

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ KASDI MERBAH OUARGLA



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL ET HYDRAULIQUE

Thèse

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat 3^{ème} cycle

Spécialité : Hydraulique

Option : **Aménagement hydraulique en milieu aride**

Présentée par : BADLIS Zakaria

THEME

**Filtration biologique sur sable de dunes :
essai de caractérisation de matériau
filtrant en vue d'une réutilisation**

BEBBA AHMED Abdelhafid	Professeur, Univ. K.M. Ouargla	Président
SAGGAI Sofiane	M.C.A, Univ.K.M. Ouargla	Examineur
BOUTAGHANE Hamouda	M.C.A, Univ. B.M. Annaba	Examineur
AMMARI Abdelhadi	M.C.A, ENSH. Blida	Examineur
HAMDI AISSA Bealhadj	Professeur, Univ. K.M. Ouargla	Rapporteur
TOUIL Youcef	M.C.B. Univ.K.M. Ouargla	Invité

الملخص

استخدام الرشح البيولوجي بواسطة الكثبان الرملية، هي تقنية واعدة لمعالجة مياه الصرف الصحي في الجزائر، علماً أن معظم رمال منطقة ورقلة تمتلك خصائص معايير الترشيح البيولوجي. الهدف العام من هذا العمل هو تحليل الخصائص الفيزيائية والكيميائية، لمرشحات الكثبان الرملية بعد الاستعمال. تمت دراسة تراكم الكتلة الحيوية وترسب المادة الصلبة، على سطح مرشح الرمل بواسطة التحليل الكيميائي والفيزيائي للمرشح الرملي الذي سبق استخدامه

فمننا بتتبع تطور بعض العناصر، وهي درجة الحموضة الرملية، والناقلية الكهربائية لقياس ملوحة الرمل، والمواد العضوية، والحجر الجيري وتحليل حجم الجسيمات

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة، أن الطبقة السطحية هي منطقة تتميز بزيادة ملحوظة في محتوى المادة العضوية 1.87% إلى 3.6% فهي منطقة ترسب النفايات العضوية من المياه المستخدمة، وكذلك الأنشطة الميكروبية بما في ذلك الطحالب التي تتطور على سطح المرشحات

لقد أجرينا دراسة حول إمكانية إعادة استخدام المواد الخاصة بالمرشح ومقارنة حمأة المرشح بالأسمدة العضوية.

الكلمات المفتاحية

الترشيح البيولوجي، معالجة مياه، إعادة استخدام، المواد المرشح، محتوى المادة العضوية، مردود المعالجة

Résumé :

L'utilisation du sable des dunes, comme filtre biologique semble être une technique prometteuse pour l'épuration des eaux usées. En Algérie, la majorité des sables de la région d'Ouargla répondent, des points de vue caractéristiques, aux normes de filtration biologique

L'objectif général de ce travail est de caractériser les paramètres physiques et chimiques du support filtrant à base de sable de dunes au terme de son fonctionnement. L'accumulation de la biomasse et le dépôt de la matière solide en suspension à la surface du filtre conçu au laboratoire, ont été étudiés analytiquement. A cet effet, un suivi de l'évolution des paramètres, tels que le pH, la conductivité électrique (CE), la matière organique, le taux de calcaire et la granulométrie du sable, a été réalisé.

Les résultats obtenus ont montré que la couche en surface (couche 01) est caractérisée par une augmentation importante de la teneur en matière organique (1,87% à 3,6%), il s'agit de la zone de dépôt des matières organiques des eaux usées utilisées, ainsi qu'aux activités microbiennes, notamment d'algues qui se développent en surface des filtres.

L'étude de la possibilité de la réutilisation des matériaux du support filtrant a été entreprise, en parallèle d'une comparaison des boues du filtre avec un fertilisant organique.

Mots clés : filtration biologique, traitement des eaux, réutilisation des matériaux, support filtrant, rendement épuratoire, matière organique.

Abstract

The use of the sand of the dunes, as a biological filter seems to be a promising technique for the purification of wastewater. In Algeria, the majority of the sands in the Ouargla region meet standards of biological filtration (from the characteristic point of view).

The overall objective of this work is to characterize the physical and chemical parameters of the filter media of sand dune filters after operation. The accumulation of biomass and the deposition of suspended solids on the surface of a sand filter were studied by the chemical and physical analysis of the sand filter that has already been used.

We followed the evolution of certain elements, namely the pH of sand, sand EC, organic matter, limestone and granulometric analysis.

The results obtained from this study show that the surface layer (Layer 01) is a phase that is characterized by a significant increase in the organic matter content (1.87% to 3.6%), the area of deposition of organic wastewater used, and microbial activities including algae that develops on the surface of the filters.

We have a study of the possibility of the reuse of the materials of the filter support, also the comparison of the sludge of the filter with an organic fertilizer.

Key words: biological filtration, wastewater treatment, reuse of filter, media materials, treatment efficiency, organic matter content.

Remerciements

J'exprime en premier lieu mes remerciements à notre Dieu tout puissant qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Je remercie infiniment mon directeur de thèse, Professeur HAMDI AÏSSA Belhadj et mon co-directeur, Docteur TOUIL Youcef pour leur encadrement et leurs orientations durant ce travail de thèse.

Je remercie également le directeur du Laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques, Professeur Hadj Mahammad Mahfoud, pour son accueil et la mise à ma disposition les conditions favorables à la réalisation de mon travail expérimental.

Je tiens à remercier aussi, le directeur du Laboratoire Exploitation et Valorisation des Ressources Naturelles en Zones Arides, Professeur KRIKER Abdelouahed, pour son aide précieuse à la mise en œuvre de ce travail.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Monsieur BEBBA Ahmed Abdelhafid, Professeur à l'Université Kasdi Merbah Ouargla, qui me fait l'honneur de présider Le jury de cette thèse et surtout pour son soutien.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance aux Docteur SAGGAI Sofiane, et Docteur BOUTAGHANE Hamouda, et Docteur AMMARI Abdelhedi, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Mes remerciements vont également aux membres du laboratoire biogéochimie des milieux désertiques : Houria, Fatiha, Khairia, Salah, et à tous mes amis, surtout : Toufik

SOMMAIRE

Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	IX
Abréviation	XI
Introduction générale	1
Chapitre I : Synthèse bibliographique	4
I. Généralités Sur Les Eaux Usées	5
I. 1. Définition	5
I. 2. Origines des eaux usées	5
I. 3. Paramètres de pollution	5
II.1. Généralités Sur La Filtration	6
II.2. Dégradation de la matière organique	8
II.3. Mécanisme de filtration	9
II.4. Ecoulement à travers les filtres à sable	10
II.5. Colmatage du filtre à sable	13
II.6. Nettoyage et régénération des filtres	14
III. la réutilisation des matériaux du support filtrant	14
III.1. Utilisation agricole des boues	14
III.2. Composition et traitement des boues	14
III.2.1. Matière organique	15
III.2.2. Eléments fertilisants et amendements	15
III.2.3. Contaminants chimiques inorganiques et organiques	15
III.2.4. Les micro-organismes pathogènes	15
VI- Les travaux antérieurs	16
Chapitre II : caractérisation des matériaux filtrants après le fonctionnement	17
I. Matériels et Méthodes	18
I.1. Les caractéristiques du support filtrant	20
I.1.1 L'analyse granulométrique	20
I.1.1.1 Le diamètre efficace DE	23
I.1.1.2 Le coefficient d'uniformité CU	23
I.1.1.3 Le coefficient de classement Cc	23
I.1.1.4 Classification des sols selon leur texture :	24

I.1.2 Densité réelle	24
I.1.3 Densité apparente	24
I.1.4 La porosité totale	25
I.1.5 Le pH	25
I.1.6 La conductivité électrique	26
I.1.7 La teneur en matière organique (MO)	27
I.1.8 Taux du calcaire	28
I.2. Caractérisation des eaux usées utilisées	29
I.3. Débit d'alimentation	30
I.4. Pilote de filtration	31
I.5. Méthode d'échantillonnage	32
II. Résultats et discussions	32
II.1 La teneur en matière organique	32
II.2 Taux du calcaire	37
II.3 Le pH des matériaux filtrants	42
II.4 La conductivité électrique	45
II.5 L'analyse granulométrique	51
Chapitre III : caractérisation des matériaux filtrants en fonction du temps d'utilisation	72
I. Introduction	73
I.1. Dispositif expérimental	74
II. Résultats et discussion	75
II.1 pH des eaux filtrées	75
II.2 la Conductivité électrique (CE) des eaux filtrées	76
II.3 la Demande Chimique en Oxygène (DCO)	77
II.4 la Demande Biologique en Oxygène (DBO ₅)	79
II.5 Les paramètres chimiques du sable	81
II.5.1 La teneur en matières organiques MO	81
II.5.1.1 La variation de la MO mesurée et de la MO calculée	84
II.5.2 Calcaire total	86
II.5.3 La conductivité électrique des matériaux filtrants	89
II.5.4 pH des matériaux filtrants	93

Chapitre VI : la réutilisation des matériaux filtrants	97
I. Introduction	98
I.1. Dispositif expérimental	99
II. Résultats et discussion	100
II.1 pH des eaux filtrées	100
II.2 la Conductivité électrique (CE) des eaux filtrées	101
II.3 la Demande Chimique en Oxygène (DCO)	101
II.4 la Demande Biologique en Oxygène (DBO ₅)	103
II possibilité de la réutilisation	105
Introduction	105
Comparaison des boues des filtres avec fertilisant organique	105
La détermination de la quantité de des boues	106
Conclusion	108
Références bibliographiques	110
Annexe	118

