

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



**UNIVERSITE KASDI MERBAH
OUARGLA**

N° D'ordre :

N° de série :

FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR

Département d'hydraulique et de génie civil

Mémoire

En vue d'obtention de diplôme de Magister en Hydraulique

Option : Aménagement hydraulique en zones arides

Réalisé par :

M^{elle} : Yamina GHERAIRI

THEME

**Contribution à l'étude de l'efficacité de la
filtration biologique sur sables de dunes**

Soutenue le : 21/02/2008

Devant le jury :

Président	KRIKER Abdel Wahed	Maître de conférences MCA	Univ. Ouargla
Examineur	SETTOU Nouirdine	professeur	Univ. Ouargla
Examineur	BOUTOUTAOU Djamel	Maître de conférences MCA	Univ. Ouargla
Rapporteur	HAMDI AISSA Baelhadj	Maître de conférences MCA	Univ. Ouargla
Co- rapporteur	TOUIL Youcef	Maître assistant MCA	Univ. Ouargla

Remerciements

J'exprime en premier lieu mes gratitudees à la compassion du dieu, qui me donne la volonté, la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Je remercie infiniment l'ensemble des personnes citées ci-dessous

- Mon promoteur M. Belhadj HAMDI AÏSSA et mon co-promoteur M. Youcef TOUIL pour leurs orientations

- Les gens du laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques pour leur disponibilité, leur gentillesse et leurs exhortations surtout, M.Houria et Y. Fourwia.

- M. A. ZENKHERI pour son assistance, patience et soutien.

- M. CH. KÄHELSANNE pour la correction de la langue.

- Mes collègues de travail au niveau des laboratoires pédagogique de l'I. T. A. S surtout mon responsable direct M.BEGGARI Liche

Je remercie les honorables membres du jury qui m'ont font l'honneur de corriger et juger mon travail

-Mes collègues de promotion surtout: A. KHALIFA, A.BENLAMNOUAR, E. TALBI A.BELMÄEBDI.

- Mes amies: Zakia, Hadjira, Zaineb, Asma, Fouzia Wahiba, Samira, Mabrouka, Assia et toutes les filles de la city ENS.

A tous qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A toute ma grande famille

A tous mes amies et amis

A tous qui me souhaitent une bonne vie

A tous mes enseignants du primaire jusqu'à aujourd'hui

A mes collègues de la promotion.

A mes collègues de travail

A tous ceux que j'aime

Yamina GHERAIRI

SOMMAIRE

Introduction Générale	01
PARTIE A: BIBLIOGRAPHIE	
CHAPITRE I:GENERALITIE SUR LES EAUX USEES	
I. 1. Définition	05
I.2. Origine des eaux usées	05
I. 2. 1. Les eaux usées domestiques	05
I. 2. 2. Les eaux usées pluviales	05
I. 2. 3. Les eaux usées agricoles	05
I. 2. 3. Les eaux usées industrielles	05
I. 3. Nature et composition des eaux usées	06
I. 3. 1. Les matières en suspension MES	06
I. 3. 2. La demande chimique en oxygène DCO	06
I. 3. 3. La demande biochimique en oxygène après cinq jours DBO ₅	07
I. 3. 4. Le carbone organique total COT	07
I. 3. 5. L'azote	07
I. 3. 6. L'indice de biodégradabilité	08
CHAPITRE II: GENERALITES SUR LA FILTRATION	
II.1. Définition	10
II. 2. Description de la filtration	10
II.3. Vitesse de filtration	12
II.4. Types de filtres	12
II.4.1. Filtres à sable rapides	13
II.4.2. Filtration à sable lente	14
II.4.2.1. Caractéristiques des filtres lents	14
II. 4. 2. 3. Avantages des filtres lents	15
II.4.2.4. Inconvénients des filtres lents	16
II. 5. L'écoulement à travers le filtre à sable	16
II. 5.1. Mécanisme de filtration	17
II.5.1.1 Mécanismes de capture	17
II.5. 1.2. Mécanismes de fixation	18
II. 5. 1.3 Mécanisme de détachement	18
II.6. Colmatage du filtre a sable	18
II. 6.1. Définition	18
II. 6.2. Types de colmatage	18
II.6.2.1. Colmatage physique	18
II.6.2.2. Colmatage chimique	19
II.6.2. 3. Le colmatage biologique	19
II.7. Optimisation de l'utilisation d'un filtre à sable	19
CHAPITRE III: Les caractéristiques du support filtrant	
III.1. Introduction	22
III.2. L'analyse granulométrique	22
III. 2. 1. Le diamètre effectif	23

III.2.2 Le coefficient d 'uniformité	23
III. 2. 3. Coefficient de classement	23
III.3. La porosité	24
III.3.1- La densité réelle	24
III.3.2- La densité apparente	25
III.4. La perméabilité	25
III.5. La conductivité électrique	26
III. 6. Le pH	26
III.7. La teneur en matière organique	26
PARTIE B: EXPERIMENTALE	
CHAPITRE I: LES SABLES UTILISES	
I.1. Méthode d'échantillonnage	30
I.2. Caractérisation des sables	30
I.2.1. L'analyse granulométrique	30
I.2.2. La porosité totale	33
I.2.3 La perméabilité	34
I.2.4 Le pH	35
I.2.5 La conductivité électrique	35
I.2.6 La teneur en matière organique	35
CHAPITRE II: LES EAUX USEES UTILISEES	
II.1 Introduction	38
II.2. Les eaux usées préparées au laboratoire E _p	38
II.2.1 Qualité des eaux	38
II.2.1.1. La demande biochimique en oxygène DBO ₅	38
II.2.1.2. La demande biochimique en oxygène DCO	39
II.2.1.3. Les matières en suspensions MES	39
II.2.1.4. L'azote Kjeldahl NK	39
II.2.1.5. Le pH	39
II.2. Les eaux de vanne E _v	40
CHAPITRE III: DISPOSITIF EXPERIMENTAL	
III.1 Introduction	43
III .2. Dispositif d'étude du colmatage	43
III .2. 1. Pilote de filtration	45
III. 2.2. Calcul des débits	45
III .2.3. Mise en marche des pilotes	47
III .2.4. Méthode de prélèvement	47
III .3. Dispositif d'étude de rendement épuratoire	49
III .3.1. débit d'alimentation	50
CHAPITRE VI: RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	
IV.1 Introduction	52
IV.2 La porosité	52
IV.2.1 La détermination de la densité réelle	52
IV.2.2 La détermination de la densité apparente	52
IV.3. le colmatage	55

IV.4. Interprétation des résultats	58
IV.5. La teneur en matière organique	59
IV.6. Interprétation des résultats	61
IV. 7. Comparaison entre les différents types du colmatage	62
IV. 7. 1. le colmatage mécanique	62
IV.7.2. Le colmatage organique	63
IV.7.3. Le colmatage physique	63
IV. 7. 4. Interprétation des résultats	67
IV. 8. Le rendement épuratoire	68
IV. 8. 1. Les matières en suspension	68
IV. 8. 1 .1 Interprétation des résultats	70
IV. 8. 2. La demande chimique en oxygène DCO	70
IV. 8. 2. 1. Interprétation des résultats	72
Conclusion générale	74
Rréférences bibliographiques	80
annexes	86

LISTE DES TABLEAUX

Numéro	Titre	Page
01	composition moyenne d'un effluent domestique	07
02	propriétés physiques des matériaux filtrants	14
03	la densité réelle	24
04	la densité apparente	25
05	la conductivité électrique	26
06	qualité des eaux usées préparées au laboratoire	40
07	qualité des eaux de vanne	40
08	la porosité après le fonctionnement des filtres (%)	53
09	les écarts types entre les valeurs de la porosité	53
10	Les valeurs du colmatage (%)	56
11	La matière organique après fonctionnement (%)	60
12	les valeurs du colmatage mécanique en (%)	63
13	les valeurs du colmatage organique	63
14	les valeurs du colmatage physique	64
15	les valeurs des MES	69
16	les valeurs des rendements des MES	69
17	les valeurs de la DCO	71
18	les valeurs des rendements de la DCO	71

LISTE DES FIGURES

Numéro	Titre	Page
01	L'écoulement à travers le filtre	16
02	Fonctionnement d'un filtre à sable	20
03	La courbe granulométrique du sable utilisé	31
04	Schéma du pilote de filtration	48
05	L'évolution de la porosité en fonction de la profondeur des filtres	54
06	L'évolution de la porosité en fonction du temps de fonctionnement	55
07	L'évolution du colmatage en fonction de la profondeur	57
08	L'évolution du colmatage en fonction du temps de fonctionnement	58
09	L'évolution de la teneur en MO en fonction de la profondeur	60
10	L'évolution de la teneur en MO en fonction du temps de fonctionnement	61
11	La variation des différent type de colmatage du premier filtre	64
12	La variation des différent type de colmatage du deuxième filtre	65
13	La variation des différent type de colmatage du troisième filtre	65
14	La variation des différent type de colmatage du quatrième filtre	66
15	La variation des différent type de colmatage du cinquième filtre	66
16	La variation des différent type de colmatage du sixième filtre	67
17	L'évolution du rendement des MES	70
18	L'évolution du rendement de la DCO	72

LISTE DES PHOTOS

Numéro	Titre	Page
01	Dispositif expérimental pour l'étude du colmatage	43
02	Goutteur	45
03	Vannes et pièce de forme Y	45
04	Pièce pour séparation de débit	49
05	Dispositif expérimental pour l'étude du rendement	46

INTRODUCTION GENERALE

Dans la région de Ouargla les réserves en eaux sont représentées essentiellement par les nappes profondes (le Continental Intercalaire et le Complexe terminal). Cependant, après utilisation de ces eaux (sans aucun traitement) sont évacuées dans un système fermé (bassins endoréiques), ce qui présente un risque naturel sur la santé publique et met en péril la durabilité de l'agriculture et l'environnement. D'autre part la région de Ouargla est très riche en gisement de sable dunaire; la majorité de ces sables répondent du point de vue caractéristique aux normes des filtres biologiques leur valorisation comme support de filtration des eaux usées a fait l'objet de quelques études.

Les travaux antérieurs menés au *laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques* (université de Ouargla) sur le traitement des eaux usées et réutilisation (essai expérimentales sur filtre à sable) ont montrés des résultats intéressants, notamment le projet CRSTRA-Biskra / Université de Ouargla (code 3099010312/MS) «*traitement des eaux usées de la région de Ouargla en vue d'une réutilisation et protection de l'environnement*». Les résultats des essais faites au laboratoire méritent des approfondissements, ils apportent un plus pour la gestion des ressources en eaux et une valorisation à la fois des eaux usées et des sables de dunes dans les domaines de l'agriculture et l'environnement au Sahara.

Au cours de son fonctionnement, le filtre à sable soumis à des variations des caractéristiques morphologiques ; ces derniers gênent le parcours de la filtration. L'objectif du présent travail est de procéder à la détermination de la variation de la porosité (colmatage), et à l'évolution de la teneur en matière organique en fonction du temps d'utilisation, ceux-ci le long de la profondeur du filtre ; ainsi que de suivre l'effet de l'élimination de la matière organique sur le filtre.

Ce travail, contient deux parties: dans la première partie; une étude bibliographique sur les eaux usées, la filtration biologique et la caractérisation des supports filtrants.

Dans la deuxième partie; les étapes de l'expérimentale vont être représenté avec tous les analyses et les mesures qui on été faites au cours de l'étude. En suit les résultats obtenus à travers l'expérience et ses interprétations.

En fin une conclusion générale suivie des recommandations.

I. Généralités Sur Les Eaux Usées

I. 1. Définition

Les eaux usées comme leur nomination l'indique; sont les eaux déjà utilisées. Elles constituent l'ensemble des déchets liquides produits par l'homme par ses propres besoins et au cours de ses activités domestiques, agricoles et industrielles. (**Satin M. 1999 et Ziani M. 200**)

I. 2. Origines des eaux usées

Les eaux usées appelées aussi eaux résiduaires sont identifiées selon leurs origines comme suit:

I. 2. 1. Les eaux usées domestiques

Sont les eaux issues des habitations ou de sanitaires des entreprises. L'eau usée domestique est un complexe de matière organique et minérales; produits par les eaux de cuisine, les eaux de vannes et les eaux de lavage. (**Rejsek F. 2002**)

I. 2. 2. Les eaux usées pluviales

Malgré que ces eaux n'ont pas été utilisées par l'homme; elles sont considérées comme des eaux usées car elles ne sont pas toujours propres. Il arrive même qu'elles soient plus polluées que les eaux usées domestiques. Elles sont ruisselées sur les surfaces imperméables, de même les gouttes de pluie traversent une atmosphère chargée de poussières et de produits divers. (**satin M. 1999**)

I. 2. 3. Les eaux usées agricoles

Ces eaux sont considérées comme usées, car elles sont chargées de matériaux contenus dans les engrais, de même des eaux faire un lavage du sol. (**Claude G. C. 1999**)

I. 2. 3. Les eaux usées industrielles

Toutes les unités industrielles utilisent les eaux dans leurs processus de production, par conséquence elles ont des rejets assez considérables. (**Claude G. C. 1999**)

I. 3. Nature et composition 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 aux modes de vie. Elles proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles. La composition des eaux usées est étudiée par le biais de diverses mesures physiques, chimiques et biologiques. **(Bernar lery J. 1999)**

I. 3. 1. Les matières en suspension MES

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc 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 méthode de détermination des MES: **(Rejsek F.2002)**

- Les méthodes gravimétriques résultant d'une séparation physique des 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 milligramme par litre.

I. 3. 2. La demande chimique en oxygène DCO

Elle représente la teneur totale de l'eau en matières organiques, qu'elles soient ou non biodégradable. Nous noterons cependant que certains composés chimiques ne sont pas oxydés complètement par la détermination de la DCO comme par exemple l'azote organique. 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. **(Degrement 1989)**

I. 3. 3. La demande biochimique en oxygène après cinq jours DBO₅

Elle représente la quantité d'oxygène consommée à 20 C° et à l'obscurité pendant cinq jours, pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau. La DBO₅ est mesurée par la méthode manométrique qui consiste à mesurer l'évolution de la pression de l'air à l'intérieur d'un flacon contenant l'échantillon de l'eau cette évolution est liée directement à la diminution de la concentration en oxygène de l'atmosphère d'incubation. La DBO₅ est exprimée en mg.L⁻¹. (Degrement 1989)

I. 3. 4. Le carbone organique total COT

Il représente la teneur en carbone lié à la matière organique, et repose sur une mesure de CO₂ après oxydation complète. Il est mesuré par le COTmètre et exprimé en mg.L⁻¹. (Rodier J. 1996)

I. 3. 5. L'azote

Il représente les matières organiques et minérales contenant des atomes d'azote. Il se trouve sous deux principales formes l'azote réduit et l'azote oxydé. Le premier est analysé par la méthode Kjeldahl qui s'exprime en milligramme de N par litre, le deuxième est analysé par différentes méthodes; spectrophotométrie au bleu d'indophénol ou réactif de Nessler, analyse en flux et détection spectrophotométrie et par acidimétrie après distillation et exprimé en milligramme de NO₂⁻ par litre pour les nitrites et en milligramme de NO₃⁻ par litre.

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 01: composition moyenne d'un effluent domestique (Rejsek F. 2002)

Paramètres	valeur
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

I. 3. 6. 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: **(Rodier J. 1996)**

$$K = \frac{DCO}{DBO_5} \quad (01)$$

En générale si:

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

II. Généralités Sur La Filtration

II.1. Définition

La filtration est une méthode qui consiste à séparer les particules solides du milieu liquide à l'aide d'une matière poreuse. Il existe divers systèmes de filtration qui épurent les eaux en les faisant passer à travers un milieu filtrant.

Les filtres peuvent être faits de sable, de tourbe, de charbon activé, de terre à diatomées ou d'autres matériaux utilisés séparément, ou en combinaison pour filtrer l'eau et retenir les particules aussi pour promouvoir la croissance des micro-organismes qui décomposent les polluants. **(Coulomb R. 1980 et Gougoussis C. 1978)**

II. 2. Description de la filtration

Dans les processus de traitement de l'eau, la filtration intervient au dernier stade des traitements physiques, c'est-à-dire après la coagulation et décantation dont le cas où elles existent. Elle a pour but d'arrêter les particules trop petites pour ainsi décanter. Nous ne considérerons que la filtration en volume, opération au cours de laquelle les matières en suspension sont retenues à l'intérieur de la masse poreuse. Cela implique que ces matières en suspension aient des dimensions inférieures à celles des pores du filtre, sinon elles seront retenues à la surface où l'on eut observé une filtration dite en surface ou en gâteau. Procédé couramment utilisé en génie chimique mais qu'on ne rencontre en hydraulique urbaine que dans les procédés de traitement des boues par lit de séchage ou par filtration sous vide. **(Coulomb R. 1980)**

Les chercheurs admettent cependant que la filtration doit être abordée en considérant deux phénomènes distincts : le transport et la filtration. Le premier concept désigne tous les processus qui déplacent les particules dans les pores de masse filtrante les amenant au contact d'un grain solide ou d'un dépôt antérieur où elles pourront se fixer. Le second concept désigne les mécanismes qui font qu'une particule en suspension soit retenue au sein de la masse filtrante.

On ne distingue pas moins de six mécanismes de transport différents susceptibles d'amener une particule en suspension en contact avec la structure fixe du milieu filtrant:

- Interception directe où il y a un choc entre une particule et un grain fixe;
- Diffusion : les particules les plus petites sont soumises à un mouvement brownien qui peut les amener au contact d'un grain. Ce phénomène dépend de la température de l'eau et de la taille des particules. Il n'a d'importance que pour les particules inférieures au micron;
- Tamisage : les particules les plus grosses peuvent être éliminées par tamisage à l'entrée d'un pore une faible proportion des particules est ainsi arrêtée dans le cas où cette proportion soyer importante, cela signifier que la décantation, dans la mesure où elle existe est insuffisante. Dans le cas contraire, un micro tamisage mécanique en amont des filtres constituer une bonne forme de prétraitement;
- Inertie : l'inertie de la particule contraint cette dernière à continuer en ligne droite. Dans le cas où le courant d'eau qui l'entraîne s'incurve pour contourner un grain. e phénomène a une grande importance en filtration d'air dont toute augmentation de la vitesse améliore le rendement de la filtration. Sont importance est beaucoup plus limitée dans le cas de la filtration de l'eau. Nous le verrons par la suite que les nombres de Reynolds traduisant le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité se trouvent toujours très faibles ;
- Décantation : l'effet de gravité sur une particule peut l'amener à prendre une trajectoire différente des lignes d'eau ensuite revenir au contact du grain. L'importance de ce phénomène se caractérise par le rapport de la vitesse de Stokes à la vitesse de filtration. Ce rapport est très faible mais l'effet de décantation peut être mis en évidence expérimentalement;
- Hydrodynamique : les particules sont soumises sous l'action de diverses forces d'origine hydrodynamique à des mouvements de rotation.

Bien entendu, ces mécanismes de transport ne sont pas exclusifs les uns des autres. La diffusion joue un rôle important pour les particules les plus petites. La décantation

pour les plus grosses et les plus denses. Le tamisage pour les plus grenues et les effets hydrodynamiques pour les particules les plus dissymétriques.

La simple description des phénomènes permet de voir que généralement, la vitesse de filtration dont la définition exacte est donnée ci-après joue un rôle important. Plus elle est élevée plus les mécanismes énumérés perdent de leur efficacité. La plupart des chercheurs expliquent la fixation des particules sur le milieu filtrant par des forces physico –chimiques, type force de Vander Waals. (Coulomb R. 1980).

