboratoire afin constater notre expérimentation.

-au Laboratoire d'Exploitation et de Valorisation des Ressources Naturelles en Zones Arides Université KASDI Merbah Ouargla en particulier Messieurs KRIKER Abdellouahed et

-au Laboratoire des Travaux Publics de Sud (LTPS) particulier Monsieur : HAFSSI Abdeltif.

-au laboratoire pédagogiques (L'ITAS) surtout Monsieur.BEGGARI Laïche

J'exprime tous mes remerciements à tous ceux et celles qui ont accepté de répondre à mes questions et levé mes incertitudes et éclairé mes idées.

A ceux qui m'ont soutenu techniquement et moralement durant cette période. A mes amis, en particulier tous les membres du laboratoire bio-géochimie des milieux désertiques je remercie profondément pour les agréables moments que nous avons passés ensemble. en particulier : Lamia ; Houria et Selwanne

J'adresse toute ma gratitude et mes remerciements à toute ma famille, ma mère, mes frères et sœurs à qui je dois ce modeste travail en particulier, GHERAIRI Yamina, ainsi que ZENKHRI Abderrezak que je considère comme grand frère et à qui j'exprime toute ma reconnaissance et mes remerciements.

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
I-1	Composition moyenne d'un effluent domestique	9
II-1	Valeurs de classement de l'indice de dispersion	25
II-2	Classement des sols selon leur conductivité électrique	26
II-3	Compositions du verre	28
III-1	Paramètres physiques des sables	35
III-2	Masse volumique apparente d'un sol	36
III-3	Conductivité électrique	37
III-4	Paramètres physico-chimiques des sables utilisés	38
III-5	Paramètres physiques du verre	41
IV-1	Caractéristiques de chaque pilote	44
IV-2	Différentes compositions des eaux usées préparées au laboratoire.	45
IV-3	Normes des eaux domestiques, et les valeurs trouvées	46
IV-4	Variation du pH en fonction du temps	47
IV-5	Variation de la conductivité électrique en fonction de temps	49
IV-6	Variation de la DBO ₅ en fonction de temps	51
IV-7	Variation de la DCO en fonction de temps	54
V-1	Valeurs des paramètres de chaque échantillon	61
V-2	Variation du pH en fonction du temps	63
V-3	Variation de la conductivité électrique	65
VI-1	Valeurs du paramètre de Sable lavé (N'GOUSSA)	73
VI-2	Caractéristiques des pilotes préparés	74
VI-3	Variation du pH en fonction du temps	76
VI-4	Variation de la Conductivité électrique en fonction de temps	78
VI-5	Normes algériennes de rejet des eaux et les paramètres d'analyse de la pollution (Journal officiel de la république algérienne, 1993)	85

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
III-1	Courbe granulométrique du Sable de (N'GOUSSA)	33
III-2	Courbe granulométrique du Sable de (HASSI SAYAH)	33
III-3	Courbe granulométrique de verre broyé	40
IV-1	Schéma représentatif des deux pilotes (sable et verre).	44
VI-2	Variation de la conductivité électrique (ms /cm) en fonction du temps	50
VI-3	Evolution du rendement en DBO ₅ en fonction du temps	52
VI-4	Evolution du rendement du DCO en fonction du temps	54
V-1	Schéma de préparation de sable	58
V-2	Courbes granulométrique du sable préparé	60
V-3	Schéma représentant les pilotes filtrant	62
V -4	Variation de la conductivité électrique (mS/cm) en fonction du temps	66
V -5	Evolution du rendement en DBO ₅ en fonction du temps	67
V -6	Evolution du rendement en DCO en fonction du temps	69
VI-1	Courbe granulométrique du Sable lavée de (N'GOUSSA)	73
VI -2	Variation de la conductivité électrique (mS/cm) en fonction du temps	79
VI -3	Evolution du rendement en DBO ₅ en fonction du temps	81
VI -4	Variation du rendement de la DCO en fonction de temps	82

Liste des photos

Numéro	Titre	Page
III-3	Photos du verre concassé (gauche) et du verre broyé (droite)	40
IV-1	Photos des particules du sable (gauche) et du verre (droite)	53
VI-2	Photo du dispositif expérimental	74

Liste des abréviations

CE	Conductivité électrique
Cc	Coefficient de classement
CU	Coefficient d'uniformité
DCO	Demande chimique en oxygène
DBO₅	Demande biologique en oxygène de cinq jours
DE	Diamètre effectif
D_a	Densité apparent
D_r	Densité réelle
EU	Eau Usée
MES	matières en suspension
M_s	Masse des éléments solide
M_{org}	Matières organiques
mS.cm⁻¹	Milli semence par cm ⁻¹
ml	Millilitre
n%	Porosité
pH	Potentiel d'Hydrogène
PVC	Sigle dérivé de l'anglais Polyviny Chlory de matière plastique
R%	Rendement
T°	Température
V_{sa}	Volume total apparent
S₀	Indices de dispersion
SK	Indices d'asymétrie SKEWNESS

Introduction générale

Introduction générale

L'eau, élément indispensable à la vie, doit être protégée et sa qualité doit être régulièrement contrôlée. Le monde scientifique a commencé à contrôler et à protéger aussi bien l'eau de consommation que l'eau rejetée. Cependant, les réglementations en vigueur et les technologies d'épuration doivent encore évoluer pour répondre à l'évolution des styles de vie, au vu de nouveaux polluants qui apparaissent engendrant de nouveaux dangers aussi bien pour les écosystèmes que pour les êtres vivants [1 ; 2].

Le traitement des eaux usées est un processus très important pour la vie quotidienne des habitants des villes et du monde rural, nous observons en conséquence, une évolution continue des techniques de traitement et des stations d'épuration des différents types d'eaux.

Les traitements usuels (primaires et secondaires) ont été complétés par des traitements qui visent à éliminer le plus possible de substances nocives pour les écosystèmes (tertiaires). Lorsque l'eau est un excellent solvant, donc facilement polluée, il est impératif de veiller à améliorer les techniques d'épuration des eaux usées, avant de les rejeter afin de préserver les milieux naturels. Traditionnellement, l'épuration par filtration est un procédé de traitement tertiaire des eaux usées ; mais dans les zones rurales elle est proposée pour le traitement primaire des eaux usées, les eaux sont rejetées sans traitement préalable dans le milieu naturel.

La filtration sur sable est un procédé de séparation solide liquide ; elle combine les effets de processus physiques et de processus biologiques ; c'est-à-dire que l'eau traverse lentement une couche de sable fine et que les particules les plus grosses sont retenues à la surface du sable [3 ; 4].

La filtration biologique sur sable est utilisée depuis les années 1900, elle est largement utilisée pour le traitement des eaux usées municipales [5].

Les filtres à sables lents représentent un moyen efficace pour traiter l'eau pour contrôler les contaminants microbiologiques. Ils ne requièrent pas la présence constante d'un opérateur ; cette technologie est donc appropriée pour les petits systèmes de traitement ou ceux qui emploient des opérateurs à temps partiel [6].

La région d'Ouargla est très riche en gisement de sable dunaire, et la majorité de ces sables répondent, du point de vue caractéristique, aux normes de filtration biologique [7 ; 8]

Plusieurs études ont déjà porté sur la filtration lente sur sable de dune (N'GOUSSA) pour le traitement des eaux usées au laboratoire *laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques* (université de Ouargla) [9] [10 ; 11]. Ce sable permet d'obtenir de très bons rendements d'épuration quant à l'enlèvement du matière organiques.

La proposition de [9] réside dans l'utilisation des anciennes techniques d'épuration en valorisant les matériaux locaux, les résultats du prototype expérimental proposé dans leur travail sont satisfaisants. Et l'étude effectuée représente un support de données pour la résolution du problème de la cuvette de Ouargla. Par ailleurs, la filtration sur sable de dune qui a donné de très bons résultats à l'échelle prototype.

Selon [10] et travers de l'étude de phénomène de colmatage : les causes de son apparition, avec plusieurs filtres à sable (N'GOUSSA) de même dimensionnement et de mêmes caractéristiques. Ce colmatage est classé en trois fragments : mécanique, physique et organique.

Par ailleurs [11] et pour but de l'évaluation de la charge polluante des eaux résiduaires de quelques sites industriels de la ville de Ouargla et de proposer un traitement convenable permettant son recyclage, réduisant ainsi les nuisances que subit l'environnement récepteur apartir des colonnes de traitement composée d'un lit fixe bicouche de Charbon Activé Granulé (CAG) et du sable de dunes. Les résultats obtenus en termes de rétention des polluants phénoliques sont satisfaisants.

D'un autre côté, l'exploitation de déchets solides tels que les verres de conditionnement (bouteilles et autres) peuvent constituer une alternative dans la filtration des eaux usées domestiques que nous nous proposons d'évaluer.

L'utilisation des matériaux locaux ou des déchets solides (verre) est justifiée par leurs propriétés physico-chimiques adéquates pour un processus de filtration et l'épuration des eaux usées qui ont déjà fait l'objet de quelques études [12].

Notre étude a été faite au laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques, dans le cadre du projet de mise au point d'un site expérimental de traitement des eaux usées dans la région d'Ouargla. Les objectifs visés par ce présent travail peuvent être résumés comme suit :

- L'exploitation des ressources naturelles et la valorisation de quelques déchets solides dans le domaine du traitement des eaux usées tout en contribuant à la protection de l'environnement.
- L'évaluation de l'influence de la nature initiale de matériaux filtrants sur la biofiltration.
 - La détermination de l'effet des granulométries du matériau filtrant sur l'efficacité de la filtration biologique.

Notre manuscrit de thèse s'articule en 02 grandes parties :

* Une partie bibliographique qui met en évidence les diverses notions sur les eaux usées (origine et traitement) d'un côté, et les différents aspects du processus de filtration (mécanismes, matériaux et paramètres d'évaluation)

* La deuxième partie est consacrée au travail expérimental, elle est constituée de 4 chapitres :

- Caractérisation des matériaux filtrants (la granulométrie et les paramètres chimiques du sable et du verre),
- Etude comparative entre le sable et le verre broyé du point de vue granulaire,
- Mise en place du dispositif et suivi de son fonctionnement (Influence de la granulométrie sur la filtration ; les analyses physico-chimiques de l'eau et discussion des résultats.

Nous terminons ce travail par une conclusion générale et des perspectives.

Partie bibliographique

Chapitre I

Généralités sur le traitement des eaux usées

I-1 Introduction

Collectées par le réseau d'assainissement d'une agglomération, les eaux usées urbaines contiennent de nombreux éléments polluants, provenant des ménagères, eaux 'vannes' et industrielles. Elles sont acheminées vers une station d'épuration ou elles subissent plusieurs phases de traitement.

Le but de ces différentes étapes de traitement est de diminuer suffisamment la quantité de substances polluantes contenues dans les eaux usées pour que l'eau finalement rejetée dans le milieu naturel ne dégrade pas ce dernier. Le traitement des eaux usées obéit donc à une logique de préservation des ressources en eau et de protection de l'environnement.

I-2-Définition et origine des eaux usées

Les eaux usées (appelées aussi eaux résiduaires) constituent l'ensemble des déchets liquides produits par l'homme pour ses propres besoins et au cours de ses activités domestiques, agricoles et industrielles) [13 ; 14]. Elles sont identifiées selon leurs origines.

I-3-Origines des eaux usées

I-3- 1. Les eaux usées domestiques

Ces eaux sont les eaux utilisées par une collectivité donnée et elles contiennent les déchets corporels de lavage, de lessivage, de préparation des aliments et de tout type de ménage [15].

I-3-2. Les eaux usées pluviales

Bien que ces eaux n'aient pas été utilisées par l'homme, elles peuvent être polluées par l'atmosphère selon les activités de la région considérée. Il arrive même qu'elles soient plus polluées que les eaux usées domestiques. Elles ruissellent sur les surfaces imperméables, après qu'elles aient traversé une atmosphère chargée de poussières et de produits divers [13].

I- 3-3. Les eaux usées agricoles

Ces eaux sont considérées comme usées, car elles sont chargées de constituants contenus dans les engrais, en plus des composantes issues du lessivage du sol [16].

I-3-4. Les eaux usées industrielles

Toutes les unités industrielles utilisent les eaux dans leurs processus de production, par conséquent, elles sont constituées de divers déchets engendrant des rejets, très souvent pollués [13].

I-4- Paramètres de pollution des eaux usées

Les matières polluantes contenues dans les eaux usées urbaines sont diverses ; suivant leur nature, elles n'entraînent pas le même type de nuisance et nécessitent des traitements différents et appropriés. La composition et la quantité des eaux usées sont liées à divers facteurs notamment au mode de vie ainsi qu'aux activités industrielles.

La composition de ces eaux est étudiée par diverses techniques de mesures, physiques, chimiques et biologiques [16].

I-4-1. Paramètres physiques

a. Les matières en suspension (MES) : (Norme AFNOR T.90-119) elles représentent les matières qui ne sont ni solubilisées ni à l'état colloïdal, donc pouvant être retenues par un filtre. Les MES, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'une eau usée. Il existe deux grands types de méthodes de détermination de MES [17 ;18] :

-Les méthodes gravimétriques résultant d'une séparation physique de MES de l'eau par filtration ou centrifugation ;

-Les méthodes optiques qui mesurent l'absorption ou la réfraction d'un rayonnement lumineux, par les particules en suspension.

Cette détermination est réalisée par turbidimétrie. Les MES sont exprimées en milligrammes par litre.

b. La turbidité : tenant à la présence plus au moins importante de matières en suspension, d'origine minérale ou organique.

La turbidité opposée à la limpidité, est une mesure de la capacité d'une eau à empêcher sa pénétration par les rayons lumineux grâce aux matières non décantables qu'elle contient dans les eaux profondes.

c. Tension superficielle : associée à des produits de tension active (détergents essentiellement).

d. La couleur : liée au diversement de composés chimiques solubles présentant une coloration marquée.

e. La température : la température régit la quantité d'oxygène dissous dans l'eau, quand la température augmente, l'oxygène dissous diminue, elle influe également sur la décomposition de la matière organique, le développement des parasites responsables de certaines maladies, et la prolifération des algues bleues qui libèrent des toxines.

C'est un paramètre souvent négligé dans les collecteurs urbains, mais qui devrait être plus souvent mesuré, surtout dans le cas des rejets industriels dans le réseau.

Le fonctionnement de certains ouvrages d'épuration notamment les dégraisseurs, est sensible à des températures trop élevées, ainsi la température de rejet doit être inférieure à 30°C. Ce paramètre peut influencer :

- La stabilité des sels et des gaz en particulier la concentration d'oxygène dissous.
- La multiplication des micro-organismes.

Généralement, la température des effluents domestiques suit la température ambiante et les réactions enzymatiques en dépendent fortement. La diminution de ce dernier au-delà d'un certain seuil déclenche une accumulation progressive de la matière organique par décroissance de l'activité bactérienne. Donc une chaîne de phénomènes s'établit :

1. accumulation de la matière organique.
2. manque d'oxygène par apparition d'une barrière à la diffusion.
3. production de NH_4^+ , et H_2S

I-4-2. Paramètres chimiques

a. La demande chimique en oxygène DCO

La méthode de dosage de la DCO est essentiellement basée sur la mesure de la consommation en oxygène nécessaire à sa dégradation. La DCO est exprimée en mg.l^{-1} d'oxygène équivalente à la quantité de dichromate de potassium consommée par les matières dissoutes et en suspension, lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par les normes [18 ; 19].

L'avantage des mesures DCO c'est qu'elles sont obtenues très rapidement (dans les 2 heures), mais ils ont l'inconvénient de ne pas donner d'informations sur la proportion des eaux usées qui peuvent être oxydées par des bactéries, ni la vitesse à laquelle la bio-oxydation se produit [15].

b. La demande biochimique en oxygène après cinq jours (DBO_5)

Demande biochimique en oxygène (DBO_5)- c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour l'oxydation d'une eau usée par des bactéries. C'est donc une mesure de la concentration de matière organique dans un déchet qui peut être oxydé par des bactéries (« bio-oxydé » ou « biodégradé »).

La DBO_5 est habituellement exprimée sur 5 jours, 20°C - c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommée pendant l'oxydation des eaux usées pendant 5 jours à 20°C .

La DBO de 5 jours (généralement écrit « DBO_5 ») est facilement mesurée [15].

La DBO_5 est exprimée en mg.l^{-1} [14 ;15]. La qualité des eaux usées se détermine par des analyses et des mesures physicochimiques et biologiques bien déterminées ; pour une eau usée domestique les caractéristiques physicochimiques sont représentées dans le tableau (1)

Tableau (I-1) : Composition moyenne d'un effluent domestique [2] [17].

Paramètres	Valeurs
pH	7.5 à 8.5
DBO ₅	100 à 500 mg O ₂ /L
DCO	300 à 1000 mg O ₂ /L
MES	100 à 400 mg /L
NK	30 à 100 mg /L
N-NH ⁴⁺	20 à 80 mg /L

c. L'indice de biodégradabilité :

La détermination du procédé d'épuration à appliquer se fait sur la base du coefficient de biodégradabilité « K » défini par le rapport

$$K = \text{DCO} / \text{DBO}_5 \quad [2]. \quad (\text{I-01})$$

En général si :

- toute la matière organique est biodégradable ; $1=K$
- l'épuration biologique s'effectue normalement ; $1 < K < 2.5$
- le traitement biologique est associé à un traitement physicochimique :
 $2.5 < K < 3$
- un traitement physicochimique est envisagé. $K > 3$

d. Le carbone organique total (COT) :

La détermination porte sur les compositions organiques fixes ou volatiles, naturelles ou synthétiques, présentes dans les eaux résiduaires (celluloses, sucres, huiles, etc....) suivant que l'eau été préalablement filtré ou non, on obtiendra le carbone dissout ou le carbone total cette mesure permet de faciliter l'estimation de la demande en oxygène liée aux rejets et d'établir une corrélation avec la DBO₅ et la DCO [2].

I-5 Techniques de traitement des eaux usées

Le principal objectif du traitement des eaux usées est généralement de permettre l'évacuation des effluents humains et industriels sans danger pour la santé humaine ou pour des dommages inacceptables pour l'environnement naturel [20].

Les eaux usées urbaines résiduaire passent sur les principales étapes suivantes :

I-5-1. Le prétraitement des eaux usées

Le prétraitement consiste à débarrasser les eaux usées des polluants solides les plus grossiers (dégrillage) ainsi que des sables et des graisses (dessablage, dégraissage). Ce sont des simples étapes de séparation physique.

Au cours du dégrillage, les eaux usées passent à travers une grille dont les barreaux, plus au moins, retiennent les matières les plus volumineuses. Ces éléments sont ensuite éliminés avec les ordures ménagères. Le tamisage, qui utilise des grilles dont l'espacement est plus réduit, peut compléter cette phase de prétraitement. Cependant, il génère beaucoup plus de déchets. [13].

Le dessablage débarrasse les eaux usées des sables et des graviers par sédimentation. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé dessableur entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ces particules sont ensuite aspirées par une pompe. Les sables récupérés sont essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés, selon la quantité du lavage [13].

Le dégraissage vise à éliminer la présence de la graisse dans les eaux usées, graisses qui peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite. Le dégraissage s'effectue par flottation. L'injection d'air au fond de l'ouvrage permet la remontée en surface des corps gras. Les graisses sont raclées à la surface. Puis stockées avant d'être éliminées (mise en décharge ou incinération). Elles peuvent aussi faire l'objet d'un traitement biologique spécifique au sein de la station d'épuration. De nombreuses stations utilisent des dessableurs dégraisseurs combinés. [13].

I-5-2. Le traitement physico-chimique des eaux usées

Généralement le taux d'épuration exigé pour le rejet des effluents dans le milieu naturel n'est pas atteint par une simple épuration préliminaire.

Les procédés de traitement physico-chimique, ont pour objet d'accélérer l'effet gravitationnel des particules encore en suspension dans les eaux usées. Ces procédés qui permettent d'obtenir un meilleur résultat que la simple sédimentation utilise les techniques de coagulation et de floculation. Ce sont des méthodes qui favorisent la sédimentation des particules flottantes dans les eaux usées grâce à l'action de réactifs chimiques ajoutés artificiellement (les coagulants ou les floculants). [13]

La coagulation consiste donc à injecter dans les eaux usées des produits chimiques tels que le sulfate d'aluminium, le chlore ferrique.

Grâce au coagulant les particules en suspension dans l'eau se tiennent alors les uns aux autres et sont précipités.

Dans certains cas la coagulation peut se produire sans ajouter des produits chimiques grâce aux éléments présents dans l'eau.

Ces procédés peuvent éliminer plus 80% des particules en suspension dans les eaux usées. Les méthodes de décantation sont particulièrement indiquées pour éliminer certains métaux lourds et certains composés (les phosphates, les nitrates) dans les eaux usées. [13]

Le traitement chimique des eaux usées est beaucoup moins utilisé. Dans certains cas, l'évacuation des eaux usées épurées et précédée d'une phase de neutralisation chimique surtout pour les effluents industriels acides ou basiques. On utilise également des techniques de précipitation chimique des boues (par le sulfate d'aluminium, le chlorure ferrique)

Et enfin, on termine par un procédé de désinfection par le chlore ou lait de chaux, en particulier dans le cas des eaux usées à haut risque (eaux usées des hôpitaux, des abattoirs et des tanneries partiellement épurées par les différentes techniques physico-chimiques), les eaux usées peuvent être évacuer vers un cours d'eau, la mer ou mieux

pour être réutiliser dans l'industrie, l'agriculture, l'arrosage des espaces verts en milieu urbain ou pour la réalimentation des nappes. [13]

I-5-3. Le traitement biologique des eaux usées

Les traitements biologiques reproduisent, artificiellement ou non, les phénomènes d'autoépuration existant dans la nature. L'autoépuration regroupe l'ensemble des processus par lesquels un milieu aquatique parvient à retrouver sa qualité d'origine après une pollution.

Les techniques d'épuration biologique utilisent l'activité des bactéries présentes dans l'eau, qui dégradent les matières organiques. Ces techniques sont soit anaérobies, c'est-à-dire se déroulant en absence d'oxygène, soit aérobies c'est-à-dire nécessitant un apport d'oxygène. [13]

Parmi les traitements biologiques, on distingue :

a. Les lits bactériens :

Le principe de lit bactérien, appelé également filtre bactérien (filtre percolateur), consiste à faire ruisseler une eau qui a subi une étape de décantation, sur surface spécifique (des matériaux inertes de 3 à 7cm coke métallurgique, la pouzzolane en plastique, mâchefer, cailloutis, morceaux de briques ...) servant de support aux micro-organismes épurateurs.

Les supports se recouvrent généralement après quelques semaines par des pellicules membraneuses très riches en colonies bactériennes qui vont, au fur à mesure, digérer les agents pathogènes et assurer une épuration des eaux usées.

On distingue, en fonction du taux de charge, les techniques suivantes :

- lit bactérien à faible charge.
- lit bactérien à forte charge.

b. Les boues activées :

Le procédé d'épuration biologique par les boues activées consiste à provoquer le développement de colonies bactériennes dispersées en flocons, dans un bassin d'eau à

épurer qui est suffisamment alimenté en oxygène, ces bassins appelés aussi bassins d'oxydation. [13]

Dans le bassin de décantation, on effectue un brassage pour homogénéiser, en présence d'un gaz enrichie en oxygène, les eaux usées et les flocons bactériens. La matière organique est absorbée par le floc et transformée en produit aérobie.

Après un temps de contact suffisant, le mélange obtenu est évacué vers un décanteur (un clarificateur), destiné à séparer l'eau épurée, des boues obtenues. La réduction de la DBO₅ est de l'ordre de 60 à 85%. [13]

En fonction du taux de charge, les dimensions de l'installation varient ainsi que les performances épuratoires.

On distingue donc les cas suivants :

- Boues activées à faibles charges ;
- Boues activées à moyennes charges ;
- Boues activées à fortes charges ;

c. L'aération naturelle :

L'aération est assurée par l'introduction de l'air à l'eau afin d'oxyder la matière organique résiduelle, il existe deux types d'aération naturelle à savoir :

Le lagunage

C'est une technique particulière d'épuration des eaux qui se base sur les phénomènes naturels : le soleil, les algues et les planctons.

Le lagunage est réalisé sur une étendue d'eau peu profonde (0.8 à 1.2m), créée artificiellement (la lagune), qui peut être très vaste où la lumière peut pénétrer et favorise le développement des algues vertes dont l'action de photosynthèse produit de l'oxygène qui permet le développement des bactéries épuratoires aérobies [21].