Liste des figures

Figure I.1 : Ecoulement dans un milieu poreux	13
Figure II-1 : Carte des Carrières ciblées	19
Figure II-2 : Courbe granulométrique du sable (Tebesbest, Benacer, Hassi Messaoud, N'goussa)	21
Figure II-3 : Courbe granulométrique du sable (Ain Beida, Sidi Mehdi, M'Naguer, Hassi Gnifida, Kouinine)	22
Figure II-03 : Dispositif expérimental	31
Figure II-04 : Pilote de filtration	31
Figure II-05 : Distribution verticale de la matière organique après le fonctionnement	34
Figure II-06 : Distribution verticale de la matière organique après le fonctionnement	34
Figure II-07 : Distribution verticale de la matière organique après le fonctionnement	35
Figure II-08 : Distribution verticale de (%CaCO ₃) après le fonctionnement	39
Figure II-09 : Distribution verticale de (%CaCO ₃) après le fonctionnement	39
Figure II-10 : Modèle de colmatage du filtre à sable de dune sous l'effet combiné de la matière organique, du calcaire et de lessivage du limon fin	41
Figure II-11 : Variation de pH dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches	44
Figure II-12 : Variation de pH dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches	44
Figure II-13 : Variation de CE dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches	47
Figure II-14 : Variation de CE dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches	47
Figure II-15 : Evolution du pH en corrélation avec la teneur en matière organique	48
Figure II-16 : Evolution du pH en corrélation avec la teneur en matière organique	49
Figure II-17 : Evolution du pH en corrélation avec le calcaire	49
Figure II-18 : Evolution du pH en corrélation avec le calcaire	50

Figure II-19 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Tebesbest)	52
Figure II-20 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Benacer)	54
Figure II-21 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Hassi Messaoud)	56
Figure II-22 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot N'goussa)	58
Figure II-23 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Ain Beida)	60
Figure II-24 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Sidi Mehdi)	62
Figure II-25 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Hassi Gnifida)	64
Figure II-26 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot M'Naguer)	66
Figure II-27 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Kouinine)	68
Figure 28 : la distribution des limons fins dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction de la profondeur des couches	70
Figure 29 : la distribution des limons fins dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction de la profondeur des couches	70
Figure III-1 : Dispositif expérimental	74
Figure III-2 : Variation de la conductivité électrique en fonction du temps	76
Figure III-3 : Variation des rendements d'élimination de la DCO en fonction du temps	78
Figure III-4 : Variation des rendements d'élimination de la DBO ₅ en fonction du temps	80
Figure III-5 : Variation de la MO en fonction du temps	83
Figure III-6 : variation de la MO mesurée et de la MO calculée	85
Figure III-7 : Taux de calcaire en fonction du temps	88
Figure III-8 : Variation de la CE en fonction du temps	91
Figure III-9 : Normes d'interprétation du pH-eau du sol	
Figure VI-1 : Dispositif expérimental	99
Figure VI-2 : Variation des rendements d'élimination de la DCO en fonction du temps	102
Figure VI-3 : Variation des rendements d'élimination de la DBO ₅ en fonction du temps	103

Liste des tableaux

Tableau II-1 : les paramètres physiques des sables.	23
Tableau II-2 : les paramètres physiques des sables	25
Tableau II-3 : les paramètres chimiques des sables : pH.	26
Tableau II-4 : les paramètres chimiques des sables : CE	27
Tableau II-5 : les paramètres chimiques des sables : MO	28
Tableau II-6 les paramètres chimiques des sables : Taux du calcaire	29
Tableau II-7 : Les Caractéristiques des eaux usées synthétiques	29
Tableau II-8 : Distribution verticale de la matière organique après le fonctionnement	33
Tableau II-9 : Taux de calcaire après fonctionnement (%CaCO ₃)	38
Tableau II-10 : Variation de pH dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches	43
Tableau II-11 : Variation de CE dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches	46
Tableau III-12 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Tebesbest)	53
Tableau III-13 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Benacer)	55
Tableau III-14 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Hassi Messaoud)	57
Tableau III-15 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot N'goussa)	59
Tableau III-16 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Ain Beida)	61
Tableau III-17 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Sidi Mehdi)	63
Tableau III-18 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Hassi Gnifida)	65

Tableau III-19 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot M'Naguer)	67
Tableau III-20 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Kouinine)	69
TableauIII.1 : Paramètres physico-chimiques de sable N'Goussa	73
TableauIII.2 : Variation du pH en fonction du temps	75
TableauIII.3 : Variation de la MO en fonction du temps	82
TableauIII.4 : Taux de calcaire en fonction du temps	87
TableauIII.5 : Variation de la CE en fonction du temps	90
TableauIII.6 : Variation du pH en fonction du temps	94
TableauVI.1 : Paramètres physico-chimiques de sable N'Goussa	98
TableauVI.2 : Variation du pH en fonction du temps	100
TableauVI.3 : Variation du pH en fonction du temps de la réutilisation	100
TableauVI.4 : Variation de la CE en fonction du temps	101
TableauVI.5 : Variation de la CE (mS/cm) en fonction du temps de la réutilisation	101
Tableau VI.6 : Caractéristiques de l'amendement des sols (fumier bovin et ovin).	106
Tableau VI.7 - Caractéristiques des boues des filtres	106

Liste des abréviations

CaCO₃ : carbonate de calcium

Cc : Coefficient de courbure

CE : Conductivité électrique

Cu : Coefficient d'uniformité

d10 : Diamètre effectif correspond à la grosseur des mailles du tamis qui laissent passer 10% de la masse d'échantillon.

d30 : Diamètre effectif des particules qui correspond à 30% du passant.

d60 : Diamètre effectif des particules qui correspond à 60% du passant.

Da : Masse volumique apparente

DBO₅ : Demande biologique en oxygène 5 jours

DCO : Demande chimique en oxygène

EU : Eau usée

MES : Matière en suspension

MO : Matière organique

MO_x : Les matières oxydables

mS/cm : milli-Siemens/centimètre

n (%) : Porosité

Dr : Densité réelle

R%: Rendement

Introduction

Sur l'ensemble des eaux du globe terrestre, l'eau douce représente seulement 2,5%. Au sein de ces 2,5%, elle est essentiellement présente sous forme gelée ; les nappes phréatiques représentent 30,1% de ces eaux douces. [1].

L'eau, dans son état naturel, évolue selon le schéma du cycle hydrologique : entre condensation, précipitation et évaporation, cette ressource est en théorie renouvelable à l'infini. Depuis le début du dix-neuvième siècle, la croissance démographique sans précédent, accompagnée d'une demande économique, industrielle et agricole croissante et de l'urbanisation, ont bouleversé ces schémas cycliques naturels en menaçant la durabilité de cette ressource vitale [1].

De nos jours, les experts estiment que 20% des aquifères de la planète sont surexploités. Depuis la fin des années 1980, ils estiment que le taux mondial de prélèvement d'eau douce a été de 1% par an [2]. Et d'ici à 2050, la demande globale en eau est appelée à augmenter de 55% [3].

En termes de gestion future de l'eau en ville, les techniques de recyclage des eaux usées sont particulièrement centrales. Les zones urbaines sont en effet les aires de gaspillage en eau les plus importantes : le recyclage permet donc de limiter les pertes, tout en conservant les nappes phréatiques pour permettre leur régénération [1].

Aujourd'hui, l'utilisation planifiée des eaux usées municipales est un modèle couramment utilisé dans les pays du Moyen-Orient et d'Afrique du Nord (MENA), l'Australie, et la Méditerranée, ainsi qu'au Mexique, en Chine et aux États-Unis. Toutefois, nous ne disposons pas d'un inventaire complet de l'étendue de l'utilisation des eaux usées traitées ou non traitées dans l'agriculture [4].

Le Forum Mondial de l'Eau a, depuis plus d'une décennie, mis en lumière le rôle particulier des innovations scientifiques et technologiques comme réponses aux crises hydriques mondiales. Parmi les issues et pistes à suivre pour l'accroissement du rôle des nouvelles technologies et innovations scientifiques dans la résolution des problèmes liés à l'eau, c'est celle relative à « l'utilisation des eaux usées comme une ressource : promouvoir le recyclage » [5,6].

Parmi les processus disponibles pour le traitement des eaux usées, l'utilisation de fosse septique suivie par filtration sur sable semblaient être les plus pertinents dans le sud de l'Algérie en raison de la petite agglomération. L'utilisation des sables de dunes, comme filtre biologique est une technique prometteuse pour l'épuration des eaux usées. En Algérie, la majorité des sables de la région d'Ouargla répondent, des points de vue caractéristiques, aux normes de filtration biologique [7,8].

L'accumulation de la biomasse et le dépôt de matières solides en suspension à la surface d'un filtre à sable peut colmater le filtre. Le colmatage biologique et physique est issu potentiellement par la formation excessive de biomasse provenant de la dégradation des polluants et de la rétention des particules fines en suspension. Ce phénomène représente la diminution de la perméabilité de la filtration qui survient en raison des processus physiques, biologiques et chimiques dans le système de filtration ; sur le plan physique/mécanique l'encrassement peut résulter de la migration des grains fins aux grains grossiers [9,10,11].

Les sols sahariens sont réputés pour être, dans leur ensemble, pauvres en matière organique et en éléments minéraux indispensables aux végétaux. La teneur en matière organique (M.O.) de ces sols est souvent inférieure à 0,1 %. Cette faible teneur résulte de la rareté de la végétation et de la faible biomasse. [12].

La valorisation agricole des boues résiduaires peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimiques (C, N, P ..), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges. Les boues résiduaires peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux [13].

L'objectif général de ce présent travail est de caractériser les paramètres physiques et chimiques du support filtrant à base de sable des dunes après son fonctionnement.

L'accumulation de la biomasse et le dépôt de matières solides en suspension à la surface d'un filtre à sable ont été étudiée par analyse chimique et physique du filtre de sable qui a été déjà utilisé.

Notre travail a été réalisé dans le laboratoire biogéochimie des milieux désertiques, dans le cadre des projets de recherches ALLUVSOL (CNEPRU) et Val-Ped-Oasis

(DGRSDT) afin de mettre en point un site expérimental de traitement des eaux usées dans la région d'Ouargla.

Dans notre manuscrit, nous allons aborder dans la première partie l'étude bibliographique sur les eaux usées, la filtration biologique sur sable, la réutilisation des matériaux des supports filtrants, l'utilisation agricole des boues et la régénération des filtres, ainsi que les paramètres régissant le colmatage du filtre.