II.3. Vitesse de filtration

On désigne par U et on appelle vitesse de filtration le quotient du débit Q passant dans un filtre par la surface de ce filtre. Cette vitesse est effectivement la vitesse de l'eau dans la couche qui surmonte le matériau filtrant. Cette définition rappelle d'ailleurs la notion de vitesse ascensionnelle de l'eau dans les décanteurs. Elle n'a aucune réalité physique à l'intérieur de la masse filtrante où la vitesse moyenne réelle de l'eau est sa vitesse interstitielle, soient en début de filtration :

$$u_f = \frac{u}{f} \quad (02)$$

En appelant f la porosité initiale du milieu, et au cours de la filtration:

$$u_f = \frac{u}{f - \frac{q}{\rho}} \quad (03)$$

q Étant la masse des dépôts accumulés par unité de volume, et ρ la masse volumique de ces dépôts. (Gougoussis C. 1978 et Disjardind R. 1997)

II.4. Types de filtres

Pour le traitement des eaux potables, on utilise principalement:

- a) Des filtres à sable rapides;
- b) Des filtres à sable lents.

Il existe deux types de filtration: la filtration lente laquelle les vitesses normales sont de 2 à 7 m/jour, et la filtration rapide dont les vitesses peuvent atteindre de 3 à 20 m/h.

Dans le premier type, il y a formation à la surface des filtres une membrane biologique qui concourt d'une façon très importante à l'épuration de l'eau tout en retenant la plupart des micro-organismes et les particules colloïdales.

II.4.1. Filtres à sable rapides

Le filtre à sable rapide est le type le plus utilisé dans le traitement des eaux de consommation. Le matériau filtrant est maintenu en place par gravité et l'écoulement de l'eau se fait de haut en bas. Lorsque le milieu filtrant est encrassé, on lave le filtre en inversant le sens de l'écoulement de l'eau. Le milieu filtrant est alors en expansion, et les particules d'impureté beaucoup moins denses que les grains de sable, sont décollées et évacuées vers l'égout à l'aide des goulottes de lavage. Les principaux éléments d'un filtre rapide sont:

Fond de filtre: le fond de filtre est la structure qui sépare le milieu filtrant de l'eau filtrée. Il doit donc être suffisamment solide pour supporter le milieu filtrant (1 m de sable et de gravier) et aussi l'eau située au-dessus du milieu filtrant (2 m d'eau). Il permet en outre:

- De collecter et d'évacuer les eaux filtrées.
- De distribuer uniformément l'eau de lavage. (Disjardin R. 1997)

Gravier de support: le gravier de support, situé immédiatement au-dessus du fond de filtre, permet de:

- De retenir le sable du milieu filtrant;
- D'améliorer la répartition de l'eau de lavage dans le filtre.

L'épaisseur et les caractéristiques granulométriques de la couche de gravier de support dépendent des caractéristiques du fond de filtre et de celles du milieu filtrant.

Milieu filtrant: les matériaux filtrants les plus utilisés sont le sable et l'antracite. Le tableau ci-après représente les principales propriétés physiques des matériaux filtrants.

Tableau 02: propriétés physiques des matériaux filtrants. (R. Disjardin 1997)

Matériau	Forme	Densité	Dureté (moh)	Porosité (%)	Diamètre effectif (mm)
Sable de silice	arrondie	2.6	7	42	0.4 – 1.0
Sable de silice	non arrondie	2.6	7	44	0.4 – 1.0
Quartz	anguleuse	2.6	7	53	0.4 – 1.0
Anthracite	anguleuse	1.5	3	55	0.4 – 1.4
Anthracite	arrondie	1.5	3	50	0.5 – 1.0

II.4.2. Filtration à sable lente

On utilise la filtration lente sur sable depuis le début des années 1900. Cette méthode est toujours largement utilisée pour le traitement des eaux usées municipales. Des études avec d'autres observations ont montré que la filtration lente sur sable permet d'éliminer efficacement les bactéries coliformes des eaux usées et constitue un procédé de traitement innovateur et rentable qui exige peu d'entretien. Ce système est le plus efficace dans le cadre d'une approche comportant des traitements multiples. (Disjardin R.1997)

Un filtre à sable lent comprend un lit de sable classé reposant sur une couche de gravier. Ce milieu de filtration est contenu dans une boîte comportant, aux deux extrémités, des ouvertures permettant à l'eau d'entrer et de sortir sous l'effet de la gravité. Au niveau de ce procédé de filtration, une forme de traitement naturel et biologique de l'eau- est utilisé pour éliminer les solides, les précipités, la turbidité et, dans certains cas, les bactéries responsables du goût et de l'odeur désagréables. (Coulomb R.1980)

II.4.2.1. Caractéristiques des filtres lents

Les filtres à sable lents, doivent être construits, de telle sorte que l'eau traverse lentement une couche de sable fin, et que les particules les plus grosses soient arrêtées près de la surface du sable .Ces particules forment une couche poreuse très fines, dont la surface totale de veinule ou de pores est très grande. Ce qui facilite l'absorption des impuretés par cette couche ou par le sable sous-jacent effectivement. Cette couche poreuse est constituée de bactéries, d'algues et de protozoaires .La filtration lente combine donc les effets de processus physiques, et de processus biologiques.

Les filtres à sable lents fonctionnent principalement grâce à l'activité biologique, mais également au captage des particules dans le filtre à sable.

Les caractéristiques fondamentales des filtres à sable biologiques sont :

- Le sable fin.
- La vitesse de filtration lente.

A mesure que l'eau passe à travers le filtre, un film constitué de poussières, de débris et de micro-organismes vivants et en décomposition s'accumule à la surface du sable . Il s'agit du film biologique.

La poussière, les particules et les micro-organismes naturels s'accumulent dans cette pellicule et contribuent à la filtration, mais ils en ralentissent le débit. Par conséquent les filtres de ce type sont de plus grande taille que les filtres rapides. La lenteur du débit de filtration (0.1 à 0.3m/h) et le film biologique rendent ce type de filtre très efficace se façon à en extraire les minuscules particules de l'eau. Les micro-organismes qui se développent dans le film biologique et dans les premiers centimètres de la couche du sable captent et décomposent d'autres micro-organismes, minéraux ou nutriments, notamment le fer. Le filtre laisse passer certains organismes et matières solubles.

Pour remédier à l'obstruction, il faut enlever le film biologique et gratter les premiers centimètres de sable.

Les filtres à sable lents ne fonctionnent pas bien si l'eau brute est trop sale ou trouble. (Nur M. 1996)

II. 4. 2. 3. Avantages des filtres lents

- Les filtres lents permettent de ne pas recourir à la coagulation.
- Les matériaux de construction de ces filtres sont simples ; on peut se les trouver sur place.
- On peut aisément se procurer du sable sur place.
- La surveillance du fonctionnement de ces filtres est simple.
- Leur effluence est moins corrosive et de qualité plus constante que celle des filtres rapides, lesquels exigent un traitement chimique.

- Ils éliminent bien les bactéries. (Disjardin R. 1997)

II.4.2.4. Inconvénients des filtres lents

- Les filtres lents occupent une grande superficie. Ils exigent une installation de grandes dimensions, un volume de sable important et des travaux coûteux.
- Leur exploitation manque de souplesse. Comme nous le verrons plus loin, leur mise en exploitation et leurs lavages requièrent des périodes trop longues, au cours desquels ils sont inutilisables.
- Leur utilisation est coûteuse lorsque la turbidité des eaux brutes dépasse 30 unités néphélométriques et ce durant 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.
- Ils décolorent médiocrement les eaux colorées.
- Ils donnent de mauvais résultats lorsque les eaux sont riches en algues et n'ont pas été préalablement traitées. (Disjardin R. 1997)

II. 5. L'écoulement à travers le filtre à sable

La filtration étant l'écoulement d'un liquide dans un milieu poreux est régie, pour les vitesses usuellement appliquées en traitement d'eau, par la loi de DARCEY :

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta P / \eta \Delta H \quad (04)$$

Avec :

Q : le débit traversant la couche filtrante (m³/s)

K : le coefficient de perméabilité (m/s)

ΔP: la perte de charge à travers la couche filtrante (m)

ΔH : hauteur de la couche considérée (m)

η : viscosité dynamique de l'eau (pa.s)

Donc l'écoulement à travers le filtre dépend à la fois, des caractéristiques du sol et du liquide.

(De Marcely G. 1994)

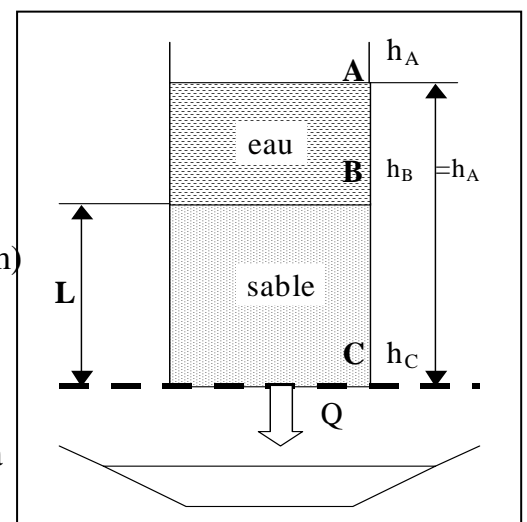


Fig. (1). L'écoulement à travers le filtre

II. 5.1. 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. (**Degrement 1989**)

II.5.1.1 Mécanismes de capture

Les mécanismes de capture sont essentiellement de deux natures:

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 matériau filtrant. Ce phénomène intervient d'autant plus que la maille du matériau filtrant est plus fine. Il est de peu d'importance pour un lit filtrant composé de matériau relativement grossier. Dans le cas contraire il est prépondérant dans une filtration sur support mince. (**Degrement 1989**)

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. (**Degrement 1989**)

II.5. 1.2. Mécanismes 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.

II. 5. 1.3 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. Il y a alors augmentation de la vitesse d'écoulement. Les dépôts déjà retenus peuvent se détacher partiellement et être entraînés plus en avant 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. La filtration directe d'un liquide dont les matières en suspension conserve leur état et leur charge électrique est donc très différente de la filtration d'un liquide coagulé. **(Degrement 1989)**

II.6. Colmatage du filtre a sable

II. 6.1. Définition

Le colmatage est l'obstruction progressive des interstices des matériaux filtrant, la vitesse du colmatage dépend de type de support filtrant et de la qualité de l'eau a faire filtré. **(Degrement 1989)**

II. 7.2. Types de colmatage

Le colmatage est classé suivant les facteurs mis en jeux dans ce phénomène, il est classé comme suit : **(Gougoussis C. 1978)**

II.7.2.1. Colmatage physique

Il est dû au tassement de sable du filtre sous l'effet de son propre poids et de l'écoulement de l'eau qui provoque le transport des particules fines en cours d'eau. La matière en suspension est aussi retenue par le matériau filtrant. **(Rodgers M. 2004 et Djididi N.1991)**

II.7.2.2. Colmatage chimique

L'eau joue le rôle d'un catalyseur pour les réactions chimiques entre les ions existants dans la masse filtrante. Ces réactions seront plus affectant en présence de l'argile. (Rodgers M. 2004 et Djididi N.1991)

II.7.2. 3. Le colmatage biologique

Il est dû à l'accumulation de la matière organique dissoute et les micro-organismes sur les surfaces des grains. (Rodgers M. 2004 et Djididi N. 1991)

II.7. Optimisation de l'utilisation d'un filtre à sable

Pour optimiser l'utilisation d'un filtre, on doit le faire fonctionner de telle sorte que, lorsque la turbidité de l'effluent atteint la valeur maximale permise, les pertes de charge atteignent, elles aussi, leurs limites maximales permises. (Disjardin R. 1997 et Nur M. 1996)

L'utilisation d'un filtre n'est pas optimale lorsque les deux situations ci-dessous se produisent:

- a) Les pertes de charge atteignent leurs valeurs maximales alors que la turbidité est toujours faible. Pour corriger cette situation, on peut soit accroître la charge superficielle afin d'augmenter la valeur des forces de cisaillement (et permettre ainsi une meilleure pénétration du floc), soit augmenter le diamètre effectif du milieu filtrant.
- b) La turbidité atteint sa valeur maximale alors que les pertes de charge sont toujours faibles. Pour corriger une telle situation, on peut soit réduire la charge superficielle afin de ne pas briser le floc, soit additionner un polymère destiné à renforcer le floc, soit diminuer le diamètre effectif du milieu filtrant. (Nur M. 1996)

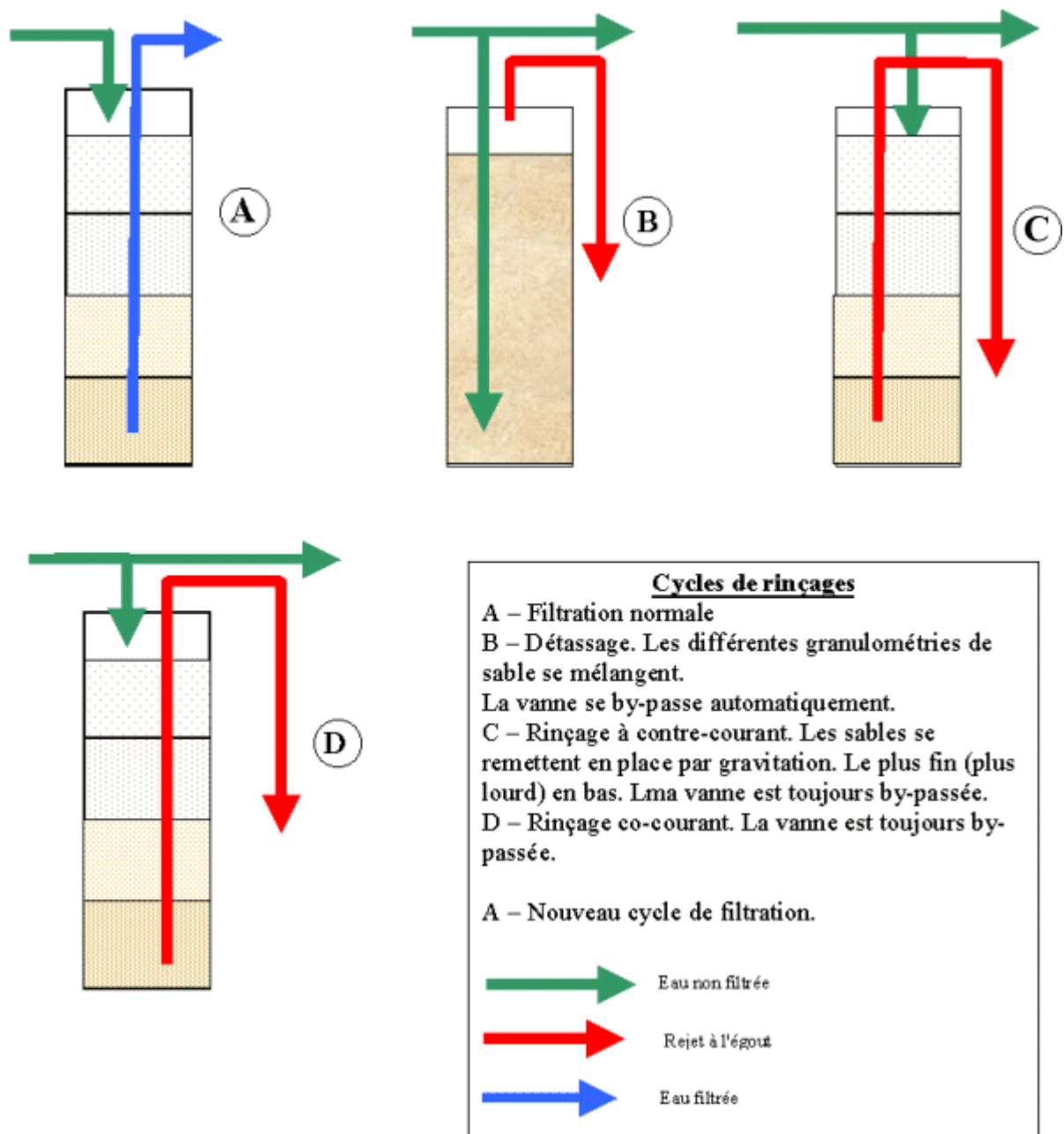


Fig. (2). Fonctionnement d'un filtre à sable

III. Les caractéristiques du support filtrant

III.1. Introduction

Pour savoir la différence entre un sol et un autre il faut avoir leurs présentations physico-chimiques. Ces derniers déterminent la validité de l'utilisation des sols comme lit de filtration ou dans d'autres domaines ; on peut citer ici quelques unes de ces caractéristiques.

III.2. 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 (faire passer l'échantillon du sol à travers une série de tamis de diamètres décroissants de haut vers le bas). (**Disjardin R. 1997**)

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 présente 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 suivantes : (Musy A. 1991)

III. 2. 1. Le diamètre effectif

Le diamètre effectif correspond à la taille des mailles du tamis qui laissent passer 10% de la masse de l'échantillon. (Castany G. 1982)

III.2.2 Le coefficient d'uniformité

Il s'agit du rapport entre deux diamètres apparents définis de telle sorte que la taille de 60% et respectivement 10% des particules soit inférieure. Soit d_{60} et d_{10} étant les valeurs lues en abscisse pour les points de la courbe granulométrique correspondant aux ordonnées de 60% et 10%. (Disjardin R. 1997)

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (05)$$

Ce coefficient constitue un indice d'uniformité de la courbe granulométrique ou d'irrégularité de la distribution de la taille des particules, l'uniformité d'une courbe est alors généralement déterminée par rapport à la référence suivante :

$C_u < 2 \Rightarrow$ la granulométrie est dite uniforme.

$C_u > 2 \Rightarrow$ la granulométrie est dite variée.

III. 2. 3. Coefficient de classement

Il s'agit du rapport entre deux diamètres apparents définis de telle sorte que la taille de 75% et respectivement 25% des particules soit inférieure, ce coefficient constitue un indice de variation relative de la pente de la courbe : (Musy A. 1991)

$$C_c = \frac{d_{75}}{d_{25}} \quad (06)$$

III.3. La porosité

La porosité est le rapport entre le volume des pores V_p et le volume total V_t

$$V_t = V_p + V_s \quad (07)$$

D'où : V_s est le volume du squelette solide autrement dit :

$$n = \frac{V_p}{V_t} \quad (08)$$

On peut estimer la valeur de la porosité en fonction de la densité réelle et la densité apparente par la formule : **(Lancaster A. 1996)**

$$n\% = \left(1 - \frac{P_a}{P_r}\right) \quad (09)$$

P_a : la masse volumique apparente.

P_r : la masse volumique réelle.

III.3.1. Masse volumique réelle

Elle est déterminée par la masse des grains solides M_s rapportée à leur volume réel V_s :

$$P_r = \frac{M_s}{V_{sr}} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (10)$$

La masse réelle d'un sol est déterminée par la nature de ses composants solides, et en particulier par leur masse volumique respective. La masse volumique des éléments constituant un sol varie selon le type de minéraux présents ; comme elle est se présentée dans le tableau suivant : **(Aubert G. 1978)**

Tableau 03: la masse volumique réelle d'un sol **(Musy A. 1991)**

Type de fraction	La masse volumique réelle (kg/m ³)
Minéraux argileux	2000 à 2650
Quartz ou feldspath	2500 à 2600
Éléments métalliques	4900 à 5300
Fraction organique	1300 à 1400

III.3.2. Masse volumique apparente

Cette grandeur définie par le rapport de la masse des éléments solides au volume total apparent du sol constitue ainsi un critère plus global de différenciation des sol : (A. Musy 1991)

$$P_a = \frac{M_s}{V_{sa}} \left(\frac{\text{Kg}}{m^3} \right) \quad (11)$$

La masse volumique apparente d'un sol est ainsi inférieure à sa masse volumique réelle, puisque la masse solide est rapportée ici au volume total apparent et non plus seulement au volume solide. L'ordre de grandeur pour divers types de sols est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 04: la masse volumique apparente d'un sol (Musy A. 1991)

Type de sol	Densité apparente (kg /m ³)
Sols sableux	1400 à 1700
Sols argileux	1000 à 1500
Sols tourbeux	300 à 100

III.4. La perméabilité

Le sol est principalement constitué de particules minérales mais également organiques séparées par des espaces. Ces derniers, forme des canaux irréguliers de tailles variables, appeler 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 matière organiques par les bactéries). Au contraire, un sol trop peu perméable constituera un obstacle à la filtration des eaux qui seront stagnées.