Le traitement biologique nécessite de vastes superficies, par conséquent, il est habituellement mis en œuvre par des performances en zones rurales. Le procédé de lagunage a l'avantage d'être simple, économique, ne nécessitant pas de technologie

particulière. On arrive par ces procédés, surtout durant la saison chaude, à un taux d'élimination par micro-organismes qui est très élevé (plus de 90%). On distingue deux types de lagunage :

- Lagunage naturel.
- Lagunage aéré.

Les étangs d'oxydation

En effet, la méthode la plus simple pour épurer les eaux usées et de les rejeter dans des étangs, et de laisser se développer les forces naturelles représentées par la lumière solaire, les bactéries, les algues, la température et surtout le temps. Ce procédé prend, selon les autres, différentes appellations : étangs, étangs d'oxydation, étangs de stabilisation, lagune.

On classe généralement les étangs d'oxydation en trois catégories :

- Les étangs aérobies ;
- Les étangs anaérobies ;
- Les étangs facultatifs.

I-5-4. La filtration

La filtration est une technique d'élimination des matières en suspension. C'est un procédé essentiellement mécanique et qui dépend de la forme des pores. Plus les pores seront fins, plus la rétention du filtre augmente et plus la filtration sera forte. Les matières grossières en suspension ainsi que les organismes seront facilement retenues en surface.

I-6 Conclusion

Les eaux usées de différentes compositions et de diverses origines constituent un problème pour la nature lors du rejet sans subir de traitements au préalable. Afin de montrer l'intérêt de leur épuration, nous avons présenté dans ce chapitre d'une part, les origines et caractéristiques des eaux usées, et d'autre part, les différentes méthodes utilisées pour leur épuration. L'intérêt consiste à trouver la méthode la moins coûteuse et simple tel que la filtration.

Chapitre II

Généralités sur les matériaux filtrants

II-1- Introduction

Afin de justifier l'utilisation d'un matériau dans une application ou dans un domaine donné, il faudra passer par sa caractérisation physico-chimique ainsi que par des tests d'application en laboratoire. Tel est le cas dans notre travail, où nous nous intéressons à la valorisation par l'évaluation de l'utilisation du sable de dunes comme matériau de filtration.

II-2-Définition de la filtration sur sable

La filtration par le sable est l'une des méthodes, de traitement des eaux, les plus anciennes [22 ; 23] si elle est correctement appliquée. Elle permet de produire une eau de grande qualité en particulier, les eaux potables [24].

Les filtres à sable sont des milieux naturels qui peuvent être utilisés comme un filtre massif pour le traitement des eaux usées [24 ; 25].

Un filtre à sable est constitué par des couches de sable de qualité et de granulométrie adéquates, à travers lesquelles circule l'eau à vitesse relativement faible.

Les filtres à sables sont des milieux naturels qui peuvent servir de massifs filtrants dans l'épuration des eaux usées [26 ; 27] en assurant un double rôle : rétention des matières en suspension (MES) et fixation de la biomasse qui se développe autour des grains, et biodégradation de la pollution organique, phosphorée et azotée [28 ; 29].

II-3-Principe de la filtration

La rétention des particules se déroule à la surface des grains, grâce à des forces physiques. La plus ou moins grande facilité de fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation du filtre et du type de matériaux utilisés.

L'espace inter-granulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate et les pertes de charges augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétro-lavage, la biomasse qui se développe sur le matériau filtrant, peut efficacement réduire le taux d'ammonium de l'eau

par la nitrification. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et de la turbidité et indirectement les odeurs [30].

II-4- Types de filtration

II-4-1. Filtration rapide

Le filtre à sable rapide est le type de filtre le plus utilisé dans le traitement des eaux de consommation. L'écoulement de l'eau se fait par gravité à travers le matériau filtrant de haut en bas. La vitesse de filtration rapide est comprise entre 4 à 5 m/h. [31]. Elle est de l'ordre de 10 fois supérieure à celle des filtres lents [32].

II-4-2. Filtration sur terre diatomée

La terre diatomée qui constitue le milieu filtrant est produite à partir de dépôt naturel de diatomée (couche formée par des débris d'algues). Les algues brunes unicellulaires, microscopiques, croissent dans les eaux douces ou salées, et dont la membrane est entourée d'une coquille siliceuse.

Sa granulométrie est généralement comprise entre 10 et 200 μm . Il est tendre et très léger en raison de sa forte porosité. Cette dernière propriété lui permet d'être utilisé pour la filtration.

Ce type de filtre permet une bonne clarification des eaux dont la turbidité est faible et desquelles on peut éliminer, sans recourir à la coagulation, les matières en suspension et les micro-organismes. Par contre le floc résiduel présent dans l'eau après coagulation et sédimentation les colmate rapidement. On utilise fréquemment ces types de filtre pour clarifier l'eau des piscines destinée à être recyclée [31].

II-4-3. Filtration sous pression

Le Filtre sous pression fonctionne selon les mêmes principes que les filtres à sable rapide, sauf que leurs couches de sable et de graviers, ainsi que leur réseau de drainage, sont situées dans des cylindres horizontaux ou verticaux, lesquels sont conçus pour supporter des pressions de l'ordre de 1000 kPa [31].

II-4- 4. Filtration lente

La filtration lente sur sable est un procédé de séparation solide liquide ; elle combine les effets de processus physiques et de processus biologiques [33] ; c'est-à-dire que l'eau traverse lentement une couche fine de sable et que les particules les plus grosses soient arrêtées près de la surface du sable [23 ; 34].

Ces particules forment une couche poreuse très fine, dont la surface totale, de veinules ou des pores, est très grande, ce qui facilite l'adsorption des impuretés par cette couche ou par le sable sous-jacent.

Cette couche poreuse est constituée de bactéries, d'algues et de protozoaires [19].

Les filtres peuvent être faits de sable, de tourbe, de charbon actif, de terre de diatomée ou d'autres matériaux, utilisés soit séparément, soit en combinaison pour filtrer l'eau et retenir les particules conduisant à la croissance de micro-organismes qui décomposent les polluants [3 ; 4].

II-4-4.1. Avantages et inconvénients des filtres lents

a. Avantages

- a- Les filtres à sables lents permettent de ne pas recourir à la coagulation.
- b- Les matériaux de constitution de ces filtres sont simples.
- c- On peut aisément se procurer du sable sur place.
- d- La surveillance du fonctionnement de ces filtres est simple.
- e- Leur effluent est moins corrosif et de qualité plus constante que celui des filtres rapides, lesquels exigent un traitement chimique [31 ; 35].

b. Inconvénients

- a- Les filtres lents occupent une grande superficie ; ils exigent donc une installation de grande dimension, un volume de sable important et des travaux coûteux.

b- Leur exploitation manque de souplesse. Comme nous le verrons plus loin, leur mise en exploitation et la durée de leurs lavages est très longue (au cours de laquelle ils sont inutilisables).

c- leur utilisation est coûteuse lorsque la turbidité des eaux brutes dépasse 30 unités néphélométriques pendant de longues périodes de temps, sauf lorsqu'on fait préalablement sédimenter les impuretés de manière à abaisser suffisamment le degré de turbidité de ces eaux.

d- Ils décolorent médiocrement les eaux colorées.

e- Ils donnent de mauvais résultats lorsque les eaux sont riches en algues et qu'elles n'ont pas été préalablement traitées [31].

II-5-La nature du milieu poreux

Le sable quartzeux a été l'un des premiers matériaux utilisés pour la filtration, et c'est encore le matériau de base pour la plupart des filtres actuels. Certains filtres utilisent une combinaison de plusieurs matériaux (filtres multicouches) ; le sable peut alors être associé à de l'antracite, du grenat, des schistes plus au moins poreux.

Enfin, la filtration peut s'effectuer sur du charbon actif granulé, suffisamment résistant [19 ; 23].

La masse filtrante est caractérisée par :

- une granulométrie comprise entre 0,3 et 2,5 mm, en fonction du but recherché. Le plus souvent, la granulométrie varie de 0,5 à 1,3 mm. Au-dessus de cette valeur, l'utilisation se fait en couche support.
- sa hauteur, car à chaque granulométrie correspond une hauteur optimale qui permet de collecter le meilleur filtrat (sous une perte de pression minimale). Couramment, les épaisseurs utilisées sont comprises entre 0,6 et 1 m [36].

II-6-Mécanisme de filtration

Suivant les caractéristiques des particules à retenir et du matériau filtrant mis en œuvre, peuvent intervenir l'un ou plusieurs des trois mécanismes principaux suivants : capture, fixation et détachement [19 ; 23].

II-6-1. Mécanisme de capture

Ce mécanisme peut être de deux types :

a. Tamisage mécanique : Il s'agit de la rétention des particules plus grosses que la maille du filtre ou que celle des éléments déjà déposés formant eux-mêmes le matériau filtrant.

Ce phénomène intervient d'autant plus que la maille du matériau filtrant est plus fine : il est d'importance moindre pour un lit filtrant composé de matériau relativement grossier. Par contre, il est prépondérant dans une filtration sur support mince : tamis et manchon filtrant.

b. Dépôt sur le matériau filtrant : la particule en suspension suit dans le liquide une ligne de courant ; sa taille, comparée à celle des pores, pourrait lui permettre de traverser le matériau filtrant sans être arrêtée. Différents phénomènes entraînent, cependant, un changement de trajectoire et le contact avec le matériau. On distingue en particulier :

- L'interception directe par frottement,
- La diffusion par mouvement brownien,
- L'inertie de la particule.
- La décantation : par leur poids les particules peuvent se déposer sur le matériau filtrant quel que soit le sens de filtration.

Ces différents mécanismes de capture interviennent principalement dans la filtration en profondeur [19].

II-6-2. Mécanisme de fixation

La fixation des particules à la surface du matériau filtrant est favorisée par une faible vitesse d'écoulement. Elle est due à des forces d'origine physique (coincement, cohésion...) et à des forces d'adsorption, principalement les forces de Van der Waals [19].

II-6-3. Mécanisme de détachement

Sous l'action des mécanismes précédents, il se produit une diminution de l'espace entre les parois du matériau recouvertes de particules déjà déposées. Les dépôts déjà retenus peuvent se détacher partiellement et être entraînés plus ou moins dans le matériau filtrant ou même dans le filtrat.

Les particules solides contenues dans un liquide et les particules colloïdales plus ou moins flocculées n'ont pas les mêmes caractéristiques et ne réagissent pas dans la même proportion aux divers mécanismes précédents [19].

II-7- Caractéristiques du support filtrant (sable)

Les principales caractéristiques d'un matériau filtrant sont : le coefficient d'uniformité, la densité réelle, la densité sèche et la porosité. Il existe d'autres caractéristiques beaucoup plus difficiles à mesurer, comme les formes des grains et la surface spécifique.

II-7-1- Les paramètres physiques de sable

L'analyse granulométrique ou analyse mécanique consiste à séparer la partie minérale du sol en catégories classées d'après la dimension des particules minérales inférieure à 2 mm, et à déterminer les proportions relatives à ces catégories, en pourcentage de la masse totale du sol minéral.

Les résultats d'une analyse granulométrique se présentent sous la forme d'une courbe granulométrique. La pente moyenne de la courbe granulométrique permet en outre, de caractériser le degré d'uniformité de la taille des éléments minéraux du sol. D'où la définition des deux caractéristiques suivantes [37].

a. Coefficient d'uniformité : le coefficient d'uniformité est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 60 % des particules et celui qui en laisse passer 10 % :

$$C_u = d_{60}/d_{10} \quad [38 ; 39]. \quad (II. 02)$$

Avec :

d_{60} : taille des grains (mm) correspondant à 60 % du poids cumulé

d_{10} : taille des grains (mm) correspondant à 10 % du poids cumulé

Ce coefficient constitue un indice d'uniformité de la courbe granulométrique ou d'irrégularité de la distribution de la taille des particules. L'uniformité de la courbe est déterminée par rapport aux références suivantes :

$C_u < 2$ la granulométrie est dite uniforme.

$C_u > 2$ la granulométrie est dite varié.

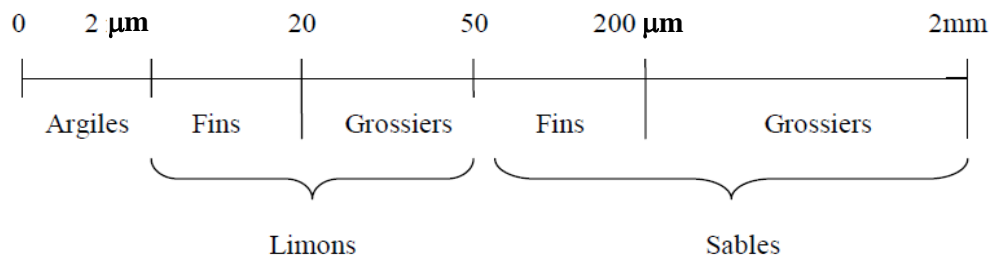
b. Coefficient de classement : le coefficient de classement est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 75% des particules et celui qui en laisse passer 25 %.

$$C_c = d_{75}/d_{25} \quad (\text{II. 03})$$

Ce coefficient constitue un indice de variation relative de la pente de la courbe granulométrique [40].

II-7-2 Classification des sols selon leur texture

Les particules minérales ont été classées selon l'échelle internationale (association internationale de la science du sol 1930) de la façon suivante :



La partie minérale supérieure à 2mm est appelée « éléments grossiers » ou refus mais la limite du diamètre entre les sables et les limons a toujours été différente selon les diverses écoles ou les pays [41].

II-7-3 Les paramètres de l'état du sol

a. La densité : d'une façon générale, la densité exprime le rapport entre la masse d'un certain volume de matériau à la masse d'un volume égal d'eau à une certaine température de référence.

b. La densité réelle : déterminée par la nature des composants solides, et en particulier par leurs masses volumiques respectives, la masse volumique des éléments constituant la fraction minérale varie selon les matériaux présents.

$$D_r = \frac{M_s}{V_s} = \text{la masse des grains solides} / \text{volumes des grains solides} \quad [\text{kg/m}^3] \quad (\text{II. 04})$$

La densité réelle du sable est comprise entre **2500** et **2700** kg/m³, elle diminue avec l'augmentation de la teneur en matière organique [37].

c. La densité sèche : Cette grandeur définit le rapport de la masse des éléments solides au volume total apparent du sol, elle intègre les caractéristiques intrinsèques de la phase solide.

$$D_{as} = \frac{M_S}{V_T} = \text{la masse des grains solides / volume total apparent du sol [kg/m}^3\text{]} \quad (\text{II. 05})$$

La masse volumique apparente sèche d'un sol est ainsi inférieure à la masse volumique réelle puisqu'elle est rapportée au volume total apparent. Son ordre de grandeur pour les sols sableux est de 1400 à 1700 kg/m³ [40].

d. La porosité : la porosité (n) met en évidence la portion de volume de sol constituée de vides susceptibles de se remplir d'eau à divers degrés : elle désigne le rapport entre le volume des vides (V_v) et le volume total du sol (V). On l'exprime au moyen d'un nombre absolu (sans référence à une unité de mesure) ou en pourcentage :

$$n = \frac{V_v}{V} \quad \text{Ou} \quad n(\%) = \frac{V_v}{V} \times 100 \quad [\mathbf{42 ; 43}]. \quad (\text{II. 06})$$

e. L'indice des vides : l'indice des vides (e) permet, tout comme la porosité, de quantifier la part des vides à l'intérieur d'un échantillon de sol : il représente le volume des vides par rapport au volume occupé par les particules solides du sol. L'indice des vides est généralement compris entre 0,3 et 2. On l'exprime par un nombre absolu :

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad [\mathbf{44 ; 45}]. \quad (\text{II. 07})$$

f. La perméabilité : le sol est principalement constitué de particules minérales mais également organiques séparées par des espaces. Ces derniers, forment des canaux irréguliers de tailles variables, appelés pores, disponibles pour la circulation de l'eau.

Cette aptitude du sol à l'infiltration s'appelle la perméabilité « K ». Un sol trop perméable ne permettra pas une filtration suffisante lente des eaux usées pour assurer une épuration à la fois mécanique (rétention des matières) et biologique (dégradation et consommation des matières organiques par les bactéries).

Au contraire, un sol peu perméable constituera un obstacle à la filtration des eaux qui seront stagnées. La perméabilité est déterminée par la loi de DARCY [43 ; 46].

$$k = \frac{L \cdot Q}{S \cdot H_c} \quad (\text{II. 08})$$

Avec :

K : perméabilité du sol.

L : hauteur de l'échantillon du sol dans la cellule

Q : débit traversé l'échantillon.

S : section de l'éprouvette.

Hc : hauteur de la cellule.

g. La surface spécifique : la surface spécifique, représente le rapport de la surface totale des grains, soit à l'unité de volume d'échantillon (surface volumique), soit à l'unité de masse (surface massique) du solide. Elle est le facteur principal des actions physico-chimiques d'interface eau/sol ; donc de l'adsorption. La surface spécifique se calcule à partir de l'analyse granulométrique par la formule suivante : [47 ; 48].

$$A_s = \frac{(1-n)}{\Gamma} \sum_{i=1}^k \frac{12}{(d_{i+1} + d_i)} \cdot \frac{m_i}{M} \quad (\text{II. 09})$$

h. Indices de dispersion Trasko [49 ; 50] : le plus ou moins bon classement d'un échantillon peut être connu en observant la pente de la courbe cumulative ou l'étalement de la courbe de fréquence. Des indices permettent de mesurer ce classement.

L'indice de Trask ou Sorting -Index S_0 permet d'apprécier le degré de classement d'un sédiment (Trask, 1932). Il s'exprime par la formule suivante :

$$S_0 (mm) = \sqrt{\frac{d_{25}(mm)}{d_{75}(mm)}} \quad (\text{II. 10})$$

Avec **d₂₅** et **d₇₅** : taille des grains (mm) correspondant à 25 % et à 75% du poids cumulé, respectivement.

Le classement est d'autant plus mauvais que les valeurs du S_0 sont élevées et parfait pour la valeur 1.

Tableau (II-1) : les valeurs de classement de l'indice de dispersion [51].

So	Classement
1 à 1.17	Très bien classé
1.17 à 1.20	Bien classé
1.20 à 1.35	Assez bien classé
1.35 à 1.87	Moyennement classé
1.87 à 2.75	Mal classé
2.75	Très mal classé

i. Indices d'asymétrie de SKEWNESS [49 ; 51] : outre les paramètres de position et de dispersion, les paramètres d'asymétrie, mesurant l'allure de la distribution de part et d'autre de la médiane, sont nécessaires à la bonne définition d'une courbe granulométrique. Cet indice traduit le classement de la courbe d'une part de son diamètre moyen, et d'autre part des diamètres D_{25} et D_{75}

$$SK = \frac{d_{75} * d_{25}}{d_{50}^2} \quad (\text{II. 11})$$

Avec D_{50} : correspond au quartile supérieur (diamètre pour lequel 50 % des particules sont inférieures à la dimension choisie).

- Si $Sk < 1$ → le classement est maximum vers les fins ;
- Si $Sk = 1$ → la symétrie est parfaite ;
- Si $Sk > 1$ → le classement est maximum vers les grossiers ;

II-7-4. Paramètres chimiques du sable

Parmi les paramètres chimiques les plus indiqués à déterminer pour les sols dans notre travail sont :

a. Le pH : le pH est une notation servant à caractériser l'acido-alcalinité d'un milieu, elle représente donc pour une solution la quantité d'ions H^+ libres qu'elle contient [37 ; 52]. On effectue les mesures de pH d'une solution à l'aide d'un pH-mètre.

b. La conductivité électrique : elle représente la concentration des sels dans un milieu. Elle est mesurée directement par l'utilisation d'un conductimètre. Les sols sont classés selon leurs conductivités électriques comme indique le tableau (II-2) [37 ; 52].

Tableau (II-2) : Classement des sols selon leur conductivité électrique [52]

Conductivité (mS/cm)	Type du sable
< 2.5	Non salin
2.5 à 5	Légèrement salin
5 à 10	Salin
10 à 20	Très salin
> 20	Excessivement salin

c. Matière organique : contrairement à la fraction minérale, la fraction organique n'est pas constituée de particules élémentaires dissociables selon leurs dimensions, mais d'un ensemble de substances essentiellement caractérisées de manière qualitative par leur nature chimique.

L'étude de la fraction organique d'un point de vue purement quantitatif se limite dès lors à un critère géométrique global. Soit par son volume total pour des raisons pratiques. Dans ce cas, la notion de volume est remplacée par celle de la masse. La fraction organique d'un sol est caractérisée par la teneur en matière organique pondérale de sa phase solide W_{org} . Elle s'exprime par le rapport de la masse de la fraction organique ; M_{org} à la masse totale de la phase solide M_s [37 ; 52] :

$$W_{org} = \frac{M_{org}}{M_s} \quad (\text{II. 12})$$

d. Taux de calcaire (norme internationale ISO 10693 :1995) : le dosage du calcaire total est fondé sur la réaction caractéristique des calcaires au contact d'un acide. Il s'agit de comparer le volume de gaz carbonique dégagé par le contact d'un certain poids connu de terre à analyser avec un acide fort à celui dégagé par la réaction du même acide avec du carbonate de calcium pur et sec en quantité connue.

II-8- L'utilisation des déchets de verres

La production de déchets solides en Algérie a connu une augmentation durant ces dernières années, où le ratio par habitant dans une zone urbaine est de 0.7 kg/j/h, soit près de 9 millions de tonnes par an [53].

La composition des déchets solides produits en Algérie se caractérise par une part très significative des produits organiques. Comme le plastique, le papier, le carton et le verre. Plus de 50.000 tonnes de verre sont produits en Algérie, récupérées et recyclées.

Le recyclage de matières utilisées ou des emballages, est le mode préconisé dans les pays développés. En Algérie, cette option reste très peu développée et le secteur informel est l'acteur important en matière de récupération. Dans ce contexte, et dans le but de protection de l'environnement, on se propose de recycler le verre dans le domaine de la filtration et l'épuration des eaux.

Le verre est un matériau dont les propriétés évoluent et se développent au cours du temps en jouant d'abord sur la composition, la microstructure et la maîtrise de la surface puis, plus récemment, grâce à la mise au point de produits de plus en plus complexes (revêtements superficiels, matériaux vitreux hybrides...) [54].

Le verre est un corps solide, non cristallin, homogène, provenant du refroidissement progressif de certaines substances après fusion. Le verre est l'un des matériaux les plus utiles car il possède de nombreuses qualités. Il est facile à modeler, transparent et peut prendre de nombreuses formes. Le verre que nous utilisons aujourd'hui comme matériau de construction est appelé verre sodo-calcique en raison de sa composition.

Le verre est composé de :

- sable de silice servant de corps vitrifiant
- oxyde de sodium (soude) utilisé comme fondant dans le but d'abaisser la température de fusion de la silice.
- la chaux qui joue le rôle de stabilisant conférant au verre sa résistance chimique.

- divers oxydes métalliques servant à améliorer ses caractéristiques mécaniques et sa résistance aux agents atmosphériques, ainsi qu'à lui donner sa coloration éventuelle [55].

Tableau (II-3) : Les compositions du verre [55]

Matière première	Formule chimique	Pourcentage %
Dioxyde de silice	SiO ₂	69 à 74 %
Oxyde de soude	Na ₂ O	12 à 16 %
Oxyde de calcium	CaO	5 à 12 %
Oxyde de magnésium	MgO	0 à 6 %
Divers (exemple)	(Al ₂ O ₃)	0 à 3 %

Le recyclage du verre peut s'exploiter pour éliminer les solides en suspension dans les effluents tels que l'eau usée domestique. Lorsqu'il est utilisé dans une filtration tertiaire, sa performance est généralement efficace (comme matériau filtrant) [56].

Partie pratique

Chapitre III

La caractérisation du support filtrant utilisé

III-1- Introduction

Plusieurs expérimentations ont été réalisées au sein du laboratoire, en vue de la valorisation de l'utilisation du sable comme support de filtration biologique pour traitement des eaux usées, afin de préserver le milieu récepteur des dangers de la pollution. [7 ; 8] Par ailleurs, l'efficacité du sable par rapport à un autre matériau filtrant devra être évaluée en fonction des caractéristiques physico-chimiques.

Celles-ci permettront aussi de valider ou non l'utilisation du sable comme lit de filtration. Dans cette partie, nous citerons ces caractéristiques à travers les différentes étapes préparatoires et finales du processus de filtration.