Dans la deuxième partie, qui va être consacrée à l'étude expérimentale, elle est scindée en trois chapitres :

Le premier chapitre est une caractérisation des propriétés physiques et chimiques du support filtrant (les filtres biologiques à sable de dunes), après une période de fonctionnement d'une part, et une étude comparative entre différents sables de dunes après l'utilisation d'autre part. L'accumulation de la biomasse et le dépôt de matières solides en suspension à la surface d'un filtre à sable ont été étudiés par analyse chimique et physique du filtre à sable utilisé.

Le deuxième chapitre est une caractérisation des matériaux filtrants (les propriétés physiques et chimiques) en fonction du temps d'utilisation. Il s'agit d'un suivi de l'évolution de certains paramètres, à savoir le pH, la CE, la matière organique, le calcaire et la granulométrie du sable.

Le troisième chapitre est une étude de la possibilité de réutilisation du matériau filtrant et une étude comparative des boues des filtres avec un fertilisant organique. L'évaluation de l'efficacité de la filtration a été effectuée par le suivi de la variation de la CE, pH, DBO₅ et de la DCO de l'eau traitée.

Une conclusion générale ponctue notre travail faisant ressortir l'essentiel des résultats obtenus ainsi que des perspectives à envisager.

Chapitre I :
Synthèse bibliographique

I. Généralités Sur Les Eaux Usées

I. 1. Définition

Une eau usée est généralement un mélange de matières polluantes répondant à ces catégories, dispersées ou dissoutes dans l'eau qui a servi aux besoins domestiques ou industriels. [14]

I. 2. Origines des eaux usées

Les effluents urbains comprennent :

- les eaux résiduaires ou eaux usées
- les eaux pluviales.

L'origine des eaux résiduaires urbaines (ERU) est principalement domestique (eaux vannes, eaux "grises") ; la part d'origine industrielle est généralement croissante avec la taille de l'agglomération.

Les établissements industriels qui rejettent une pollution proportionnellement trop importante ou exigeant un traitement spécifique sont généralement dotés d'un système d'épuration autonome. Suivant le niveau de ce traitement, l'effluent industriel rejoint ensuite le milieu récepteur ou le système de collecte et de traitement des ERU. [15]

I. 3. Paramètres de pollution

La pollution carbonée se quantifie par 3 grandeurs : les MES, la DBO₅ et la DCO [16]

- **Matières en suspension**

Ces produits peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles, ...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que bactéries, plancton, algues et virus.

Ces substances sont responsables, en particulier, de la turbidité et de la couleur
Matières colloïdales (moins de 1 micron) Ce sont des MES de même origine que les précédentes mais de plus petite taille, dont la décantation est excessivement lente. Elles sont également génératrices de turbidité et de couleur.

Matières dissoutes (moins de quelques nanomètres) Ce sont généralement des cations ou des anions. Une partie de la matière organique est également sous forme dissoute. On trouve aussi des gaz (O_2 , CO_2 , H_2S , ...)[16]

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

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfures et chlorures).

Ce test est particulièrement utile pour l'appréciation du fonctionnement des stations de traitement. La DCO étant fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives, des possibilités de l'oxydation, etc., il est bien évident que la reproductibilité des résultats et leur interprétation ne pourront être satisfaisantes que dans des conditions de méthodologie bien définies et strictement respectées.[15,17,18,19]

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

La demande biochimique en oxygène est la concentration, en masse d'oxygène dissous, consommée pour l'oxydation par voie biochimique des matières organiques contenues dans l'échantillon, dans les conditions de l'essai ;

La demande biochimique en oxygène (DBO_5) est définie comme la quantité d'oxygène consommée dans les conditions de l'essai, c'est-à-dire après incubation durant 5 jours, à 20 °C et dans l'obscurité, par certaines matières présente dans l'eau, principalement pour assurer leur dégradation par voie biologique.[15,17,18,19]

II.1. Généralités Sur La Filtration

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. En effet, il subsiste de très petites particules présentes à l'origine dans l'eau brute ou issues de la floculation. La rétention de ces particules se déroule à la surface des grains grâce à des forces physiques. La plus ou moins grande facilité de fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation du filtre et du type de matériau utilisé.

L'espace inter granulaire définit la capacité de rétention du filtre.

Au fur et à mesure du pesage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate. Les pertes de charge augmentent fortement. Une biomasse se développe sur le matériau filtrant. Elle peut efficacement réduire le taux d'ammonium de l'eau brute par la nitrification. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et la turbidité.

- **Filtre lent**

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 fine, dont la surface totale de veinules ou de pores est très grande, ce qui facilite l'adsorption des impuretés par cette couche ou par le sable sous-jacent. Cette couche poreuse est constituée de bactéries, d'algues et protozoaires. La filtration lente combine donc les effets de processus physiques et de processus biologiques.[20]

- **Filtre rapide**

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. 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.[20]

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. [20]

Inconvénients des filtres lents

- Les filtres lents occupent une grande superficie. Ils exigent une installation de grande dimension, 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 tops longues, au cours des quels ils sont inutilisables.
- Leurs utilisation est coûteuse lorsque la turbidité des eaux brutes dépasse 30 unités néphélémétriques 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. [20]

II.2. Dégradation de la matière organique :

La minéralisation des matières organiques s'effectue sous l'action des microorganismes.

Deux types de microorganismes interviennent dans le phénomène de biodégradation :

- Les bactéries présentes dans les eaux usées (utilisant leur métabolisme oxydatif aérobie).
- Et les bactéries du sol aérobies.[21,22]

Les éléments polluants qu'ils soient d'origine domestique ou industrielle ainsi que les produits de leur transformation au cours des traitements d'épuration se trouvent finalement rassemblés dans la grande majorité des cas sous forme de suspensions plus ou moins concentrées dénommées –boues-.

Le caractère commun à toutes ces boues c'est de constituer un déchet encore liquide. Celles provenant de traitements d'épuration biologique sont souvent fermentescibles nauséabondes par contre, si ces boues organiques ne contiennent pas de micropolluants au-delà des valeurs limites, elles peuvent constituer un amendement et apporter des éléments nutritifs, azote, phosphore. Mais pour être ainsi valorisées en agriculture, ces boues doivent faire l'objet de traitements spécifiques, de transports qui peuvent être très onéreux si les boues ne sont pas déshydratées, de stockage et de contrôles sévères qui nécessitent des moyens financiers importants et des compétences techniques très particulières.[23]

II.3. Mécanisme de filtration

Suivant les caractéristiques des particules à retenir et du matériau filtrant mise œuvre, peuvent intervenir l'un ou plusieurs des trois mécanismes principaux suivants :

Capture, fixation et détachement.[15,75]

Mécanismes de capture

Les mécanismes de capture sont essentiellement de deux natures :

- *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.[15]

- *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.[15]

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 floculées 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.[15]

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.[15]

II.4. Ecoulement à travers les filtres à sable

- **Ecoulement de l'eau dans un milieu poreux :**

On distingue trois types d'eau au sein des milieux poreux.

- L'eau gravitaire (libre, mobile) circule dans la microporosité sous l'action de la pesanteur. Son écoulement peut être lent ou rapide selon l'humidité du massif.
- L'eau de rétention reste dans le sol après de drainage de l'eau gravitaire.
- L'eau de constitution qui rentre dans la composition chimique de la matrice n'est en principe ni échangeable, ni mobilisable.

L'eau se déplace des points où son énergie est la plus élevée vers les points où son énergie est la plus basse. Son transfert est régi par les phénomènes de convection et de dépression.

La perte de charge à travers un milieu filtrant est une caractéristique importante de la filtration de l'ordre de 0.50 à 0.75m lorsque le filtre est propre, elle augmente au fur et à mesure le filtre s'encrasse.

- **La loi de Darcy :**

La première loi d'écoulement d'un fluide à travers un milieu poreux a été établie par Darcy en 1856, qui avait réalisé une série d'expériences sur une canalisation verticale remplie de sable de Saône dans laquelle il mesurait le débit d'eau et la perte de charge entre les deux extrémités de la conduite. Elle a ensuite été généralisée de sorte que la loi de Darcy s'écrit : [25,26]

$$Q = K \cdot S \cdot \Delta H/L$$

K est la conductivité hydraulique à saturation, le signe négatif illustre que l'écoulement se fait dans le sens opposé au gradient de charge.

La vitesse de l'eau s'écrit alors :

$$V = Q / S = K \cdot \Delta H/L$$

Remarque :

Loi de Darcy a un domaine de validité. Elle est valable pour un nombre de Reynolds Re inférieur à une limite variant de 1 à 10 ainsi pour un écoulement dans les sols ayant une faible porosité et faible vitesse d'écoulement de 0.1 à 1 cm/s pour les sables

$$Re = \rho \cdot D \cdot V / \eta$$

Avec :

Re : nombre de Reynolds ($Re < 1$ régime laminaire).

D : diamètre correspond à d_{50}

V_F : vitesse de filtration.

ρ : masse volumique de l'eau.

η : viscosité dynamique du liquide.

- **Les pertes de charges :**

Equation de Carmen-Kozeny :

$$H/l = [J \cdot \nu \cdot (1 - \varepsilon)^2 \cdot V \cdot S^2] / (g \cdot \varepsilon^3 \cdot d^2)$$

Avec :

H/l : perte de charge par unité d'épaisseur de lit (m/m).

J : constante de filtration dépend de dimensions et débit ($J \approx 6$)

ν : viscosité cinématique (m^2/s).

g : accélération gravitaire (m/s^2).

ε : porosité.

V : vitesse apparente de filtration (m/s).

S : facteur de forme des grains (S=6 : grains sphériques, S=7.5 : grains angulaires).

d : diamètre des grains. [26,27]

En laboratoire la perméabilité hydraulique d'un sol saturé à l'aide d'un perméamétrie dont le dispositif est présentée sur la figure I.1. Il peut être utilisé de deux manières différentes.