La perméabilité est déterminée par la loi de DARCEY : (Shneebili G. 1987)

$$K = \frac{L \cdot Q}{S \cdot H_c} \quad (12)$$

Avec :

K : la perméabilité du sol.

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

Q : le débit traversé l'échantillon.

S : la section de l'éprouvette.

H_c : la hauteur de la cellule.

III.5. La conductivité électrique

Elle représente la concentration des sels dans le sol. Elle est mesurée directement par l'utilisation du conductimètre. Les sols sont classés selon leurs conductivités électriques comme suit : (Aubert G. 1978 et Baize D. 2000)

Tableau 05: la conductivité électrique (Baize D.2000)

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

III. 6. Le pH

Il représente l'acidité ou l'alcalinité du sol ; il est mesuré directement par le pH-mètre.

III.7. La teneur en 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.

Si bien que la fraction organique d'un sol est caractérisée par la teneur en matière organique pondérale de sa phase solide W_{org} , par le rapport de la masse de la fraction organique ; M_{org} à la masse totale de la phase solide M_s (**Aubert G. 1978 et Baize D. 2000**)

$$W_{org} = \frac{M_{org}}{M_s} \quad (13)$$

I. Caractérisation des sables utilisés

I.1. Méthode d'échantillonnage

Les échantillons de sable utilisés sont prélevés arbitrairement dans la région de N'GOUSSA. Seize échantillons sont prélevés au niveau de huit points d'une carrière. Deux échantillons sont maintenus à chaque point, l'une au niveau de la surface et l'autre à 30 cm de profondeur. Le sable utilisé est un mélange homogène entre les seize échantillons avec des quantités égales. Le 1^{er} échantillon est étalé dans un récipient, pour former une couche d'épaisseur constante. En suite on prend le 2^{em} échantillon et l'étale de même manière sur la première couche, de façon à homogénéiser les deux couches. On répète l'opération pour les autres échantillons.

I.2. Caractérisation des sables

Les sables utilisés sont des sables de dune de la région de OUARGLA (N'GOUSSA). Ces sables ont été étudiés. Ils ont une composition chimique très uniforme à forte prédominance siliceuse, avec une granulométrie homogène adéquate pour les utiliser comme un lit de filtration (Touil Y. 2005). Et puisque les caractéristiques des sables ne sont pas stables. D'un point de prélèvement à un autre ; il a été préférable de refaire ces analyses. Les résultats sont représentés ci –dessous :

I.2.1. L'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est faite selon les normes AFNORE (NF 1996). On a modifié la série de tamis en remplaçant le tamis de diamètre 0.64 mm par deux tamis, l'un de diamètre 0.8 mm et l'autre de diamètre 0.5 mm. En outre, afin de mieux représenter la distribution des grains, on a ajouté à la série d'AFNOR deux tamis de diamètres respectivement 0.125 mm et 0.2 mm. Ainsi la série utilisée, est comme suit : 0.063 ; 0.08 ; 0.125 ; 0.16 ; 0.2 ; 0.315 ; 0.5 ; 0.8 ; 1 mm. Nous avons arrêté à 1mm par ce que au-delà de 1mm il n'y a pas de refus. Une masse de 200 g de sable est pris. Elle est tamisée à travers la série de tamis indiquée au dessus. Les résultats de l'analyse granulométrique sont représentés sur la figure (1). (Baize D. 2000)

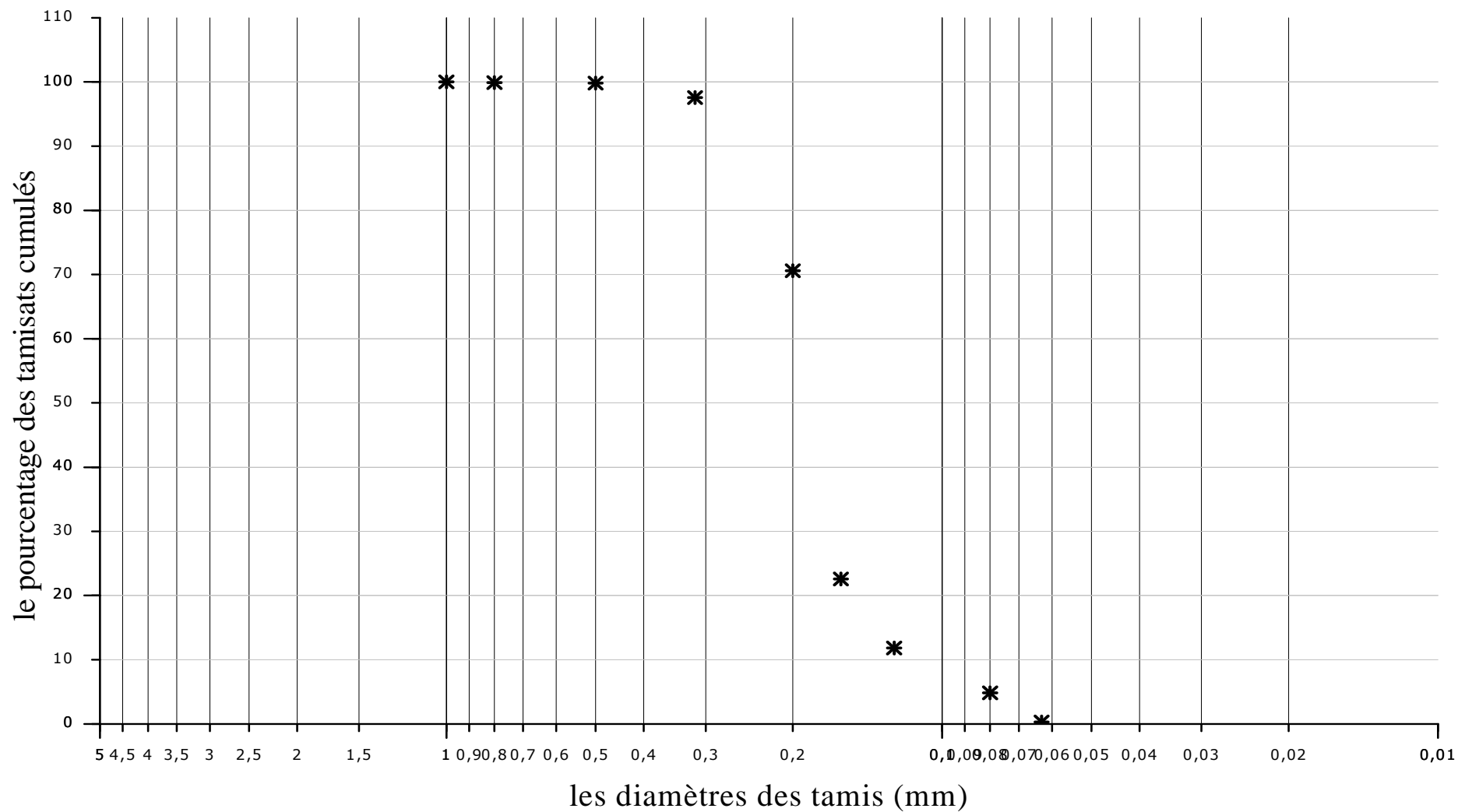


Fig. (03) La courbe granulométrique du sable utilisé

A partir de la courbe granulométrique, les constatations qui peuvent être illustrées sont :

- Le sable utilisé est un mélange entre le sable fin et sable grossier.
- La quasi totalité des grains a un diamètre inférieur à 1 mm.

Ce sable présente les caractéristiques suivantes :

a. Le diamètre efficace D_E

Le diamètre efficace D_{10} exprime le diamètre de l'ouverture de tamis qui laisse passer 10% de l'échantillon du sable. Il représente conventionnellement, le diamètre moyen des grains du sable. Le sable utilisé a un diamètre efficace de $D_E = 0.11$ mm c'est à dire le diamètre moyen des grains est de 0.11 mm. Donc le sable est un sable fin (Castany G. 1982 et De Marsily G. 1994)

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 $C_U < 2$ ou 2.5. Pour le sable utilisé, $C_U = 1.72 < 2$ ce sable a une granulométrie uniforme. Cette valeur nous indique que notre sable répond aux exigences de la filtration lente, qui exige $0.7 < C_U < 3$ (Castany G. 1982, Musy A. 1991 et Nur M. 1996)

c. Le coefficient de classement C_c

Il s'agit du rapport entre deux diamètres apparents définis de telle sorte que la taille de 75% et respectivement 25% des particules soient inférieure. Ce coefficient constitue un indice de variation relative de la pente de la courbe :

$$C_c = \frac{d_{75}}{d_{25}} \quad (14)$$

Pour le sable utilisé, $C_c = 1.37$ donc le sable est un sable fin.

d. 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 : (Castany G. 1982 et Bonneau M. 1994)

$$A_s = \frac{(1-n)}{\Gamma} \sum_{i=1}^k \frac{12}{(d_{i+1} + d_i)} \cdot \frac{m_i}{M} \quad (15)$$

k : Nombre de tamis utilisés

d_i : Diamètre de la maille du $i^{\text{ième}}$ tamis (mm)

m_i : Masse de tamisât récupérée entre le $i^{\text{ième}}$ et le $i+1^{\text{ième}}$ tamis (g)

M : Masse totale de l'échantillon (g)

Γ : Facteur de forme qui a été estimé sur le sable entre 0.7 et 0.95

Pour le sable utilisé la surface spécifique est de 40.79 mm/mm²

I.2.2. La porosité totale

La porosité totale, représente le pourcentage des vides existants dans un échantillon de sol. Elle est estimée à partir de la mesure de la densité réelle $P_{ré}$ et la densité apparente P_{app} . Pour le sable étudié les résultats de mesures sont recensés comme ci- dessous : (Schneebeli G. 1987 et Lancaster A. 1996)

a. La masse volumique réelle P_{re}

La masse volumique réelle de l'échantillon; prend en considération uniquement le volume des grains solide. Elle est mesurée par la méthode du pycnomètre à eau, selon les normes AFNOR (NF 1996). Pour le sable utilisé la densité réelle est de $P_{ré} = 2643.8 \text{ kg/m}^3$. Cette valeur montre que notre sable est un sable minéral et se trouve résistant à l'altération chimique et physique. (Aubert G.1978 et)

b. La masse volumique apparente P_{app}

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 19996) au niveau du laboratoire *de biogéochimie des milieux désertique*. Pour le sable étudié la densité apparente est de $P_{app} = 1481 \text{ kg/m}^3$. Cette valeur montre que le sable étudié est un sable fin.

La valeur de la porosité totale $n\%$, est déterminée en utilisant les valeurs de $P_{ré}$ et P_{app} par la formule suivante : (Abert G. 1978 et Musy A. 1991)

$$n\% = \left(1 - \frac{P_{app}}{P_{ré}} \right) \times 100 \quad (16)$$

L'application numérique des valeurs de la densité réelle $P_{ré}$ avec la densité apparente P_{app} , ainsi la valeur de la porosité du sable utilisé est de $n\% = 43.98\%$. Dans ce cas le sable est considéré un sable de granulométrie fine et de forte porosité.

I.2.3 La perméabilité

La perméabilité, représente l'aptitude d'un sol à se laisser traverser par l'eau, sous l'effet d'un gradient hydraulique. Pour la détermination de la perméabilité des formules empiriques sont utilisées; telles que la formule de KOSENY-CARMAN, de HAZEN et celle de BRETJENSKI. Les formules de HAZEN et de BRETJENSKI ont été utilisées car elles se trouvent simples à appliquer. (Schneebeli G.1987 et De Marsily G. 1994)

- La formule de BRETJENSKI (utilisable seulement pour les sable)

$$n = 0.117 \sqrt[3]{K} \quad (\text{km/j}) \quad (17)$$

Pour le sable utilisé la perméabilité est de $K = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ Cette valeur désigne que le sable est de bonne perméabilité.

- La formule de HAZEN :

$$\log_{10} k = 2 \log_{10} d_{10} - 3 \quad (18)$$

Dans cette étude $d_{10} = 0.11 \text{ mm}$ donc $k = 1.2 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2$ qui donne $K = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

Donc les deux formules donnent la même valeur, qui indique que c'est un sable fin de bonne perméabilité. (Schneebeli G. 1987 et De Marsily G. 1994)

I.2.4 Le pH

Le pH d'un échantillon du sol, rend compte de la teneur en ions H^+ . La mesure du pH est effectuée sur un extrait du sol avec de l'eau distillée; de rapport 1/10. Il s'exprime selon une échelle de 0 à 14. Les valeurs faibles indiquent une acidité, les valeurs supérieures à 7 correspondant à un caractère basique. Le pH est mesuré avec un ph-mètre *WTW InoLab PH 370* selon les normes AFES (AFES 1995) AU niveau *des laboratoires pédagogique de l'I.T.A.S*. Pour le sable utilisé le pH est de 8.46 donc le sable étudié est un sable basique. (Abert G. 1978 et Baize D. 2000)

I.2.5 La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique représente, l'aptitude d'une solution aqueuse pour conduire un courant électrique. Cette aptitude dépend de la teneur en sel d'un échantillon du sol. Elle est mesurée à l'aide d'un conductimètre *WTW InoLab Cond 720*, selon les normes AFES (AFES 1995), sur un extrait du sol (de même façon que le pH) au niveau *des laboratoires pédagogique de l'I.T.A.S*. Pour le sable étudié, elle 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. (Abert G. 1978 et Baize D. 2000)

I.2.6 La teneur en 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 au niveau du *laboratoire de biogéochimie des milieux désertique*. Pour le sable utilisé,

le résultat obtenu en MO est de 79 mg/g de sol ce qui présente 0.079 %. On remarque que ce sable est pauvre en MO. (Abert G. 1978, A. Musy 1991 et Baize D.2000)

Les analyses du sable, montrent que le sable étudié est un sable de granulométrie fine, uniforme, pauvre en matière organique, de bonne perméabilité, légèrement salé, et de pH basique. Ce qui représente des caractéristiques optimales pour la filtration biologique.

II. Caractérisation des eaux usées utilisées

II.1 Introduction

La qualité de l'eau usée varie d'une compagnie à une autre, selon leur origine. Dans la présente étude deux types d'eau usée sont utilisés. Le premier pour étudier le colmatage, c'est une eau usée synthétique préparée au laboratoire. Le deuxième type est une eau de vanne pour étudier le rendement épuratoire.

II.2. Les eaux usées préparées au laboratoire E_p

Les composés organiques existants dans l'eau usée sont instables ce qui provoque des changements au niveau de leurs caractéristiques d'une compagnie à une autre. Pour cette raison des eaux usées préparées au laboratoire sont utilisées en prenant compte de faire une composition d'une eau usée domestique. Cette eau est préparée en mélangeant quelques produits d'alimentation domestique avec de l'eau en s'assurant que ces produits contiennent tous les produits chimiques susceptibles d'être présent dans une eau usée domestique en concentration considérable.

II.2.1 Qualité des eaux

Pour assurer que la qualité d'eau reste relativement stable, des essais de mesures des paramètres de pollution sont effectués plusieurs fois. Les écarts entre les valeurs sont très faibles voir même négligeables. Pour cela, on a pris en compte les moyennes arithmétiques.

II.2.1.1. La demande biochimique en oxygène DBO_5

La demande biochimique en oxygène après cinq jours d'un échantillon, est la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes aérobies présents dans cet échantillon. Pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques. La détermination de la DBO_5 est faite plusieurs fois selon les normes

AFNOR; suivant la méthode manométrique, sur des échantillons non dilués (NF EN 1899-2). La moyenne arithmétique est de 220 mg/l (**Satin M. 1999 et Rejsek F. 2002**)

II.2.1.2. La demande chimique en oxygène DCO

Elle représente la concentration exprimée en mg/l d'oxygène équivalent à la quantité de dichromates consommée par la matière dissoute et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant, dans les conditions des normes. La DCO est mesurée plusieurs fois, selon les normes AFNOR, par oxydation des matières réductrices contenues dans l'eau; et par un excès de dichromate de potassium (NFT 90-101). La moyenne arithmétique est de 600 mg/l. (**Dégrément 1989 et Rejsek F. 2002**)

II.2.1.3. Les matières en suspensions MES

Les MES représentent les pollutions particulières ; qui sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal). La mesure de MES est effectuée plusieurs fois selon les normes EN, par la méthode de filtration (EN 872 : 1996). Les écarts entre les valeurs sont très faibles voir même négligeables; pour cela on a calculé la moyenne arithmétique qui est de 245 mg/l. (**Rodier J. 1996 et Rejsek F. 2002**)

II.2.1.4. L'azote Kjeldahl NK

Il représente l'azote réduit contenu dans un échantillon d'eau. La mesure de l'azote Kjeldahl (noté NK d'après la norme "NFT 90-110") est effectué plusieurs fois selon le normes AFNOR (NF EN 25663) la valeur moyenne est de 36.4 mg/l. (**Rodier J. 1996 et Rejsek F. 2002**)

II.2.1.5. Le pH

Le pH est en relation avec la concentration en ions H⁺ présents dans un échantillon d'eau. La mesure du pH est effectuée plusieurs fois selon les normes AFNOR par la méthode potentiométrique (NFT 90-017) en utilisant le pH-mètre. La valeur moyenne est de 6.94. (**Rodier J. 1996 et Rejsek F. 2002**)

Les valeurs moyennes des caractéristiques des eaux usées préparées au laboratoire, sont résumées au tableau (06) avec les normes des eaux usées domestiques

Tableau 06 : la qualité des eaux usées préparées au laboratoire

Caractéristique	Valeur	Norme des eaux domestiques
DBO ₅	220 ± 20mg/l	100 à 500 mg /l
DCO	600 ± 10 mg/l	300 à 1000 mg /l
NK	36.4 ± 3 mg/l	30 à 100 mg/l
MES	245 ± 15 mg/l	100 à 400 mg /l
pH	6.94 ± 0.5	7.5 à 8.5

L'évaluation de la fraction des composés organiques biodégradables, est déterminée par le rapport DCO/DBO₅ dite rapport de biodégradabilité, sur la base de cet indice la biodégradation peut être déterminée comme suit :

- DCO/DBO₅ = 1 : toute la matière organique est biodégradable;
- 1 < DCO/DBO₅ < 2.5 : l'épuration biologique s'effectue normalement;
- 2.5 < DCO/DBO₅ < 3 : Traitement biologique associé à un traitement physico-chimique;
- DCO/DBO₅ > 3 : un traitement physicochimique est envisagé.

Pour l'eau utilisée, la valeur de ce rapport est de 2.72. Donc cette eau est faiblement biodégradable et la qualité d'eau utilisée est identique à celle de la qualité d'une eau usée domestique après décantation (Rodier J. 1996 et Rejsek F.2002)

II.2. Les eaux de vanne EV

Les eaux usées utilisées pour l'étude du rendement épuratoire, sont des eaux prélevées au niveau d'une regard principale de la cité universitaire de 1000 étudiants, qui se trouve en face à la département de l'hydraulique et génie civil; université de OUARGLA. La qualité de ces eaux est déterminée de la même manière que les eaux préparées au laboratoire. Les eaux de vanne représentent les caractéristiques présentées au tableau (07)

Tableau 07 : qualité des eaux de vanne

Caractéristique	Valeur	Norme des eaux domestiques
DBO ₅	120 ± 10 mg/l	100 à 500 mg /l
DCO	350.4 ± 10 mg/l	300 à 1000 mg /l
MES	591 ± 20mg/l	100 à 400 mg /l
pH	6.96 ± 0.5	7.5 à 8.5

Pour les eaux de vanne la valeur du rapport de biodégradabilité est variée entre 2.92 Donc cette eau est faiblement biodégradable et la qualité d'eau utilisée est instable et l'intervalle de variation est considérable; mais on utilise cette eau pour étudier le rendement.