III-2- La méthode d'échantillonnage

Le prélèvement des échantillons de sable sur le terrain, c'est-à-dire « où, comment et combien ? » Dépend d'abord de la problématique de l'analyse [41]. Nous avons choisi des sites plus ou moins représentatifs, ceux qui ne sont pas influencés par des conditions extérieures telles que le trafic routier, les palmiers dattiers et les interventions de l'être humain. Nous avons fixé trois points alignés dans le sommet de la dune, la distance entre deux sommets successifs est égale à 100 m environ. Pour chaque sommet, nous avons implanté deux points dans les deux talus de part et d'autre du sommet formant un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal de la dune, donc on a obtenu neuf points. Les prélèvements ont été faits dans deux horizons, le premier est celui de la surface et le deuxième à environ 50 cm de profondeur dans chaque point, ce qui nous a donné 18 échantillons.

a- HASSI SAYAH

HASSI SAYAH se situe à 40 km entre la ville d'OUARGLA et HASSI MESSAOUD. Ces sables n'ont pas été étudiés auparavant.

b- N'GOUSSA

N'GOUSSA se situe à 22 km au Nord de la ville d'Ouargla (sable déjà étudié). Il a une composition chimique très uniforme à forte prédominance siliceuse, avec une granulométrie homogène adéquate pour l'utiliser comme un lit de filtration [7 ; 8] [57].

III- 3- Caractéristiques du support filtrant

III-3-1 L'analyse granulométrique

C'est une analyse quantitative globale de la fraction minérale du sol, négligeant, par conséquent, les caractéristiques qualitatives de nature chimique et minéralogique, et fondée exclusivement sur des critères géométriques. Les particules élémentaires entrant dans la constitution de la fraction minérale sont idéalement caractérisées par leur volume et leur forme, par la texture du sol en tant que critère de diversité et est alors définie par la répartition numérique des particules élémentaires en fonction de leur forme géométrique.

L'objectif de l'analyse granulométrique consiste donc à différencier par la taille les éléments minéraux du sol et à quantifier leur répartition pondérale. Dans les classes de diamètres prédéfinis, ces analyses sont effectuées au laboratoire à partir d'échantillons de sol. Leur principe repose sur la séparation des particules selon leur dimension ; généralement par le tamisage (série de tamis de diamètres décroissants) [31].

A chaque étape, le poids des éléments séparés rapporté au poids total de l'échantillon fournit la proportion d'éléments dont la taille se trouve comprise dans la gamme définie par les deux derniers diamètres utilisés comme critère de séparation. Le cumul des compléments à 100% des diverses proportions ainsi obtenues dans le sens des diamètres croissants, permet de tracer un graphique donnant la proportion pondérale des éléments de taille inférieure à un diamètre donné. Les résultats d'une analyse granulométrique se présentent sous la forme d'une courbe granulométrique.

On y trouve en abscisse le diamètre apparent des particules (en échelle logarithmique), et en ordonnée la proportion pondérale cumulée. La pente moyenne de la courbe granulométrique permet en outre de caractériser le degré d'uniformité de la taille des éléments minéraux du sol, d'où la définition des caractéristiques ci-dessous [40].

Nous avons procédé à l'analyse granulométrique en utilisant les normes **AFNOR (NF 1996)** modifiées (manque tamis de 0,400 mm), en faisant passer 200 à 600 g de sable par la série des tamis de 0.05 mm à 5 mm.

Les résultats de ces analyses sont illustrés par la figure (01 et 02).

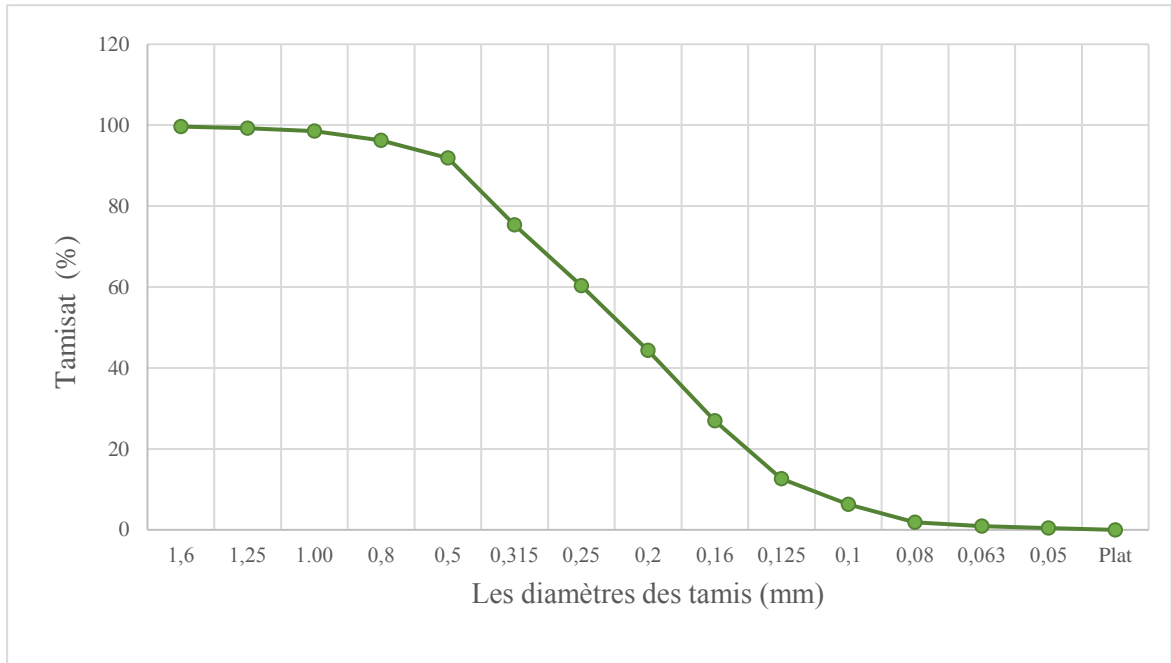


Figure (III-1) : Courbe granulométrique du Sable de (N'GOUSSA)

A partir de la courbe granulométrique de N'GOUSSA, on relève que le sable utilisé est situé entre sable fin et sable grossier. Par ailleurs, La quasi-totalité des grains a un diamètre inférieur à 2 mm

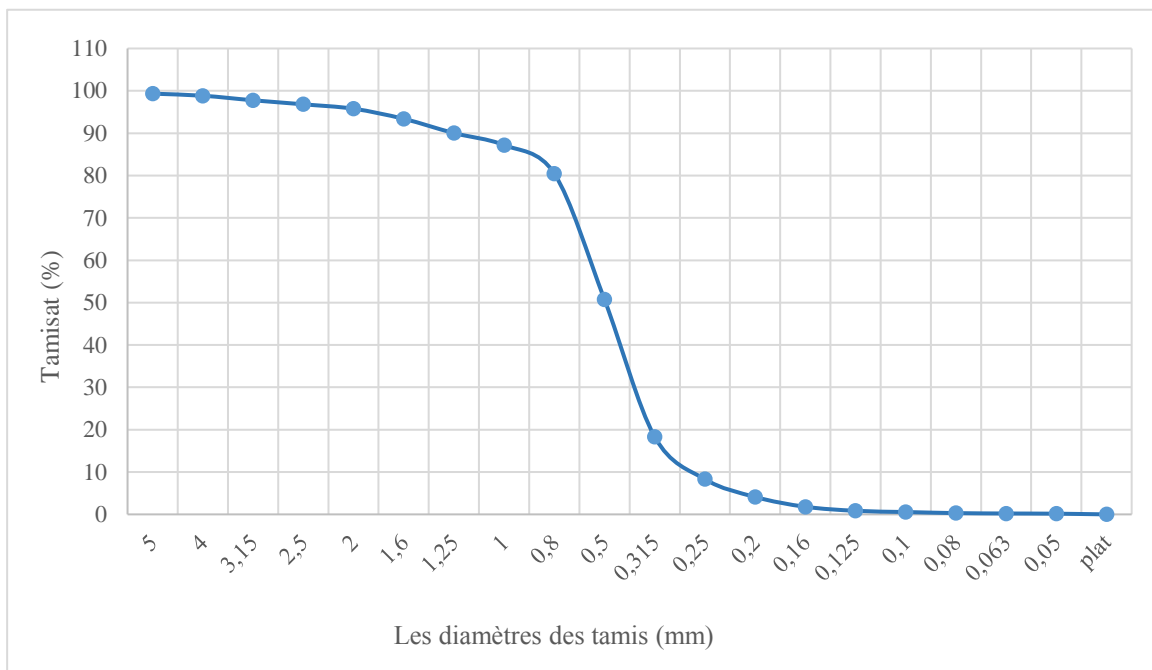


Figure (III-2) : Courbe granulométrique du Sable de HASSI SAYAH.

A partir de la courbe granulométrique de HASSI SAYAH, on déduit que le sable utilisé est un sable grossier avec présence d'un peu de gravier et de sable fin. De plus, la quasi-totalité des grains a un diamètre inférieur à 5 mm.

A partir des deux courbes granulométriques, nous déterminons les paramètres physiques suivant :

a. Le diamètre efficace D_E : Le D_{10} exprime le diamètre de l'ouverture de tamis qui laisse passer 10 % de l'échantillon du sable [58]. Il représente conventionnellement, le diamètre moyen des grains du sable.

Le sable de N'GOUSSA a un diamètre efficace D_E égal à 0.11 mm. Donc le sable est un sable fin [43 ; 47]. Quant au sable de HASSI SAYAH, le diamètre D_E est de 0.277 mm, le sable est donc un sable grossier.

b. Le coefficient d'uniformité C_U : Le coefficient d'uniformité, représente l'homogénéité de la distribution des diamètres des grains dans l'échantillon.

Par convention, pour que la granulométrie soit uniforme, il faut que $C_U < 2.5$.

Pour le sable de N'GOUSSA, $C_U = 2.33 < 2.5$, donc de granulométrie uniforme.

Pour le sable de HASSI SAYAH, la granulométrie est dite serrée ou le sol est dit bien réparti c'est-à-dire très peu uniforme ; légèrement supérieur à celui de N'GOUSSA ($C_U = 2.094$). Ces valeurs nous indiquent que nos sables répondent aux exigences de la filtration lente qui exige la condition [59].

c. Le coefficient de classement (courbure) C_c : Il s'agit du rapport entre deux diamètres apparents définis à 75 % et 25 % de la taille des particules respectivement. Ce coefficient constitue un indice de variation relative à la pente de la courbe [59]

$$C_c = \frac{D_{75}}{D_{25}} \quad (\text{II. 13})$$

Pour le sable N'GOUSSA, $C_c = 0.008$ donc le sable est un sable fin, et celui de HASSI SAYAH, $C_c = 0.294$ indiquant un sable grossier.

d. Indice de dispersion : est défini comme indice de Trask (ou Sorting-Index S_0), [60] il est de loin le plus employé et correspond à :

$$S_0 (mm) = \sqrt{\frac{d_{25}(mm)}{d_{75}(mm)}} \quad (\text{II. 14})$$

Dans notre cas $S_0 = 1.077$ pour le sable de HASSI SAYAH et $S_0 = 1.082$ pour celui de N'GOUSSA, d'où l'on déduit que les deux sables sont très bien classés.

e. Indice d'asymétrie (SKEWNESS) : Il traduit le classement de la courbe granulométrique de part et d'autre de son diamètre moyen [60]. Il est calculé par l'équation :

$$SK = \frac{d_{75} * d_{25}}{d_{50}^2} \quad (\text{II. 15})$$

Pour le sable HASSI SAYAH, $SK = 1.96$ et pour celui de N'GOUSSA, $SK = 1.1$ le classement de ces sables est de type maximum vers les grossiers [61].

Le tableau (III-1) représente les paramètres physiques de nos sables.

Tableau (III-1) : Les paramètres physiques des sables

Sable	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	C _U	C _C	D _E (mm)
N'goussa	0.125	0.19	0.28	2.33	0.008	0.11
Hassi Sayah SG	0.277	0.375	0.58	2.094	0.294	0.277

D'après les résultats obtenus, nous constatons que les deux sables sont de granulométrie serrée ($C_u > 2$).

III-3-2-La porosité totale

La porosité totale, représente le pourcentage des vides existant dans un échantillon de sol. Elle est estimée à partir de la mesure de la densité réelle D_r et la densité apparente D_a . [42 ; 46]. Les résultats obtenus pour nos sables sont énumérés ci-dessous :

a. La densité réelle D_r

La masse volumique réelle de l'échantillon ; prend en considération uniquement le volume des grains solides. Elle est mesurée par la méthode du pycnomètre en utilisant la solution au tétrachlorure de carbone (CCl_4), selon les normes **AFNOR (NF 1996)**.

La densité réelle (D_r) des deux sables utilisés est de l'ordre de 2960 et 2760 kg/m^3 pour les sables de N'GOUSSA et de HASSI SAYAH respectivement.

b. La densité apparente D_a

La masse volumique apparente prend en considération le volume total de l'échantillon (sans élimination des vides). Elle est mesurée par la méthode du cylindre selon les normes **AFNOR (NF 1996)**. L'ordre de grandeur pour divers types de sols est représenté dans le tableau III-2.

Tableau (III-2) : La masse volumique apparente d'un sol [40].

Type de sol	Densité apparente
Sols sableux	1400 à 1700
Sols argileux	1000 à 1500
Sols tourbeux	300 à 100

La densité apparente (D_a) du matériau est mesurée, à partir des conditions initiales de la mise en place de pilote pour les deux sables utilisés est de **1785** et **1822** kg/m³ pour N'GOUSSA et HASSI SAYAH, respectivement. Ce qui est confirmé par les travaux intérieure de laboratoire [8].

La valeur de la porosité totale n %, est déterminée en utilisant les valeurs de D_r et D_a par la formule suivante [62] :

$$n\% = \left(1 - \frac{D_a}{D_r} \right) \quad (\text{II. 16})$$

Ainsi la valeur de la porosité du sable de N'GOUSSA est de 39.70 % et celle de HASSI SAYAH est de 33.99 %. Dans ces cas, le sable est considéré comme un sable de forte porosité.

III-3-3 Paramètres chimiques du sable

Les paramètres chimiques déterminés dans notre travail sont résumés ci-dessous :

a. Le pH

Après la préparation de l'extrait de sol 1/5 g/l (le mélange de 40 g de sol avec 200 ml d'eau distillée), nous avons mesuré le pH par le pH-mètre. Pour les sables utilisés, le pH est

de 8 et 8.46 pour N'GOUSSA et HASSI SAYAH, respectivement. Ces sables sont, donc à caractère basique [37 ; 52].

b.La conductivité électrique

Pour la même préparation que la précédente, nous avons mesuré la conductivité électrique (CE) par le conductimètre, puis nous avons calculé cette CE à 25 °C ainsi que la salinité :

Concentration des sels en % = 0 ,064. CE

$$CE_{25^{\circ}C} = CE \cdot F(t) \quad (\text{II. 17})$$

CE : La conductivité électrique à température ambiante

F(t) : Coefficient de correction.

Pour le sable de N'GOUSSA, la CE est de 3.3 mS/cm, c'est à dire une charge saline de 1.91 %. Elle indique que le sable est légèrement salin. Ce qui peut influencer sur la qualité des eaux filtrées [37 ; 52].

Pour le sable de HASSI SAYAH elle est de 0.307 mS /cm, et donc une charge saline de 0.019 %. [37 ; 52]

c.Matière organique (MO)

Pour la mesure de cette grandeur, la méthode 'Anne' est utilisée selon les normes AFNOR (X 31-109). Elle se base sur la décomposition des molécules organiques par une solution d'acide sulfurique additionnée de bichromate de potassium [37 ; 52].

Pour le sable de N'GOUSSA la teneur en matière organique est très faible 0.086 % et inférieure à celle de HASSI SAYAH, qui est de l'ordre de 0.120 %. (Une petite quantité de matière organique peut aider à l'accélération de la maturation, par contre des grandes valeurs peuvent diminuer l'efficacité de la filtration).

c.Taux du calcaire

Cette mesure est déterminée à l'aide du calcimètre de BERNARD. Le dosage de calcaire total est fondé sur la réaction caractéristique du carbonate de calcium au contact de l'acide

chlorhydrique. Dans cette étude, le résultat obtenu en CaCO_3 est de 0,240 % et 0.17 % pour les sables de N'GOUSSA et de HASSI SAYAH respectivement.

Les valeurs du calcaire total des deux sables indiquent que nos sables sont utilisables pour la filtration lente (le meilleur sable pour la filtration biologique étant celui qui présente un faible taux de calcaire total). Ces résultats représentent ainsi des caractéristiques optimales pour la filtration biologique. Les différents paramètres physico-chimiques de nos sables sont regroupés dans le tableau (III-4).

Tableau (III-4) : Paramètres physico-chimiques des sables utilisés

Paramètres	N'GOUSSA	HASSI SAYAH
D ₁₀ (mm)	0.12	0.277
D ₆₀ (mm)	0.19	0.580
D ₃₀ (mm)	0.28	0.375
Coefficient d'uniformité Cu	2.33	2.094
Coefficient de classement Cc	1.07	1.063
Densité réelle Dr (Kg /m ³)	2960	2760
MO (%)	0.086	1.204
pH	8.46	8.68
Sels (%)	1.91	0.019
CaCO ₃ (%)	0.240	0.170
Conductivité électrique (CE) (mS /cm)	3.3	0.307
Indice de dispersion S ₀	1.082	1.077
Indice d'asymétrie SKEWNESS SK	1.1	1.96

Le sable de N'GOUSSA est un sable de granulométrie fine, uniforme, légèrement salé, pauvre en matière organique, de pH alcalin et se caractérise par un taux de calcaire faible. Tandis que, le sable de HASSI SAYAH est un sable grossier, pauvre en matière organique, légèrement salé et de pH alcalin. Il se caractérise par un taux de calcaire faible.

III-4- Préparation des déchets de verres et leur caractérisation

Notre deuxième choix s'est porté sur l'utilisation des déchets de verre broyé comme support filtrant. Ce choix est dicté par son aspect inorganique. Il contient environ 72.5 % de silice, présentant donc une similarité avec le sable [54].

Les déchets de verres broyés utilisés sont totalement transparents afin d'éviter toute réaction chimique pouvant interférer avec l'étude du phénomène de filtration, car la coloration du verre peut influencer sur leurs caractéristiques (composition chimique). La coloration est obtenue par introduction d'ions métalliques dans la composition [55].

Nous avons préparé le matériau comme suit :

a. Collecte et nettoyage des déchets de verre : La matière première utilisée est un ensemble bouteilles en verre cassées et certains récipients en verre de même type.

b. Nettoyage des déchets : Il s'est effectué avec de l'eau de robinet.

c. Broyage des verres : Cette opération est faite en deux étapes :

- Briser les déchets de verre manuellement en petits morceaux. **(Photo 1)**.
- Broyer les morceaux avec un broyeur électrique **(Photo 2)**.

d. Fractionnement : Le matériau obtenu est tamisé par une série de tamis, selon les normes **AFNOR (NF 1996)** qui ont les diamètres suivants (en mm) : 2 ; 1,6 ; 1,25 ; 1 ; 0,80 ; 0,63 ; 0,50 ; 0,40 ; 0,315 ; 0,25 ; 0,20 ; 0,16 ; 0,125 ; 0,10 ; 0,08 ; 0,063 ; 0,05mm.

En séparant les différentes fractions tamisées, nous avons essayé de confectionner un matériau de même caractéristique granulométrique que le sable de la région de N'GOUSSA ce qui résulte un même coefficient d'uniformité et coefficients de classement. Comme indiqué sur la figure (III-1).

Suite aux opérations précédentes, nous avons tracé la courbe granulométrique pour obtenir les caractéristiques principales du massif épuratoire de notre pilote (figure III-3).

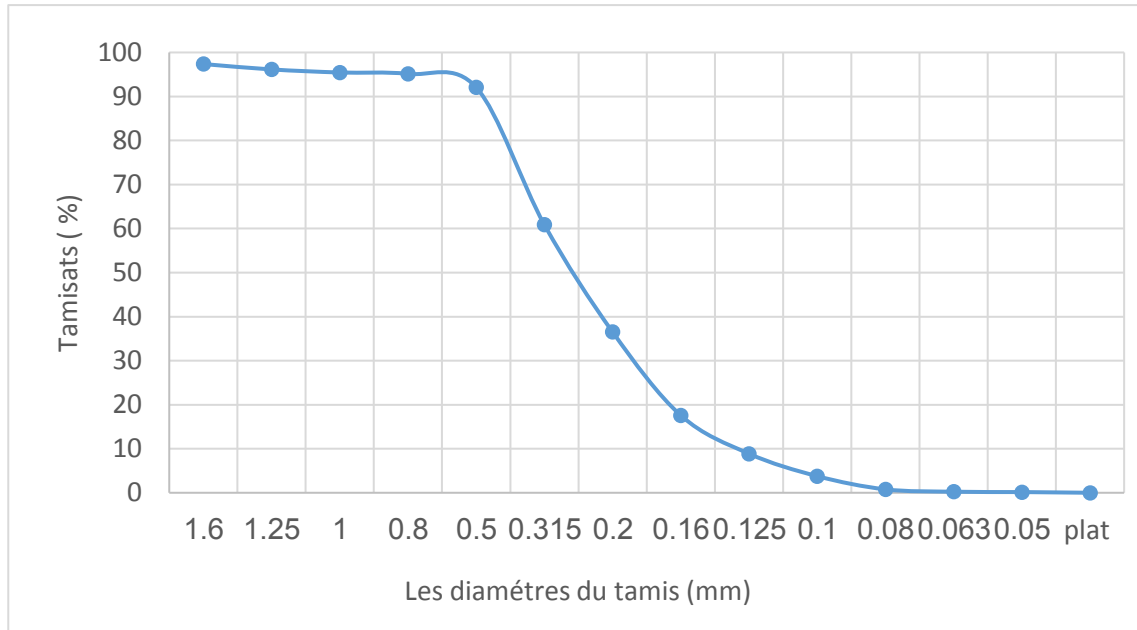


Figure (III-3) : La courbe granulométrique du verre broyé

A partir de la courbe granulométrique, nous déduisons l'Indice de dispersion $S_0 = 1.17$ et l'Indice d'asymétrie SKEWNESS $SK = 1.05$.



Photo 1



Photo 2

Figure (III-3) : Photos du verre cassé (gauche) et du verre broyé (droite)

Le tableau III-5 suivant représente les paramètres physiques des déchets de verre utilisé dans notre travail.

Tableau (III-5) : Les paramètres physiques du verre utilisé.

Paramètre	Dr	CU	Cc	So	SK
Verre	2.4	2.4	1.09	1.17	1.05

Nous avons essayé de mesurer la conductivité électrique et la matière organique qui ont des valeurs nulles

III-5-Conclusion

Après l'étude des diverses caractéristiques (physico-chimiques) du sable et du matériau préparé à partir du déchet de verre, nous pouvons dire que chacun des deux matériaux peuvent être utilisés comme matériaux pour la filtration lente (filtration biologique) pour le traitement des eaux usées.

Chapitre IV

*Etude comparative entre deux matériaux
granulaires*

IV-1- Introduction

L'objectif de ce chapitre est l'évaluation de l'influence des caractéristiques physico-chimiques des matériaux filtrants sur l'efficacité de la filtration biologique. Nous avons réalisé deux pilotes de filtration l'un est composé de sable de N'GOUSSA à l'état naturel et l'autre est composé de déchet de verre broyé.

IV-2- La préparation des pilotes

L'expérience est effectuée sur des colonnes de laboratoire (figure IV-1) en PVC [7 ; 8] de 8cm et 7.6cm de diamètre extérieur et intérieur respectivement [57] [63 ; 64], de (75-80) cm d'hauteur [65 ; 66].

Ces colonnes sont fermées par des bouchons en PVC perforés équipés des tuyaux de 15mm de diamètre monté à la base de la colonne pour récupérer les eaux filtrées [67 ; 68]. Les colonnes sont constituées d'un massif épurateur d'une épaisseur de 60 cm [69 ; 70]. Le massif épurateur est constitué de sable de dune pour le premier pilote, la seconde est constituée de verre broyé.

Le massif drainant de chaque pilote est constitué d'une couche de graviers à épaisseur 2 cm. Ces graviers permettent la collecte et le drainage des eaux filtrées.

Pour la préparation des colonnes, on place un tissu fin géotextile pour éviter la migration des particules de matériau au fond du pilote. Tous les dispositifs doivent être conçus dans les mêmes conditions.

Les pilotes sont placés côte à côte sur un support métallique. Ils sont bien fixés en position parfaitement verticale et stables pour éviter toute forme de vibrations et aussi pour favoriser l'écoulement gravitaire (**figure IV-1**).