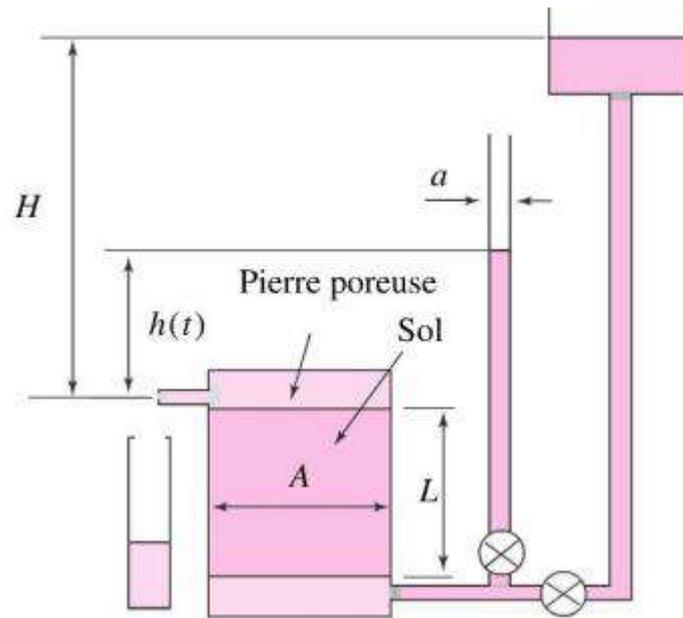


Figure I.1 : Ecoulement dans un milieu poreux

La variation de k est très étendue. Elle varie typiquement entre 10^{-10}m.s^{-1} pour les sols les plus imperméables à 10^{-2}m.s^{-1} pour les sols drainants.

Perméabilité à l'eau des sols. [38]

Type de sol

Gravier	$10^{-1} < k < 10^{-2}$
Sable	$10^{-3} < k < 10^{-1}$
Limon	$10^{-7} < k < 10^{-3}$
Argile	$10^{-11} < k < 10^{-7}$
Roche peu fissurée	$10^{-10} < k < 10^{-8}$

II.5. Colmatage du filtre à sable

Le phénomène de colmatage se présente sous trois formes : physique, chimique et biologique ;

On appelle colmatage l'obstruction progressive des interstices du matériau filtrant, le colmatage provoque une augmentation de la perte de charge.

Le colmatage physique est conditionné par les paramètres physiques du sol tels que la texture, la structure, la nature du sol. Le colmatage chimique est généralement dû au phénomène de défloculation des argiles provoqué par la présence des ions dans la masse filtrante, tandis que le colmatage biologique est causé par accumulation diverse de matières

organiques, de colloïdes minéraux et surtout de micro-organismes, provoquant ainsi la destruction de la structure du sol [9,28,29]

II.6. Nettoyage et régénération des filtres

40% de toute la masse organique présente dans la colonne de sable a été trouvé dans la couche supérieure de 0–2,5 cm.[30]

Le nettoyage ou régénération de filtre à sable est typiquement effectuée lorsque la perte de charge devient trop importante. Pour ça faire, on enlève généralement une couche de sable de 0,5 à 2,5 cm d'épaisseur (surface), cette épaisseur dépendant de la profondeur que la plupart des matières en suspension ont atteinte, le sable enlevé et remplacé pour ramener le lit de sable à la profondeur initiale, [20]

III. La réutilisation des matériaux des supports filtrants

III.1.Utilisation agricole des boues

La valorisation agricole des boues résiduares peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimique (C, N, P...), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges.

Les boues résiduares peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux. [13]

III.2.Composition et traitement des boues

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration.

Les boues résiduares représentent avant tout une matière première composée de différents éléments (Matière organique, éléments fertilisants (N et P ...), d'éléments traces métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes).

III.2.1. Matière organique

La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. La matière organique des boues est constituée de matières particulaires éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de la matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (digestion, stabilisation). [13]

III.2.2.Éléments fertilisants et amendements

Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésie, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium. Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux. [13]

III.2.3.Contaminants chimiques inorganiques et organiques

Ces mêmes éléments traces métalliques (cuivre, le zinc, le chrome et le nickel) indispensables au développement des végétaux et des animaux peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels.

Ainsi, un polluant peut être défini comme un élément ou un composé chimique ordinaire dont la nocivité n'apparaît qu'à partir d'une certaine concentration. Aussi, dans les boues, une multitude de polluants organiques (HAP, Phthalates, PCB, etc) peut se trouver en concentrations en général de l'ordre de $\mu\text{g}/\text{kg MS}$.

La nature et la concentration des eaux usées en polluants organiques et inorganiques sont très dépendantes des activités raccordées au réseau. L'essentiel des contaminations chimiques vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de bricolage...). Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées. [13]

III.2.4. Les micro-organismes pathogènes

Les boues contiennent des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration. Seul une infime partie est pathogène (virus,

bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux.

La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine : les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées. Ainsi, par mesure de précaution, et afin d'éviter de propager la maladie de la vache folle, il est interdit d'utiliser les boues d'épuration provenant des eaux usées des abattoirs ou des équarrissages pour fabriquer de la fumure ou du compost. D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture. [13].

IV-Les travaux antérieurs

Les travaux antérieurs menés au laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques (université d'Ouargla) sur le traitement des eaux usées et réutilisation (essai expérimentales sur filtre à sable) ont montrés des résultats intéressants

Un travail antérieur sur " Installation de pilote de traitement des eaux usées par fosse septique et filtration biologique sur sable des dunes du Sahara algérien "[7]

Un travail antérieur sur "Contribution à l'étude de l'efficacité de la filtration biologique sur sables de dunes"

L'objectif du travail est l'étude de 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, et en fonction de la profondeur du filtre ; ainsi que de suivre l'effet de l'élimination de la matière organique sur le filtre. [31]

Un travail antérieur : une étude comparative entre différents sables des carrières présélectionnées du Sahara septentrional, afin d'aboutir à la mise en place d'un dispositif le plus performant possible en termes de rendement épuratoire.

Un travail antérieur sur "Étude de l'effet de la salinité des eaux usées sur le processus de la filtration lente sur sables"

L'objectif du travail est de contribuer à la compréhension du rôle de la nature des matériaux filtrants et l'effet de la salinité de l'eau brute sur l'élimination des polluants par filtration granulaire [42,43]

Un travail antérieur sur "L'influence des caractéristiques physicochimiques des matériaux filtrants sur l'efficacité de la filtration biologique"

Les objectifs du travail sont: l'exploitation des ressources naturelles et la valorisation de quelques déchets solides dans le domaine du traitement des eaux usées tout en contribuant à la protection de l'environnement, et l'évaluation de l'influence de la nature initiale de matériaux filtrants sur la bio filtration, et la détermination de l'effet des granulométries du matériau filtrant sur l'efficacité de la filtration biologique.[41,56]

Un travail antérieur sur "Élimination des contaminants d'hydrocarbures de l'eau synthétique par filtre à sable"[32]

Un travail antérieur sur l'utilisation des matériaux locaux, tels que le sable des dunes et les noyaux des dattes, comme filtre biologique bicouche [8]

Chapitre II :
Caractérisation des filtres après le
fonctionnement

I. Matériels et Méthodes

L'objectif principal de cette étude, est de caractériser les propriétés physiques et chimiques des matériaux filtrants (des filtres biologiques à sable de dunes), après une période de fonctionnement d'une part, et de faire une étude comparative entre différents sables de dunes après l'utilisation d'autre part, nous avons exploité des sables qui ont été déjà utilisés comme support filtrant, (09 colonnes) dans un travail expérimental et qui ont fonctionné pendant une période de 84 jours (12 semaines).

Pour notre travail, les sables utilisés comme support filtrant sont des sables de dune de sud Algérien, des localités suivent :