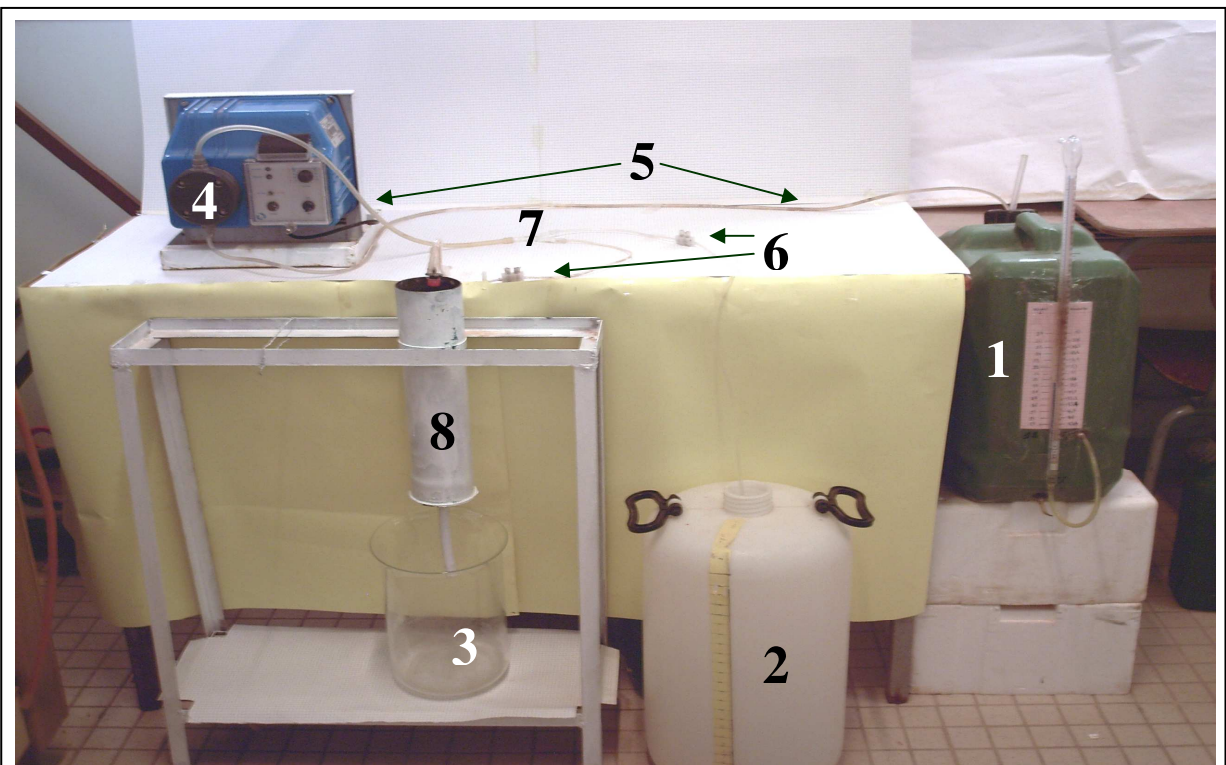
III. Dispositif expérimental

III.1 Introduction

Pour arriver aux objectifs de notre travail de recherche on est obligé de faire un dispositif d'expérimental répond à la fiabilité et à la technicité de nous exigences. Pour ce la on a utilisé deux variantes de montage; la première pour l'étude du colmatage, et la deuxième pour étudier le rendement épuratoire. La réalisation des deux montage nécessite une période de travail dépasse trois mois.

III.2. Dispositif d'étude du colmatage

Pour l'étude du colmatage nous avons constitué le dispositif expérimental présenté dans la photo (1).



- | | |
|------------------------------------|---|
| 1. Bac d'alimentation | 5. Tuyauteries de refoulement et d'aspiration |
| 2. Bac de recyclage | 6. Vannes |
| 3. Un récipient pour l'eau filtrée | 7. Pièce sous forme Y |
| 4. Une pompe. | |

Photo 01: Dispositif expérimental pour l'étude du colmatage

- Bac d'alimentation

Le bac d'alimentation est un récipient en plastique ordinaire de 30 l de volume utilisé comme réservoir équipé par un piézomètre pour contrôler le volume utilisé. Ce bac a aussi le rôle d'un décanteur.(voire photo 01)

- Bac de recyclage

Le bac de recyclage est un récipient en plastique ordinaire de 10 l de volume utilisé pour récupérer le surplus d'eau d'alimentation afin de les réutilisés dans l'alimentation (voire photo 01)

- Récipient pour l'eau filtrée

Un récipient en plastique ordinaire de 5 l est mis en place pour récupérer l'eau filtrée. (Voire photo 01)

- Une pompe

L'alimentation du filtre est faite d'une manière régulière et continue à l'aide d'une pompe à piston de la marque HD MA. De débit réglable utilisée pour le dosage du chlore dans l'eau potable. Le matériau de fabrication de la pompe résiste à l'agressivité de l'eau usée. Le débit théorique de la pompe est de 2 à 20 litre/ heure. (Voire photo 01)

- Tuyauteries

Pour assurer l'alimentation continue et uniforme du filtre, des tuyauteries en matière plastique souple et transparente sont utilisés comme suit :

- Tuyau transparent d'aspiration d'un diamètre de 5 mm entre le bac d'alimentation et la pompe.
- Tuyau transparent de refoulement de diamètre de 5 mm entre la pompe et le nœud de séparation du débit.
- Deux tuyaux transparents de diamètre de 2 mm pour l'alimentation du filtre et aussi le transport de surplus d'eau vers le bac de recyclage.

- Les accessoires

Le débit de la pompe est variable et supérieur au débit voulu, pour cela l'utilisation de trois pièces spéciales est nécessaire a fin d'ajuster le débit comme suit :

- Le débit de la pompe est réparti à l'aide d'une pièce sous forme Y en deux parties; une partie est destinée à l'alimentation du filtre l'autre partie est recyclée. (Voire photo 03)
- goutteur utilisé dans l'irrigation par dispersion; pour la distribution homogène de l'effluent (Voire photo 02)
- Vannes de régulation pour obtenir le débit adéquat. (Voire photo 03)



Photo 02: Goutteur



Photo 03: Vannes et pièce de forme Y

III.2. 1. Pilote de filtration

Les filtres qui ont été utilisés sont des colonnes en PVC, de diamètre 78 mm et de hauteur 35 cm. Le lit de sable utilisé comme couche filtrante a une épaisseur de 30 cm, et une section de 47.78 cm^2 . Ce dernier est posé sur une petite couche de tissus poreux d'épaisseur 0.5 mm. Chaque filtre est équipé par un dispositif de drainage; un tuyau de 15 mm de diamètre monté à la base de la colonne. (LAKEL A. 1998 et Jimenez B.2000)

III. 2.2. Calcul des débits

Le dimensionnement d'un filtre à sable pour l'épuration des eaux usées se base sur la détermination des débits issus de l'habitation; qui dépend de la consommation en eau potable. La consommation d'un habitant est évaluée entre 150 à 250 l/j selon le

niveau de vie. Dans la région d'étude la consommation est estimée de 150 l/j. après utilisation cette quantité est réduite à 70 %, ce qui donne une valeur de 105 l/j pour chaque habitant. La filtration de tel débit nécessite une surface de sable de 2 à 2.5 m². 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. La section est de 47.78 cm² donc le débit qui devra traverser cette surface est de 0.1 l/h. (Lakel A. 1998 et Satin M. 1999 et VAN CUYK A. S. 2001)

Pour faire fonctionner les filtres le maximum possible nous faisons appel à une petite modification au niveau du débit d'alimentation de telle sorte que nous resterons toujours dans l'application d'une filtration lente; nous avons un écoulement à travers un milieu poreux de porosité initiale n_i , la section apparente traversée par l'eau est de A , le débit est Q ; pour que la filtration soit lente il faut que la vitesse de filtration soit entre 2 et 7 m/jour. La vitesse apparente de filtration est déterminée par la formule suivante :

(19)

Avec :

$$V = \frac{Q}{A}$$

V : La vitesse d'écoulement en m/s

Q : Le débit traversant le filtre en m³/s

A : La section apparente du filtre en m²

La vitesse réelle de filtration est déterminée par la formule suivante :

$$V_f = \frac{V}{n} \quad (20)$$

Avec :

V_f : La vitesse moyenne de filtration en m/s

V : La vitesse d'écoulement en m/s

n : La porosité de la couche filtrante.

Nous avons un débit d'alimentation de $1.1 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3 / \text{s}$ avec la section apparente du filtre de $4.77 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ ce qui nous donne une vitesse apparente de l'écoulement égale à $8.30 \text{ cm} / \text{h}$. Dans ce sens une porosité initiale du sable de 43.98% et une vitesse

moyenne de filtration au début de l'opération de 18.87 cm/h c'est-à-dire 4.53 m/j nous indique que la filtration est lente.

A la fin de l'expérience la porosité finale du sable est de 34.79% avec la vitesse moyenne de filtration au début de la filtration s qui est de 23.85 cm/h c'est-à-dire 5.72 m/j qui indique que la filtration reste lente.

A partir de cette modification nous pouvons dire qu'une heure de travail du modèle est équivalente à 40 heures dans le cas réel. (Coulomb R.1980)

III.2.3. Mise en marche des pilotes

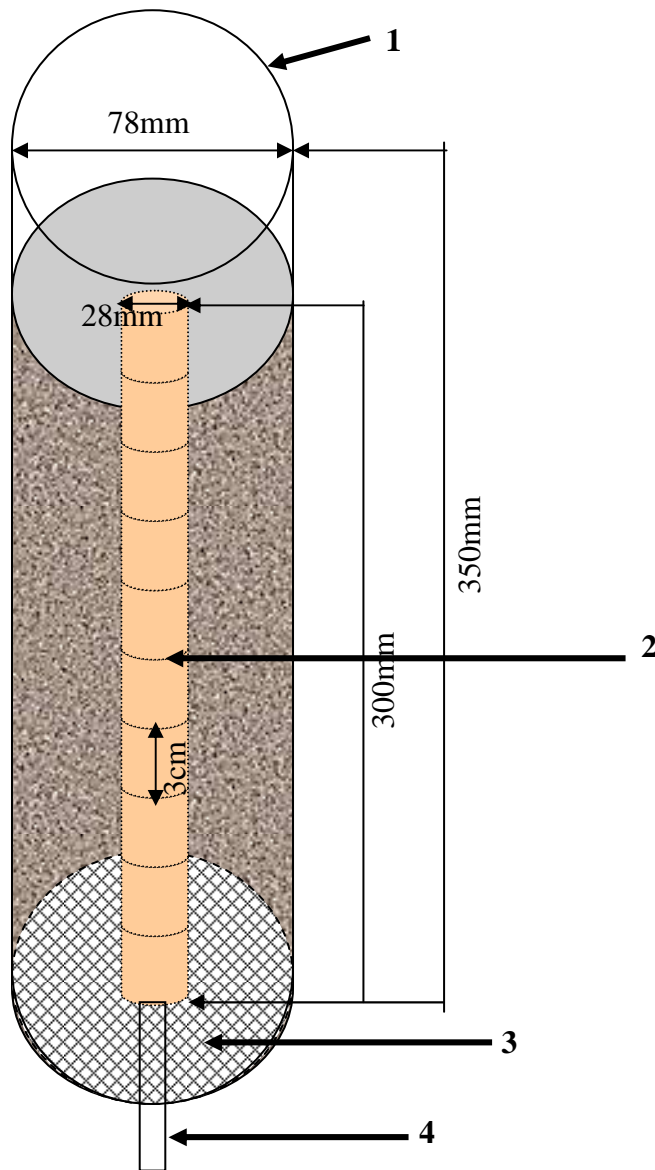
Dans la présente étude, sept filtres ont été utilisés afin d'épurer les eaux usées. Les filtres sont numérotés de 1 à 7. Chaque filtre fonctionne indépendamment des autres filtres pendant une durée bien précise. Les durées de fonctionnement des filtres sont respectivement, une journée pour le filtre numéro 1, deux jours pour le filtre numéro 2, jusqu'à sept jours pour le filtre numéro 7. Le sable utilisé est réparti d'une façon homogène dans les colonnes en PVC. Les filtres sont alimentés avec de l'eau usée synthétique E_p avec débit moyen de 0.4 l/h .

III.2.4. Méthode de prélèvement

Plusieurs méthodes de prélèvement de sol recensées dans la bibliographie ont été testées à l'échelle de notre pilote, a fin de pouvoir obtenir des échantillons représentatifs du sable contenu dans le filtre. La méthode se base sur l'échantillon de sol non remanié c'est-à-dire d'un échantillon dont la structure n'a pas été modifiée. En utilisant des petits cylindres en PVC de diamètre de 28 mm et de 30 mm de hauteur. Ces cylindres rassemblés entre eux constituent un tube; qui doit être axialement posé dans la colonne avant le remplissage avec du sable (voire fig.04)

Après l'arrêt d'alimentation du filtre le sable est dégagé autour le cylindre de prélèvement; en creusant autour avec une spatule. Ensuite le cylindre est enlevé et dissocié en 10 petits cylindres de 3 cm d'épaisseur. Chaque cylindre présente une couche. Les petites carottes de sable sont séchées dans l'étuve à 105° pendant 24 heures.

Pour obtenir des résultats plus précis, la méthode reste à diviser le pilote en dix couches nous faisons les analyses sur des échantillons par alternance de façon à obtenir des variations lisibles.



- 1 -colonne en PVC
- 2- cylindres de prélèvement
- 3- couche poreuse
- 4 -tuyau de drainage

Fig. (04) Schéma du pilote de filtration

III.3. Dispositif d'étude de rendement épuratoire

Pour l'étude du rendement épuratoire, on a utilisé le même dispositif expérimental pour le colmatage, mais avec des modifications. On a remplacé la pièce sous forme Y de séparation de débit, par une pièce contenant quatre vannes de réglage en série. Cette pièce est utilisée pour la distribution de l'oxygène dans les aquarium (voire photo 04). Elle nous permet de séparer le flux d'alimentation en quatre parties égales, pour alimenter quatre filtres fonctionnent en parallèle (voire photo 05). Les filtres ont les mêmes caractéristiques que les filtres utilisés pour l'étude du colmatage. Les eaux utilisées pour l'alimentation des filtres sont les eaux de vanne E_v .

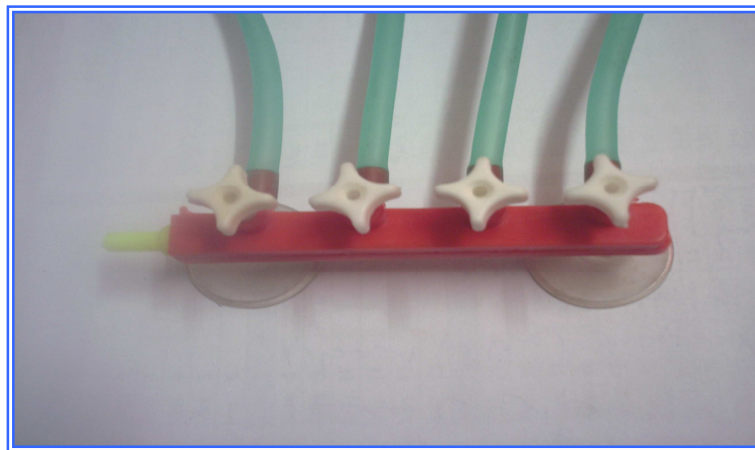


Photo 04: Pièce pour séparation de débit



Photo 05: Dispositif expérimental pour l'étude du rendement

III.3.1. débit d'alimentation

Le calcul de débit d'alimentation des filtres destinés à l'étude du rendement, se fait de la même manière que le débit d'alimentation pour les filtres utilisés dans l'étude de colmatage; avec la même échelle; c'est-à-dire où chaque heure correspond a 40 heures

IV. Résultats et discussions

IV.1 Introduction

L'objectif principal de cette étude, est le suivi de l'évolution du colmatage dans les filtres à sable de dunes. Pour atteindre cet objectif l'étude de la variation de ce paramètre a été faite en fonction du temps et de la profondeur de la couche filtrante.

Les mesures de la porosité et de la teneur en matière organique du sable sont effectuées chaque jour.

IV.2. La porosité

Les mesures de la densité réelle et la densité apparente sont prises régulièrement toutes les 24 heures à fin de calculer la porosité sur des échantillons de sable travaillé pendant un temps précis au niveau chaque profondeur.

IV.2.1 La détermination de la densité réelle

La détermination de la densité réelle est effectuée par la méthode de pycnomètre à eau.

IV.2.2 La détermination de la densité apparente

La méthode de cylindre est utilisée pour la détermination de la densité apparente.

La porosité du sol est déterminée par la formule :

$$n\% = \left(1 - \frac{P_{app}}{P_{ré}}\right) \times 100 \quad (21)$$

$n\%$: la porosité du sol

P_{app} : la densité apparente

$P_{ré}$: la densité réelle

Le travail s'est faire en trois reprises. Le tableau (08) nous donne les moyennes des valeurs mesurées, parallèlement le tableau (09) résume les écarts types correspondants à la mesure de la porosité et pour chaque couche.

Tableau 08 : la porosité après le fonctionnement des filtres (%)

Temps (h) profondeur (cm)	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h
3	40,06	39,01	37,45	36,42	35,40	35,14	34,79
9	40,27	39,42	38,12	37,08	36,17	35,68	35,25
15	40,90	39,81	38,6	37,67	36,6	36,11	35,66
21	41,25	39,98	39,05	38,21	37,28	36,67	36,09
27	41,50	40,40	39,71	39,12	37,7	36,96	36,22

Tableau 09 : les écarts types entre les valeurs de la porosité

Temps (h) profondeur (cm)	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h
1	0,11	0,55	0,13	0,24	0,33	-	-
2	0,29	0,34	0,17	0,23	0,08	-	-
3	0,23	0,54	0,13	0,22	0,34	-	-
4	0,07	0,38	0,17	1,35	0,17	-	-
5	0,14	0,42	0,34	1,32	0,51	-	-

Les écarts présentés au tableau (08) nous indiquent que l'erreur entre les valeurs de la porosité, sont des petites valeurs ce qui va nous permettre d'utiliser les moyennes arithmétiques de la porosité. Ces valeurs sont représentées dans le tableau (09).

Au cours de la filtration, la porosité varie en fonction de la profondeur du filtre, la variation est représentée pour les différentes profondeurs et pour chaque durée de fonctionnement. Le graphe (06) nous donne la représente la variation de la porosité en fonction de la profondeur, et pour chaque durée de fonctionnement.