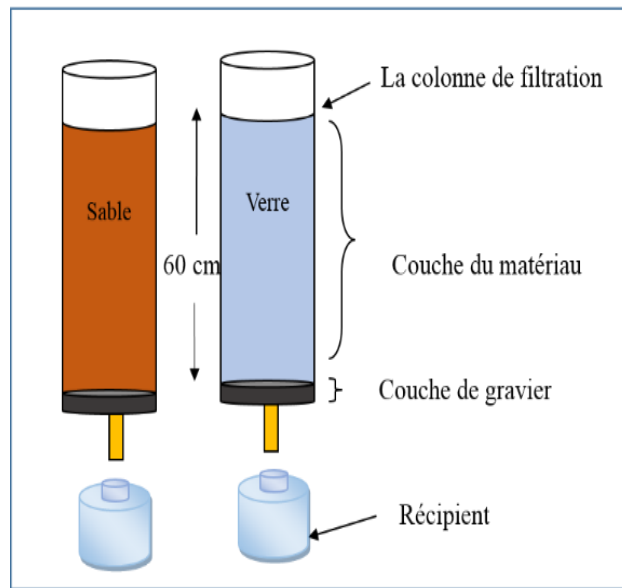


Figure (IV-1) : Schéma représentatif des deux pilotes (sable et verre).

Pour avoir une hauteur de 60 cm de sable, nous avons compacté légèrement le matériau dans les colonnes. Le tableau (IV-1) représente les caractéristiques des matériaux filtrants avant le fonctionnement des pilotes.

Tableau (IV-1) : Les caractéristiques des pilotes préparés

Pilote	D_r	D_a	n (%)	CU
N'Goussa	2.960	1.785	39.7	2.33
Verre	2.4	1.333	44.5	2.4

IV-3- L'origine de l'eau usée

Les composés organiques existants dans l'eau usée sont instables ce qui provoque des changements au niveau de leurs caractéristiques d'une campagne à une autre.

Il existe plusieurs compositions de l'eau usée synthétique dans la bibliographie. Cette composition suppose d'être identique à la composition de l'eau usée domestique. Pour cette raison, les eaux usées préparées au laboratoire.

Cette eau est préparée en mélangeant quelques produits d'alimentation domestique avec de l'eau distillée [71 ; 72] (**Tableau IV- 2**), en s'assurant que ces produits contiennent tous les produits chimiques susceptibles d'être présent dans une eau usée domestique en concentration considérable.

Tableau (IV- 2) : Les différentes compositions des eaux usées préparées au laboratoire [72].

Produits	Quantités (mg /l)
Sucre	200
Urée	30
K ₂ HPO ₄	20
Lait sec	333
CaCl ₂	36
Na HCO ₃	100
Levure	30
Mg SO ₄	350
NH ₄ Cl	120

Les mesures des paramètres de pollution de l'eau usée d'alimentation (pH ; CE ; DCO et DBO₅) se réalisent plusieurs fois.

Origine de pollution

- Le sucre est la source de la matière organique.
- L'urée et l'acide urique sont des sources de matière azotée,
- Le lait et la levure sont des sources de croissance des bactéries.

Pour cela, nous avons pris en compte les moyennes arithmétiques. Les valeurs moyennes sont représentées dans le tableau (**IV-3**)

Tableau (IV-3) : Les normes des eaux domestiques, et les valeurs trouvées

Caractéristiques	Valeur	Norme des eaux domestiques
DBO₅ (mg /l)	480 ±20	100 à 500
DCO (mg /l)	878.4± 10	300 à 1000
CE (µS.cm⁻¹)	970	900 à 1300
pH	6.6±0.5	7.5 à 8.5

L'évaluation de la fraction des composés organiques biodégradables est déterminée par le rapport DCO/DBO₅ dit rapport de biodégradabilité K

IV-4- Fonctionnement des filtres

Pour avoir un bon fonctionnement des pilotes de filtration pendant toute la phase de l'expérimentation, nous avons choisi un débit d'injection qui permet d'évaluer un bon rendement épuratoire, tout en prenant en considération le type de filtration et la surface du lit du matériau. Le choix du débit a été fait selon les normes de la filtration lente [45]. Le débit réel est de 50 à 60 l/j/m². Nous avons travaillé au laboratoire avec un débit doublé pour accélérer la cadence du travail ce qui nous donne un débit journalier de fonctionnement.

L'alimentation des filtres s'effectue manuellement chaque heure avec un volume de 40 ml pendant 13 heures, cette dose doit être injectée avec précaution pour éviter l'apparition du phénomène de l'érosion à la surface et de permettre de faire une alimentation uniformément répartie afin de couvrir toute la surface du filtre.

L'eau usée s'infiltre de façon gravitaire entre les grains du matériau filtrant et à la sortie nous disposons des flacons en verre de couleur brune pour collecter les eaux filtrées et les conserver dans des conditions convenables afin d'éviter toute activité biologique.

IV-5- Résultats d'analyses physico-chimiques et discussion

Pour l'évaluation de l'efficacité de notre dispositif filtrant, des prélèvements, à l'entrée et à la sortie, ont été effectués -chaque jour pour les mesures de pH et CE, et une fois par semaine pour les mesures de DCO et DBO₅, ces mesures constituent une campagne hebdomadaire. La durée de fonctionnement étant de 70 jours (10 campagne) et l'efficacité

de ce modèle est évaluée essentiellement à travers des paramètres indicateurs de la pollution organique (pH ; CE ; DCO et DBO₅).

IV-5-1-Le pH

Le potentiel hydrogène (pH) représente l'acidité ou l'alcalinité du sol. Il est mesuré d'une façon journalière directement par le pH-mètre. Les prélèvements ont été effectués dès le premier jour de fonctionnement. Les résultats de ces mesures sont représentés dans le tableau (IV-4).

Tableau (IV-4) : La variation du pH de l'eau traitée en fonction du temps

	Temps (semaine)									
Pilote	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eau usée	6.02	7.02	6.56	7.07	6.18	6.01	6.54	6.1	6.11	6.96
Verre	8.25	8.37	8.32	8.2	8.28	8.28	8.12	8.45	8.59	8.55
N'Goussa	7.32	7.82	7.73	7.54	7.56	7.76	7.96	8.4	8.32	8.3

Nous remarquons que les valeurs de pH de l'eau usée sont comprises entre 6.01 et 7.07. Cette variation entre ces deux valeurs extrêmes d'une campagne à une autre est due à la variabilité de l'effluent en fonction du temps quelque soit sa nature.

Nous constatons aussi que les valeurs de pH des eaux filtrées sont toujours nettement supérieures aux valeurs d'eaux usées (entrée).

Leur variation entre une campagne et une autre est due éventuellement à la variation de la température ambiante (25.1 et 32°C) qui influe sur la fermentation des eaux usées est due à la variabilité de l'effluent en fonction du temps quelque soit sa nature.

Pour les eaux filtrées, le pH varie entre 7.32 et 8.59. Elles deviennent basiques pour toutes les campagnes que ce soit pour la colonne de sable ou la colonne de verre avec une légère variation. La valeur maximale 8.59 a été enregistrée au niveau du filtre à verre broyé.

IV-5-2-La Conductivité Electrique (CE)

Le paramètre qui permet de définir la salinité totale d'une solution est sa conductivité électrique (CE) qui est en effet, directement proportionnelle à la concentration totale en sels solubles. Nous avons mesuré la CE de l'eau à l'entrée et à la sortie de la colonne à l'aide d'un conductimètre de modèle : *WTW LF 330*.

Les résultats de ces mesures sont représentés dans le tableau **(IV-5)**.

Tableau (IV-5) : La variation de la conductivité électrique (CE) en fonction du temps

	Temps (Jours)															
pilot	1	2	3	4	5	6	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
Eau Usée	0.685	0.766	0.757	0.873	0.841	0.819	0.791	0.843	0.838	0.816	0.871	0.873	0.876	0.875	0.871	0.875
Verre broyé	12.78	8.42	2.51	1.588	1.24	1.35	1.53	1.24	1.463	1.477	1.473	1.424	1.629	1.67	1.535	1.485
Sable N'GOUSSA	57.2	10.55	4.06	3.21	3.34	3.48	3.67	3.19	3.44	3	2.39	1.78	1.856	1.868	1.712	1.716

Les variations de la conductivité électrique en fonction du temps sont illustrées dans la figure (IV-2).

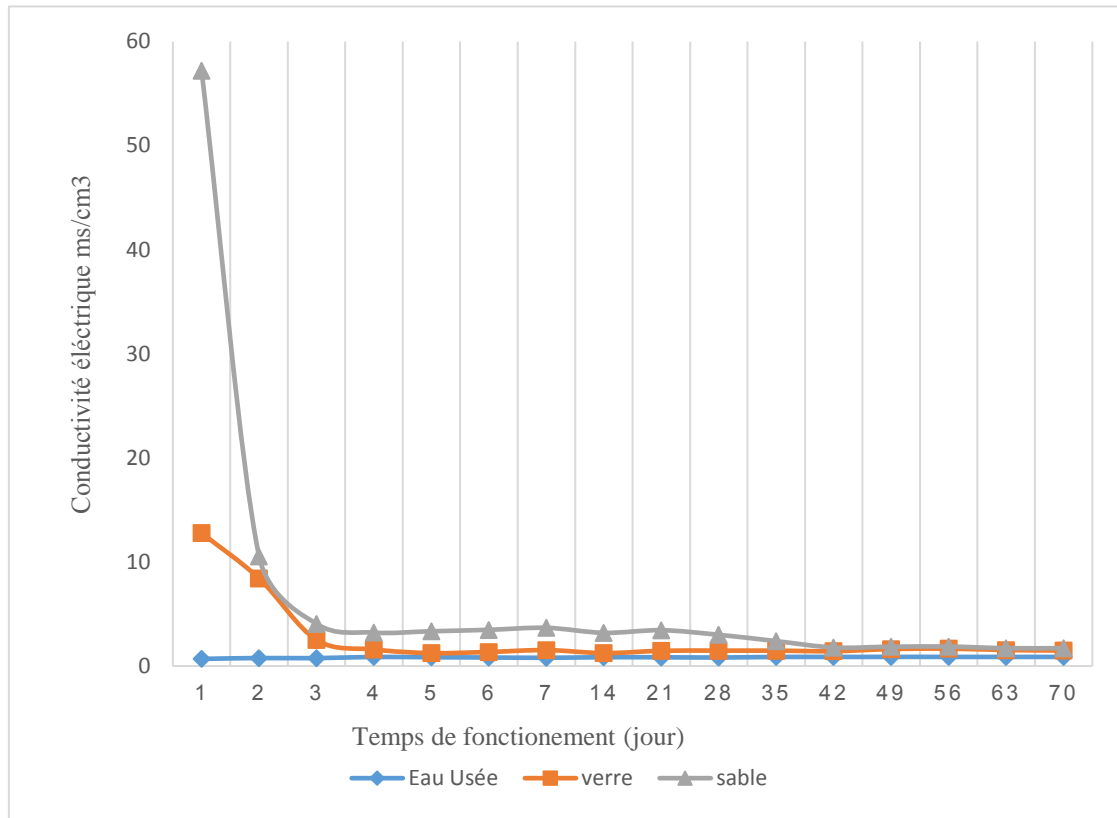


Figure (IV-2) : Variation de la conductivité électrique (mS/cm) en fonction du temps

A la lecture de la courbe, il apparaît que les eaux provenant du filtre contenant du sable sont caractérisées par une forte CE qui dépasse 50 mS/cm pour le premier jour par rapport au filtre de verre. Les CE des eaux usées sont comprises entre 0,685 et 0,876 mS/cm et généralement stables dans la période allant de 7 à 70 jours ; cependant elles restent toujours inférieures à celles de l'eau filtrée.

La courbe de la CE est divisée en trois intervalles :

- le premier (1^{er} au 3^{ème} jours) c'est une phase qui se caractérise par une chute remarquable des CE pour le pilote de sable comparativement au filtre de verre ; c'est la phase de lessivage des filtres [73].

Dans cette phase, nous remarquons que les premières séries de mesures sont caractérisées par des fortes CE, -de 12,78 à 2,51 mS/cm pour le filtre de verre et de 57,2 à 4,08

mS/cm pour le filtre de sable. Ces valeurs élevées au début du fonctionnement des filtres interprètent la concentration très élevée des sels solubles.

- le second intervalle (du 4^{ème} au 13^{ème} jours], nous avons enregistré des valeurs de 1.2 à 1.6 mS/cm pour le filtre de verre et de 3.2 à 3.7 mS/cm pour le filtre de sable.

- le troisième intervalle (du 14^{ème} au 70^{ème} jours), une diminution a été remarquée pour les valeurs de la CE dans le filtre de sable elles varient de 3.2 à 1.7 mS/cm, tandis que le filtre de verre a montré une légère augmentation (autour de 1.4 mS/cm) cette augmentation peut être due à la transformation d'une partie de la matière organique en sel minérale.

IV-5-3-La demande biologique en oxygène (DBO₅)

La DBO₅ est la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes aérobies après cinq jours à 20°C [74 ; 75]. Elle est considérée comme le principal indicateur du degré de pollution organique [2] [76 ;77].

La détermination de la DBO₅ a été réalisée selon les normes **AFNOR** et par la méthode manométrique, sur des échantillons non dilués (**NF EN 1899-2**) [12 ;17]. Les résultats de ces mesures sont représentés dans le tableau (IV-6).

VI- Tableau (IV-6) la variation de la DBO₅ en fonction de temps

	Temps semaine /DBO ₅ (mg / l)									
Pilot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Verre	30	20	25	25	25	10	15	35	15	45
Sable	15	15	10	15	10	10	10	5	5	25
Eau usée	400	340	330	320	400	400	360	480	470	320

Le rendement épuratoire est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Rendement \%} = \frac{\text{DBO}_5 \text{ Eau usée} - \text{DBO}_5 \text{ Eau filtrée}}{\text{DBO}_5 \text{ Eau usée}} \times 100 \quad (\text{IV- 18})$$

Les valeurs du rendement d'élimination de la DBO₅ sont représentées dans la figure (IV-3).

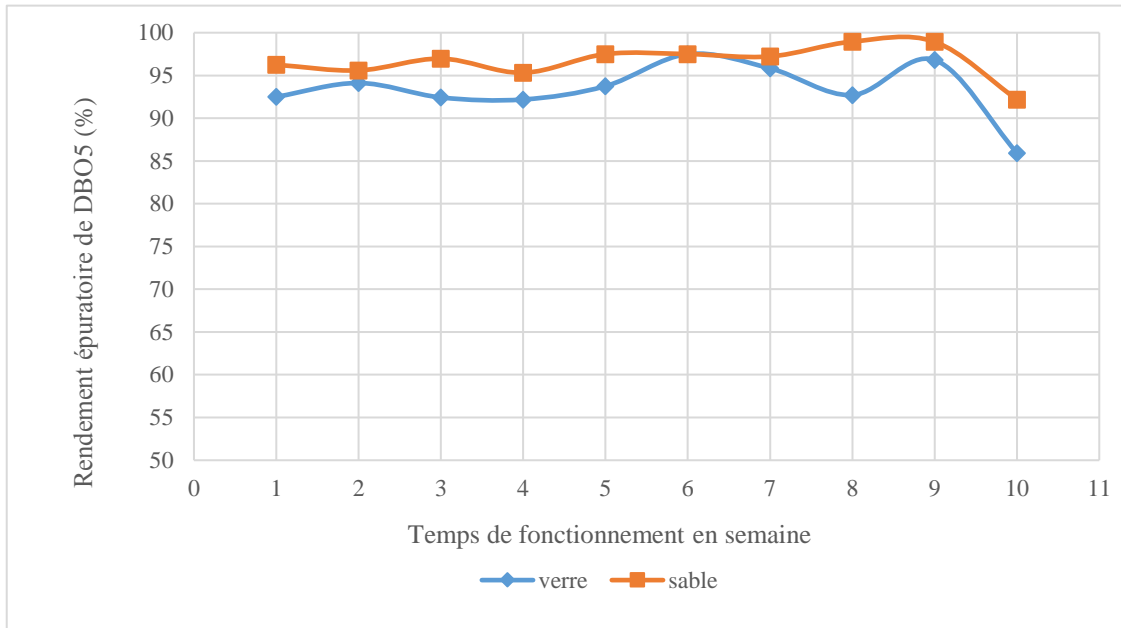


Figure (IV-3) : Evolution du rendement en DBO₅ en fonction du temps

Dans la première semaine, les rendements de la DBO₅ atteignent des valeurs remarquables de 96.25 et 92.5% pour les sables et le verre respectivement.

Les rendements les plus élevés de la DBO₅ apparaissent dans l'intervalle allant de la 4^{ème} à la 9^{ème} semaine, c'est la phase de fonctionnement normale des filtres. Au-delà de cet intervalle, les rendements d'élimination de la DBO₅ commencent à diminuer. Cette diminution de rendement est prévisible car chaque filtre subit, au fur et à mesure de son utilisation, une diminution de porosité (durée de vie limitée). Ce stade est ainsi appelé "le point de crevaisson du filtre".

Globalement, les résultats de la DBO₅ pour les deux matériaux sont très intéressants, ils traduisent une bonne dégradation des matières biodégradables, ceci se traduit par l'efficacité de la technique d'épuration utilisée [4]. Notons le bon rendement épuratoire du filtre à sable de N'Goussa par rapport au rendement du filtre de verre. Ceci est dû à trois paramètres majeurs :

1. Les grains de sable sont plus rugueux que les particules de verre Figure (IV-4).
2. La surface spécifique des grains de sable est supérieure à celle du verre
3. A l'état initial, le sable contient une proportion de matière organique cependant, celle-ci est négligeable dans le verre [78].

Pour avoir la différence entre un matériau et un autre il faut déterminer leurs caractéristiques physico-chimiques, au sein de notre travail, on a essayé de faire une étude comparative, coté forme des particules entre le verre broyé et le sable de N'GOUSSA, on utilise le microscope optique, voir la Figure (IV-4)

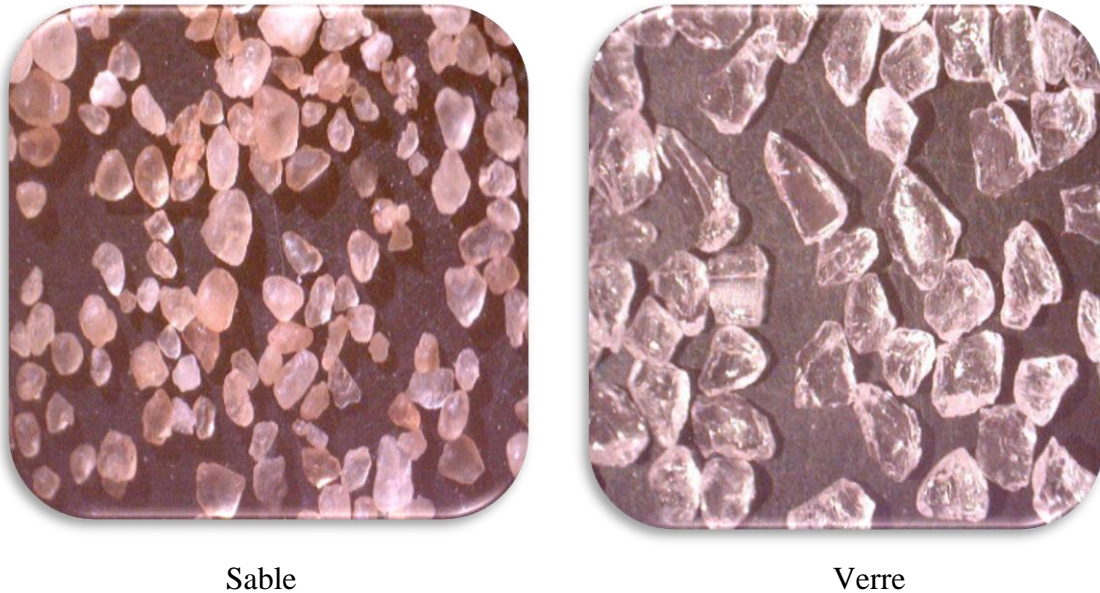


Figure (IV-4) : Photos des particules du sable (gauche) et du verre (droite)

On a observé que les particules du sable ont une surface régulière, par contre les grains du verre sont cristallisés et luisants ils ont des angles aigus, nous avons remarqué aussi que le verre est transparent.

IV-5-4-La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO représente la concentration exprimée en mg/l d'oxygène équivalent à la quantité de dichromate de potassium consommée par la matière dissoute et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans les conditions normalisées. La demande chimique en oxygène est considérée comme un indicateur principal du degré de la pollution organique [2 ; 77].

La DCO est mesurée plusieurs fois, selon les normes **AFNOR (NFT 90-101)** par oxydation des matières réductrices contenues dans l'eau par un excès de dichromate de potassium. La mesure de DCO nécessite une précision élevée à cause de la sensibilité des

solutions utilisées et les erreurs de l'expérimentateur qui peuvent survenir lors de la prise d'essai des eaux à analyser, ou bien des volumes de solutions utilisés (assez petits).

Les campagnes des mesures sont effectuées chaque semaine et les valeurs de la DCO sont représentées au tableau (IV-6).

Tableau (V-6) : Les valeurs de la DCO (mg /l) en fonction du temps

	Temps semaine /DCO (mg / l)									
pilot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Verre	100.8	76.8	76.8	52.8	57.6	48	57.6	86.4	86.4	81.6
Sable	67.2	72	62.4	38.4	48	43.2	48	67.2	76.8	76.8
Eau usée	508.8	590.4	600	508.8	710.4	576	652.8	772.8	825.6	681.6

Le rendement épuratoire est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Rendement \%} = \frac{\text{DCO Eau usée} - \text{DCO Eau filtrée}}{\text{DCO Eau usée}} \times 100 \quad (\text{IV- 19})$$

Les valeurs du rendement d'abattement de la DCO sont représentées dans la figure (IV-5).

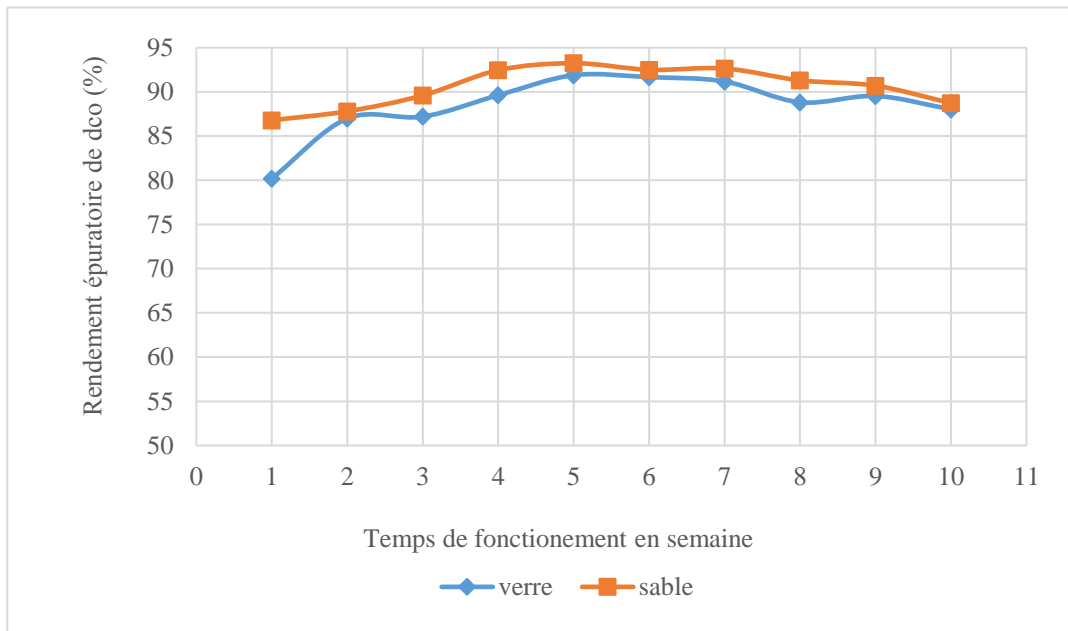


Figure (IV-5) : Evolution du rendement en DCO en fonction du temps

Au début du fonctionnement, les deux filtres possèdent des rendements épuratoires qui sont nettement supérieurs à 80 %.

Dans la 2^{ème} semaine, nous remarquons une augmentation du rendement pour les deux filtres. Cette phase est appelée "la période de maturation des filtres " [3 ; 4] et de formation des films biologiques sur la surface des filtres.