Tebesbest (T), la wilaya d'Ouargla

Benaceur (B), la wilaya d'Ouargla

Hassi Messaoud (H), la wilaya d'Ouargla

N'goussa (N), la wilaya d'Ouargla

Ain Beida (A), la wilaya d'Ouargla

Sidi Mehdi (S), la wilaya d'Ouargla

M'Naguer (M), la wilaya d'Ouargla

Hassi Gnifida (G), la wilaya d'Ouargla

Kouinine (K), la wilaya d'El Oued

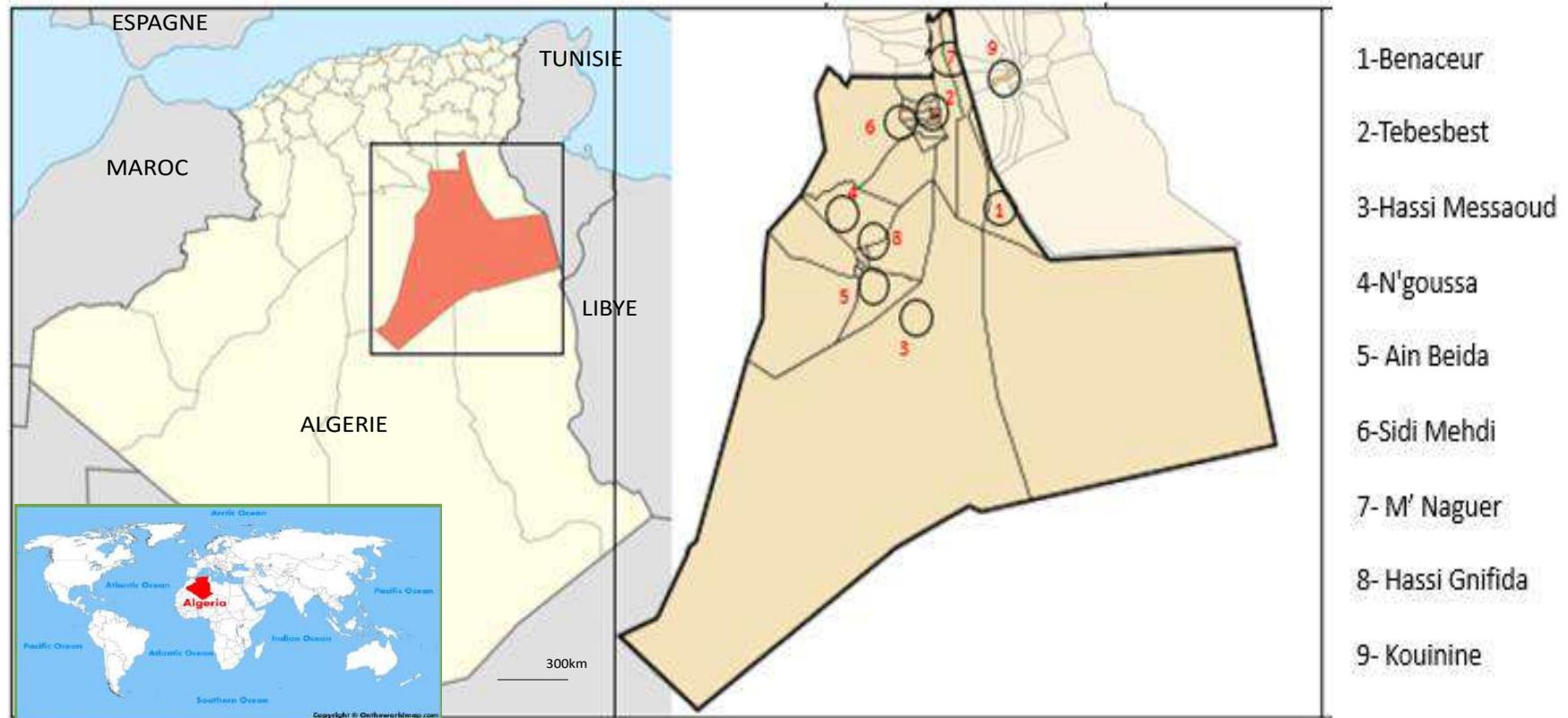


Figure II-1 : Carte des Carrières ciblées

I.1. Les caractéristiques du support filtrant

Les sables utilisés sont des sables de dune de sud Algérien, les sables analysés présentent des caractéristiques favorables pour leur utilisation comme support filtrant. Ils ont fait l'objet de plusieurs études en vue de leur valorisation comme lits de filtration pour l'épuration des eaux usées domestiques [7,8,31,32,69]

I.1.1 L'analyse granulométrique

C'est une analyse quantitative globale de la fraction minérale du sol, négligeant par conséquent les caractéristiques qualitatives de nature chimique et minéralogique, et fondée exclusivement sur des critères géométriques.

Les particules élémentaires entrant dans la constitution de la fraction minérale sont idéalement caractérisées par leur volume et leur forme, par la texture du sol en tant que critère de diversité et est alors définie par la répartition numérique des particules élémentaires en fonction de leur forme géométrique.

L'objectif de l'analyse granulométrique consiste donc à différencier par la taille des 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). [33,34,35]

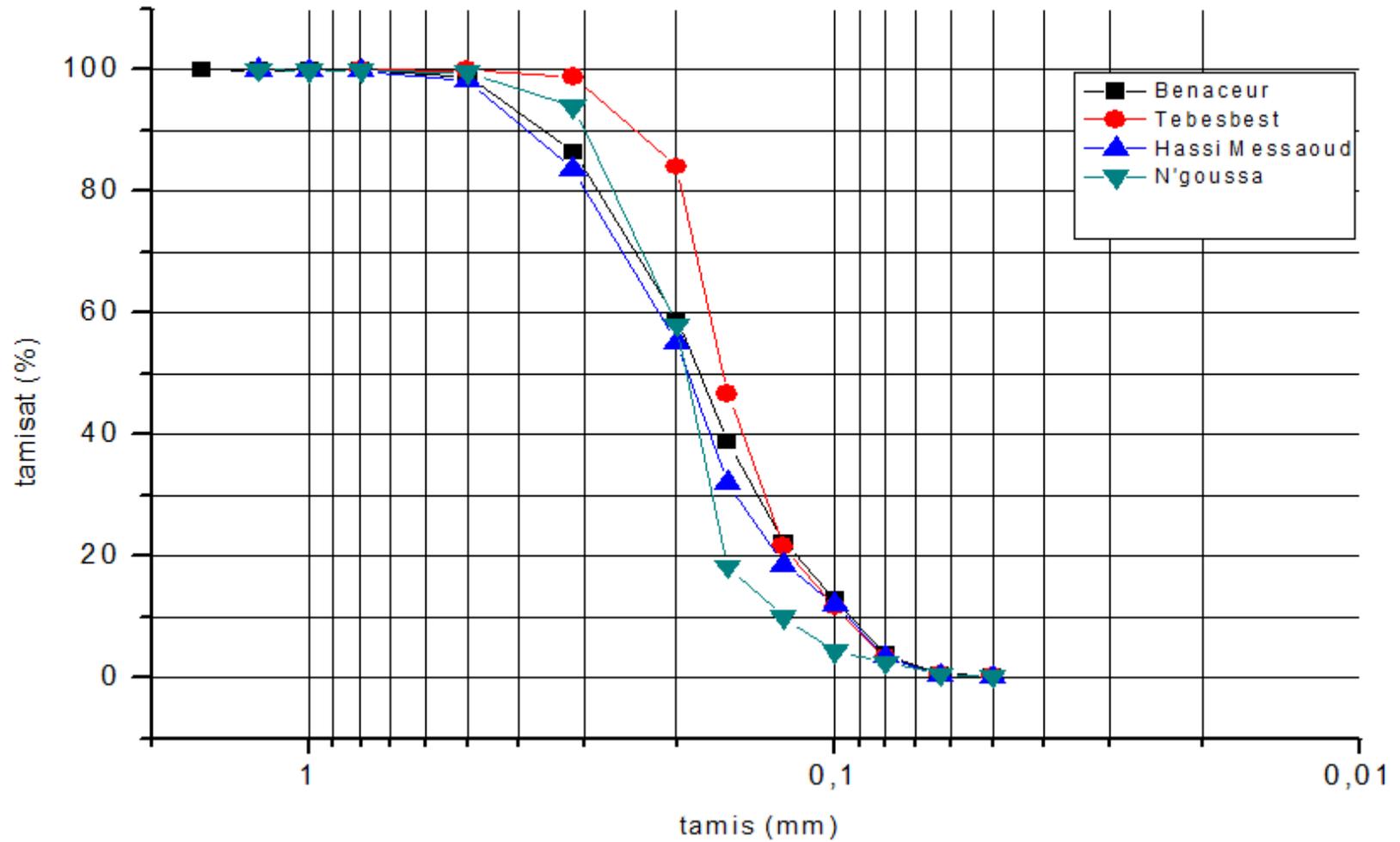


Figure II-2: Courbe granulométrique du sable (Tebesbest, Benaceur, Hassi Messaoud, N'goussa)

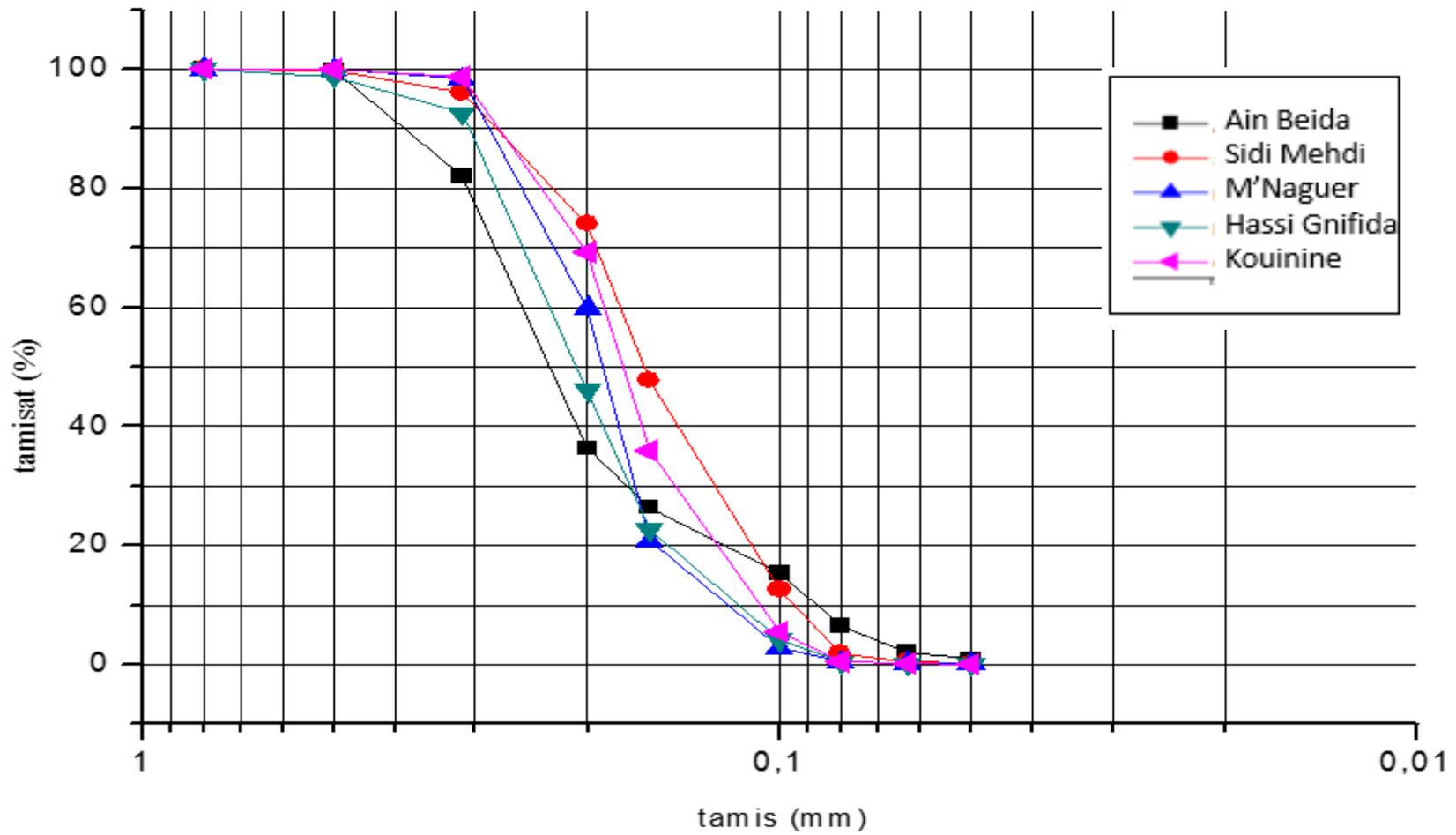


Figure II-3: courbe granulométrique du sable (Ain Beida, Sidi Mehdi, M'Naguer, Hassi Gnifida, Kouinine)