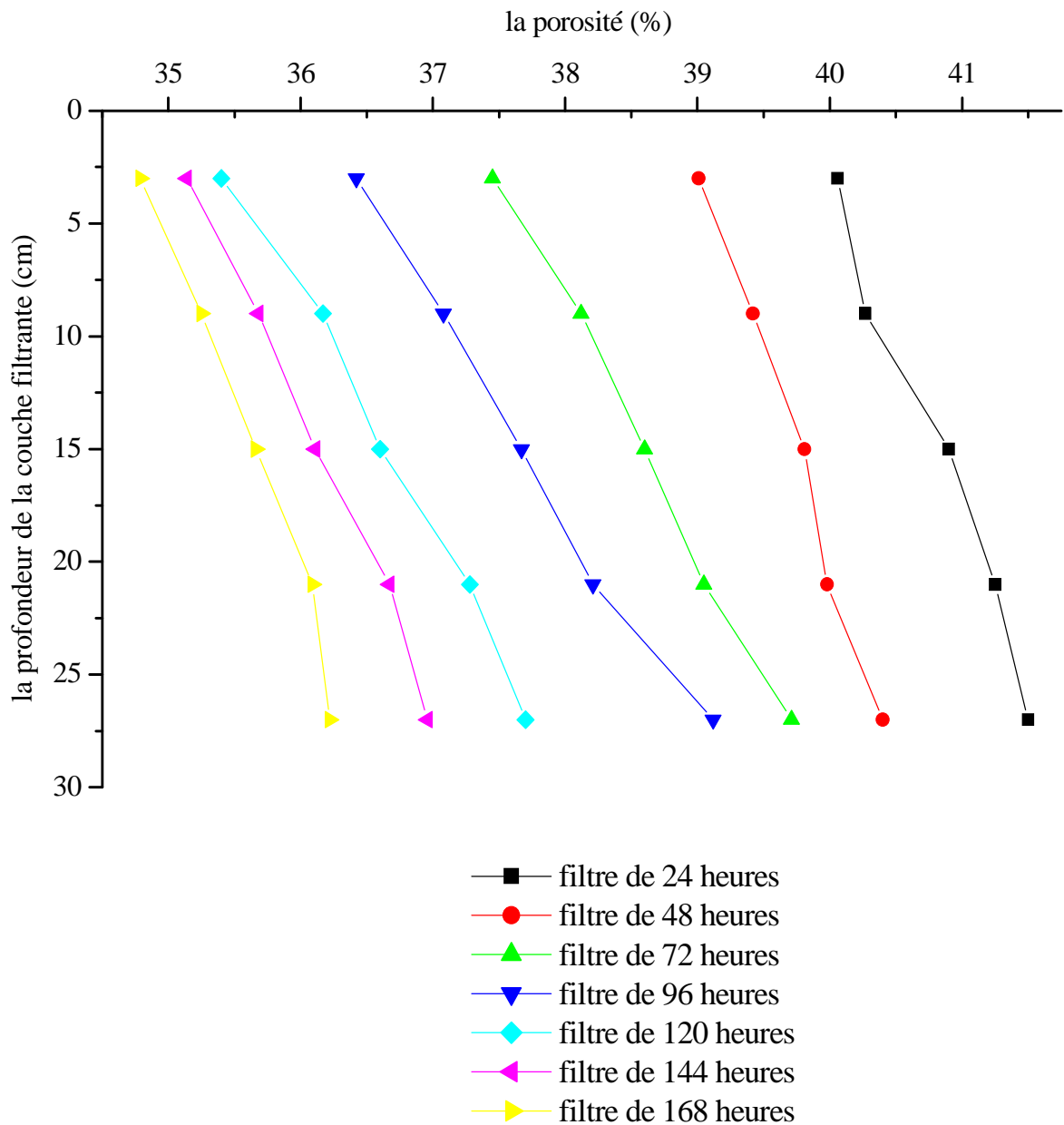


Fig. (05) L'évolution de la porosité en fonction de la profondeur des filtres

L'écoulement de l'eau usée à travers le filtre pendant une certaine période, provoque une variation de la porosité en fonction du temps de fonctionnement. Le graphe (06) nous montre la variation de la porosité en fonction du temps de travail, pour chaque couche.

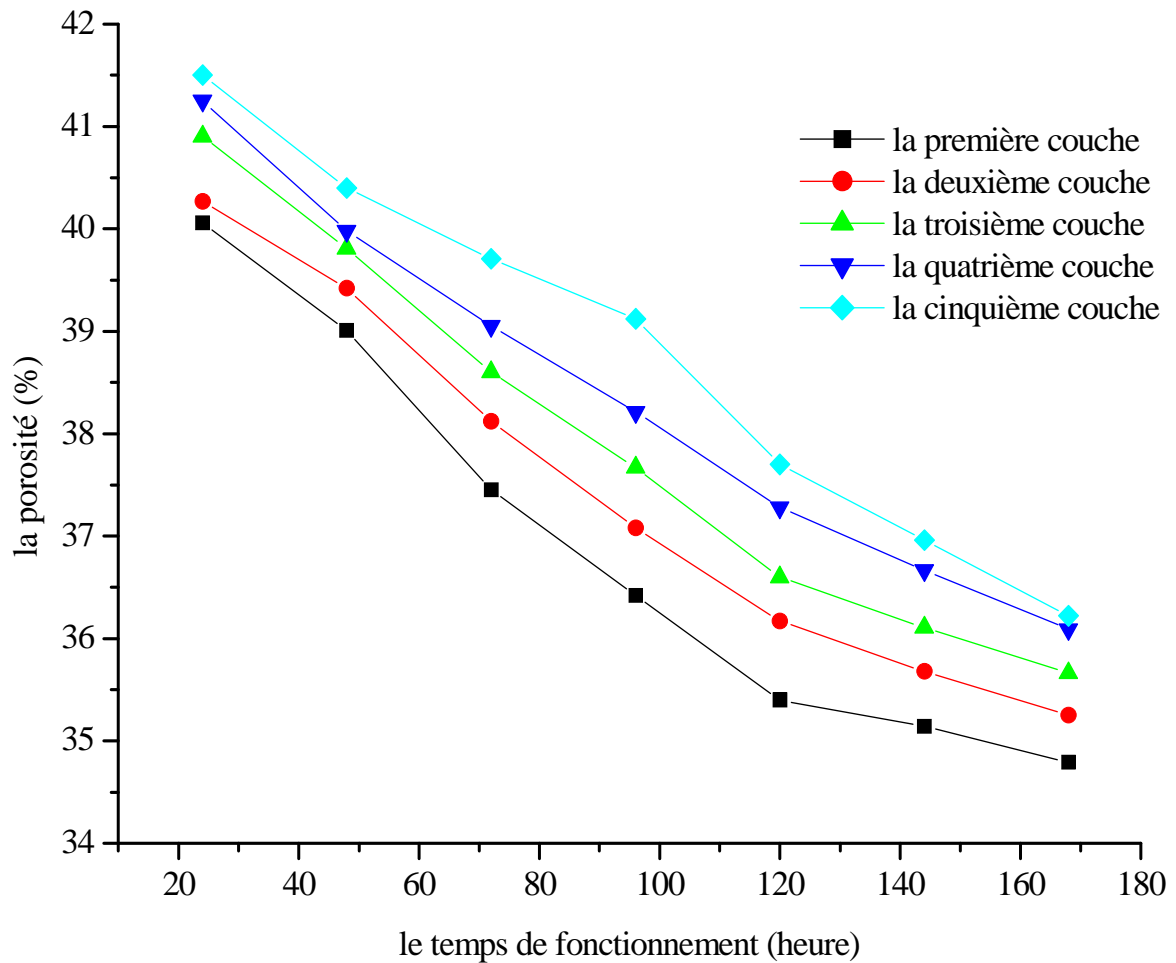


Fig. (06) L'évolution de la porosité en fonction du temps de fonctionnement

IV.3 Le colmatage (CO)

C'est l'obstruction progressive des interstices du matériau filtrant. Il provoque une augmentation de la perte de charge ; la vitesse de colmatage dépend du type de support filtrant et de la qualité de l'eau filtrer.

A partir de la définition du colmatage, on admet que le colmatage du filtre est le pourcentage des vides remplis par rapport à la totalité de la porosité initiale; on le calcul par la relation suivante :

$$CO = \left(1 - \frac{n_f}{n_i}\right) \times 100 \quad (22)$$

n_i % a porosité initiale on a $n_i = 43.98$ %

n_f est la porosité finale après le fonctionnement des filtres.

Pour les valeurs de la porosité présentées dans le tableau (08), nous aurons les valeurs du colmatage correspondants qui sont présentées dans le tableau (10).

Tableau 10 : Les valeurs du colmatage (%)

Temps (h) / profondeur (cm)	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h
3	8,92	11,30	14,84	17,19	19,52	20,10	20,90
9	8,44	10,37	13,32	15,69	17,76	18,87	19,85
15	7,00	9,49	12,23	14,36	16,78	17,89	18,92
21	6,21	9,10	11,20	13,12	15,23	16,62	17,94
27	5,63	8,13	9,71	11,06	14,28	15,96	17,64

Au cours de la filtration, le taux de colmatage varie en fonction de la profondeur du filtre; et cette variation est représentée pour les différentes profondeurs pour chaque durée de fonctionnement. D'après ce tableau, la représentation des données définies dans le tableau nous finalise au graphe (07) déterminant les variations du colmatage en fonction de la profondeur pour chaque période de travail, parallèlement le graphe de la figure (08) nous indique la variation du colmatage en fonction du temps de travail pour chaque couche du filtre.

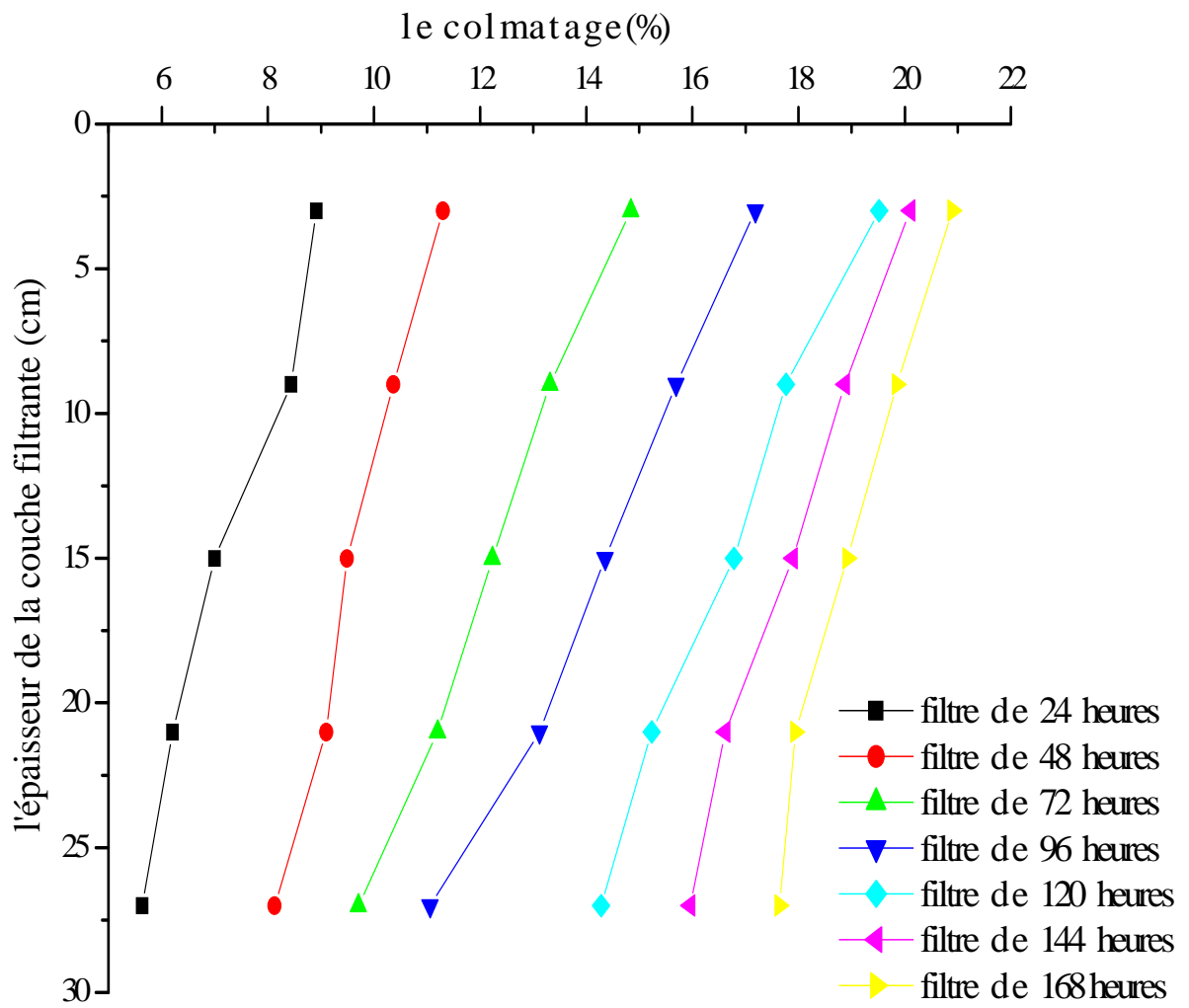


Fig. (07) L'évolution du colmatage en fonction de la profondeur

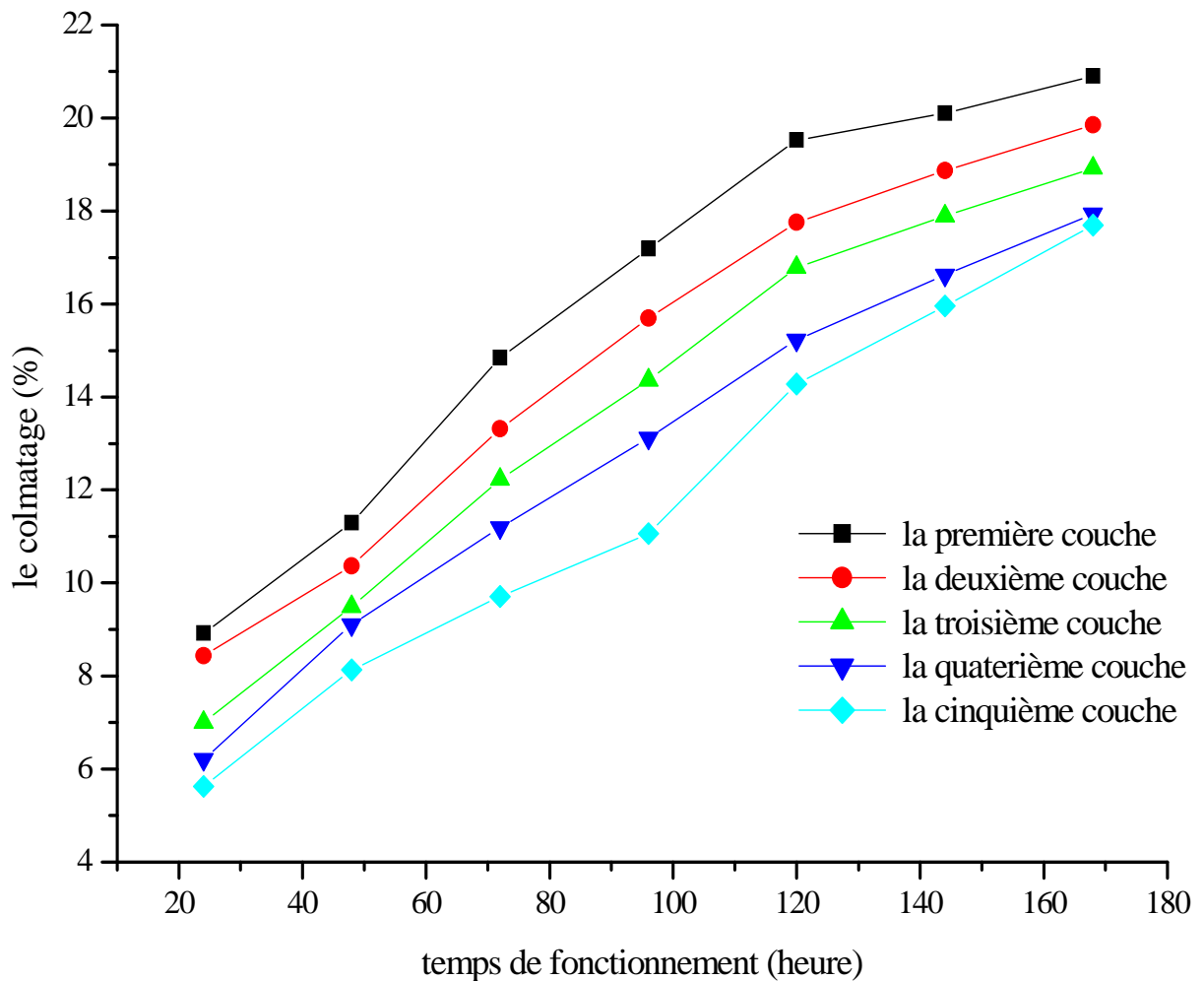


Fig. (08) L'évolution du colmatage en fonction du temps de fonctionnement

IV.4. Interprétation des résultats

Les courbes représentées aux figures (05) et (07); montrent que les valeurs de la porosité au niveau de la surface sont inférieures à celles des autres couches. Comme il existe une différence de la porosité entre la première couche et la dernière couche et qui peut aller jusqu'à 2%. Les courbes prennent une allure plus ou moins linéaire de la troisième couche. Cette linéarité peut être reliée aux causes de la diminution de la porosité; dans les deux premiers filtres la diminution est due à l'accumulation de la MES surtout la MO et beaucoup plus la réorganisation et l'arrangement des grains de sable, à cause de l'écoulement. Par contre pour les autres filtres la réorganisation des grains sera faible devant la diminution due à l'accumulation de la MES par le mécanisme de tamisage de cette dernière par les grains de sable.

Nous remarquons aussi que la différence entre la porosité du deuxième filtre et celle du troisième est considérable (2.11%) cela peut être lié à la formation du film biologique au niveau de la première couche, en cette période (**Coulomb R. 1980 et Gougoussis C. 1978**).

Les courbes représentées aux figures (06) et (08), montrent que la porosité est décroissante avec le temps de fonctionnement. Les valeurs de la porosité au niveau des surfaces des filtres sont nettement inférieures à celles des couches profondes. Comme la différence de la porosité entre le premier filtre et le dernier peut aller jusqu'à 6.5 %. Les courbes prennent une allure plus ou moins linéaire, avec une pente négative dès le troisième point. Ces modifications de la porosité appelés colmatage; qui peut être classé en trois types (**Rodgers M. 2004 et Djididi N.1991**): colmatage mécanique provoqué par le tassement du support filtrant, et la réorganisation des squelette solide de la couche filtrante, colmatage physique due l'accumulation des matières en suspension sur les grain du sable; dans la mécanisme de tamisage (le filtre joue le rôle d'un passoire) (**Degrément 1989**). Le troisième type de colmatage est le colmatage biochimique; qui est provoqué par l'adsorption des matières dissoutes en particulier les matières organiques et la formation des micro-organisme et les algues surtout sur la surface du filtre ce qui explique la différence entre les couches superficielles et les couches profondes. (**Rodgers M. 2004 et Djididi N.1991**)

IV.5. La teneur en matière organique

Après le fonctionnement des filtres la teneur en MO est mesurée pour chaque couche par la méthode Anne. Les mesures sont faites plusieurs fois pour chaque couche; chaque 24 heures. Les valeurs moyennes de la teneur en MO sont représentées au tableau (11).

Tableau 11 : La matière organique après fonctionnement (%)

Temps (h) \ Epaisseur (cm)	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h	168 h
3	0,290	0,425	0,550	0,630	0,840	1,590	2,370
9	0,230	0,34	0,450	0,580	0,720	1,090	1,603
15	0,180	0,265	0,320	0,480	0,610	0,840	1,240
21	0,130	0,160	0,210	0,420	0,500	0,680	1,020
27	0,079	0,11	0,167	0,260	0,394	0,540	0,790

En vue de comprendre la variation de la teneur en matière organique de la couche filtrante en fonction de sa profondeur, cette dernière est représentée sous forme des courbes. Le graphe (09) représente la variation de la teneur en matière organique en fonction de la profondeur pour chque durée de travail.