La courbe de DCO est divisée en deux intervalles, le premier allant de la 4^{ème} à la 6^{ème} semaine, est une phase qui se caractérise par des valeurs maximales de rendement épuratoire pour les deux filtres 93.24 % et 91.89 % verre et sable respectivement. C'est la période du bon fonctionnement des filtres. Les rendements d'élimination de la DCO commencent à diminuer dans la deuxième l'intervalle [6^{ème} - 10^{ème} semaine] .Cette décroissance est accompagnée d'une fatigue des filtres indiquant le début de leur crevaison. Ceci est expliqué par l'apparition du phénomène de colmatage des filtres [79], mais les filtres restent encore efficaces.

Le filtre à sable commence à se décroissance de rendement réparatoire au bout du 7^{ème} semaine de fonctionnement. Au cours de la filtration, il résulte une activité biologique provoquant la dégradation de la matière organique dans le support filtrant. Donc, la présence d'une petite quantité de matière organique aide l'accélération de la maturation des filtres. C'est-à-dire qu'elle favorise la formation rapide de la biomasse.

La comparaison des résultats entre les deux matériaux nous a donné de meilleurs résultats de rendement épuratoire avec un léger dépassement du sable.

Ce résultat est obtenu grâce à la surface spécifique du grain de sable qui est supérieure à celle du verre et peut être à l'existence d'une petite quantité de la matière organique qui aide l'accélération de la maturation du filtre. [12] [79 ; 80].

IV-6 Conclusion

Après comparaison des résultats obtenus pour les deux matériaux granulaires utilisés dans notre travail (verre broyé et sable de dunes), il apparaît que le matériau le plus performant, en termes de rendement épuratoire, est le sable de dunes.

Ce résultat confirme l'adaptation de ce matériau à la filtration biologique grâce à des propriétés physico-chimiques adéquates (sable siliceux). Notons, par ailleurs, que la granulométrie s'avère être un paramètre très important dans le traitement biologique. Et ce travail montre que le sable plus efficace que le verre dans le domaine de traitement des eaux usées.

Chapitre V

L'influence du coefficient d'uniformité

V-1-Introduction

Dans le but de valoriser des ressources naturelles telles que le sable des dunes comme support filtrant, nous avons étudié dans cette partie l'influence des caractéristiques physiques intrinsèques du massif filtrant vis à vis des performances épuratoires des eaux usées domestiques par le procédé de filtration biologique.

Dans ce contexte, nous avons appliqué un dispositif de traitement des eaux usées par la filtration biologique qui se base sur l'utilisation du sable lavé comme un support filtrant à hauteur de 60 cm et différent coefficient d'uniformité (CU) de valeurs variant de 2 à 4. Ainsi, nous avons essayé de voir l'influence de ce coefficient sur l'efficacité d'élimination des paramètres de pollution : CE, pH, DCO et DBO₅.

V-2-Préparation du sable

Dans l'optique de l'étude l'influence de CU de ce sable, nous avons proposé de construire des filtres constituant un sable lavé. Nous avons choisi deux types de sable afin d'obtenir un effet désiré ou choisis.

Le dispositif que nous avons réalisé constitue des pilotes en se basant sur l'utilisation du mélange de deux types de sable de dune de la région d'Ouargla (N'GOUSSA et HASSI SAYAH) pour obtenir un nouveau sable avec un coefficient d'uniformité choisi comme support filtrant à différents CU. Le choix de ces deux carrières est basé sur leurs caractéristiques, le sable de N'GOUSSA est un sable de granulométrie légèrement fine et le sable de HASSI SAYAH de granulométrie grossier et nous avons préparé notre matériau filtrant selon les étapes suivantes (figure V-1) :

1-Laver le matériau plusieurs fois avec l'eau du robinet chaude additionnée de l'HCl jusqu'à la disparition presque totale des sels solubles.

2-Laver plusieurs fois avec eau douce chaude.

3-Laver plusieurs fois avec eau distillée chaude

Après l'opération de lavage nous avons séparé les sable et séché à l'étuve à 105° pendant 24h. Nous avons fractionné les sables par une série de tamis (selon les normes **AFNOR NF 1996**) :

- Sable de N'GOUSSA : diamètres 2 mm ; 1.6 mm ; 1.25 mm ; 1 mm ; 0.80 mm ; 0.63 mm ; 0.50 mm ; 0.40 mm ; 0.315 mm ; 0.250 mm ; 0.200 mm ; 0.16 mm ; 0.125 mm ; 0.1 mm ; 0.08 mm ; 0.063 mm ; 0.05 mm
- Sable de HASSI SAYAH : diamètres 0.1mm, 0.125mm, 0.16mm, 0.2mm, 0.25mm, 0.315mm, 0.5mm, 0.8mm, 1mm, 1.25mm, 1.6mm, 2mm, 2.5mm, 3.15mm, 4mm, à 5 mm)

Afin de préparer les milieux filtrants selon des CU choisis nous avons préparé des mélanges de sables reconstitués à base des sables naturels (**figure V-1**).

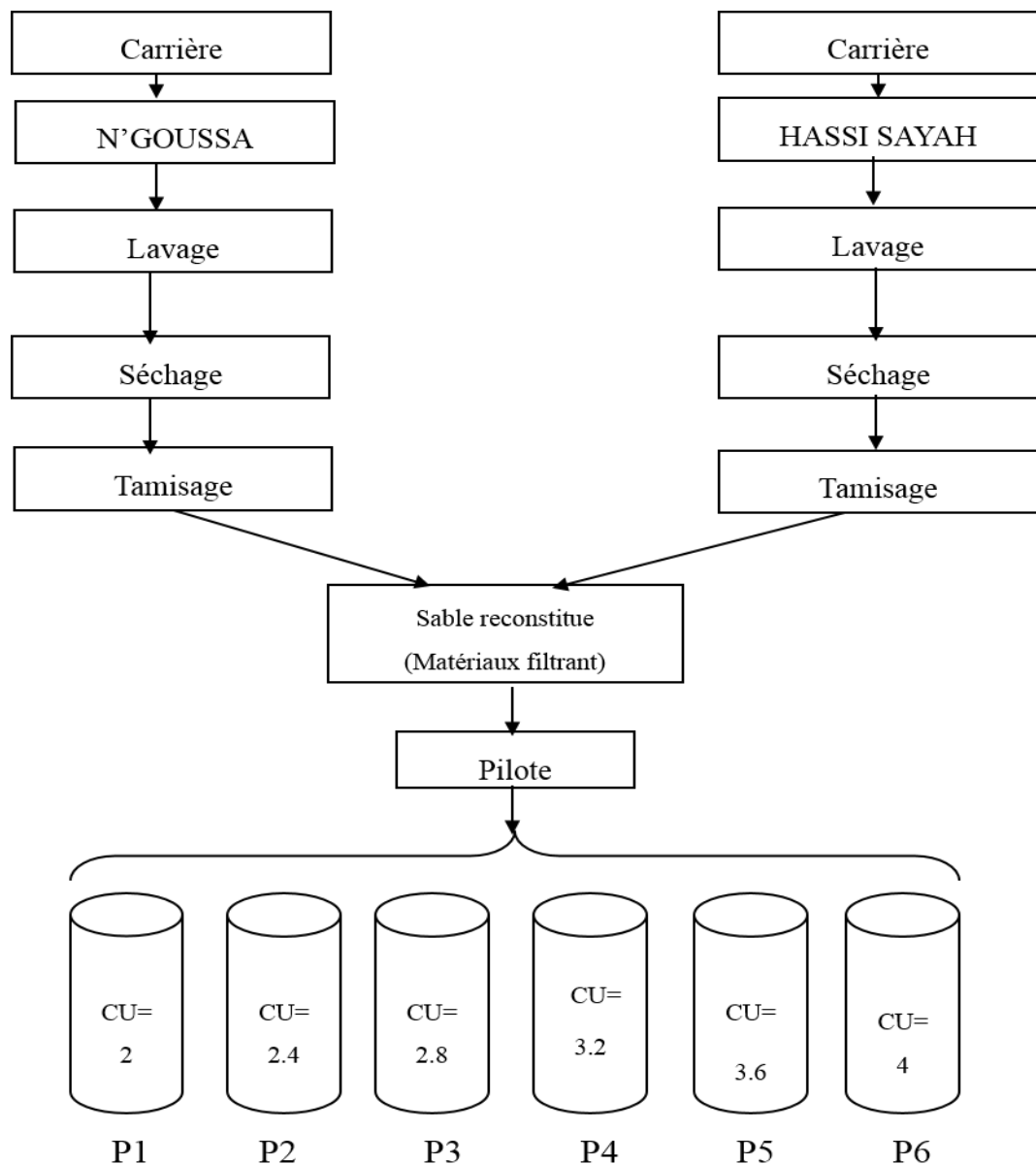
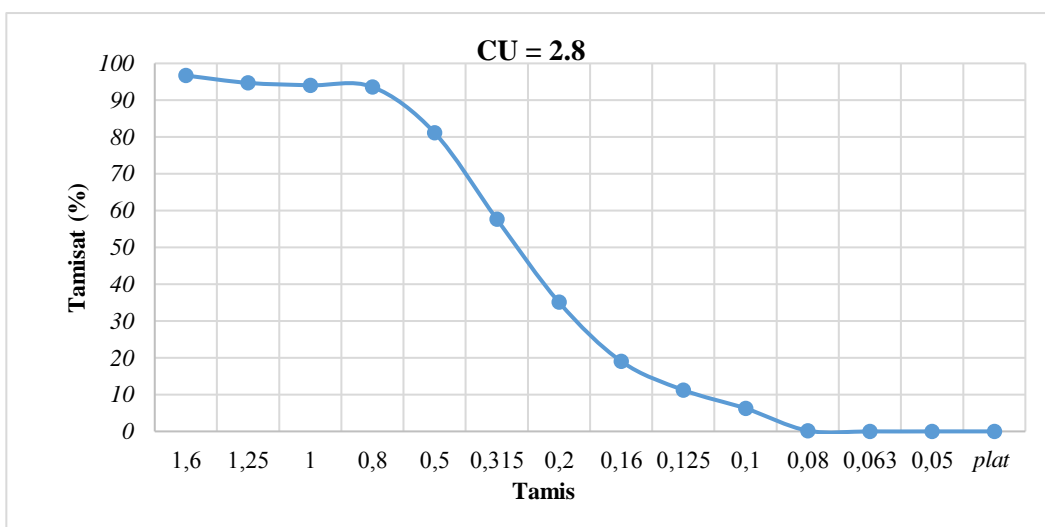
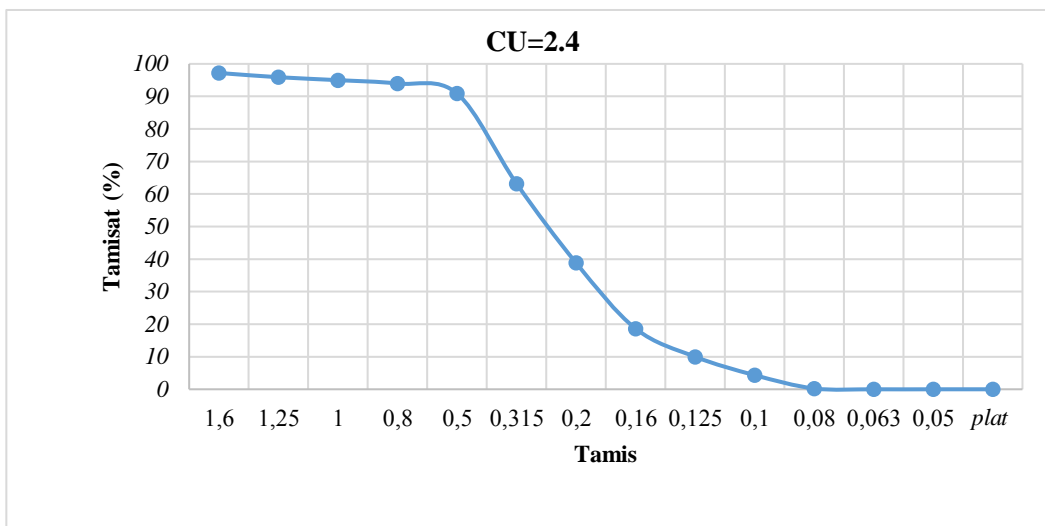
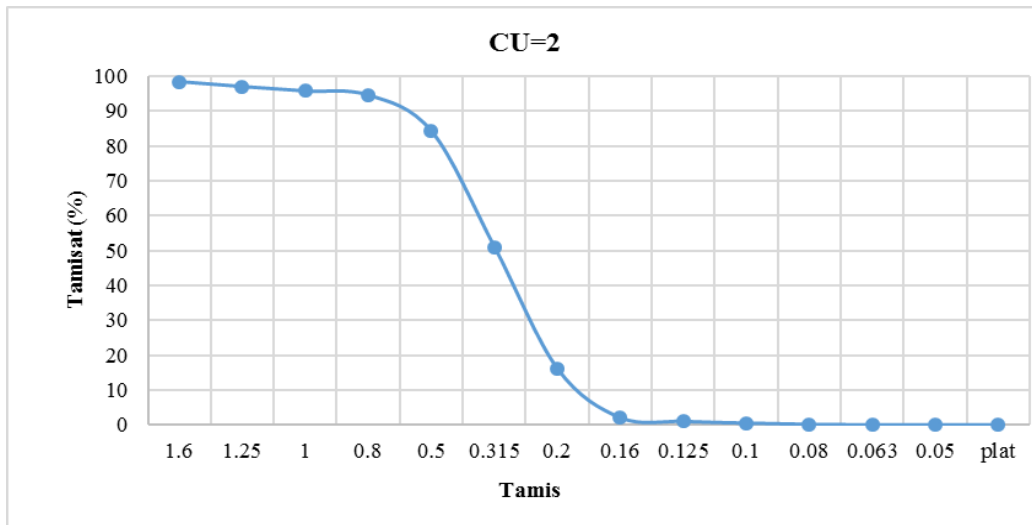


Figure (V-1) : Schéma de préparation de sable

Les six (06) milieux filtrants choisis correspondent au $CU = 2 ; 2.4 ; 2.8 ; 3.2 ; 3.6$ et 4 (figures V-2) et qui répondent aux exigences de la filtration lente [81]



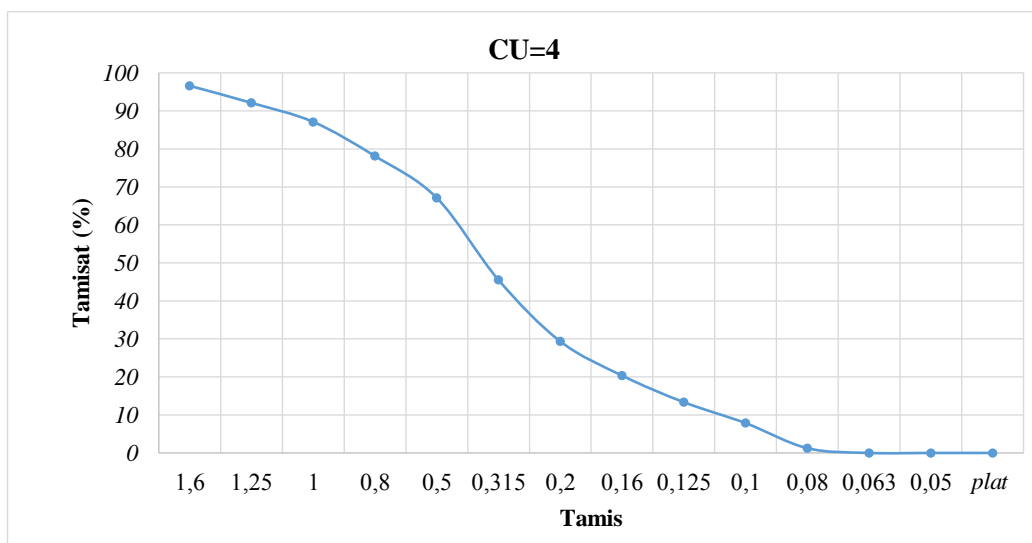
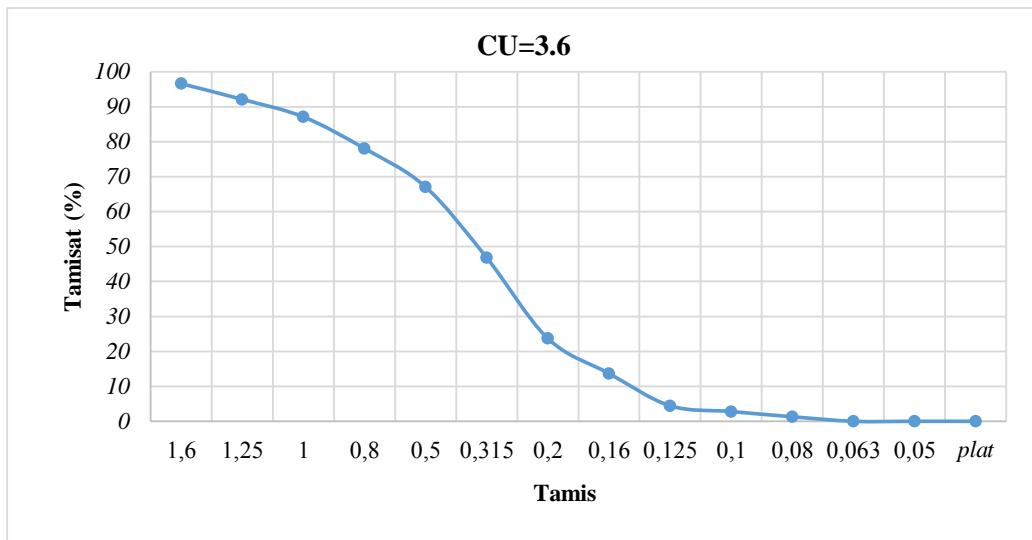
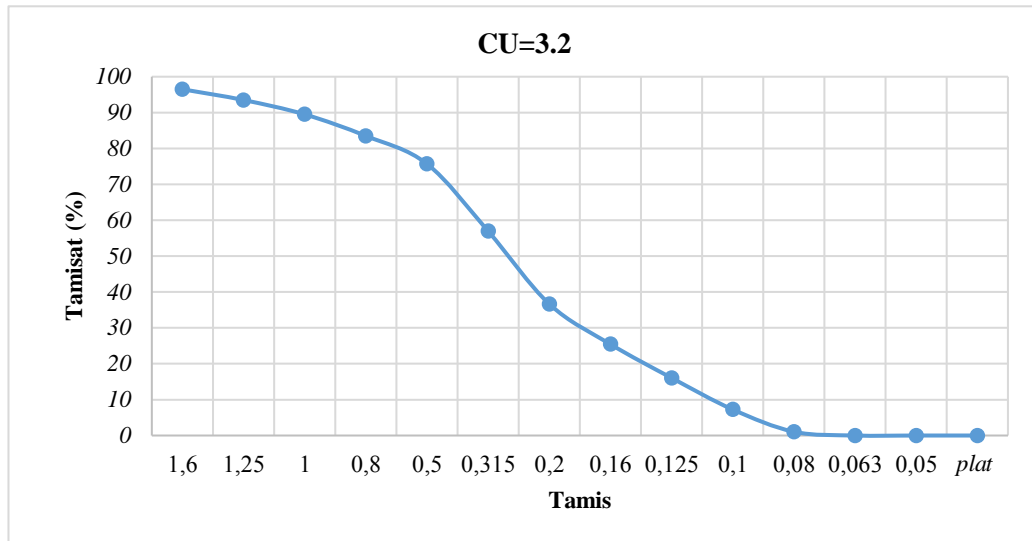


Figure (V-2) : Les courbes granulométrique du sable préparé.

V-3-Dispositif expérimental et fonctionnement

L'alimentation des filtres se fait par une eau usée de même composition que l'eau usée de l'injection et le même fonctionnement cité dans le (chapitre IV). Le dispositif permet de faire fonctionner les colonnes de filtration simultanément. Ces derniers sont mis dans les mêmes conditions de travail.

Nous avons calculé le débit de chaque filtre pour voir si la vitesse rentre dans la gamme de la filtration lente (chapitre IV).

Pour le pilot expérimental, le débit total est considéré comme uniformément réparti sur la section et la surface du pilote est une surface élémentaire du filtre réel (Chapitre IV) [13] [67 ; 82] et pour des commodités de travail, nous avons choisi une durée d'alimentation de 12 h avec une fréquence d'injection d'une heure. Les valeurs des paramètres de chaque échantillon sont représentées dans le tableau (V-I).

Tableau (V-1) : Les valeurs des paramètres de chaque échantillon

Pilote	CU	D_r	D_a	n (%)	D_{10}
P1	2	2.6	1.54	0.407	1.125
P2	2.4	2.6	1.59	0.389	0.120
P3	2.8	2.6	1.64	0.369	0.115
P4	3.2	2.6	1.70	0.346	0.111
P5	3.6	2.6	1.75	0.327	0.109
P6	4	2.6	1.79	0.312	0.106

Le dispositif expérimental est comme le dispositif décrit dans le chapitre IV (figure V-3).

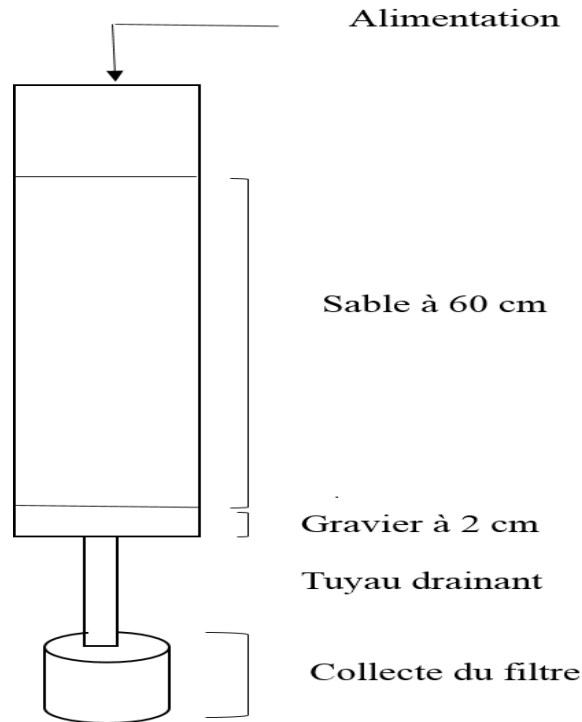


Figure (V- 3) : Schéma représentant les pilotes filtrants

V-4- Résultat et discussion

Les paramètres de pollution mesuré au paravent ont été réexamine dans présent partie expérimental La durée de fonctionnement dans cette partie est de 77 jours.

V-4-1. Le pH

Dès le premier jour du fonctionnement des pilotes le pH est suivi de manière journalière sur les eaux brutes et les eaux traitées. Nous avons reporté au tableau (V-2) les mesures journalières de la première semaine et une valeur hebdomadaire pour les 10 semaine.

Tableau (V-2) : La variation du pH en fonction du temps

		Temps (semaine)																
Pilot		1^{er}	2^{ème}	3^{ème}	4^{ème}	5^{ème}	6^{ème}	7^{ème}	14^{ème}	21^{ème}	28^{ème}	35^{ème}	42^{ème}	49^{ème}	56^{ème}	63^{ème}	70^{ème}	77^{ème}
Eau traitée	P1	6.98	8.15	8.12	8.27	8.09	8.56	8.31	8.34	8.28	7.9	8.57	8.37	8.21	7.33	7.94	7.4	7.56
	P2	7.01	8.02	8.50	8.37	8.24	8.32	8.3	8.44	8.28	8.08	8.62	8.41	8.08	8.01	7.84	7.71	7.94
	P3	7.05	7.91	8.06	8.21	8.50	8.39	8.21	8.33	8.21	8	8.44	8.05	8.04	8.22	8.09	7.76	8.13
	P4	7.01	7.92	8.15	8.38	7.95	8.33	8.23	8.35	8.3	7.85	8.26	8.29	8.05	8.12	7.84	7.61	8.09
	P5	7.05	7.96	8.06	8.24	8.1	8.29	8.25	8.41	8.28	7.94	8.33	8.23	8.37	8.3	8.27	7.85	8.33
	P6	7.06	8.03	8.19	8.14	8.25	8.3	8.21	8.44	8.28	7.86	8.16	8.19	8.23	8.8	8.06	7.98	8.19
Eau à l'entrée	6.46	6.00	6.00	6.91	5.08	6.89	6.89	6.63	6.97	6.77	6.4	6.68	7.44	6.97	7.13	7.01	6.82	

Nous distinguons que les valeurs de pH de l'eau usée sont comprises entre 6.63 et 7.44. Leur variation entre une campagne et une autre est due éventuellement à la variation de la température ambiante (16 à 23° C) qui influe sur la fermentation des eaux usées.