I.1.1.1 Le diamètre efficace DE

Le diamètre effectif correspond à la taille des mailles du tamis qui laissent passer 10% de la masse de l'échantillon [34,35]

I.1.1.2 Le coefficient d'uniformité CU

Le CU est le rapport entre deux diamètres apparents définis de telle sorte que la taille de 60% et respectivement 10% des particules soit inférieure. Soit D60 et D10 étant les valeurs lues en abscisse pour les points de la courbe granulométrique correspondant aux ordonnées de 60% et 10%. [33]

I.1.1.3 Le coefficient de classement Cc

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. [33]

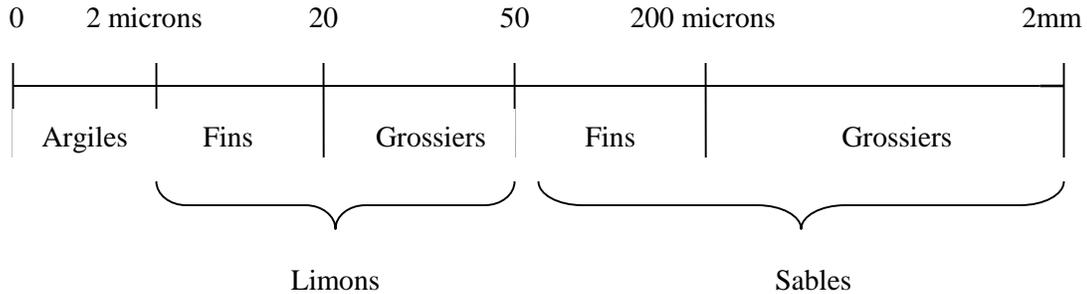
Les résultats de la détermination D10, D60 et Cu sont présentés dans le tableau II-1

Tableau II-1 : les paramètres physiques des sables.

	D₁₀	D₆₀	Cu
Tebesbest	0,09	0,20	2,18
Benaceur	0,10	0,17	1,81
Hassi Messaoud	0,10	0,22	2,32
N'goussa	0,12	0,21	1,75
Ain Beida	0,09	0,25	2,90
Sidi mehdi	0,09	0,18	1,87
M'Naguer	0,12	0,20	1,66
Hassi gunifida	0,12	0,23	1,98
Kouinine	0,11	0,19	1,76

I.1.1.4 Classification des sols selon leur texture :

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



*Micron = 1/1000mm (ou micromètre)

La partie minérale supérieure à 2mm est appelée élément « éléments grossiers » ou refus mais la limite du diamètre entre les sables et les limons a toujours été différente selon les diverses écoles ou les pays.[34,78]

I.1.2 Densité réelle

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

$$D_r = M_s / V_s$$

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. [36]

I.1.3 Densité 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 sols. [33]

I.1.4 La porosité totale

La porosité totale P_r , représente le pourcentage des vides existants dans un échantillon de sol. Elle est estimée à partir de la mesure de la densité réelle (D_r) et la densité apparente (D_{app}) où $P_r = [(D_r - d) / D] \times 100$ [37,38,68]

Les résultats de la détermination de Porosité, D_r et D_{app} sont présentées dans le tableau II-2

Tableau II-2 : les paramètres physiques des sables

	Porosité	D_r	D_{app}
Benaceur	46,56	2,88	1,54
Tebesbest	43,44	2,79	1,58
Hassi Messaoud	47,23	3,07	1,62
N'goussa	48,46	2,96	1,53
Ain Beida	38,14	2,74	1,70
Sidi mehdi	39,62	2,69	1,62
M'Naguer	39,66	2,65	1,60
Hassi gunifida	36,51	2,61	1,66
Kouinine	35,06	2,69	1,75

I.1.5 Le pH

Il représente l'acidité ou l'alcalinité du sol ; La mesure de pH s'effectue à l'aide d'une électrode (pH mètre) de verre combinée trempant dans une suspension de sol dans un rapport (1/5).

Les résultats de la détermination de pH dans un extrait de sol de 1/5 (20 g de sol et 100 ml d'eau distillée). Sont présentées dans le tableau II-3

Tableau II-3: les paramètres chimiques des sables :pH.

	pH
Tebesbest	8,39
Benaceur	8,76
Hassi Messaoud	8,22
N'goussa	8,35
Ain Beida	8,01
Sidi Mehdi	7,73
M'Naguer	8,46
Hassi Gnifida	7,74
Kouinine	8,24

I.1.6 La conductivité électrique (CE)

Elle représente la concentration des sels dans le sol. Elle est mesurée directement par l'utilisation du conductimètre dans un extrait de sol de 1/5 (20 g de sol et 100 ml d'eau distillée). Les sols sont classés selon leurs conductivités électriques.

Les résultats de la détermination de CE dans un extrait de sol de 1/5 (20 g de sol et 100 ml d'eau distillée). Sont présentées dans le tableau II-4

Tableau II-4: les paramètres chimiques des sables : Conductivité électrique

	Conductivité électrique (extrait)mS/cm
Tebesbest	2,68
Benaceur	0,46
Hassi Messaoud	0,35
N'goussa	3,52
Ain Beida	1,41
Sidi Mehdi	1,77
M'Naguer	1,71
Hassi Gnifida	0,09
Kouinine	0,11

I.1.7 La teneur en matière organique (MO)

Les matières organiques sont des matériaux d'origines végétale et/ou animale de même que pour les produits de transformation de ces matériaux, les tissus des organismes du sol et les substances qu'ils ont synthétisées.

Cette fraction est généralement déterminée sur l'échantillon du sol passé à travers un tamis à mailles de 2 mm, Pour la mesure de cette grandeur, la méthode 'Anne' est utilisée. Elle se base sur la décomposition des molécules organiques par une solution d'acide sulfurique additionnée de bichromate de potassium pour le sable utilisé.[36,39,40]

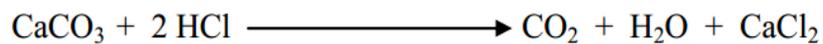
Les résultats de la détermination de la teneur matières organiques sont présentés dans le tableau II-6

Tableau II-5 : les paramètres chimiques des sables : MO

Type de sable	teneur en matière organique (%)
Tebesbest	0,37
Benaceur	0,16
Hassi Messaoud	0,42
N'goussa	0,40
Ain Beida	0,17
Sidi mehdi	0,50
M'Naguer	0,45
Hassi gunifida	0,61
Kouinine	0,52

I.1.8 Taux du calcaire

On utilise la propriété du carbonate de calcium à se décomposer sous l'action d'un acide. Le dosage de calcaire total est fondé sur la réaction du carbonate de calcium au contact de l'acide chlorhydrique, ceci est réalisé à l'aide du calcimètre de Bernard par mesure du volume de CO₂ dégagé :



Les résultats de la détermination des taux du calcaire sont présentés dans le tableau II.6

Tableau II-6 les paramètres chimiques des sables : Taux du calcaire

	Taux du calcaire (%)
Tebesbest	4,32
Benaceur	2,79
Hassi Messaoud	0,32
N'goussa	0,27
Ain Beida	0,72
Sidi Mehdi	3,25
M'Naguer	1,90
Hassi Gnifida	0,35
Kouinine	15,11

I.2. Caractérisation des eaux usées utilisées

Durant toute la période de fonctionnement les pilots ont été alimentés par une eau usée synthétique préparée au laboratoire afin d'assurer la stabilité de la qualité de l'eau usées utilisée.

Nous avons utilisé des eaux usées synthétiques dont la composition est similaire à celle utilisée par Gherairi.yet all, Khengaoui. k et all, Gherairi.f et all [8,41,42]

TableauII-7 : Les Caractéristiques des eaux usées synthétiques [8,24]

Paramètres	eaux usées synthétiques	Normes des eaux domestiques
DBO ₅	480 ±20 mg.L ⁻¹	100 to 500 mg.L ⁻¹
DCO	878.4± 10 mg.L ⁻¹	300 to 1000 mg.L ⁻¹
CE	970 μS.cm ⁻¹	900 to 1300 μS.Cm ⁻¹
pH	6.66 ±0.5	7.5 to 8.5

Les eau usée synthétique a été préparée par les matières nécessaires tels que le glucose (sucre), le lait sec en poudre, la levure de boulanger comme source bactérienne; K₂HPO₄, NH₄Cl, NaHCO₃, MgSO₄, CaCl₂, 2H₂O en s'assurant que ces produits contiennent tous les

composants susceptibles d'être présents dans une eau usée domestique avec des concentrations considérables.[9,43,44,45,46]

I.3. Débit d'alimentation

Le choix du débit se fait selon le modèle réel dans le domaine de traitement des eaux usées par filtration lente, il varie entre 42 à 264 l/j/m² [44,47,48,65], 264 l/j/m² (charge hydraulique élevée), 132 l/j/m² (charge hydraulique moyenne) et 66 l/j/m² (charge hydraulique faible)[47]. Nous avons simulé ces valeurs réelles pour une surface de 0.00454 m², d'où un débit journalier de 0.227 l/j a été adopté pour chaque filtre.

Nous avons choisi d'alimenter les filtres 13 fois par jour avec un pas de temps d'une heure, et le volume à injectée est $V_{\text{injecté}} = 0.020$ l/h. Ce dernier a été doublé pour accélérer le processus afin de récupérer une quantité d'eau filtrée acceptable.