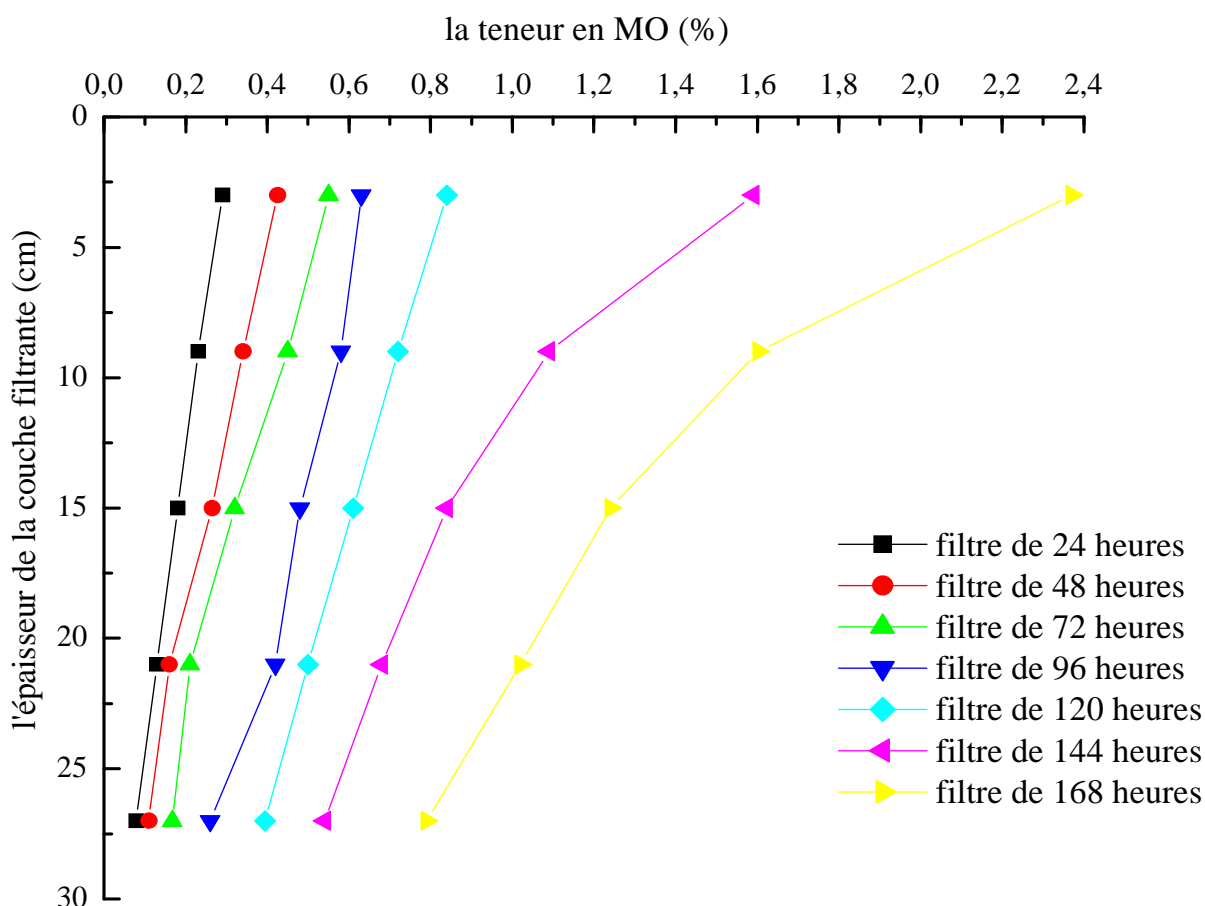


Fig. (09) L'évolution de la teneur en MO en fonction de la profondeur

De même en vue de liser la teneur en matière organique de la couche filtrante, en fonction du temps de fonctionnement, la variation de cette dernière est représentée sous forme des courbes. Le graphe (10) nous donne la variation de la teneur en matière organique en fonction du temps de fonctionnement, pour chaque couche du filtre.

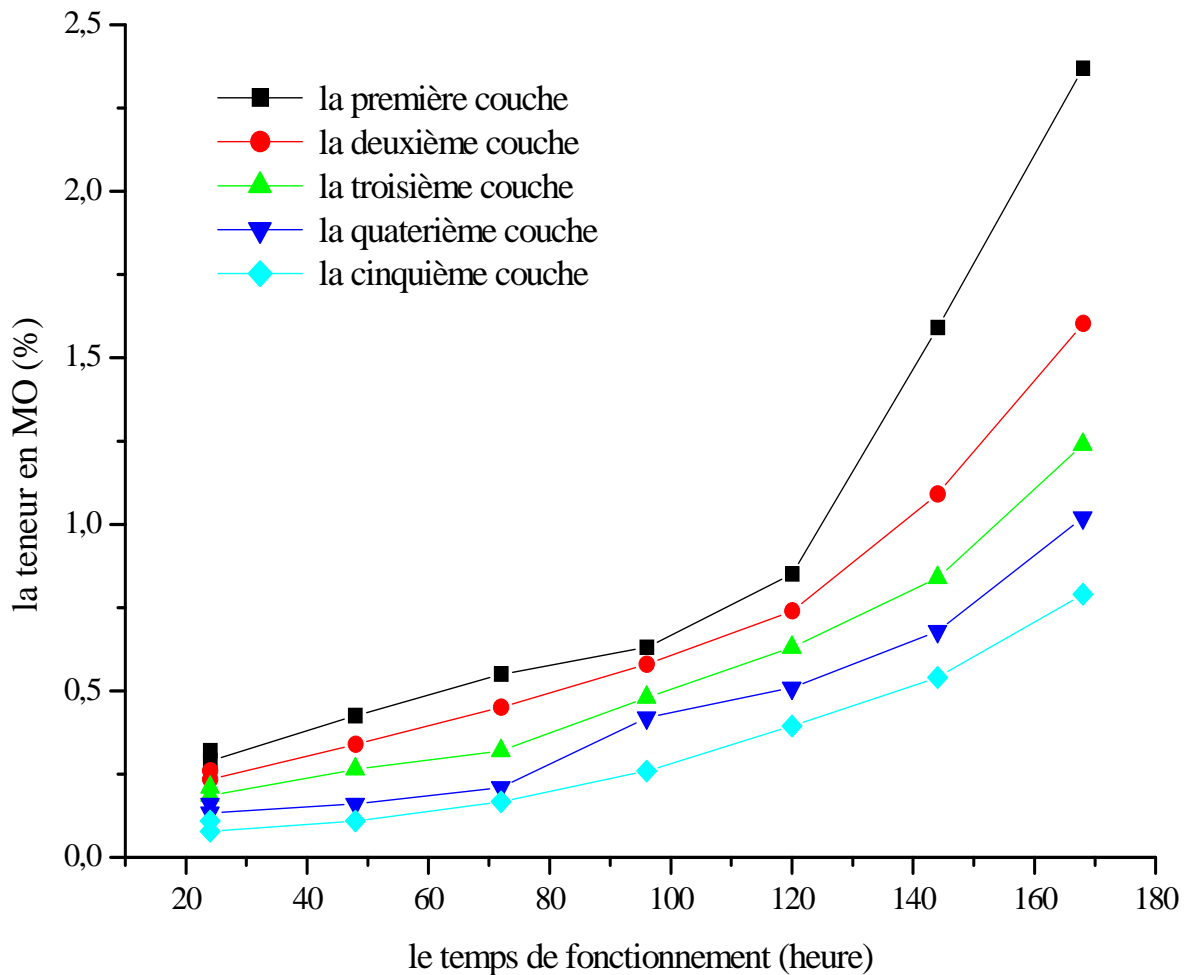


Fig. (10) L'évolution de la teneur en MO en fonction du temps de fonctionnement

IV.6. Interprétation des résultats

A partir des courbes présentées aux figures (09) et (10) nous avons une augmentation de la teneur en MO dès le premier jour de fonctionnement dans les quatre premiers filtres. L'augmentation est plus ou moins régulière car le dépôt en MO est constant cela est due seulement aux apports de la MO par l'écoulement de l'eau usée jusqu'au cinquième point. Dans les autres filtres la teneur en MO est importante par rapport aux premiers filtres à cause de la formation des algues et aussi à la

formation des micro-organismes. (**Laurent P. 1999**) Surtout au niveau des deux premières couches (les 6 centimètre de surface). Nous constatons que ces courbes peuvent se divisées en deux phases.

Les courbes de la variation de la teneur en MO en fonction de l'épaisseur du filtre nous montre que la teneur en MO est décroissante avec la profondeur du filtre (de haut vers le bas). Les valeurs les plus importantes sont au niveau des premiers centimètres du pilote. La variation prend une allure linéaire de même pente jusqu'à 120 heures (équivalent de 200 jours).

Dans le premier filtre la différence entre la teneur en MO de la première couche est celle de la dernière est de 0.21%, devant une différence de 1.28% pour le dernier point. Cette augmentation remarquable peut être expliquée par la formation des algues, qui a été remarquée par l'apparition de la couleur verte au niveau de la surface des filtres à partir du quatrième filtre, et même des micro-organismes au niveau de la surface du filtre. Car c'est une zone de bonne aération qui représente un milieu favorable pour l'apparition d'une activité biologique qui a besoin d'oxygène.

IV. 7. Comparaison entres les différents types du colmatage

Le colmatage se présente en trois formes comme suit : colmatage physique du aux MES, colmatage biologique dû aux M.O (microorganismes) et colmatage chimique dû aux réactions des argiles (**Gougoussis C. 1978 et Djididi N. 1999**). Dans cette étude le colmatage est réparti en trois classes suivant l'origine de ce phénomène et les paramètres mesurés ce qui a donnée le colmatage mécanique

IV. 7. 1. le colmatage mécanique

Ce colmatage est provoqué par l'écoulement de l'eau à travers le support filtrant. Pour l'évaluation de ce colmatage, la mesure de la porosité est effectuée sur des échantillons de sable en utilisant de l'eau potable; qui est supposée ne contenant ni les MES ni la MO. Le colmatage est calculé a partir de la porosité totale a l'aide de la formule utilisée pour le colmatage total. Les résultats sont représentés au tableau (12)

Tableau 12 : les valeurs des colmatage mécanique en (%)

temps (h) \ Epaisseur (cm)	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h
3	0,93	3,07	5,05	5,46	5,75	6,23
9	2,09	3,23	8,98	9,21	11,3	12,66
15	2,43	4,27	9,23	9,23	10,44	12,16
21	2,84	5,53	10,43	10,73	11,09	13,09
27	4,43	6,34	9,16	10,12	11,75	13,37

IV.7.2. Le colmatage organique

Ce colmatage est provoqué dans cette présente étude par le dépôt de la matière organique dissoute et en suspension “l’analyse utilisée nous donne la quantité totale de la matière organique”. Le colmatage organique est calculé par la soustraction de la teneur en matière organique initiale de la teneur en matière organique totale. Il ne provient pas seulement de la teneur en MO dans l'eau mais aussi de la formation des algues et des micro-organismes surtout au niveau des couches superficielles. Les résultats du colmatage organique sont représentés au tableau (13)

Tableau 13 : les valeurs du colmatage organique

Temps (h) \ Epaisseur (cm)	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h
3	0,211	0,346	0,471	0,551	0,771	1,511
9	0,156	0,261	0,371	0,501	0,661	1,011
15	0,106	0,186	0,241	0,401	0,551	0,761
21	0,056	0,081	0,131	0,341	0,431	0,601
27	0	0,031	0,088	0,181	0,316	0,461

IV.7.3. Le colmatage physique

Ce colmatage est estimé à partir du dépôt de la MES minérale; car la MES organique est déjà prise en compte lors du calcul du colmatage organique. Le colmatage physique est calculé en utilisant les autres types de colmatage comme suit :

$$CO_T = CO_{org} + CO_{méc} + CO_{phys} \tag{23}$$

Avec :

CO_T : Colmatage total (%)

CO_{org} : Colmatage organique (%)

$CO_{méc}$: Colmatage mécanique (%)

CO_{phys} : Colmatage physique (%)

Les résultats du colmatage physique sont représentés au tableau (14)

Tableau 14 : les valeurs du colmatage physique

Temps (h) \ Epaisseur (cm)	24 h	48 h	72 h	96 h	120 h	144 h
3	7,78	7,88	9,32	11,18	13,00	12,36
9	6,19	6,88	3,97	5,98	5,80	5,20
15	4,46	5,03	2,76	4,73	5,79	4,97
21	3,31	3,49	0,64	0,75	3,71	2,93
27	1,20	1,76	0,46	0,76	2,21	2,13

On a utilisé les données des tableaux (11), (12), (13) et (14) afin de tracer les histogrammes (11), (12), (13), (14), (15) et (16), représentant la variation des différents types de colmatage en fonction de la profondeur du support filtrant et pour chaque période de fonctionnement.