Les pH de l'eau filtrée est toujours supérieure aux pH de l'eau brute dans chaque pilote. En plus, les valeurs obtenues pour les différents pilotes sont quasiment identiques avec un léger écart qui pourrait être lié à l'erreur de mesure. Toutes les valeurs de nos pilotes sont comprises entre 7,4 et 8,62. Nous remarquons une légère augmentation du pH, il devient plus basique dans la majorité des campagnes avec tous les filtres. Ceci est dû probablement à la dissolution de certains sels existants à l'intérieur des filtres.

V-4-2. La conductivité électrique (CE)

Nous avons mesuré la CE de l'eau à l'entrée et à la sortie de la colonne (tableau V-3, Figure V- 4).

Tableau (V-3) : La variation de la conductivité électrique en fonction du temps

		Temps (jour)																
	Pilote	1	2^{ème}	3^{ème}	4^{ème}	5^{ème}	6^{ème}	7^{ème}	14^{ème}	21^{ème}	28^{ème}	35^{ème}	42^{ème}	49^{ème}	56^{ème}	63^{ème}	70^{ème}	77^{ème}
Eau traité	P1	1.629	1.429	0.952	0.934	0.947	0.943	0.946	0.957	1.013	1.022	1.038	1.009	1.009	1.006	1.006	1.017	1.017
	P2	1.709	1.509	1.042	0.913	0.918	0.923	0.949	0.966	1.019	1.084	1.099	1.065	1.060	1.060	1.071	1.081	1.075
	P3	1.786	1.586	1.091	0.926	0.929	0.933	0.954	0.997	1.090	1.090	1.141	1.130	1.107	1.111	1.115	1.112	1.117
	P4	1.826	1.629	1.149	0.949	0.951	0.972	0.984	1.007	1.090	1.113	1.113	1.113	1.095	1.106	1.100	1.102	1.104
	P5	1.870	1.665	1.173	1.026	1.006	1.017	1.026	1.077	1.088	1.122	1.110	1.072	1.052	1.053	1.054	1.051	1.051
	P6	1.896	1.696	1.189	1.010	0.967	0.982	1.004	1.009	1.090	1.104	1.105	1.108	1.082	1.072	1.074	1.066	1.050
	Eau Usée	0.789	0.722	0.676	0.699	0.706	0.731	0.722	0.738	0.798	0.790	0.794	0.785	0.784	0.786	0.804	0.794	0.776

A la première lecture de ces variations (Figure V-3), nous distinguons deux remarques assez significatives :

- a) Les valeurs de la CE de l'eau filtrée sont toujours supérieures à celles des eaux usées ; elles sont comprises entre 1.896 et 0.913 mS/cm. La CE de l'eau brute est généralement stable dans l'intervalle [7^{ème} à 77^{ème} jours]

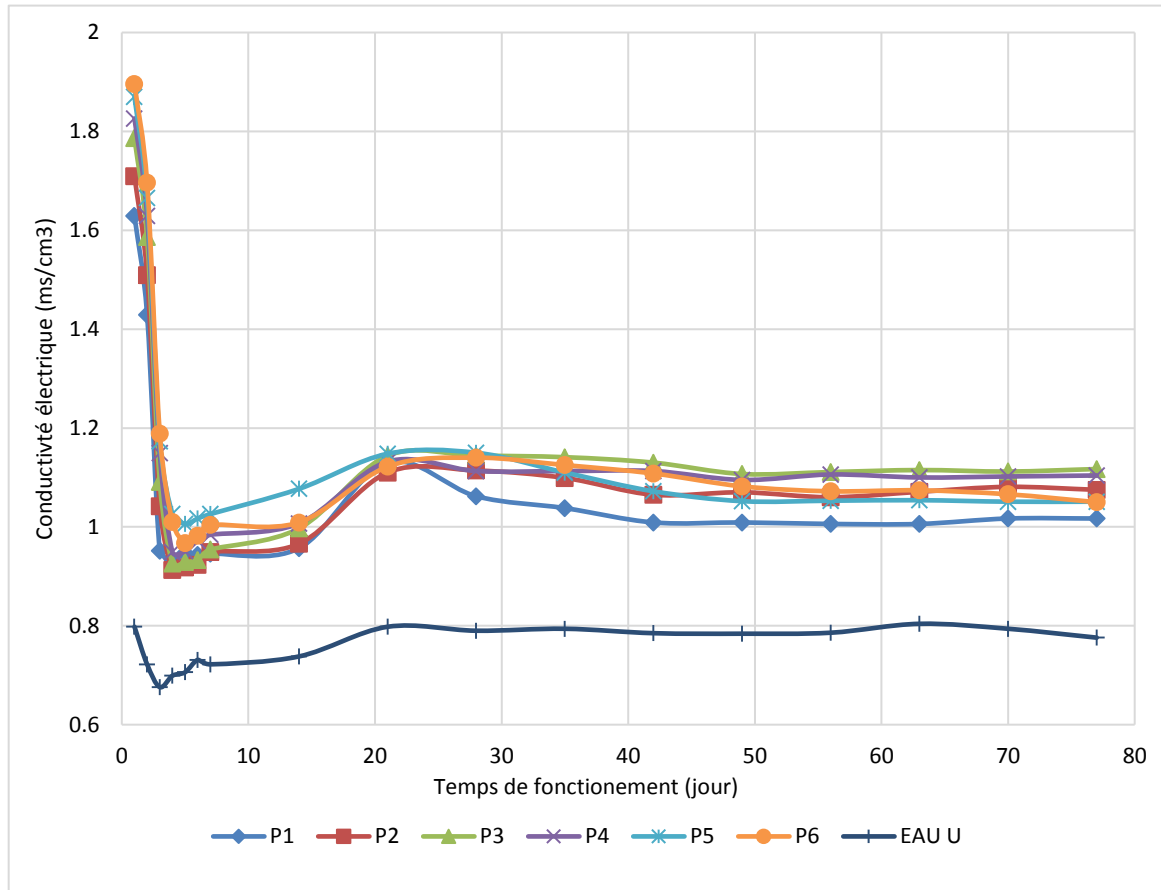


Figure (V-4) : Variation de la conductivité électrique (mS/cm) en fonction du temps

- b) La deuxième c'est que la courbe de CE est divisée en deux intervalles ; le premier [1^{er} -4^{ème} jours] est une phase qui se caractérise par une chute légère des valeurs de la CE, c'est la phase de lessivage des filtres.

Dans le deuxième intervalle [4^{ème} – 77^{ème} jours], une stabilité pour les valeurs de la conductivité électrique avec un léger variant entre les pilotes jusqu'à l'atteinte de la valeur 1.050 mS/cm avec un léger changement d'un filtre à un autre.

V-4-3 La demande biologique en oxygène DBO₅

Nous avons calculé les rendements épuratoires de l'abattement de la DBO₅, la variation du rendement en fonction du temps de travail du filtre est représentée par la figure (V-4).

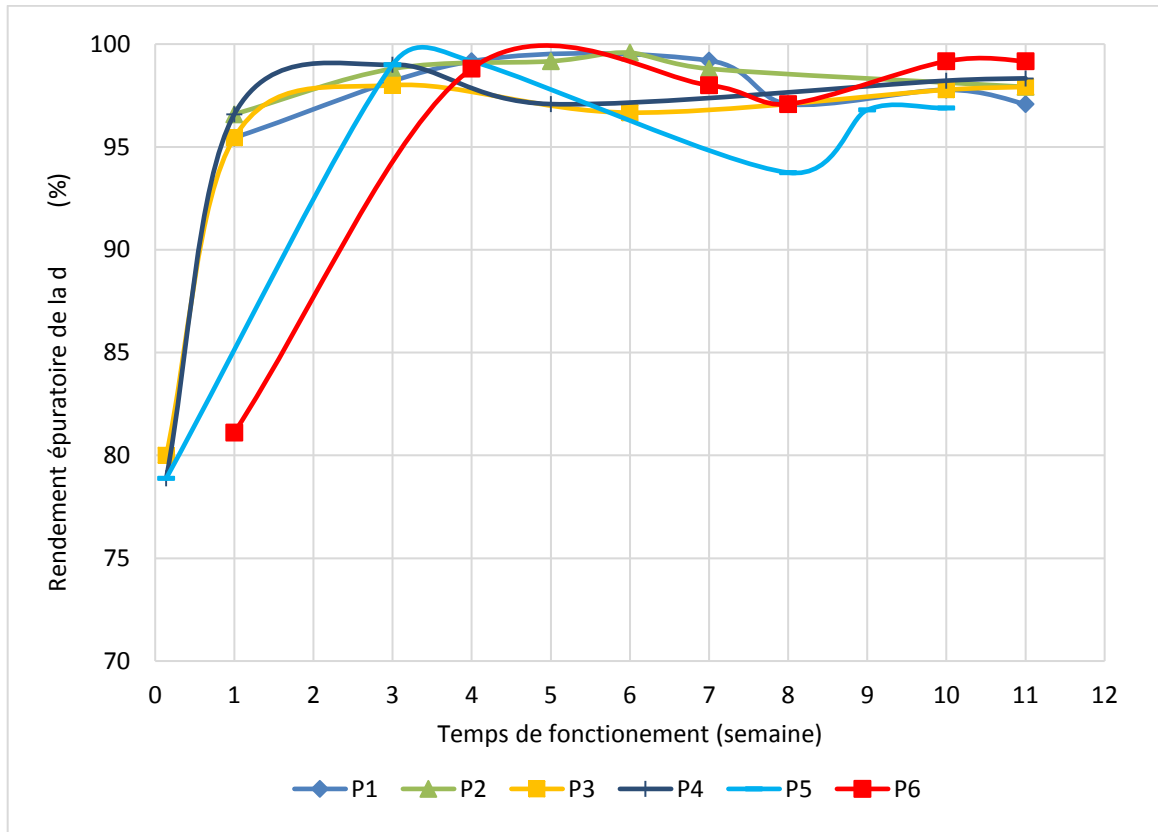


Figure (V-5) : Evolution du rendement en DBO₅ en fonction du temps

On observe d'après la figure (V-5) que l'eau traitée a un rendement de DBO₅ qui varie de 78.88 à 99.85%. Dans la première semaine les pilotes ont plus ou moins le même rendement, à l'exception des pilotes P5 et P6 (CU 3.6 et 4).

Au-delà de la 1^{ère} semaine on remarque que les valeurs du rendement de la DBO₅ sont différentes pour les six pilotes. Cette différence est due à la variation du coefficient d'uniformité d'un pilote à l'autre avec les erreurs de mesure de la DBO₅ (la précision de la mesure de la technique utilisée). Les rendements maximaux de la DBO₅ apparaissent dans l'intervalle allant de la 2^{ème} à la 6^{ème} semaine, avec un rendement maximal de 99.85 %.

C'est la phase du fonctionnement normale des filtres. Après cet intervalle les rendements commencent à diminuer jusqu'à stabilité, indiquant la fragilité des filtres. Cette stabilisation est prévisible car chaque filtre possède une certaine durée de vie. Ce stade est ainsi appelé "le point de crevaisson du filtre".

On peut interpréter les valeurs minimales de rendement par le temps nécessaire au sable pour former la biomasse. Les valeurs de la DBO₅ peuvent être élevées durant la période de la maturation sachant que le sable est lavé c'est-à-dire ne contient pas de la matière organique [4].

Les filtres qui ont des coefficients d'uniformité 2 et 2.4 (**P1** et **P2**), ont donné des meilleurs résultats que ceux des autres filtres dans l'intervalle [4^{ème} – 8^{ème}] semaine [81].

Généralement, les résultats de la DBO₅ sont acceptables, traduisant une bonne dégradation des matières biodégradables du fait que notre effluent est considéré comme purement domestique.

V-4-4 La demande chimique en oxygène (DCO)

Les campagnes des mesures de DCO sont faites à chaque semaine. Les valeurs du rendement de la DCO ont représenté dans la (**figure IV-6**)

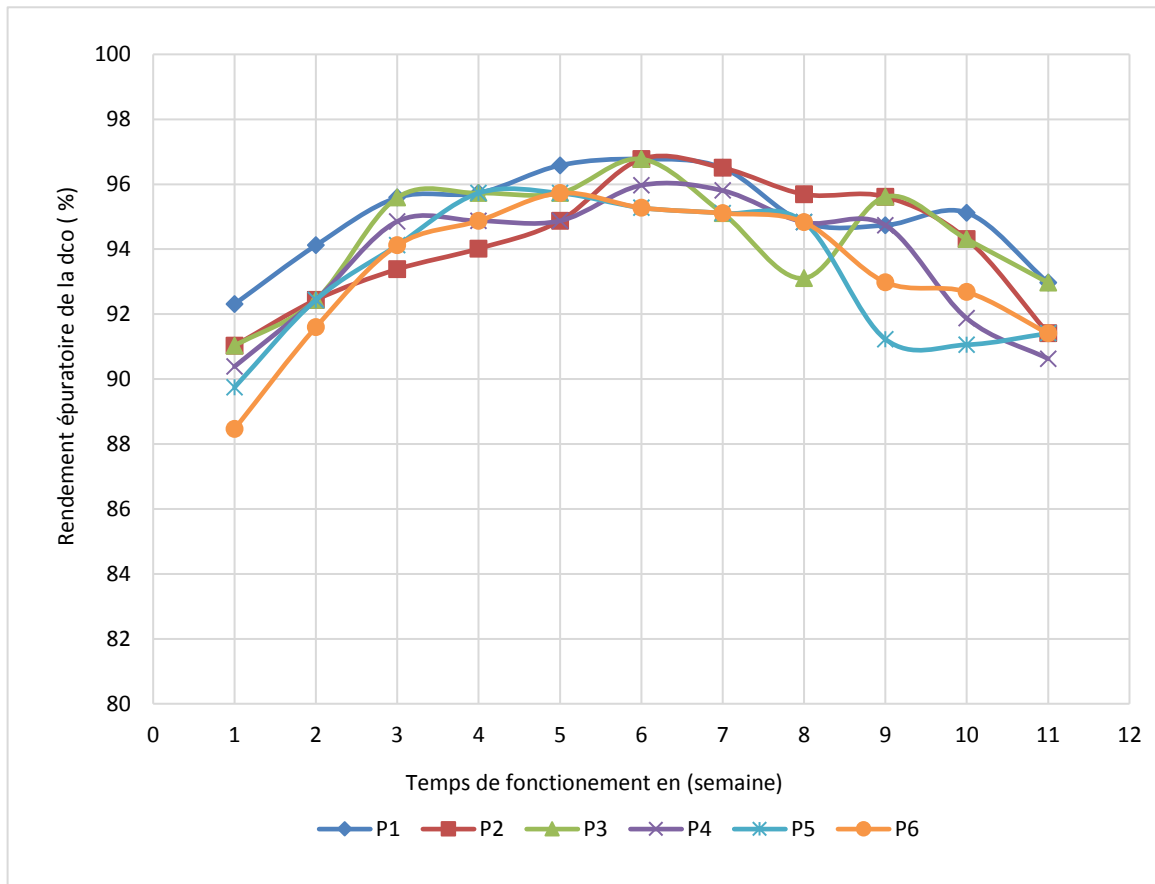


Figure (V-6) : Evolution du rendement en DCO de l'eau traitée en fonction du temps

Du début à la fin du fonctionnement du dispositif, tous les filtres conduisent à des rendements épuratoires nettement supérieurs à 85 %, ce qui montre l'efficacité assez importante de cette technique de traitement (filtration biologique sur sable) [4].

Le rendement de la DCO des pilotes augmente dès les premières semaines jusqu'à la troisième semaine avec une légère différence d'un filtre à un autre. Cette augmentation est liée à la maturation des filtres [83]

Toutefois, certaines différences peuvent être observées. Elles sont liées aux particularités de chaque filtre et à la structure fine du pilote de CU à 2 ; 2.4 et 2.8. Donc, le meilleur rendement des deux pilotes est 96.50 et 96.77% respectivement, peut être ainsi mise en évidence par ces résultats, et engendrer un faible rendement de la DCO pendant la phase de maturation des filtres, même sur la phase de fonctionnement normale des filtres (cas de pilote du (CU =4).

Le rendement épuratoire reste acceptable supérieur (90 %) pour tous les filtres jusqu'à la fin du fonctionnement. Et nous observons que l'écart se différent entre les courbes dans l'intervalle [7^{ème} – 11^{ème}] c'est la phase de fatigue des filtres.

Les filtres qui ont des coefficients d'uniformité variant entre 2 et 2.4 (P1 et P2) ont donné des meilleurs résultats que ceux des autres filtres avec un léger écart pendant les deux premières phases du fonctionnement (phase de maturation et la phase de bon fonctionnement), puis cet écart se réduit au cours du temps c'est les mêmes résultats dans la DBO₅.

Cette différence entre les deux pilotes, indique probablement l'influence de CU sur le comportement du matériau filtrant, ce qui influe directement sur le réarrangement des grains à l'intérieur du filtre, se traduisant par une augmentation de la porosité de 40.69 % et 38.84% respectivement et diamètre effective D₁₀ est 0.125 et 0.120 respectivement.

Ceci implique un changement de comportement, c'est-à-dire une modification des propriétés physiques et hydrauliques de ce filtre et, par conséquent, sur les résultats obtenus, ce qui est constaté par le ralentissement de la maturation du filtre.

V-5 Conclusion

Le dispositif expérimental que nous avons ainsi proposé est constitué par des pilotes contenant un lit filtrant de sable lavée à des CU différentes a donné des résultats satisfaisants. Ces derniers ont montré une efficacité d'élimination de la matière organique, puisqu'un rendement allant jusqu'à 96.77 % a été obtenu pour la DCO et la DBO₅ respectivement.

On conclut d'après nos résultats qu'un sable épuratoire ne doit pas être trop fin (risques de colmatage), ni trop gros (passage trop rapide) et doit répondre, de préférence, aux conditions suivantes :

- Sable siliceux et lavé
- Coefficient d'uniformité approprié (2 à 4, soit sable relativement hétérogène)
- D₁₀ (diamètre pour lequel 10 % du sable est plus fin) de 0.10 à 0.20 mm

Chapitre VI

Influence de la porosité

VI-1-Introduction

La porosité est définie comme une propriété caractéristique d'un milieu poreux (le sol dans notre cas). Et Dans cette milieu poreux, l'eau peut se déplacer uniquement dans les vides interconnectés. De plus, les grains retiennent l'eau par capillarité et l'empêchent de circuler librement.

La porosité du sol est un paramètre physique majeur qui est l'origine des plusieurs propriétés hydrodynamiques du sol, qui influe sur l'écoulement d'eau.

Cette étude s'intéresse à la détermination des effets de la porosité sur le rendement épuratoire des filtres à sable à traiter des eaux usées synthétiques pour une période de 11 semaines d'expérimentation.

VI-2 Préparation du matériau filtrant

Pour réaliser notre travail, nous avons utilisé le sable de N'GOUSSA lavé comme un massif filtrant et pour obtenir ce sable nous avons premièrement lavé bien le sable avec de l'eau du robinet chaude mélangée avec une quantité de l'HCl jusqu'à ce que la salinité soit proche de celle de l'eau du robinet (chapitre V). Ensuite nous avons lavé ce même sable avec l'eau douce chaude plusieurs fois jusqu'à ce que la salinité soit proche de celle de l'eau douce, et nous avons répété ces mêmes opérations avec l'eau distillée chaude. Le sable lavé a été séché à l'étuve pendant 24 heures à 105°C.

Ensuite nous avons analysé la granulométrie du notre sable et tracé la courbe granulométrique (figure VI-1) ; pour obtenir les caractéristiques principales du massif épuratoire de notre pilot.

D'après la courbe granulométrique on a calculé les paramètres physiques suivants : diamètre effectif D_{10} , D_{30} et D_{60} , coefficient d'uniformité et coefficient de classement,

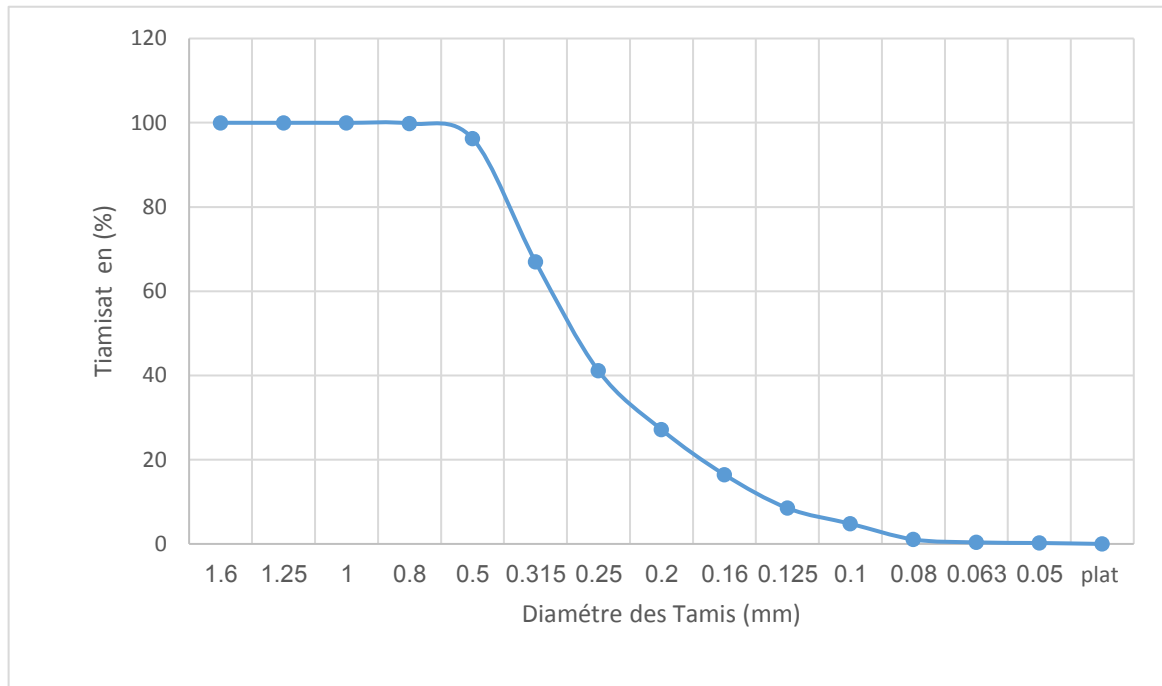


Figure (VI-1) : La courbe granulométrique du Sable lavé de (N'GOUSSA)

Les paramètres chimiques de notre sable sont déterminés par les mêmes méthodes de mesure citées au chapitre (IV), tous les paramètres physico-chimiques calculés sont représentés dans le tableau (VI-1)

Tableau (VI-1) : Les valeurs des paramètres physico-chimiques de sable lavé (N'GOUSSA)

Paramètre	Valeur
d₁₀ (mm)	0.110
d₃₀ (mm)	0.151
d₆₀ (mm)	0.250
Coefficient d'uniformité (C_u)	2.273
Coefficient de classement (C_c)	0.471
Densité réelle (D_r)	2.890
pH	8.020
Sels %	0.003

VI-3-Le dispositif expérimental

Le dispositif qui nous a préparé est constitué de six colonnes en PVC [7 ; 8] [57] qui ont les mêmes caractéristiques des colonnes du dispositif décrit dans le chapitre IV. Elles sont remplies par du sable N'GOUSSA lavé à des valeurs différentes de la porosité (n) à partir la mise en place nous avons choisi les valeurs de la porosité, qui varient entre 38.5 % et 46 %. (Figure VI-2). Les caractéristiques de chaque pilote tel que la porosité sont représentés dans le tableau (VI-2).

Tableau (VI-2) : Les caractéristiques des pilotes préparés

Pilote	Dr	Da	n (%)
P1	2.89	1.777	38.5
P2	2.89	1.734	40
P3	2.89	1.69	41.5
P4	2.89	1.647	43
P5	2.89	1.604	44.5
P6	2.89	1.560	46

L'alimentation se fait manuellement d'une façon ponctuelle chaque heure avec un débit de 40 ml/heure en continu pendant 12 heures, Avec une eau usée synthétique préparée au niveau du laboratoire (voir chapitre IV).



Figure (VI-2) : photo du dispositif expérimental

VI-4- Résultats et discussion

Les échantillons des eaux traitées sont collectés à des intervalles du temps de 7 jours pour une période du travail de 11 semaines afin de mesurer les paramètres physico-chimiques de pollution.

VI-4 -1. Le pH

La mesure de pH est effectuée d'une façon journalière dès le premier jour du fonctionnement. Les résultats de mesure sont représentés dans le tableau (VI -3).