En d'autres termes, l'alimentation des filtres est manuelle avec un débit journalier de 0.52 l/j. Ce qui nous donne un débit expérimental, par rapport au débit réel, multiplié par 2.29.[8,41,43]

Le procédé de la filtration lente étant aérobie, une bonne oxygénation du milieu granulaire est nécessaire. En effet, les pores laissés par les grains du matériau filtrant se rechargent en air, qui y pénètre par diffusion à partir de l'atmosphère et par convection lors de l'alimentation en eau, processeurs qui emprise et chasse l'air vers les couches inférieures, le système horaire permet l'aération naturelle des filtres pendant leur alimentation avec les eaux usées. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement.[50,43,49]

L'alternance des phases, d'alimentation et de repos, est adoptée pour assurer la recharge en oxygène des massifs (phases de repos d'un jour après six jours d'alimentation). Cette alternance assure l'oxygénation du massif mais également l'autorégulation de la biomasse organique qui diminue pendant la période de repos (respiration endogène). Cette autorégulation de la biomasse bactérienne réduit les risques de colmatage biologique [43,49,50].

I.4. Pilote de filtration

Le travail a été réalisé dans des pilotes au laboratoire sur des colonnes en PVC de 76 mm de diamètre interne et de 800 mm de hauteur ; l'épaisseur de la couche du sable dans chaque filtre est 600 mm. Figure II-03 et Figure II-04

Figure II-03 : Dispositif expérimental

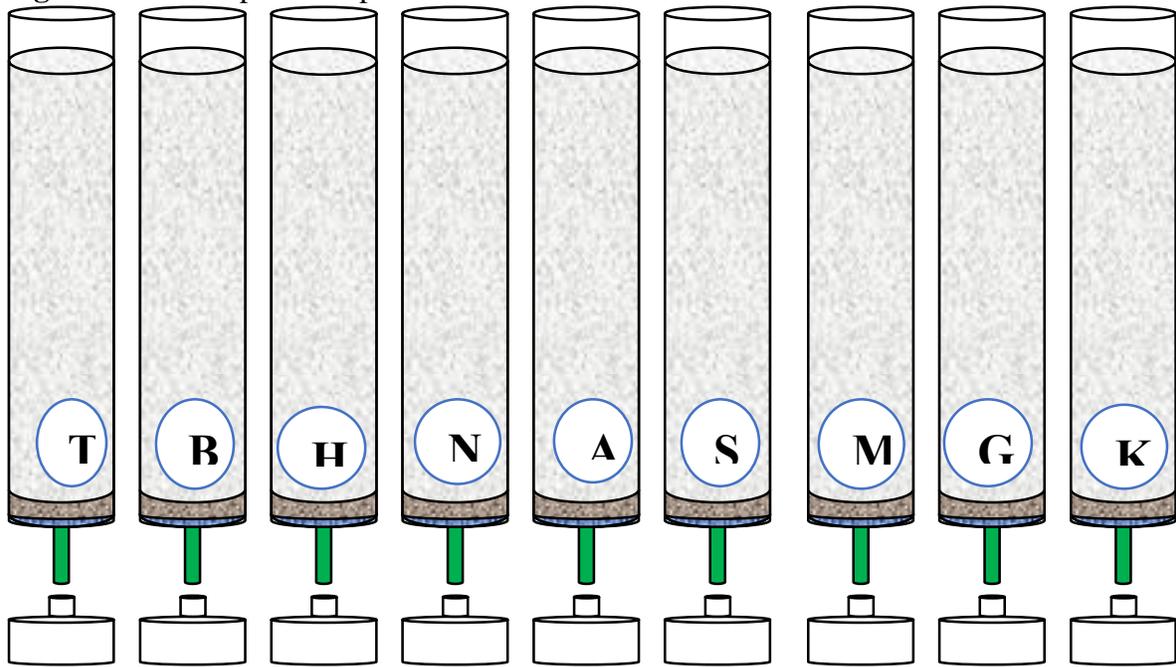
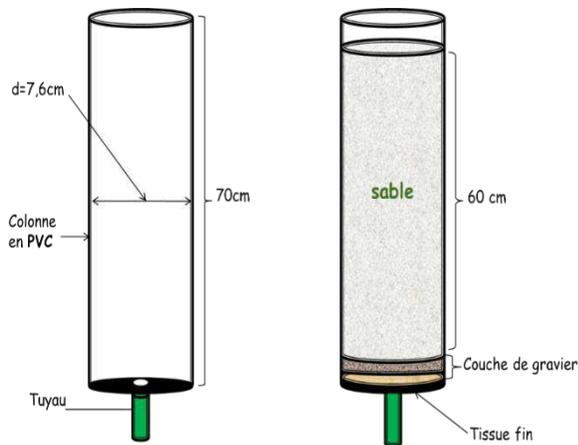


Figure II-04 : Pilote de filtration



I.5. Méthode d'échantillonnage

Après la période de fonctionnement des filtres, nous avons laissé les filtres pour la vidange de l'eau par gravité. La procédure d'échantillonnage a été basée sur les étapes suivantes : les colonnes ont été démontées et divisées en 10 couches de 60 mm d'épaisseur et numérotées du haut vers le bas de 1 à 10 (figure). Les échantillons de sable de chaque couche sont séchés à l'étuve à 105° pendant 24 heures.

II. Résultats et discussions

II.1 La teneur en matière organique

Après le fonctionnement des filtres, la teneur en matière organique est mesurée pour chaque couche et pour chaque type de sable, nous avons utilisé la méthode d'Anne pour la Détermination de la matière organique.[68]

Le tableau II.8 et les figures II.5 et II.6 et II.7 sont représentées la variation et la distribution de la teneur en matière organique dans les couches filtrantes en fonction de profondeur.

Tableau II- 8 : Distribution verticale de la matière organique après le fonctionnement (MO %)

MO (%) Sable Naturel	Type de sable de dune (pilote)								
	Tebesbest	Benaceur	Hassi Messaoud	N'goussa	Ain Beida	Sidi Mehdi	M'Naguer	Hassi Gnifida	Kouinine
	0.16	0.37	0.42	0.40	0.17	0.50	0.45	0.61	0.52
Couche	Distribution verticale de la matière organique après le fonctionnement								
1	1,87	2,12	2,02	1,90	2,57	3,60	2,80	2,86	3,12
2	0,74	0,48	0,51	0,57	0,63	1,64	0,79	0,45	0,56
3	0,43	0,44	0,33	0,41	0,40	0,24	0,34	0,74	0,37
4	0,60	0,28	0,20	0,37	0,48	0,26	0,16	0,32	0,29
5	0,44	0,32	0,30	0,15	0,61	0,21	0,34	0,32	0,34
6	0,26	0,29	0,26	0,11	0,50	0,42	0,19	0,48	0,29
7	0,36	0,19	0,37	0,29	0,45	0,16	0,08	0,19	0,29
8	0,26	0,23	0,39	0,29	0,37	0,21	0,24	0,16	0,21
9	0,30	0,17	0,23	0,37	0,26	0,42	0,26	0,24	0,40
10	0,21	0,30	0,17	0,17	0,08	0,29	0,05	0,03	0,37

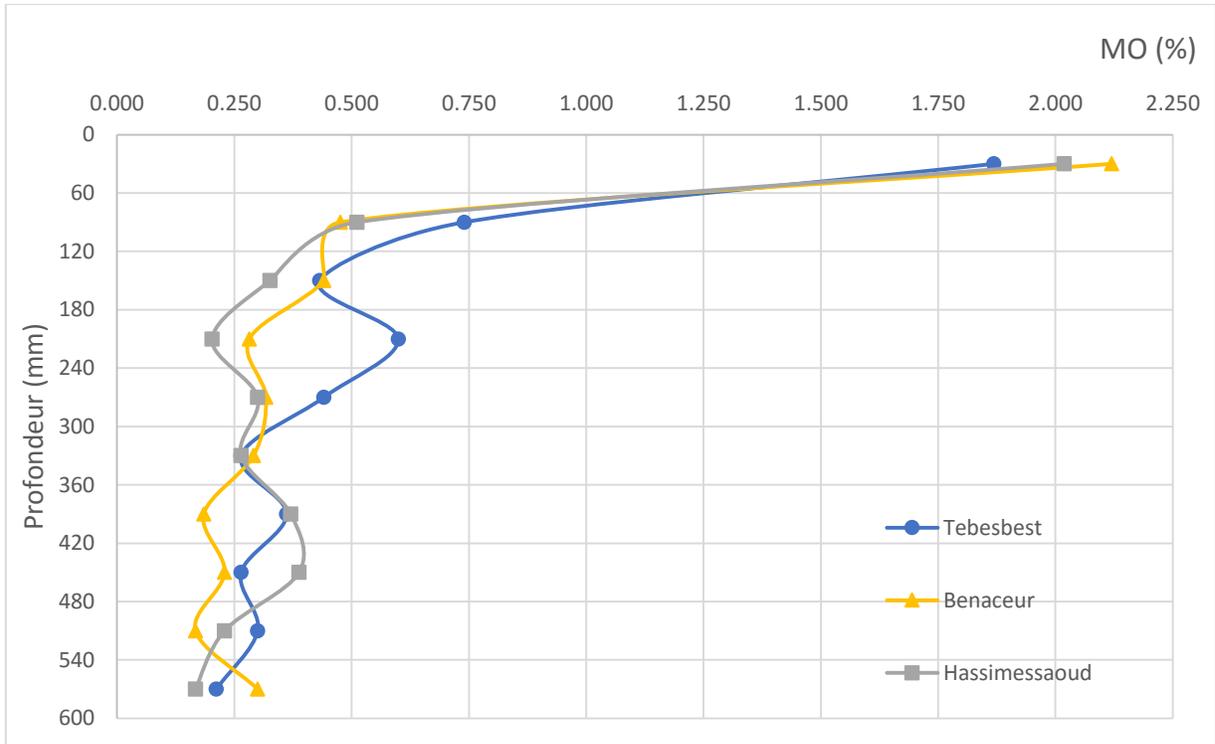


Figure II-05: Distribution verticale de la matière organique après le fonctionnement