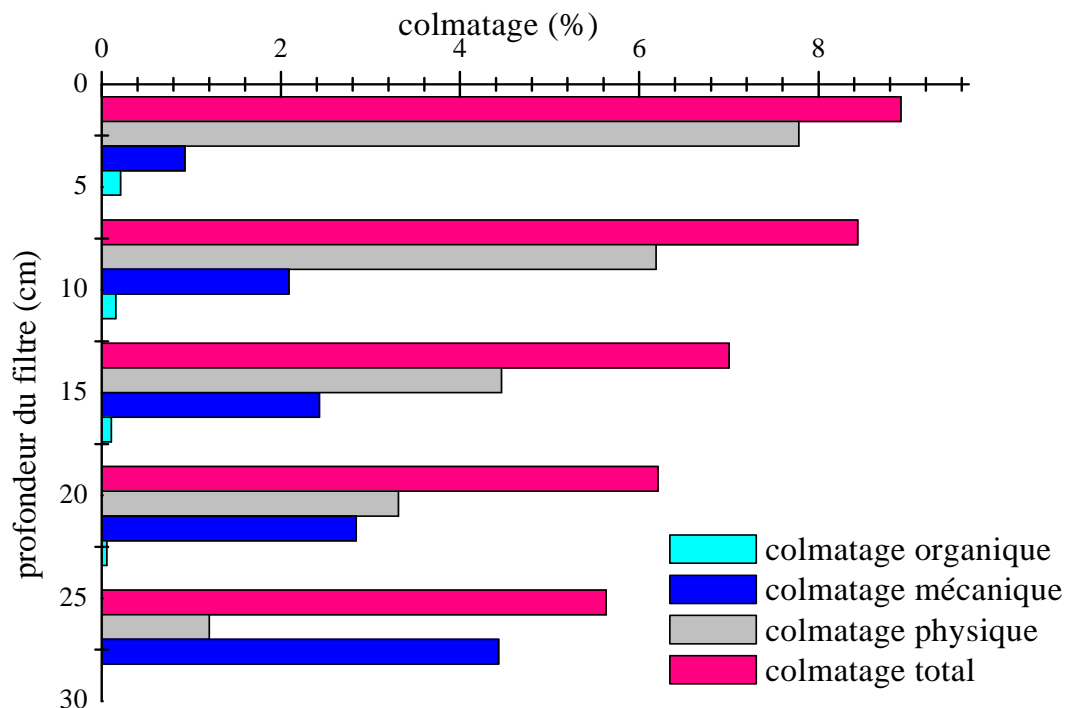


Fig. (11) La variation des différents types de colmatage du premier filtre

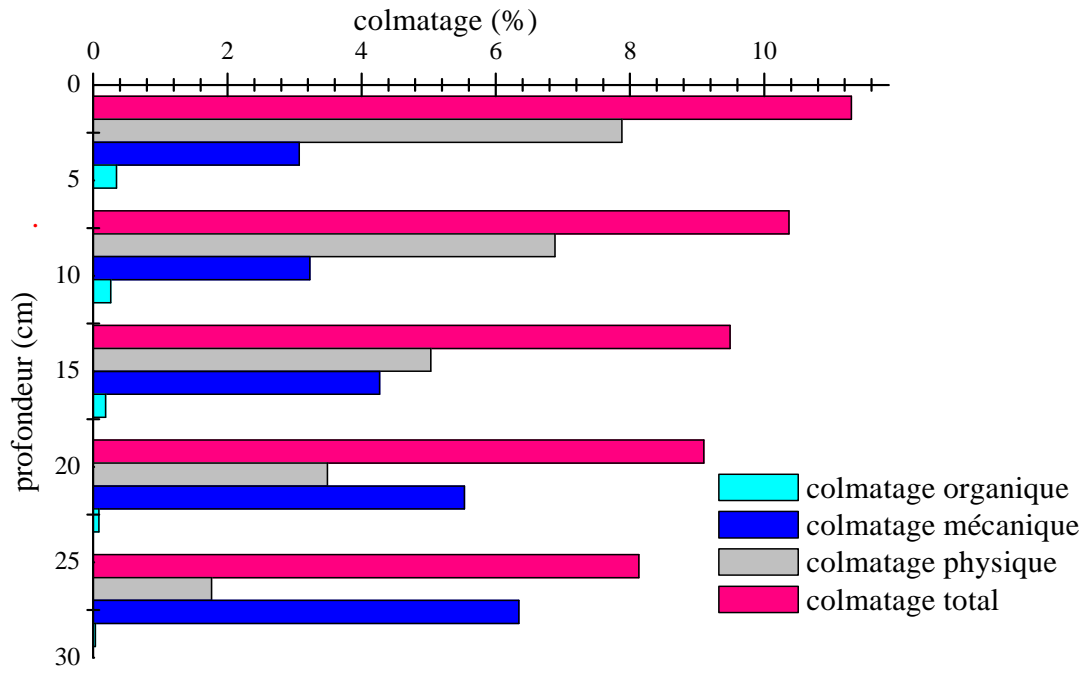


Fig. (12) La variation des différents types de colmatage du deuxième filtre

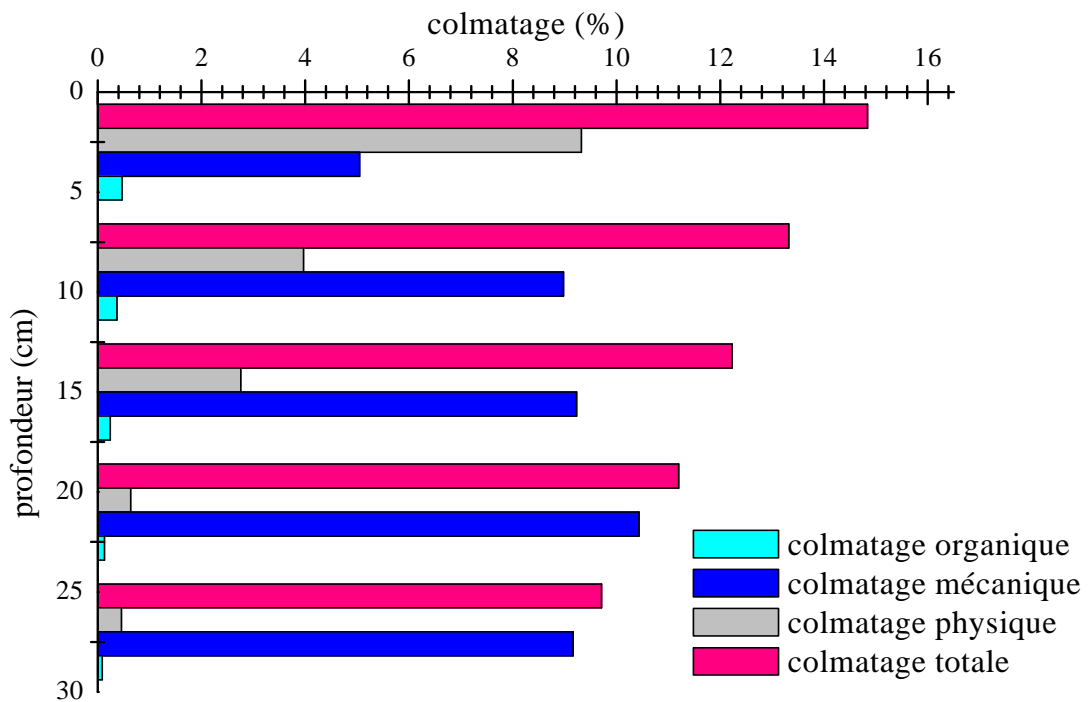


Fig. (13) La variation des différents types de colmatage du troisième filtre

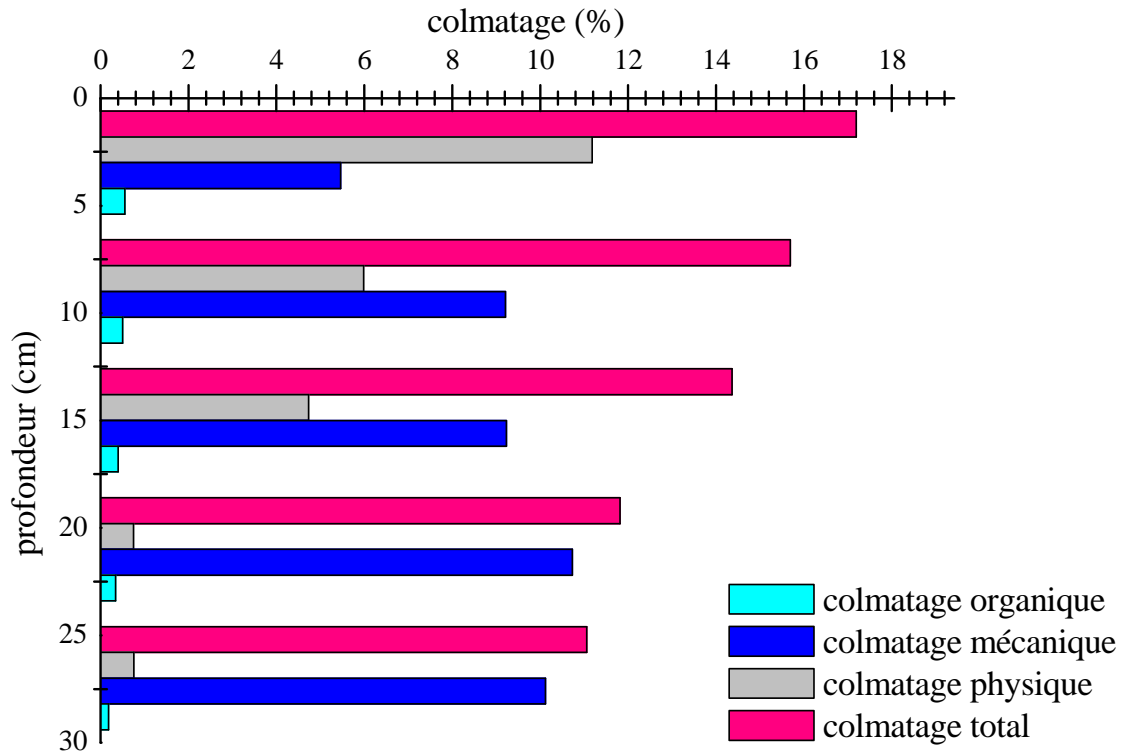


Fig. (14) La variation des différents types de colmatage du quatrième filtre

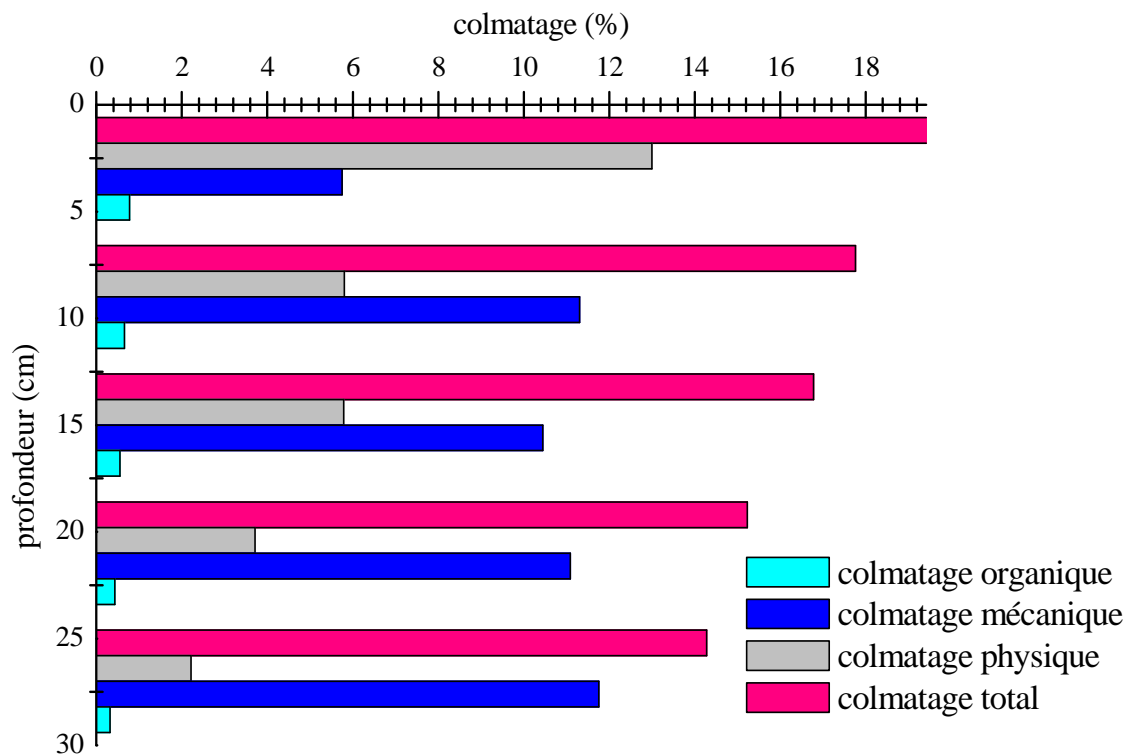


Fig. (15) La variation des différents types de colmatage du cinquième filtre

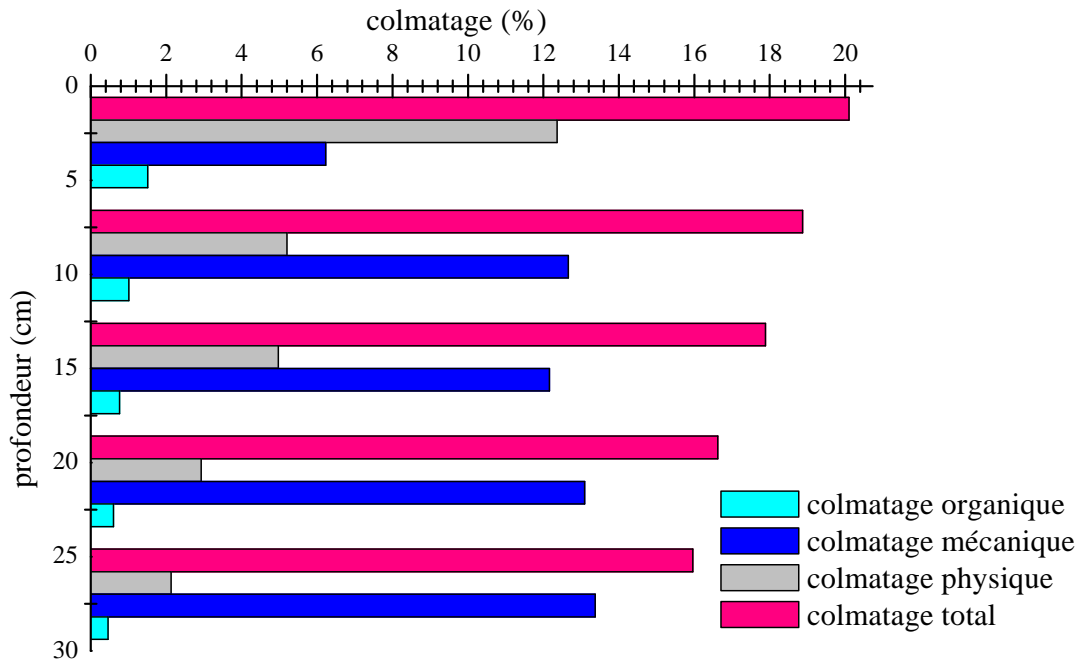


Fig. (16) La variation des différents types de colmatage du sixième filtre

IV. 7. 4. Interprétation des résultats

A partir des histogrammes représentés aux figures (11), (12), (13), (14), (15), et (16) nous constatons que le colmatage total est une combinaison entre les trois types du colmatage (organique, physique et mécanique).

Le colmatage physique due a l'accumulation des MES est le plus considérable (représente plus de 60% du colmatage total. Ce type de colmatage est situé essentiellement au niveau de la couche superficielle (la différence entre cette couche et la couche adjacente est plus de 50%). Il est de plus en plus considérable au cours du fonctionnement du filtre. Il est dû aux apports des MES contenus dans l'eau (245 mg/l). Les MES retenues dans la couche superficielle par le mécanisme du tamisage; quand les dimensions des particules en suspension sont supérieures à celle des pores de la masse filtrante.

Le colmatage mécanique est dû à l'écoulement de l'eau et au tassement du filtre, sous l'effet de son propre poids. Le lessivage des sels avec la salinité considérable de notre sable joue aussi un rôle immense, avec le mouvement des particules fines de haut vers le fond du filtre. Le colmatage mécanique représenté au deuxième stade après le colmatage physique. Contrairement aux autres types de colmatage la variation du

colmatage mécanique croit en fonction de la profondeur. Car l'effet de compactage des grains et la pression de l'eau atteignent les valeurs maximal au fond du filtre, et le passage de l'eau transporte les particules fines de haut vers le fond du filtre.

Le colmatage organique, est classé le moins important par rapport aux autres types de colmatage. Il représente 2.98% du colmatage total pour le premier filtre, et peut aller jusqu'à 7.65 pour le filtre de 6 jours. Ce colmatage est dû aux apports en MO existant dans l'eau usée. Ces apports sont sous formes de MES ou de matières dissoutes. D'après les courbes présentant ce colmatage la plupart des apports sont sous formes de MES, ce qui explique la distribution de la teneur en MO dans la couche filtrante. Elle est décroissante de la surface vers le fond du filtre. Il y a aussi les micro-organismes et la formation des algues au niveau de la couche superficielle. Ces derniers sont présentés par l'apparition de la couleur verte à partir du filtre de 5 jours, et la couche superficielle devient noirâtre à partir du filtre de 3 jours.

IV. 8. Le rendement épuratoire

L'étude du rendement épuratoire de la filtration est déjà fait (**Touil Y. 2005**) mais avec un débit d'alimentation discontinu. Pour l'étude de l'efficacité de la filtration on est incité de calculer le rendement de ce procédé. Deux paramètres sont étudiés; la teneur en MES et la DCO

IV. 8. 1. Les matières en suspension

Les MES représentent les pollutions particulières ; qui sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal.). La mesure de MES des eaux filtrées est effectuée sur quatre pilotes fonctionnant en parallèle, chaque 12 heures. Les mesures sont effectuées selon les normes EN, par la méthode de filtration (EN 872 : 1996). Les valeurs trouvées sont représentées au tableau 15.

Tableau 15 : les valeurs des MES (mg/l)

N de pilot Durée (h)	P01	P 02	P 03	P 04	Eau brute
12	153	137	140	142	350
24	127	123	122	141	286
36	111	100	106	102	496
48	158	155	180	157	506
60	158	160	162	164	322
72	100	105	100	98	326
84	94	113	104	99	292
96	120	114	137	116	333
108	186	192	208	238	610
120	200	190	188	206	764
132	192	172	176	194	763
144	192	904	206	202	844
156	204	200	202	210	896
168	216	200	206	212	452

Afin de suivre le rendement de la filtration sur les MES nous avons procédé aux calcule des autres filtres sur un temps de 12 heures. Nous avons pris en compte les valeurs moyennes. Les valeurs de rendement des MES sont représentées au tableau 16.

Tableau 16 : les valeurs des rendement des MES

Durée (heur)	le rendement en (%)					
	Pilot 01	Pilot 02	Pilot 03	Pilot 04	Ecart type	moyen
12	56.29	60.86	60.00	59.43	1.99	59.145
24	55.59	56.99	57.34	50.70	3.06	55.155
36	77.62	79.84	78.63	79.44	0.98	78.883
48	68.77	69.37	64.43	68.97	2.32	67.885
60	50.93	50.31	49.69	49.07	0.80	50.000
72	69.33	67.79	69.33	69.94	0.92	69.098
84	67.81	61.30	64.38	66.10	2.78	64.898
96	63.96	65.77	58.86	65.17	3.14	63.440
108	69.51	68.52	65.90	60.98	3.82	66.228
120	73.82	75.13	75.39	73.04	1.11	74.345
132	74.84	77.46	76.93	74.57	1.46	75.95
144	77.25	75.83	75.59	76.07	0.74	76.185
156	77.23	77.68	77.46	76.56	0.48	77.233
168	52.21	55.75	54.42	53.10	1.55	53.870

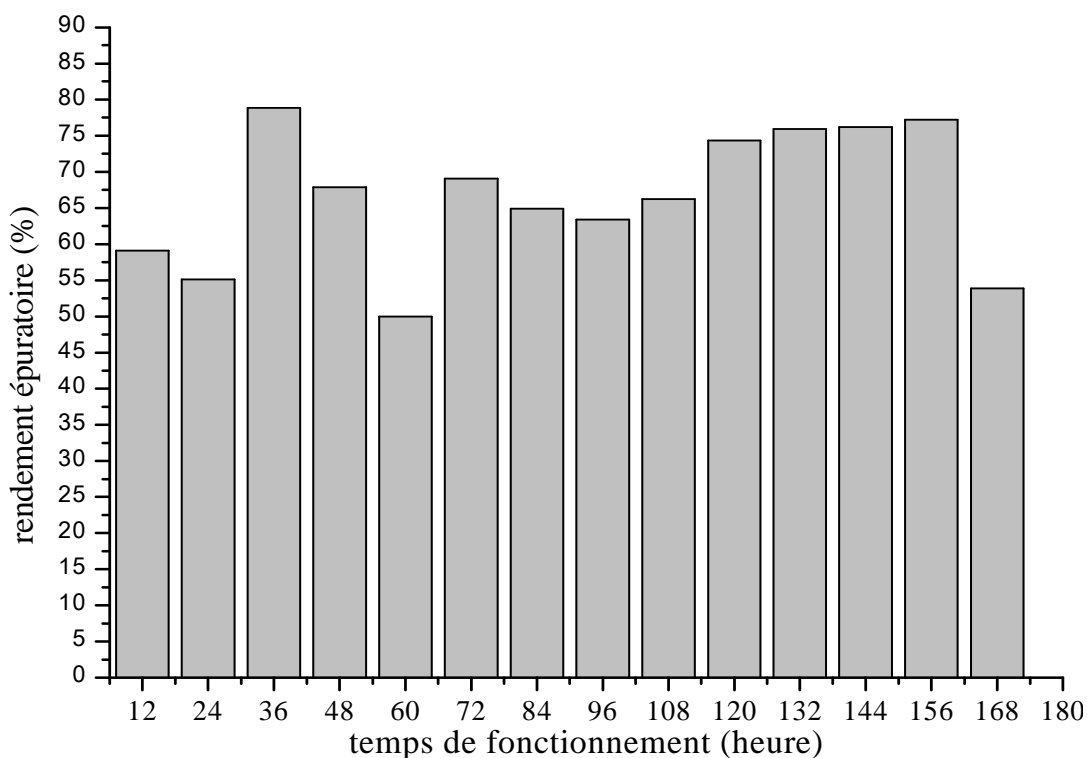


Fig. (17) l'évolution du rendement des MES

IV. 8. 1.1 Interprétation des résultats

A partir de l'histogramme représenté à la figure (17); nous remarquons que le rendement épuratoire d'élimination des MES est considérable et atteint 79%. Il ne stabilise pas à cause des perturbations des débits. Il y a aussi la variation de la qualité des eaux usées à l'entrée.

En échelle réelle; il est constaté que le rendement d'élimination des MES est faible dans les premiers 20 jours. Cela est dû à la faible concentration de l'eau à l'entrée et la majoration du débit (40 fois de plus). Le rendement atteint sa valeur maximale 78.88%, puis une diminution due à la grande charge des MES dans l'eau d'alimentation.

IV. 8. 2. La demande chimique en oxygène DCO

Elle représente la concentration exprimée en mg/l d'oxygène équivalent à la quantité de dichromates consommée par la matière dissoute et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant et dans les conditions des normes. La DCO est mesurée plusieurs fois, selon les normes AFNOR. Par oxydation des matières

réductrices contenues dans l'eau; par un excès de dichromate de potassium (NFT 90-101). Les valeurs de la DCO sont représentées au tableau (17).

Tableau 17 : les valeurs de la DCO

N de pilot Durée (h)	Pilot 01	Pilot 02	Pilot 03	Pilot 04	Eau brute
12	96	86.4	67.2	67.2	307.2
24	38.4	19.2	28.8	19.2	134.4
36	115.2	124.8	96	67.2	384
48	38.4	38.4	19.2	67.2	374.4
60	9.6	9.6	9.6	19.2	201.6
72	38.4	38.4	38.4	48	192
84	19.2	19.2	28.8	28.8	115.2
96	38.4	28.8	28.8	28.8	115.2
108	220.8	201.6	259.2	163.2	585.6
120	240	230.4	220.8	220.8	345.6
132	249.6	240	230.4	240	345.6
144	192	182.4	172.8	172.8	249.6
156	163.2	163.2	153.6	153.6	211.2

Afin de suivre le rendement de la filtration sur la DCO nous l'avons calculé pour chaque filtre et sur un temps de 12 heures est nous avons pris en compte les valeurs moyennes. Les valeurs de rendement des MES sont représentées au tableau (18).

Tableau 18 : les valeurs des rendement de la DCO

Durée (heure)	le rendement en (%)					
	Pilot 01	Pilot 02	Pilot 03	Pilot 04	Ecart type	moye n
12	68.75	71.88	78.13	78.13	4.69	74.22
24	71.43	85.71	78.57	85.71	6.84	80.35
36	70.00	67.50	75.00	82.50	6.61	74.50
48	89.74	89.74	94.87	82.05	5.29	89.10
60	95.24	95.24	95.24	90.48	2.38	94.05
72	80.00	80.00	80.00	75.00	2.50	78.75
84	83.33	83.33	75.00	75.00	4.81	79.16
96	66.67	75.00	75.00	75.00	4.16	72.91
108	62.30	65.57	55.74	72.13	6.82	63.93
120	30.56	33.33	36.11	36.11	2.66	34.02
132	27.78	30.56	33.33	30.56	2.27	30.55
144	23.08	26.92	30.77	30.77	3.68	27.88
156	22.73	22.73	27.27	27.27	2.62	25.00

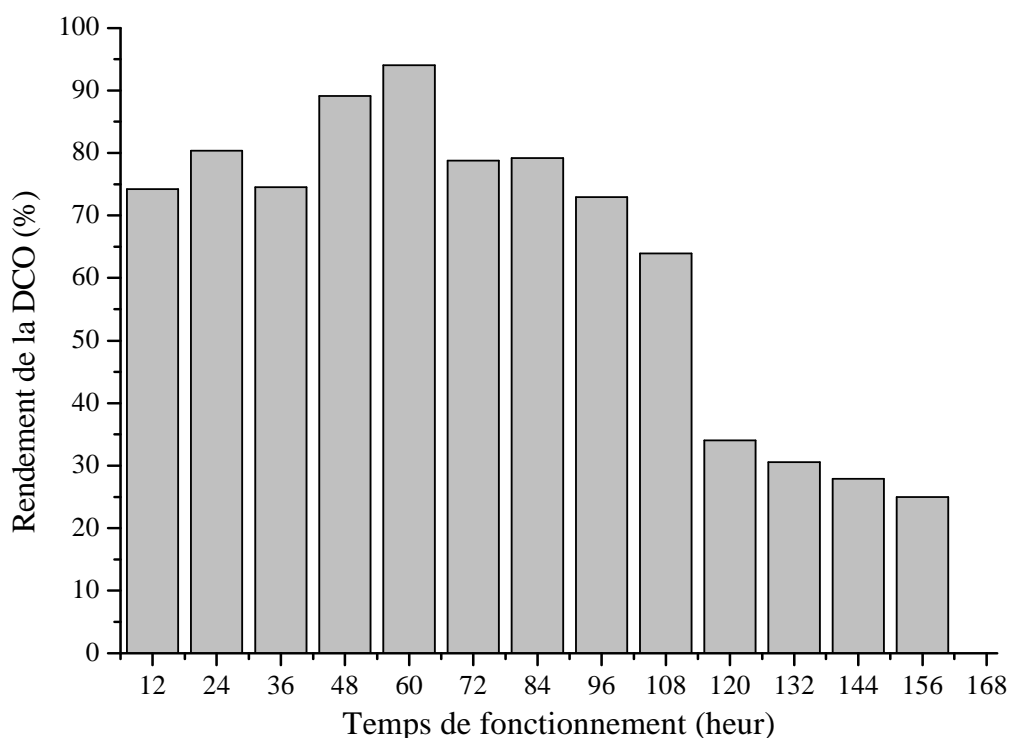


Fig. (18). L'évolution du rendement de la DCO

IV. 8. 2. 1. Interprétation des résultats

D'après l'histogramme de la figure (18) nous remarquons que les valeurs de rendement épuratoire de la DCO, commencent à augmenter dès la première demis journée de fonctionnement jusqu'à la troisième journée. Une légère diminution entre une journée et deux jours. En 2.5 jours le rendement de la DCO atteint sa valeur maximale soit 95%. Après ce pic les rendements commencent à diminuer et se stabilisent jusqu'à 4.5 jours, puis une chute à 5 jours. C'est le point de crevaisons du filtre; où le rendement descend au dessous de 50%.