Tableau (VI-3) : la variation du pH des eaux traitées en fonction de temps

		Temps (jour)																
Pilote		1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	14 ^{ème}	21 ^{ème}	28 ^{ème}	35 ^{ème}	42 ^{ème}	49 ^{ème}	56 ^{ème}	63 ^{ème}	70 ^{ème}	77 ^{ème}
Eau filtrée	1	6.97	7.74	7.85	8.18	8.05	8.31	8.56	8.4	8.37	8.1	8.45	7.93	7.77	7.19	7.7	7.74	7.94
	2	7.4	7.35	7.73	8.71	8.23	8.30	8.32	8.4	8.45	7.98	7.99	8.06	8.15	8.2	7.61	7.64	7.72
	3	7.24	8.07	7.85	8.06	8.02	8.21	8.39	8.46	8.46	8.22	8.06	7.97	8.15	8.19	7.24	7.28	7.84
	4	7.24	8.04	7.78	8.26	8.30	8.23	8.33	8.43	8.37	8.26	8.07	8.03	8.16	8.51	7.03	7.05	7.89
	5	7.22	7.76	7.89	8.09	8.25	8.25	8.29	8.43	8.38	8.07	8.16	8.09	8.05	8.31	7.67	7.69	8.08
	6	7.86	7.68	7.99	8.24	8.11	8.21	8.3	8.37	8.28	8.2	8.06	8.06	8.07	8.1	7.98	7.98	8.07
	Eau Usée	6.46	6	6	6.91	5.08	6.89	6.89	6.69	6.97	6.77	6.4	6.68	7.44	6.97	7.13	7.01	6.82

Nous avons remarqué que les valeurs du pH de l'eau usée sont différentes ; elles ont varié d'une campagne à l'autre, ceci est due éventuellement à la variation de la température (16 à 23°C). L'accroissement de la température influe positivement sur la filtration, car elle diminue la viscosité (une élévation de la température de 10 à 70 °C permet de tripler la vitesse de filtration), et modifie la granulométrie de la suspension par coagulation [27].

Pour les eaux filtrées, le pH varie entre 7.03 et 8.46. Ceci peut s'expliquer par la variation des pH initiales des eaux usées (à l'entrée des filtres) d'une part et à la différence des caractéristiques intrinsèques du matériau filtrant d'autre part. La valeur maximale de 8.56 a été enregistrée au niveau du filtre de la porosité de 38.5%.

Nous constatons aussi que les valeurs de pH des eaux filtrées sont toujours nettement supérieures aux valeurs d'eaux usées à l'entrée (eau usée brute) ; ceci pourrait être dû à la dissolution de certains sels existants dans le matériau filtrant.

VI-4-2. La Conductivité Electrique (CE)

Nous avons mesuré les valeurs de la conductivité électrique CE de l'eau à l'entrée et à la sortie des colonnes. La variation de la conductivité en fonction du temps est représentée dans le tableau. (VI-4)

Tableau (VI-4) : la variation de la Conductivité électrique des eaux traitées en fonction de temps.

		Temps (jour) / (CE ms/cm)																
Eau traitée	Pilote	1 ^{er}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	4 ^{ème}	5 ^{ème}	6 ^{ème}	7 ^{ème}	14 ^{ème}	21 ^{ème}	28 ^{ème}	35 ^{ème}	42 ^{ème}	49 ^{ème}	56 ^{ème}	63 ^{ème}	70 ^{ème}	77 ^{ème}
	P1	1.712	0.913	0.984	0.977	0.953	0.967	0.942	0.935	1.085	1.092	1.045	1.075	1.083	1.003	1.031	0.987	0.989
	P2	1.715	0.914	1.002	1.011	0.985	1.006	0.973	0.978	1.169	1.151	1.002	0.958	1.003	1.027	1.110	0.926	0.927
	P3	1.771	0.972	1.047	1.041	1.002	0.996	0.976	0.965	1.113	1.152	1.022	1.038	1.006	0.978	1.085	1.078	1.079
	P4	1.668	0.911	1.003	1.021	0.972	0.999	0.968	0.957	1.081	1.138	1.083	1.066	1.027	0.962	1.085	0.976	0.978
	P5	1.746	0.95	1.035	1.058	1.031	1.052	1.006	0.98	1.193	1.145	1.037	1.056	1.045	1.024	1.064	1.064	1.054
	P6	1.698	0.911	0.993	0.991	0.975	0.963	0.946	0.949	1.149	1.138	1.049	1.081	1.103	1.049	1.133	1.068	1.130
	Eau Usée	0.798	0.722	0.676	0.699	0.706	0.731	0.72	0.738	0.792	0.801	0.78	0.815	0.788	0.798	0.798	0.797	0.790

Les valeurs de la conductivité électrique sont illustrées dans figure (VI -3).

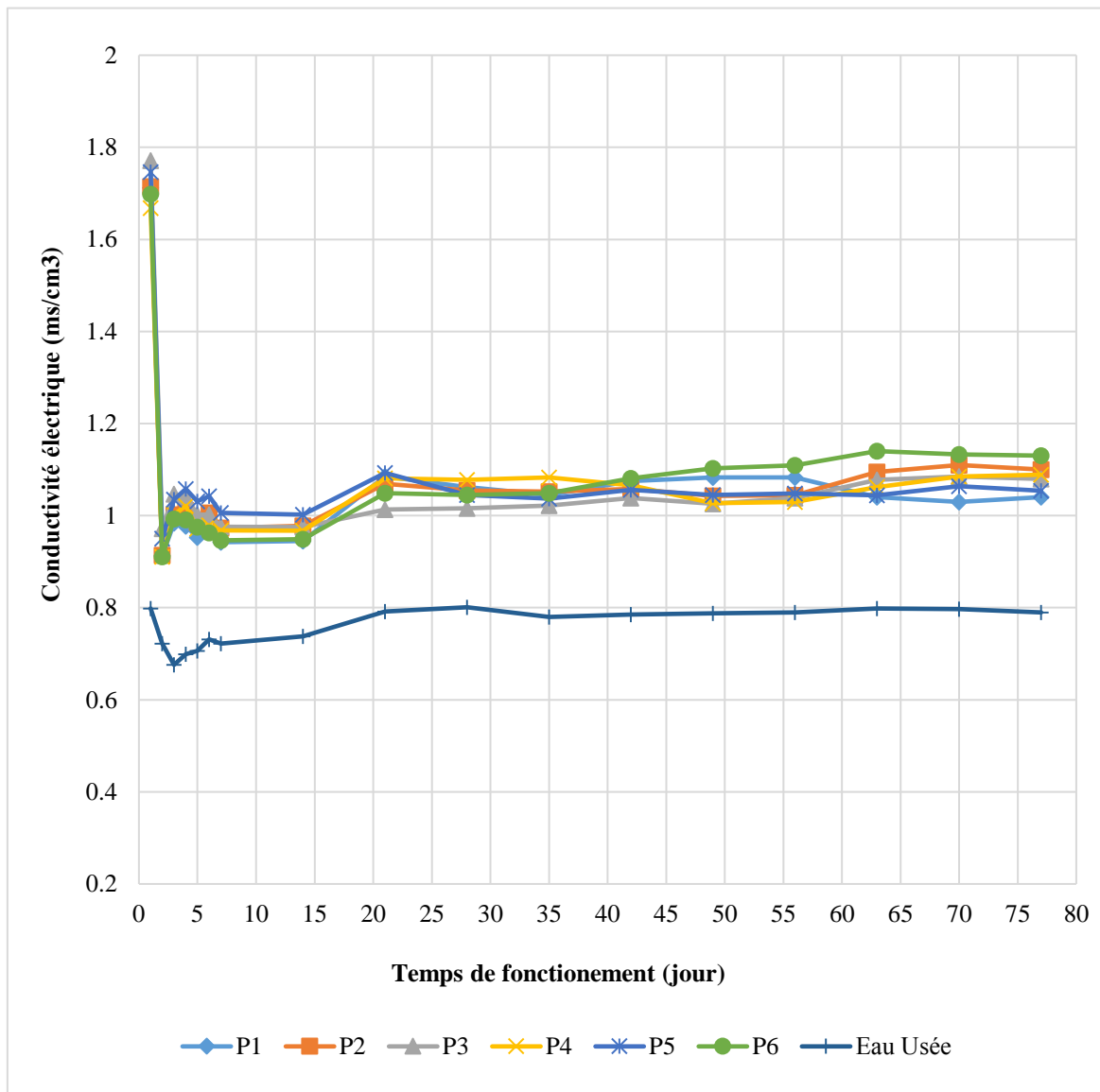


Figure (VI-3) : Variation de la conductivité électrique (mS/cm) des eaux traitées en fonction du temps

A la première lecture de ces valeurs, nous enregistrons deux remarques assez significatives.

La première c'est que les filtres sont caractérisés des valeurs fortes de la conductivité électrique qui dépassent 1.65 mS/cm pour les premières gouttes sortantes, et que les valeurs de la conductivité électrique de l'eau filtrée sont toujours supérieures à celles des eaux usées ; elles sont comprises entre 0.738 et 0.839 mS/cm. La conductivité de l'eau brute est généralement stable dans l'intervalle [35^{ème} à 77^{ème} jours].

La deuxième remarque c'est que la courbe de l'évolution des valeurs de la conductivité est divisée en deux intervalles :

- le premier de 1^{er} à 3^{ème} jours c'est une phase qui se caractérise par une chute remarquable des valeurs de la conductivité électrique ;
- dans le second intervalle de 3^{ème} à 77^{ème} jours, nous avons observé une stabilité de la conductivité à une valeur de 1.13 mS/cm avec un léger changement d'un filtre à un autre ;

Cependant, nous remarquons en générale que les valeurs de la conductivité électrique (CE) augmentent proportionnellement avec la porosité (de P1 à P6). Ce qui peut être expliqué par la vitesse de solubilisation des sels par l'eau qui est élevée dans un milieu fortement perméable.

VI-4-3. La demande biologique en oxygène DBO₅

Les campagnes des mesures sont effectuées chaque semaine. Les valeurs du rendement épuratoire en terme de la DBO₅ calculées sont représentées dans la figure (VI-4).

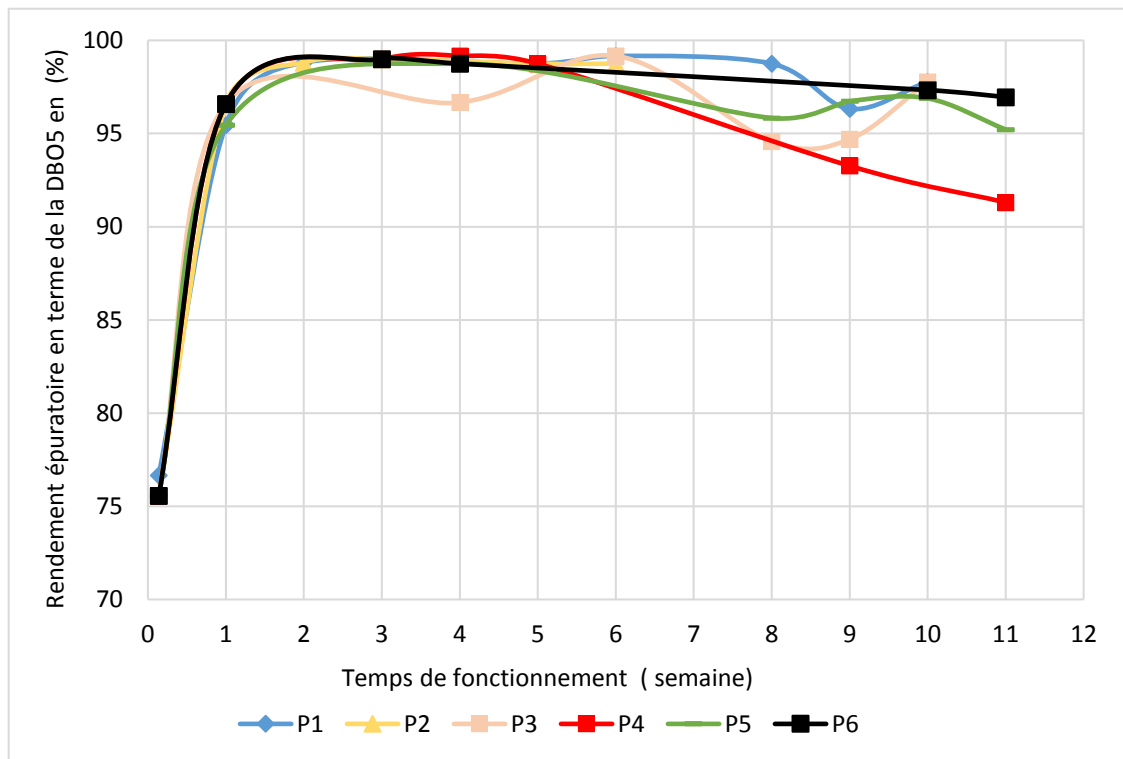


Figure (VI-4) : l'évolution du rendement épuratoire en fonction de temps (DBO₅)

Les valeurs des rendements en termes de la DBO_5 varient globalement entre 75.55 % et 99.16 %.

Dans la première semaine toutes les eaux filtrées des différentes pilotes possèdent quasiment les mêmes valeurs (75.55%). On peut interpréter ces valeurs minimales de rendement par le temps nécessaire pour le développement de la biomasse en surface de chaque pilote. C'est-à-dire la maturation du filtre est constatée après plusieurs heures de mise en service du matériau filtrant [3 ; 4].

Les pilotes présentent une stabilité des valeurs de rendement entre 95 % et 99.16 % dans les cinq semaines de leur fonctionnement. En suite une diminution observée jusqu'à 91% à partir de la 6^{ème} correspond au commencement de la saturation des filtres (point de crevaisson du filtre) mais cette diminution reste faible à l'exception du P3 et P4.

Le rendement épuratoire reste acceptable > 90% pour tous les filtres jusqu'à la fin de la durée de travail. Ceci traduit l'efficacité de la technique d'épuration utilisée [4] ; [83].

VI-4-4. La demande chimique en oxygène (DCO)

Les campagnes des mesures sont effectuées chaque semaine pendant 77 jours et on a calculé les valeurs du rendement. Les valeurs de rendement en terme de la DCO sont illustrées dans la figure (VI-5).

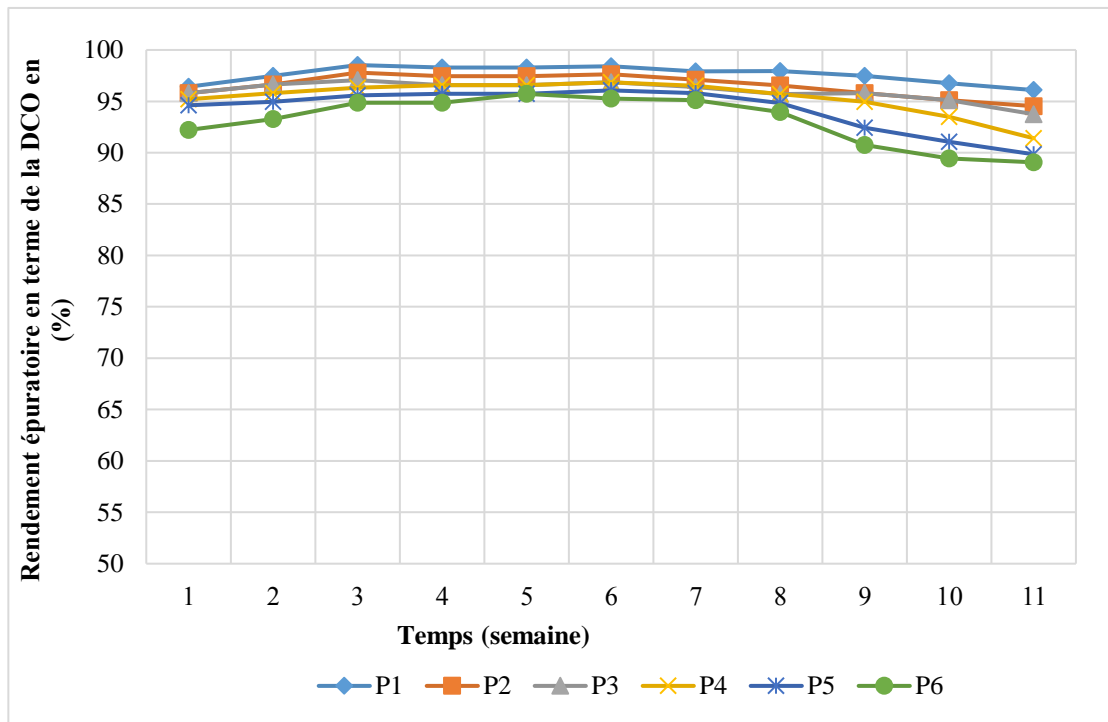


Figure (VI -5) : la variation du rendement de la DCO en fonction de temps pour différents pilotes

La forme générale des courbes permet de diviser la durée de fonctionnement des filtres en trois phases :

- la première phase se caractérise par une légère croissance des courbes de rendement épuratoire sur l'intervalle [1^{ère} - 3^{ème} semaine] c'est la phase de maturation des filtres ;
- la deuxième phase se caractérise par une stabilisation sur [3^{ème} - 8^{ème} semaine] c'est la phase de fonctionnement normale des filtres ;
- dans la troisième partie, nous observons une légère diminution de rendement après la 8^{ème} semaine, dans pilote 6 et pilote 3 c'est une phase du commencement de l'usure des filtres (limite de durée de vie) ;

Pendant toute la période du fonctionnement du dispositif, les filtres montrent des rendements épuratoires nettement supérieurs à 90%, ce qui exprime l'efficacité importante de cette technique de traitement (filtration biologique sur sable).

Les rendements d'élimination de la DCO ont commencé à diminuer à partir la 8^{ème} semaine jusqu'à la 11^{ème} semaine, (pilote 4 ; pilote 5 et pilote 6) cette diminution accompagnée d'une fragilité des filtres indique l'apparition du phénomène de colmatage [75] ; [78].

Le pilote 1

Les valeurs de rendement pour ce pilote ont varié entre 96.40 et 98 %. Ce pilote a commencé son fonctionnement par un rendement épuratoire de 96.40 % c'est-à-dire supérieur au rendement initial des autres pilotes. Après la 3^{ème} semaine, nous avons enregistré une stabilisation de rendement épuratoire à une valeur de 98 % ; puis après la 8^{ème} semaine, ce rendement diminue jusqu'à une valeur de 96.09 %.

On peut considérer alors que le rendement épuratoire pour ce pilote est très bon et nous avons constaté que ce filtre a quasiment épuré les eaux utilisées. Ces excellents rendements traduisent le phénomène de la maturation du filtre du sable dont la porosité est de (38.5%).

Le pilote 2

Globalement les valeurs du rendement sont comprises entre 95.80 et 94.53 %. Elles sont restées bonnes pour toute la période du fonctionnement.

Le pilote 3

On remarque une stabilisation des valeurs du rendement avec une légère variation autour de 95.80 et 93.75 %. Elles sont restées bonnes jusqu'à la dernière semaine de la période du fonctionnement.

Le pilote 4

Comme le précédent pilote, nous avons observé un bon rendement de 95.59% au début de son fonctionnement. Le rendement a augmenté régulièrement et resté bon jusqu'au 7^{ème} semaine, ensuite nous avons enregistré une petite diminution pour le reste de la période du fonctionnement.

Le pilote 5

Les valeurs de rendement de ce pilote sont comprises entre 94.61 et 89.84 %. Nous avons constaté une augmentation à la 6^{ème} et 7^{ème} semaine, puis nous avons enregistré une décroissance progressive jusqu'à 89.84 %.

Le pilote 6

Les valeurs du rendement de ce pilote sont comprises entre 92.21 et 89.06 %. Nous avons constaté une augmentation dans la 3^{ème} semaine jusqu'à la 7^{ème} semaine, puis nous avons enregistré une décroissance jusqu'à 89.06 %.

Globalement, on note pour tous les pilotes :

- Le rendement épuratoire acceptable (>85 %) pour tous les filtres jusqu'à la fin du fonctionnement. Ceci traduit l'efficacité de la technique d'épuration utilisée.
- Nous avons remarqué que le rendement épuratoire des pilotes diminue inversement la porosité du sable.
- Une stagnation d'eau à la surface des filtres.

L'évaluation de la fraction des composés organiques biodégradables, est déterminée par le rapport DCO/DBO₅ dite rapport de biodégradabilité.

Pour l'eau utilisée, la valeur de ce rapport est de 2.53. Donc cette eau est biodégradable et la qualité d'eau utilisée est identique à celle de la qualité d'une eau usée domestique après décantation. [2 ; 17]

La comparaison de nos résultats avec des normes de rejet des eaux est présente dans le tableau suivant :

Tableau (VI-5) : Les normes algériennes de rejet des eaux des paramètres d'analyse de la pollution (Journal officiel de la république algérienne, **1993**).

Paramètre	Valeur limite	Valeur de l'eau filtrée
T (°C)	30	19
pH	5.5- 8.5	5.63-7.56
CE (us/cm ³)	2500	900-1170
DCO (mg/l)	120	14.4- 67
DBO ₅ (mg/l)	40	12-82

A partir les résultats obtenus nous avons remarqués l'efficacité de la sable utilisée (sable de N'GOUSSA) [7 ; 8] [57].

VI-5-Conclusion

Le dispositif expérimental que nous avons ainsi proposé, est constitué par des colonnes contenant un lit fixe de sable de dune (sable de N'GOUSSA lavée de la région d'Ouargla) à des porosités différentes a donné des résultats très bons. Les colonnes ont montré une efficacité d'élimination de la matière organique, puisqu'un rendement allant jusqu'à 96.09 % a été obtenu pour la DCO et 99.58% pour la DBO₅.

L'augmentation de l'efficacité des filtres inversement proportionnel à la porosité du matériau filtrant peut être expliqué comme suit : la porosité fine du sable permet de retenir plus longtemps les matières en suspension des eaux usées ce qui accélère la formation d'une couche en surface du filtre (un gâteau) qui est responsable de la biodégradation des matières organiques.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail est de connaître l'influence de la granulométrie du matériau filtrant sur le rendement épuratoire. Aussi de savoir l'importance de l'opération de filtration biologique, qu'elle s'agit d'une technique qui a des influences très importantes sur l'environnement, l'économie du pays et la santé humaine.

Nous avons expérimenté au laboratoire sur colonnes l'efficacité de filtration lente (filtration biologique) de deux matériaux sableux de dunes de la région de 'OUARGLA (N'GOUSSA et HASSI-SAYAH) et du verre broyé. Trois essais ont été effectués : étude comparative entre deux matériaux sable et verre broyé ; influence du coefficient de conformité (CU) sur la filtration et influence de la porosité sur la filtration.

Les résultats des analyses effectuées au niveau du laboratoire montrent globalement un bon rendement épuratoire ainsi qu'une bonne efficacité de la filtration biologique dont nous pouvons remarquer une différence entre les valeurs des paramètres de pollution (CE, pH, DBO₅, DCO) eaux filtrées et celles des eaux usées.

L'ensemble des résultats obtenus sur les trois essais de la qualité des eaux traitées par les pilotes de la filtration lente permet de mettre en évidence les points suivants :

-L'étude comparative des deux matériaux granulaires utilisés dans notre travail à savoir le verre broyé et le sable de dunes montre que le verre broyé est très efficace comme support filtrant avec un rendement allant jusqu'à 93.24 % obtenu pour la DCO et 97.7% pour la DBO₅.

Ce résultat confirme l'adaptation de ces matériaux à la filtration biologique grâce à leurs propriétés physico-chimiques adéquates (silice). Notons, par ailleurs, que la granulométrie s'avère être un paramètre très important dans le traitement biologique.

De ce fait, le sable apparaît plus efficace que le verre dans le domaine de traitement des eaux usées. Ceci grâce à la surface spécifique du grain de sable qui est supérieure à celle du verre

-Au sujet de l'influence de coefficient d'uniformité (CU), le dispositif expérimental que nous avons proposé, qui est constitué de pilotes contenant un lit filtrant

de sable lavé à des CU différentes, a donné des résultats satisfaisants. Ces derniers ont montré une efficacité d'élimination de la matière organique, avec un rendement allant jusqu'à 96,77 % obtenu pour la DCO et 99,16% pour la DBO₅.

On conclut que le sable à utiliser comme support filtrant ne doit pas être trop fin (risques de colmatage), ni trop grossier (débit de l'eau trop rapide) ; il doit répondre aux caractéristiques suivantes ; sable siliceux et lavé, le coefficient d'uniformité approprié de 2 à 4 (sable relativement hétérogène) et enfin le D₁₀ (diamètre pour lequel 10 % du sable est plus fin) doit être supérieur à 0,10 mm

Concernant l'influence de la porosité sur la filtration, nous avons constaté que le sable de dunes a quasiment épuré les eaux utilisées avec un rendement excellent traduisant ainsi la maturation de la porosité du sable (38,5%).

Le dispositif expérimental mis en place constitué par des pilotes contenant un lit fixe de sable de dune (sable de N'GOUSSA lavé) à des porosités différentes, a mis en relief une efficacité d'élimination de la matière organique avec un rendement allant jusqu'à 96,09 % obtenu pour la DCO et de 99,6% pour la DBO₅.

A partir de cette étude, il est recommandé d'approfondir les recherches sur la filtration en s'intéressant aux points suivants :

- Rechercher l'influence de chaque paramètre physique sur le rendement épuratoire en particulier les paramètres non étudiés avec une extension de la plage des valeurs pour chaque paramètre.
- Caractérisation complète des matériaux filtrants.
- Approfondir le travail par l'étude d'autres matériaux filtrant.
- Utilisé des combinaisons de matériau comme support filtrant.
- Elargir l'étude de l'efficacité de cette technique aux autres paramètres de pollution.

*Références
bibliographiques*

Référence Bibliographique

- [1] **Solène Moulin et al. 2013.** Traitement des eaux usées. Centre d'Enseignement et de Recherches sur l'Environnement et la Société. Environmental Research and Teaching Institute. Paris.
- [2] **Rodier. 2009.** Analyse de l'eau, 9^{ème} Edition Dunod Paris
- [3] **Colomb R. 1989.** Hydraulique urbaine, Edition Eyrolles Paris
- [4] **Gougoussis C. 1979.** Assainissement individuel et aptitude des sols à l'élimination et à l'épuration des effluents domestiques, Edition Institut national polytechnique de Lorraine.
- [5] **Campos L.C et al. 2002.** Biomass development in slow sand filters. Water Research 36. P 4543–4551.
- [6] **Gary S. Logsdon et al. 2002.** Slow sand filtration for small water systems. J. Environ. Eng. Sci. 1: 339–348.
- [7] **Touil Y et al. 2009.** Pilot plant for wastewater treatment involving septic pit and biological filtration on sand of dunes of the Algerian Sahara, Desalination Water Treat; N10 P148-152.
- [8] **Gherairi Y. et al. 2013** A Comparative Study of the Addition Effect of Activated Carbon Obtained from Date Stones on the Biological Filtration Efficiency Using Sand Dune Bed, Energy Procedia. 36: p 1175 – 1183.
- [9] **Touil Y. 2000.** Etude des possibilités de la réutilisation des eaux de drainage dans la cuvette de Ouargla. Mém. Magister en hydraulique, Aménagement hydraulique, Ecole nationale supérieure d'hydraulique
- [10] **Gherairi Y.2009.** Contribution A L'étude De L'efficacité De La Filtration Biologique Sur Sable De Dune, Mém, Magister En Hydraulique, Aménagement Hydraulique En Zone Arides, Université D'OUARGLA
- [11] **MESSROUK. 2011.** Contribution à l'évaluation et au traitement des usées dans la région de Ouargla : Cas composés phénoliques. Mém. Magister En chimie organique, chimie organique et physico-chimie moléculaire, Université D'OUARGLA
- [12] **Gill L et al. 2009.** The use of recycled glass as a filter media for on-site wastewater treatment, Desalination and Water Treatment. N4, P198- 205.
- [13] **Satin M et Salmi 1999.** Guide technique de l'assainissement, Edition le Moniteur Paris.
- [14] **Badia G. 2003.** L'assainissement des eaux usées, Edition Techni-Cités.
- [15] **Duncan Mara, 2003.** Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries. Earthscan. London • Sterling,

- [16] **Claude Gros C. 1999.** L'eau usage et pollution (tome 2), Institut National de la Recherche Agronomique
- [17] **Rejsek F.2002 ;** Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, Edition Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine France.
- [18] **Abdelkader GAÏD 1993.** Traitement des eaux usées urbaines. Techniques de l'Ingénieur, traité Construction. **C 5 220 - 1-28**
- [19] **Dégremont .1989.** Mémento technique de l'eau, Edition de cinquantenaire
- [20] **E. Abdel Ghaffar et al. 2007.** Wastewater natural treatment using multi-criteria decision analysis technique. Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11 Sharm El-Sheikh, Egypt.p 115-128
- [21] **Catherine Boutin et al .2003.** Association de lagunes naturelles et d'infiltration percolation : résultats des pilotes et perspectives. Ingénieries N° 34 – p. 35 à 46
- [22] **Qingwei L. et al. 2003,** Biomass accumulation and carbon utilization in layered sand filter biofilm systems receiving milk fat and detergent mixtures, Bioresource Technology 89. 275–279.
- [23] **Noel Bourke et al. 1995.** Water treatment manuals filtration. Published by the Environmental Protection Agency, Ireland.
- [24] **Aloo Becky Nancy.et al. 2014.** Slow Sand Filtration of Secondary Sewage Effluent: Effect of Sand Bed Depth on Filter Performance. 3(8) ISSN: 2319-8753.
- [25] **Kuan-Mu Yao et al .1971.** Water and waste water filtration. Concepts and applications. Environ. Sci. Technol., 1971, 5 (11), 1105-1112
- [26] **Saad A, et al. 2009.** COD and BOD Reduction of domestic wastewater using activated sludge, sand filters and activated carbon in Saudi Arabia, biotechnology; 8(4): 473-477
- [27] **Jianmin H. et al. 2003.** Elimination of COD, microorganisms and pharmaceuticals from sewage by trickling through sandy soil below leaking sewers, Water Research; 2003.37: 4395-4404
- [28] **Monroe L. et al. 2002.** Enhancing slow sand filter performance with an acid-soluble seston extract, Water Research 36. 4753–4756.
- [29] **A. Kellil et D. Bensafia. 2003.** Élimination des phosphates par filtration directe sur lit de sable Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 16, n° 3, p. 317-332.
- [30] **CARDOT C. 1999.** Les traitements de l'eau, Edition ellipses.
- [31] **Desjardins. 1997.** Le traitement des eaux, 2^{ème} édition de l'école polytechnique de Montréal

- [32] **Bonnin. 1986.** Hydraulique urbaine appliqué aux agglomérations de petite et moyenne importance, Edition Eyrolles Paris
- [33] **Cheikh DIOP et al. 2014.** Experimental study of slow sand filtration for the treatment of various wastewaters in tropical environment. International Journal of Biological and Chemical Sciences 8(6): 2828-2841
- [34] **Joy M Barrett et al. 1991.** Manual of Design for Slow Sand Filtration. Edition American Water Works Association RESEARCH FOUNDATION. U.A.S
- [35] **David H. Manz . 2004.** New Horizons for Slow Sand Filtration. National Conference and Second Policy Forum on Drinking Water and the Biennial Conference of the Federal-Provincial- Territorial Committee on Drinking WateCalgary, Alberta, pp 682 – 692
- [36] **Emilian Koller. 2009.** Aide-mémoire Génie chimique. 3^{eme} édition. DUNOD
- [37] **Guy AUBERT. 1978.** Méthodes d'analyse des sols, Edition centre régional de documentation pédagogique de Marseille.
- [38] **Hanen SAIDI et al. 2004.** Caractérisation granulométrique et minéralogique des sédiments de surface de la frange littorale sidi bou said – la goulette ; Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, Vol. 31.
- [39] **C. A. Arias et al. 2001.** Phosphorus removal by sands for use as media in subsurface flow constructed reed beds Wat. Res. Vol. 35, No. 5, pp. 1159-1168
- [40] **Musy A.1991.** Physique de sol, Edition presses polytechniques et universitaires romandes.
- [41] **Clément M. et Françoise P. 1996** Analyse physique des sols, Edition Lavoisier
- [42] **Lancaster A .1996.** Hydraulique générale, Edition Eyrolles Paris
- [43] **G. DE Marsily. 1994 : Hydrogéologie** (comprendre et estimer les écoulements souterrains et le transport des polluants), Edition Ecole de mines de Paris.
- [44] **Jean CHRETIEN et al. 1987.** Granulométrie, porosité et spectre poral de sols développés sur formations détritiques Cas des terrasses alluviales de la Saône. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIII, no 1 : 43-54
- [45] **Bouafia A 2002 : Mécanique des sols appliquée,** Edition El Maarifa
- [46] **Schneebeli G. 1987)** Hydraulique souterraine, Edition Eyrolles Paris
- [47] **Castany G. 1982.** Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Edition Bordas Paris
- [48] **Bonneau M. 1994.** Constituants et propriétés du sol, Masson Paris.

- [49] **Mouldi BRAHIM et A. CHKIOUA. 2007.** répartitions granulométriques et minéralogiques des sédiments de surface dans le golfe de Tunis. Bull. Inst. Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, Vol. 34, P 167-177
- [50] **S. Hénin 1976.** Cours de physique du sol I. ORSTOM Paris
- [51] **Fournier J.et al. 2012.** Analyses granulométriques, principes et méthodes. CNRS, Dinard, 100 p.
- [52] **Baize D. 2000.** Guide des analyses en pédologie, Edition INRA éditions paris
- [53] **Brahim DJEMACI. 2011.** Recyclage des déchets à travers un système de consigne : Cas des bouteilles en plastique en Algérie. Colloque international francophone, « Le développement durable : débats et controverses », Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
- [54] **Jean-Claude Lehmann. 2005.** Verre et produits verriers d'aujourd'hui et de demain, Bulletin de la S.F.P. (150).
- [55] **Adams. D et al.1999.** Les verres et les produits verriers – les fonctions des vitrages. CSTC. BRUXELLES
- [56] **N.J. Horan et M. Lowe. 2007.** Full-scale trials of recycled glass as tertiary filter medium for wastewater treatment. Water research 41 ; 253 – 259
- [57] **Messrouk H et al. 2015.** Elimination of Hydrocarbon Contaminants from Synthetic Waste water by Soil Filter International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 11, November-2015 ISSN p2229-5518
- [58] **Alain Liénard et al.2000.** Choix de sable pour les lits d'infiltration-percolation. Ingénieries – p. 59 à 66 – N° special
- [59] **Nur MOHAMED. 1996.** Optimization of slow sand filtration, 22nd WEDC Conference Reaching the Unreached: Challenges For 21st Century, New Delhi, India
- [60] **Mouldi BRAHIM. 2008. et al.** Étude de l'hydrodynamique sédimentaire de la lagune de bizerte. Bull. Inst .Natn. Scien. Tech. Mer de Salammbô, vol. 35 P :194-160
- [61] **Rattan Lal et Manoj K. Shukla.2005.** principes of soil physics. Edition marcel dekker, inc. new york • basel.
- [62] **Théophile Gnagné. 2007.** Possibilités d'utilisation du ph pour le suivi de l'efficacité épuratoire des eaux usées peu alcaline fortement chargées en matières oxydables en épuration par infiltration sur sable. J. Soc. Ouest-Afr. Chim. 024 ; 85 – 92
- [63] **Touil Y. et al. 2014.** Biological filtration on sand of dunes – Filters fouling. Energy Procedia 50: 471 – 478
- [64] **Pascal D. 2014.** Traitement des eaux de consommation par filtration lente sur sable à plusieurs étapes. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 27, n° 3, p. 259-268.

- [65] **Raafat K. 2012**, Greywater treatment for reuse by slow sand filtration : study of pathogenic microorganisms and phage survival Thèse N° 2012 EMNA0051 Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de Docteur de l'Ecole des Mines de Nantes
- [66] **Lakel A. 1998** : Hydrodynamique d'un filtre biologique en système insaturé avec nitrification d'un effluent septique, *Wat. Res.* Vol. 32, 3157-3167
- [67] **Jimenez B. 2000** Sand and synthetic medium filtration of advanced primary treatment effluent from Mexico City, *Wat. Res.* Vol. 34, 473 480
- [68] **Andrew J. Logan et al. 2001**. Transport and fate of cryptosporidium parvum oocysts in intermittent sand filters. *Wat. Res.* Vol. 35, No. 18, pp. 4359–4369,
- [69] **Théophile Gnagné et F. BRISSAUD. 2002**. Etude des limites de l'épuration par infiltration sur sable des eaux usée fortement chargées en matières oxydables de l'abattoir de Ouagadougou au Burkina Faso. *Sud sciences & technologies. no 9 - décembre 2002*
- [70] **Healy M.G. et al 2007**, Treatment of dairy wastewater using constructed wetlands and intermittent sand filters, *Bioresource Technology*; .98 2268–2281.
- [71] **J. Rajesh Banu et al, 2008**, effect of ferrous sulphate on nitrification during simultaneous phosphorus removal from domestic wastewater using a laboratory scale anoxic/oxic reactor. *World J Microbiol Biotechnol* (2008) 24:2981–2986
- [72] **Healy M.G. et al 2011**, Quantification of biofilm build-up in filters when intermittently loaded with low-strength synthetic wastewater, *Desalination* 271 105–110
- [73] **Mohammed Amine Kendouci et al. 2013**. Study of physic-chemical quality of wastewater discharged into the natural environment the case of Bechar River Algeria. *Energy Procedia* 36; 287 – 292
- [74] **Rodgers M. 2004**. Surface clogging in an intermittent stratified sand filter, *Soil. Sci. Soc. Am*; .Vol. 68, P1827-1832.
- [75] **Muftah H. et al, 2010**, Reduction of COD in refinery wastewater through adsorption on date-pit activated carbon, *Journal of Hazardous Materials* 173 750–757
- [76] **R.V. KAVITHA et al. 2013**. Performance evaluation and biological treatment of dairy wastewater treatment plant by upflow anaerobic sludge blanket reactor. *Journal Publications Research Consultrancy* .Vol.3, Issue 1, P9-20.
- [77] **A.N. Shilton, et al 2006**. Phosphorus removal by an “active” slag filter - a decade of full-scale experience, *Water Res.*, 40 113–118.
- [78] **Gill L et al. 2012**. Nutrient removal from on-site wastewater using tertiary treatment sand and recycled glass filters. *World Congress on Water. Climate and Energy*,
- [79] **Djedidi N. 1991**. Propriétés physiques des sols et pouvoir colmatant des eaux usées en fonction de leur degré de traitement, *Cah. ORSTOM, Sér. Pédo* .Vol. XXVI, n°1, 3-10.

[80] Yoko Mine 2003. Influence of Ripening State of Filtres on Microbe Removal Efficiency of Slow Sand Filtration Used to Disinfect a Closed Soilless Culture System. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 72(3): P 190-196.

[81] Achak M. et al, 2009, Removal of organic pollutants and nutrients from olive mill wastewater by a sand filter, Journal of Environmental Management 90 P2771–2779

[82] Said Nacir, Naila Ouazzani, Jean-Luc Vasel, Hugue Jupsin et Laila Mandi.2010. Traitement des eaux usées domestiques par un chenal algal à haut rendement (CAHR) agité par air lift sous climat semi-aride. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 23, n° 1, P 57-72.

[83] Pascal D.2016 Elimination de la turbidité, de l'ammonium, du fer et des coliformes par filtration lente sur milieux poreux. / CONGO SCIENCES vol. 4 n°1.p 23-29

Annexe

Annexe1

Détermination de la densité

La densité apparente

Le prélèvement volumique (V_a) est effectué avec un cylindre (volume connu) directement enfoncé dans le sol et dont les extrémités sont soigneusement arasées.

L'échantillon est recueilli, séché et pesé (P_{sec}).

$$D_{app} = P_{sec} / V_a$$

Avec :

D_{app} : densité apparente (g/cm^3) ;

P_{sec} : poids sec de l'échantillon (g) ;

V_a : volume de cylindre (cm^3).

La densité réelle

L'essai consiste à déterminer la quantité d'eau déplacée par la phase solide d'un échantillon de masse connue dans un volume connu (pycnomètre).

Matériel

- pycnomètre de 25ml ;
- dessiccateur ;
- pompe à vide ;

Mode opératoire

- Remplir le pycnomètre d'eau distillé dégazé à la température du laboratoire.
- Peser (M_2) (pycnomètre+eau distillé).
- Vider le pycnomètre.
- Introduire l'échantillon (10g).
- Compléter au $\frac{3}{4}$ le pycnomètre avec l'eau distillé.
- Placer le pycnomètre sous vide pendant plusieurs heures jusqu'à la disparition des bulles d'air. Compléter ensuite avec de l'eau dégazé jusqu'au repère. Ajuster à l'aide d'une seringue. Essuyer soigneusement le pycnomètre.
- Peser (M_1 =pycnomètre + eau + échantillon).

$$\text{La densité réelle } D_r = \frac{10}{[(M_2 + 10) - M_1]}$$

Annexe 2

L'analyse granulométrique par tamisage

Se fait avec un échantillon représentatif de sol comme suit :

- On pèse une quantité du sable de 200g préalablement débarrassé de toute humidité.
- On place ces échantillons sur une série de tamis sont classés par ordre décroissant selon les mailles du tamis.
- Pour favoriser le tamisage on fait vibrer la série des tamis, on évite les vibrations violentes.
- On pèse la quantité de sable retenu par chaque tamis.

On calcule le pourcentage qui traverse chaque tamis puis en déduire le pourcentage cumulatif retenu. En trace en suite sur papier logarithmique la variation du pourcentage de l'échantillon en fonction du diamètre des mailles des tamis.

Annexe 3

Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène (DBO) est définie comme la quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai, c'est-à-dire après incubation durant cinq jours, à 20°C et dans l'obscurité, par certaines matières présentes dans l'eau, principalement pour assurer leurs dégradations par voie biologique. La mesure de la quantité d'oxygène consommé est suivie dans une solutionensemencée ou non.

Mode opératoire :

- Introduire un volume d'eau à analyser (V) dans la bouteille de DBO mètre en fonction de la concentration de l'eau.
- Mettre un barreau magnétique dans la bouteille.
- Mettre dans le premier bouchon en plastique une ou deux cristaux de NaOH pour absorber l'humidité.
- Ferme la bouteille de la DBO mètre par le deuxième bouchon qui est sous forme d'une tête avec un afficheur électronique.
- Laisse le DBO mètre sous une agitation magnétique pendant cinq jours.

Expression et résultat

- on lise la valeur afficher sur le DBO mètre.
- On multiplie cette valeur par un coefficient selon le volume (V) introduit.

Exemple

Selon la concentration de l'eau analyser :

- Si le volume introduit est 97 on multiplie le lecteur par 20.
- Si le volume introduit est 164 on multiplie le lecteur par 10.

Annexe 4

Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires définies. On fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydable présentent dans l'eau quel que soit leurs origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfate et chlorures).

Mode opératoire :(méthode iso9000)

- Introduire 10ml d'eau à analyser dans un ballon de 500ml.
- Ajouter 5ml de dichromate de potassium.
- Ajouter lentement et avec précaution 15ml du sulfate d'argent.
- Mètre le mélange sous une température de 148°C pendant 2 heures.
- Laisser le mélange se refroidir, diluer à 75ml avec de l'eau distillé.
- Ajouter quelques gouttes de solution de ferroïne.
- Déterminer la quantité nécessaire de solution de sulfate de fer et d'ammonium par titrage de notre solution, le point de virage est de couleur rouge violet.

Expression des résultats : La demande chimique en oxygène exprimée en milligramme d'oxygène par litre est égale à :

$$DCO=8000(V_0-V_1) T/V$$

Avec :

- V_0 : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml).
- V_1 : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml).
- T : titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium $T= 0,12$

Annexe 5

Détermination de la matière organique (méthode Anne);

Le principe :

Le carbone organique est oxydé par le dichromate de potassium en milieu sulfurique. Le bichromate doit être en excès, la quantité réduite est en principe proportionnelle à la teneur en carbone organique.

Mode opératoire :

- Suivant la teneur estimée en matière organique, pesé 0,25 à 1g de sol. La prise d'essai ne doit pas contenir plus de 30mg de carbone organique.
- Placer la prise d'essai dans un ballon en verre pyrex de 150 à 250ml, à col rodé adaptable sur la colonne réfrigérant.
- Ajouter 10ml de solution aqueuse de bichromate de potassium à 8% et 15ml d'acide sulfurique pur.
- Porter le ballon sur une chauffe ballon électrique, le raccorder au réfrigérant ascendant.
- Obtenir une ébullition modérée pour suivre l'ébullition durant 5 minutes après la chute de la première goutte de condensation.
- Laisser refroidir lentement.
- Si le contenu du ballon est passé durant l'ébullition à la couleur verte, l'excès de bichromate est insuffisant. Dans ce cas, recommencer en réduisant la prise d'essai de moitié.
- Transvaser le contenu du ballon dans une fiole jaugée 100ml.
- Ajuster à 100ml avec l'eau de rinçage du ballon.
- Après refroidissement de la fiole, ajuster de nouveau à 100ml autant de fois qu'il est nécessaire.
- Homogénéiser le contenu de fiole.
- Prélever à l'aide d'une pipette, 20ml du contenu de la fiole, et le verser dans une bécher de 400ml.
- Ajouter dans le bécher 200 ml d'eau distillée, 1,5g de NaF et 3 à 4 gouttes de diphénylamine.
- Placer le bécher sur un agitateur magnétique sous une burette graduée.
- Agiter et doser l'excès de bichromate à l'aide d'une solution de Mohr à 0,2N, au cours du titrage la solution passe successivement par les couleurs suivantes : brun, noirâtre, violet puis vert le virage sous à la goutte.

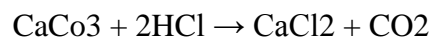
Annexe 6:

Dosage du calcaire total (norme internationale ISO 10693:1995);
(Méthode gazométrique : CALCIMETRE DE BERNARD)

Le Principe:

Le dosage du calcaire total est fondé sur la réaction caractéristique des calcaires au contact d'un acide, il s'agit de comparer le volume de gaz carbonique dégagé par le contact d'un certain poids connu de terre à analyser avec un acide fort à celui dégagé par la réaction du même acide avec du carbonate de calcium pur et sec en quantité connue.

Les conditions du milieu (température et pression atmosphérique) restent inchangées.



Mode opératoire :

Essai témoin Etalonnage de l'appareil

Introduire 0.3g de CaCO₃ pur et sec au fond de l'erenmeyer et mouiller par quelques gouttes d'eau distillée.

-Mettre 5ml d'HCl 6N à l'aide d'une petite éprouvette dans le petite tube et le en place en dans l'erenmeyer en faisant attention que l'acide ne coule pas.

-Boucher convenablement l'erenmeyer en le raccordant au calcimètre, la pince étant ouverte, ajuster la position de l'ampoule mobile jusqu'à ce que le niveau du liquide coloré soit au niveau zéro dans la colonne graduée.

-Maintenir l'ampoule à ce niveau, fermer la pince et l'erenmeyer de manière à répondre l'HCl sur CaCO₃.

-Agiter calmement l'erenmeyer pour favoriser la réaction.

-Le CO₂ se dégage et comprime le niveau du liquide coloré dans la colonne.

-Abaisser l'ampoule mobile pour suivre la dénivellation dans la colonne.

-Une fois la réaction terminée (fin du bouillonnement) ajuster les niveaux (ampoule t colonne) et noter le volume « y » en ml de CO₂ dégagé.

Dosage de l'échantillon:

On opère de la même façon que l'essai témoin mais en remplaçant le CaCO₃ pur par un poids (P) de l'échantillon qui varie selon sa teneur en calcaire généralement de 1 à 10g.

Remarque: Pour notre cas on a prend 5g du sable.

Calcul:

$$\% \text{ de CaCO}_3 = (0,3 \times v \times 100) / (V \times P)$$

Avec: 0,3: la prise d'essai pour le témoin;

v : le volume du gaz CO₂ dégager par l'échantillon du sable;

V : le volume du gaz CO₂ dégager par la prise d'essai;

P : le poids du sable (P = 5g).

Annexe 7

Tableau : Facteur de correction la conductivité de sol en fonction de la température :

T°C	f(t)	T°C	f(t)	T°C	f(t)
3	1,709	18	1,163	33	0,858
4	1,660	19	1,136	34	0,843
5	1,613	20	1,112	35	0,829
6	1,569	21	1,087	36	0,815
7	1,528	22	1,064	37	0,801
8	1,488	23	1,034	38	0,788
9	1,448	24	1,020	39	0,775
10	1,411	25	1,000	40	0,763
11	1,375	26	0,979	41	0,750
12	1,341	27	0,960	42	0,739
13	1,309	28	0,943	43	0,727
14	1,277	29	0,925	44	0,716
15	1,247	30	0,907	45	0,705
16	1,218	31	0,890	46	0,694
17	1,189	32	0,873	47	0,683

Annexe (Photos)



Titration pour déterminer la DCO



Le DBO mètre



Dispositif d'ébullition



Broyeur électrique



Microscope optique



Balance électrique