En échelle réelle le rendement de la DCO est considérable dès les premiers jours de fonctionnement. Il atteint sa valeur maximale après 100 jours de fonctionnement ce qui est expliqué par la maturation du filtre. Par la suite il y a une petite chute et une stabilisation jusqu'à 180 jours. En suite il y a une chute de rendement à 200 jours suivie par une stabilisation jusqu'à 260 jours ce qui nous indique que le filtre devient non efficace après 200 jours de fonctionnement.

CONCLUSION

Cette étude qui a l'objet de présenter deux parties. La première partie est la partie bibliographique qui est subdivisée en trois chapitres donne des généralités sur les eaux usées, la filtration biologique sur sable et les caractéristiques du support filtrant. La deuxième partie est la partie expérimentale qui est subdivisée en trois chapitres en premier; la caractérisation des matériaux utilisés, en suite on a adopté deux dispositifs l'une pour l'étude du colmatage et l'autre pour l'étude des rendements. Le dernier chapitre donne les résultats de l'étude et ces interprétations.

A travers cette étude nous sommes parvenus à conclure que le sable de la région de N'GOUSSA est adéquat pour l'utiliser comme support filtrant pour l'épuration des eaux usées. Cet aspect est déjà étudié mais avec un débit d'alimentation discontinu. Le filtre à sable subit au cours de son fonctionnement au trois types de colmatage : colmatage mécanique due à l'écoulement de l'eau, colmatage physique provoqué par la rétention des MES et colmatage organique et biologique due à l'accumulation de la matière organique et à la formation des micro-organismes. Ces colmatages sont les causes principales de la crevaison du filtre

Le rendement épuratoire de l'élimination des MES et des MO, nous incite pour admettre que la filtration est une solution de lutte contre la pollution des eaux.

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

- diminuer le pas de mesure. Afin de déterminer exactement le point de crevaison du filtre.
- la détermination de l'échelle la plus adéquate pour un modèle représentatif ;
- plus des analyses pour la détermination du rendement de l'élimination des autres paramètres de pollution des eaux, tels que l'Azote et le Phosphore.

BIBLIOGRAPHIE

- Aaron I. 1997:** Experimental techniques for laboratory investigation of clay colloid transport and filtration in a stream with a sand bed, *Water, Air and Soil pollution*, vol. 99, 113-122
- Aubert G. 1978:** Méthodes d'analyse des sols, Edition centre régional de documentation pédagogique de Marseille
- Auriault J. L. 2000:** Filtration law in rotating porous media, *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 328, 779-784
- Baize D. 2000:** Guide des analyses en pédologie, Edition INRA éditions paris
- Balean D. 1998:** Transport de masse par convection et diffusion dans un milieu multi poreux, *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 326, 821-826
- Bonneau M. 1994:** Constituants et propriétés du sol, Masson Paris
- Bonnin J. 1986:** Hydraulique urbaine appliqué aux agglomérations de petite et moyenne importance, Edition Eyrolles Paris
- Bouziati M. 2000:** L'eau de la pénurie aux maladies, Edition Ibn-Khaldoun
- Bowles J. E. 1989:** Physical and geotechnical proprieties of soils, McGraw-Hill Singapore
- Camuward J. P. 2003:** Le sol, un milieu complexe au pouvoir épurateur limité, ENGREF Paris
- Cassan M. 1978:** Les essais in situ en mécanique des sols, Edition Eyrolles Paris
- Cassan M. 1989:** Les essais d'eau dans la reconnaissance des sols, Edition Eyrolles Paris
- Castany G. 1982:** Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Edition Bordas Paris
- Chabaud S. 2006:** Comparisons of packing materials in on-site wastewater treatment system, *Water practice & technology*, Vol. 1, 1-7
- Clément M. 1996:** Analyse physique des sols, Edition Lavoisier
- Colomb R. 1989:** Hydraulique urbaine, Edition Eyrolles Paris
- De Marsily G. 1994:** **Hydrogéologie** : comprendre et estimer les écoulements souterrains et le transport des polluants, Edition Ecole de mines de Paris
- Dean Adams V. 1990:** Water & wastewater examination manual, Lewis publishers
-
-

- Dégremont, 1989:** Mémento technique de l'eau, Edition de cinquanteaire
- Disjardind R. 1997:** Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal
- Djedidi N. 1991:** Propriété physiques des sols et pouvoir colmatant des eaux usées en fonction de leur degré de traitement, Cah. ORSTOM, Sér. Pédo. vol XXVI, 3-10
- Dupont A. 1981:** hydraulique urbaine (tome 1) Eyrolles Paris
- Gballou Y. 1990:** Les méthodes de mesure de la densité apparente, Cah. ORSTOM, sér. Pédo. Vol XXV. 423-429
- Gnagne T. 2002:** Etude des limites de l'épuration par infiltration sur sables des eaux usées fortement chargées en matière oxydables de l'abattoir de Ouagadougou au Burkina Faso, Sud sciences et technologie, vol.9, 34-41
- Gougoussis C. 1979:** Assainissement individuel et aptitude des sols a l'élimination et a l'épuration des effluents domestiques, Edition Institut national polytechnique de lorraine
- Gros Claude G. 1999:** L'eau usage et pollution (tome 2), Institue Nationale de la Recherche Agronomique
- Hatt B. E. 2005:** Filter media for storm water treatment and recycling: the influence of hydraulic proprieties of flow on pollutant removal^{10th} International Conference on Urban Drainage, Copenhagen / Denmark
- Heinonen-tanki H. 2003:** Costs of tertiary treatment of municipal wastewater by rapid sand filter with coagulants and UV, **Wat. Sci. and Tech.** vol. 03, 145-152
- Heller L. 2007:** Association between the concentration of protozoa and surrogates in effluents of the slow sand filtration for water treatment, Brazilian journal of Microbiology, vol 38, 337-345
- Henzel Y. 1999:** Dynamique des écoulements en milieux poreux double échelle, C. R. acad. Sci. Paris, t. 327, 1171-1177
- Huck P.M. 1999:** Development of a framework for quantifying the removal of humic substances by biological filtration, **Wat. Sci. and Tech.** vol. 40, 149-156
- Jimenez B. 2000:** Sand and synthetic medium filtration of advanced primary treatment effluent from Mexico City, **Wat. Res.** Vol. 34, 473-480
-
-

- Kang Y. W. 2006:** Treatment of turkey processing wastewater with sand filtration, Bioresource. Tech. nol. doi. 10.1016
- Kretzschmar R. 1997:** Experimental determination of colloid deposition rates and collision efficiencies in natural porous media, Wat. Res. Res. Vol. 33, 1129-1137
- Laboratoire de technologie des poudres, 2002:** Caractérisation de la granulométrie laboratoire de technologie des poudres, IMX, EPEL
- Lakel A. 1998:** Hydrodynamique d'un filtre biologique en système insaturé avec nitrification d'un effluent septique, Wat. Res. Vol. 32, 3157-3167
- Lancastre A. 1996:** Hydraulique générale, Edition Eyrolles Paris
- Laurent P. 1999:** Biodegradable organic matter removal in biological filter, Wat. Res. vol. 33, 1387-1398
- Le Tallec X. 1999:** Up flow biological filter: modeling and simulation of filtration, Wat. Sci. tech. vol. 39, 79-84
- Logan J. A. 2001:** Transport and fate of cryptosporidium parvum oocysts in intermittent sand filters, Wat. Res. vol 35, 4359-4369
- Logsdon G. S. 2002:** Slow sand filtration for small water systems, J. Environ. Eng. Sci. Vol. 01, 339-348
- Mackie R. I. 2003:** Filtrate quality from different filter operations, Acta. Hydrochim. Hydrobiol. Vol 31, 25-35
- Mansoor M. 1996:** Sand-based filtration/adsorption media, J. Water SRT-Aqua vol. 45, 67-71
- Maxime N. 2003:** Ecoulement dans les milieux poreux, Université de Provence Marseille
- Musy A. et Soutter M. 1991:** Physique du sol, Presse polytechnique et universitaires romandes
- Nath Barman R. 2008:** Estimation of a relationship between dispersion number, Reynolds number, porosity and hydraulic gradient in horizontal roughing filter, Journal of agricultural, food, and environmental sciences, vol 2, 1934-235
- Nur M. 1996:** Optimization of slow sand filtration, 22nd WEDC Conference Reaching The Unreached: Challenges For 21st Century, New Delhi, India
-
-

- Olanczuk-neyman K. 2000:** The role of physico-chemical and biological processes in manganese and ammonia nitrogen removal from groundwater, Polish journal of environmental studies, vol. 9, 91-96
- Québec, 2006:**Filtration multi stage MS filtre INC comité sur les technologies de traitement de l'eau potable
- Rejsek F. 2002:** Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, Edition Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine France
- Rodgers M. 2004:** Surface clogging in an intermittent stratified sand filter, Soil. Sci. Soc. Am, Vol. 68, 1827-1832
- Rodgers M. 2005:** Organic carbon removal and nitrification of high strength wastewaters using stratified sand filters, Wat. Res. Vol 39, 3279-3286
- Rodier J. 1996,** analyse de l'eau, Edition Doin
- Rooklidge S. J. 2005:** Modeling antimicrobial contaminant removal in slow sand filtration, Wat. Res. Vol 39, 331-339
- Rustinge H. 2005:** Planted soil filters for wastewater treatment according to new germane guideline international meting on phytodepuration, Spain
- Satin M. et Selmi B. 1999:** Guide technique de l'assainissement, Edition le Moniteur Paris
- Schneebeli G. 1987:** Hydraulique souterraine, Edition Eyrolles Paris
- Stephen A. 1982:** Fate of virus in wastewater applied to slow-infiltration land treatment systems Applied Environmental Microbiology, Vol. 44, 383-394
- Touil Y. 2005:** Conception et étude d'un modèle traditionnel de traitement des eaux usées domestiques : cas des eaux ménagères, Watmed 2 Marrakech
- Touil Y. 2008:** Pilot plant for wastewater treatment involving septic pit and biological filtration on sand of dunes of Algerian Sahara, Euromed Desalination
- Tzanakakis V.E. 2007:** Performance of slow rate systems for treatment, Wat. Sci. and tech. vol. 55, 139-147
- Valiron F. 1994:** Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement (tome 2), Edition Lavoisier
- Van Cuyk S. 2001:** Hydraulic and purification behaviors and their interactions during wastewater treatment in soil infiltration systems, Wat. Res. Vol. 35, 953-964
-
-

Vega E. 2003: Transport and survival of bacterial and viral tracers through submerged-flow constructed wetland and sand filter system, *Bioresource Tech.* vol. 89, 49-56

Way C. 2002: Slow sand filtration within rainwater tanks, Edition Engineering department university of Warwick

Williams C. J. 1998: An investigation of the biological fouling in the filtration of sea, *Wat. Sci. Tech.*, vol. 38, 309-316

I. Méthodes de mesure

I.1. Détermination de la densité

I.1.1. 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}).

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

Avec :

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

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

V_a : volume de cylindre (cm^3).

I.1.2. 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 distillée dégazée à la température du laboratoire.
- Peser (M_2) (pycnomètre+eau distillée).
- Vider le pycnomètre.
- Introduire l'échantillon (10g).
- Compléter au $\frac{3}{4}$ le pycnomètre avec l'eau distillée.

- Placer le pycnomètre sous vide pendant plusieurs heures jusqu'à la disparition des bulles d'air. Compléter ensuite avec de l'eau dégazée jusqu'au repère. Ajuster à l'aide d'une seringue. Essuyer soigneusement le pycnomètre.
- Peser ($M_1 =$ pycnomètre + eau + échantillon).

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

I.2. Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO)

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 consommée 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.
- Fermer 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 lèse la valeur affichée sur le DBO mètre.
- On multiplie cette valeur par un coefficient selon le volume (V) introduit.

Exemple :

Selon la concentration de l'eau à analyser :

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

I.3. Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires définies. On effectue la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelque soit leurs origines organiques ou minérales (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 distillée.
- Ajouter quelques gouttes de solution de ferroïne.
- Déterminer la quantité nécessaire de solution de sulfate de fer et d'ammonium par titrage de la 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 $T= 0,24$.
- V : volume de la prise d'essai.

I.4. Détermination de la matière en suspension (MES)

La détermination des MES en eau est effectuée par filtration ou par centrifugation et surtout réservée au eau contenant trop de matières colloïdales.

Mode opératoire :

- Sécher à 105°C le papier filtre jusqu'à une masse constante.
- Peser le papier filtre.

- Le mettre en place sur l'équipement de filtration.
- Verser l'échantillon de volume (V) sur le filtre.
- Après filtration, mettre le papier filtre dans l'étuve à 105°C.
- Peser le papier filtre à nouveau.

Expression des résultats

La teneur de l'eau en matière en suspension (mg/l) est donnée par la relation suivante :

$$\text{MES} = (M_1 - M_0)1000/V \quad (\text{mg/l})$$

Avec :

- M_0 : masse du papier avant utilisation (mg).
- M_1 : masse du papier après utilisation (mg).
- V : volume d'eau utilisée (ml).

Remarque 1

Pour les eaux concentrées on prend un volume de 50 à 100ml et pour les eaux non concentrées on utilise un volume de 200 à 400ml.

Remarque 2

Il est préférable d'effectuer les prélèvements dans des récipients en verre, les flacons en matière plastique pouvant entraîner la présence de contaminants organiques.

I.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 roder 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, il s'avère que 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.

Expression des résultats

- Soit « X » le volume en ml de solution de Mohr versée dans l'essai à blanc.
- Soit « Y » le volume en ml de solution de Mohr versée.
- La différence ($X - Y$) donne la quantité en ml de solution de Mohr à 0,2N correspond à une même quantité de bichromate à 0,2N ayant oxydée le carbone organique.

- Le produit $(X - Y) \times 0.615$ permet d'obtenir le poids C en mg contenu dans les 20 ou 10ml de solution dosée.
- Le poids contenu dans la prise d'essai égale à $(X - Y) \times 0.615 \times (5 \text{ ou } 10)$mg .
- La matière organique est donnée par : $MO \% = \%C \times 1,72$

Remarque :

- Pour les sols pauvres en matière organique, on prend 1g de sol comme échantillon.
- Pour les sols riches en matière organique, on prend 0,5g de sol comme échantillon.
- Pour notre travail on a pris 1g de sol à l'état naturel, pour les autres échantillon on a pris 0,5g.

II. Photos**Photo 01: Homogénéisation du sable****Photo 02: Préparation du pilote**

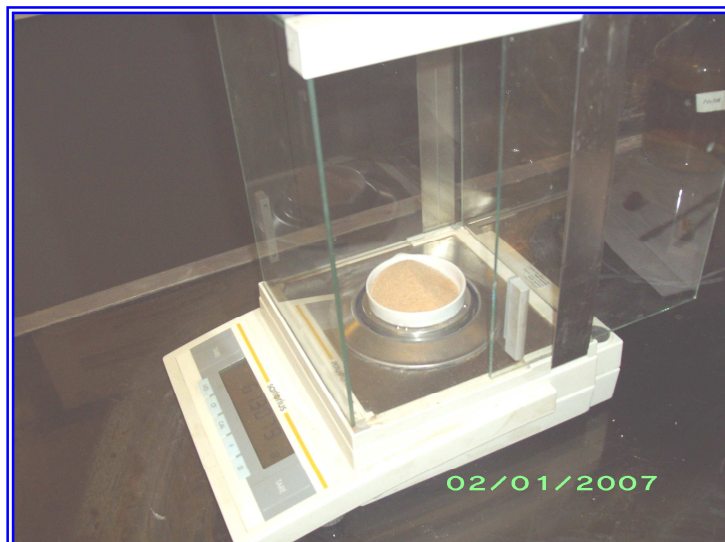


Photo 03: Balance de précision



Photo 04: Montage pour la détermination de la densité réelle



Photo 05: Filtration pour la détermination de MES



Photo 06: Titrage pour la détermination de la MO



Photo 06: DBOmètre pou la détermination de la DBO₅



Photo 07: L'analyse granulométrique



Photo 08: Dispositif d'ébullition



Photo 09: Séchage du sable



Photo 10: Pycnomètre



Photo 11: Cylindres de prélèvement

ملخص

يعتبر الترشيح البطيء عبر رمل الكثبان من الطرق الفعالة في تصفية المياه المستعملة، لكن المرشح يتعرض لما يعرف بظاهرة الانسداد بعد فترة من اشتغاله؛ مما يعرقل عملية التصفية. لهذا الغرض أتت هذه الدراسة لتسليط الضوء على هذه الظاهرة: أسباب ظهورها، أنواعها وأماكن فاعليتها.

قمنا بإنشاء مجموعة من المرشحات المتماثلة ذات نفس الخصائص (الحجم، ونوعية الرمل، تدفق و خصائص المياه). وتمت متابعة ظاهرة الانسداد خلال زمن التشغيل، وعبر عمق المرشحات.

وجد من خلال هذه الدراسة أن مرشح رمل الكثبان يتعرض للانسداد التدريجي، ويقسم هذا الانسداد إلى ثلاث أقسام: ميكانيكي، فيزيائي و عضوي وقد تطرقت الدراسة إلى أسباب ونسبة ومكان تموضع كل نوع من هذه الأنواع.

Résumé

La filtration lente sur sable est considérée parmi les méthodes efficaces, pour l'épuration des eaux usées. Cependant le filtre soumis au cours de son fonctionnement au phénomène du colmatage, ce qui défavorise le procédé de filtration. Pour cette raison, notre étude a pour but d'analyser ce phénomène : les causes de son apparition, ses types et leur emplacement.

On a construit plusieurs filtres de même dimensionnement et de mêmes caractéristiques. L'étude du colmatage se fait en fonction du temps tout au long de la profondeur des filtres.

Il est à constater à travers cette étude que le filtre à sable soumis au colmatage progressivement. Ce colmatage est classé en trois fragments : mécanique, physique et organique.

Abstract

The slow sand filtration is considered among the efficient methods, for the purification of the sloppy waters. However the filter seedling during his working to the phenomenon of the plugging, what disfavors the process of filtration. For this reason our survey comes to analyze this phenomenon: the reasons of her apparition, its types and their site.

One constructed several filters in the same way dimensionality and same features. The survey of the plugging makes itself according to the time on along the depth of the filters.

It is noted through this survey that the filter to sand seedling to the plugging progressively, this plugging is classified in three fragments: mechanical, physical and organic.