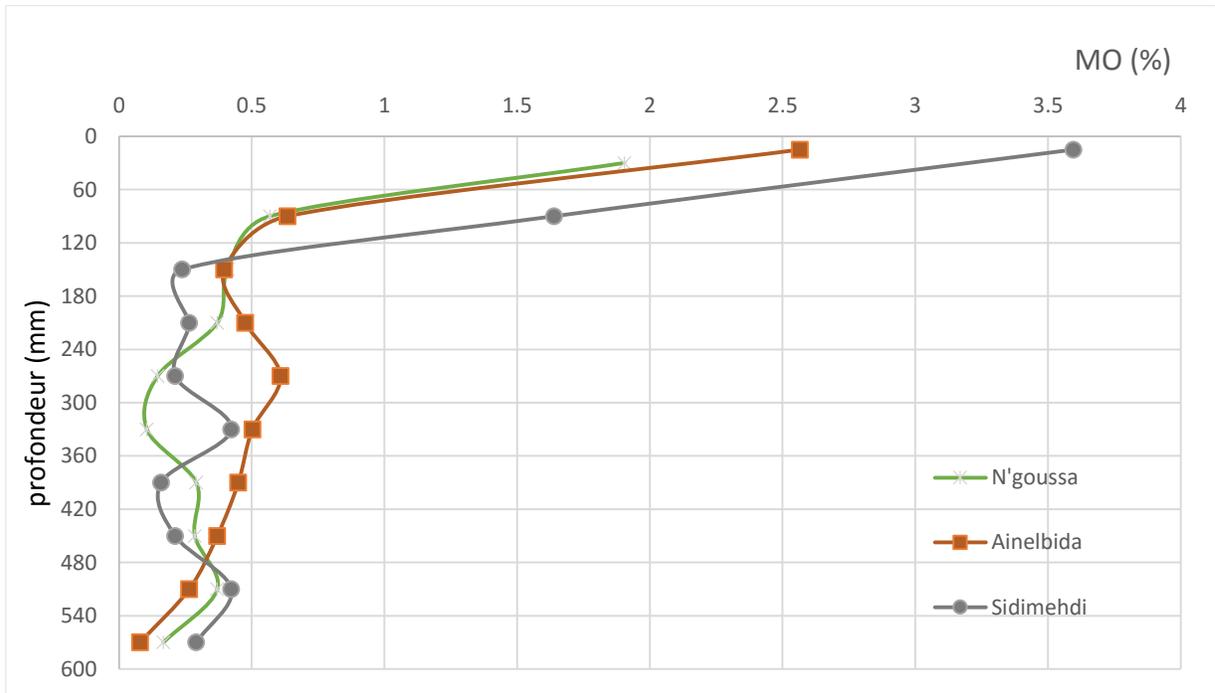


Figure II-06: Distribution verticale de la matière organique après le fonctionnement

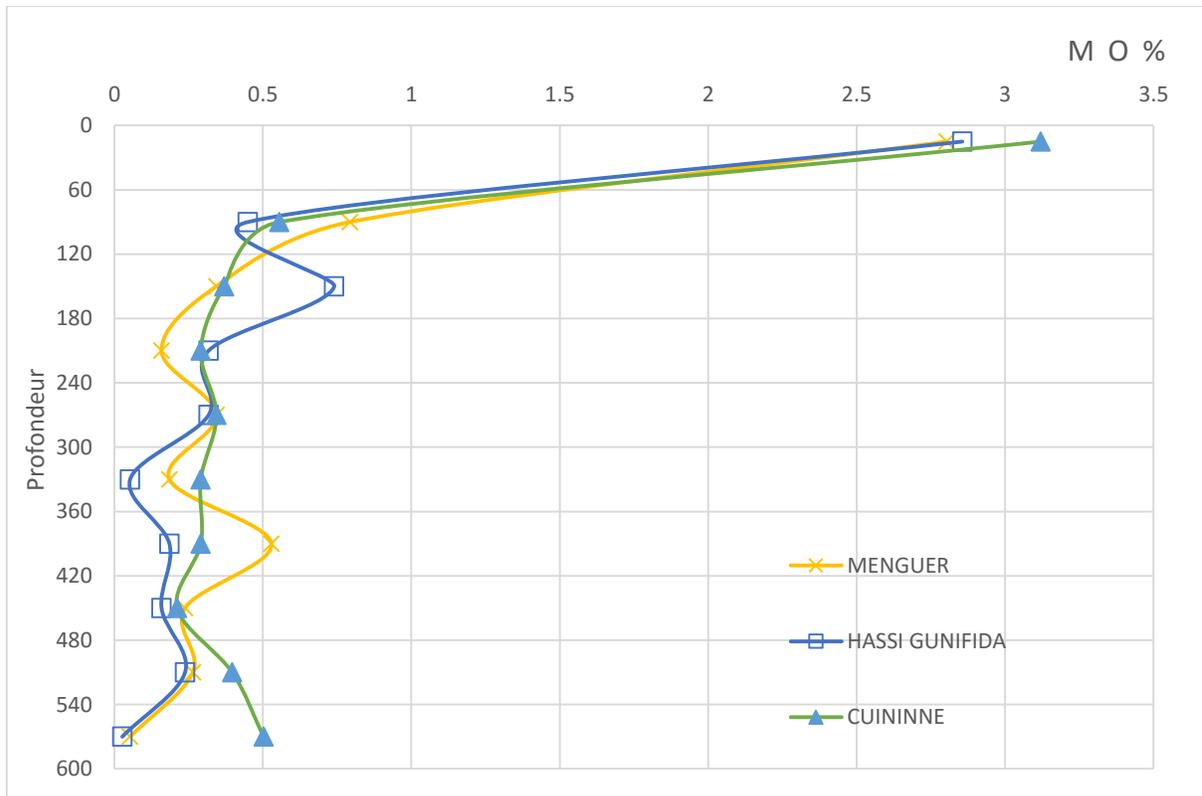


Figure II-07: Distribution verticale de la matière organique après le fonctionnement

La quantité de la matière organique du sol est exprimée de deux manières soit par une teneur en carbone, soit par une teneur en matière organique.

Teneur en matière organique = teneur en carbone organique x 1,72[51]

Les courbes de la teneur en matière organique pour les types de sables (Figure II-5. Figure II-6. Figure II-7) peuvent être divisées en deux intervalles :

Le premier intervalle représenté par la couche de surface (couche 01) est une phase qui se caractérise par une augmentation importante de la teneur en matière organique (1,87% à 3,6%), il s'agit de la zone de dépôt de matières organiques des eaux usées utilisées, ainsi qu'aux activités microbiennes notamment d'algues qui se développe en surface des filtres [9,28].

Ainsi, l'accumulation de la matière organique peut-être expliquée par les mécanismes de tamisage mécanique et le dépôt sur le matériau filtrant.

Le tamisage mécanique, est le phénomène 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.[15]

Le second intervalle correspond aux couches sous-jacentes (couches 02 à 10) où le taux de matière organique varie de 0,21% à 0,74% dans le pilot 01(sable de Tebesbest), il diminue progressivement avec la profondeur, mais il reste sensiblement plus élevés on la compare aux sables vierges (sable de Tebesbest naturel) dans les couches (2, 3,4, et 5), ceci peut être expliqués par de dépôt de matière organique lessivée par écoulement des eaux usées.

Dans le pilote 2 (Benaceur) la teneur en matière organique varie de 0,17% à 0,47% dans les couches sous-jacentes (couche 02 à 10) où nous avons remarqué un peu d'augmentation de matière organique par rapport au sable vierge (Benaceur naturel), ceci peut être expliqué par le fait que le sable des dunes de Benaceur est le plus fine.

Les pilotes 03(Hassi Messaoud) et 04 (N'goussa) présentent dans leurs couches inférieures (couches de 3 à 10) un faible taux de matière organique par rapport aux sables vierges (Hv et Nv respectivement).

Le pilot 05 (Ain Beida) présente dans leur première couche 2,57% de MO, et dans les couches sous-jacentes (couche 02 à 10), nous avons remarqué que MO varie de 0,08% à 0,63%.

Nous avons observé une augmentation de la teneur en matière organique dans les couches de surface, pour les pilot Sidi Mehdi, M'Naguer, Hassi Gnifida et Kouinine,

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. [15]

Dans l'ensemble des pilote nous avons remarqué qu'environ de 34% à 51% de la matière organique s'accumule dans la couche supérieures des colonnes.

II.2 Taux du calcaire

Le carbonate de calcium (CaCO_3), a des constituants minéraux des sables utilisés, il a été illustrée dans plusieurs travaux de recherches pour avoir une capacité d'absorption élevée pour

Le phosphore [48] -en effet le Ca^{2+} issu de la dissolution de CaCO_3 constitue avec l'ion PO_4^{2-} un composé insoluble - ; mais sa présence en quantité élevée dans le support filtrant est défavorable.

Lors de la sa dissolution/ré-précipitation il peut créer le phénomène de cimentation des grains de sables et par conséquent le colmatage rapide des filtres [34].

Le tableau II.9 et les figures II.8 et II.9 représentent la variation et la distribution de la teneur en calcaire dans les couches filtrantes en fonction de profondeur.

TableauII-9: Taux de calcaire après le fonctionnement (%CaCO₃)

CaCO ₃ (%) Sable Naturel	Type de sable de dune (pilote)								
	Tebesbest	Benaceur	Hassi Messaoud	N'goussa	Ain Beida	Sidi Mehdi	M'Naguer	Hassi Gnifida	Kouinine
	4.32	2.79	0.32	0.27	0.72	3.25	1.90	0.35	15.11
Couche	Taux de calcaire après le fonctionnement (%CaCO ₃)								
1	2,76	1,06	0,03	0,00	0,00	0,90	0,63	0,00	13,62
2	3,94	2,19	0,14	0,00	0,06	4,32	2,63	0,22	16,50
3	4,00	2,46	0,20	0,00	0,36	4,50	2,71	0,23	16,90
4	4,11	2,53	0,16	0,02	0,41	4,29	2,84	0,44	16,90
5	4,33	2,58	0,15	0,03	0,60	4,25	3,01	0,46	16,14
6	4,37	2,68	0,18	0,05	0,65	4,41	3,05	0,59	16,35
7	4,38	2,71	0,39	0,09	0,67	4,36	3,03	0,55	16,11
8	4,40	2,84	0,47	0,11	0,69	4,50	3,16	0,55	16,02
9	4,46	2,86	0,46	0,12	0,79	4,35	3,08	0,53	17,02
10	4,56	2,87	0,44	0,15	0,79	4,09	2,96	0,54	16,17

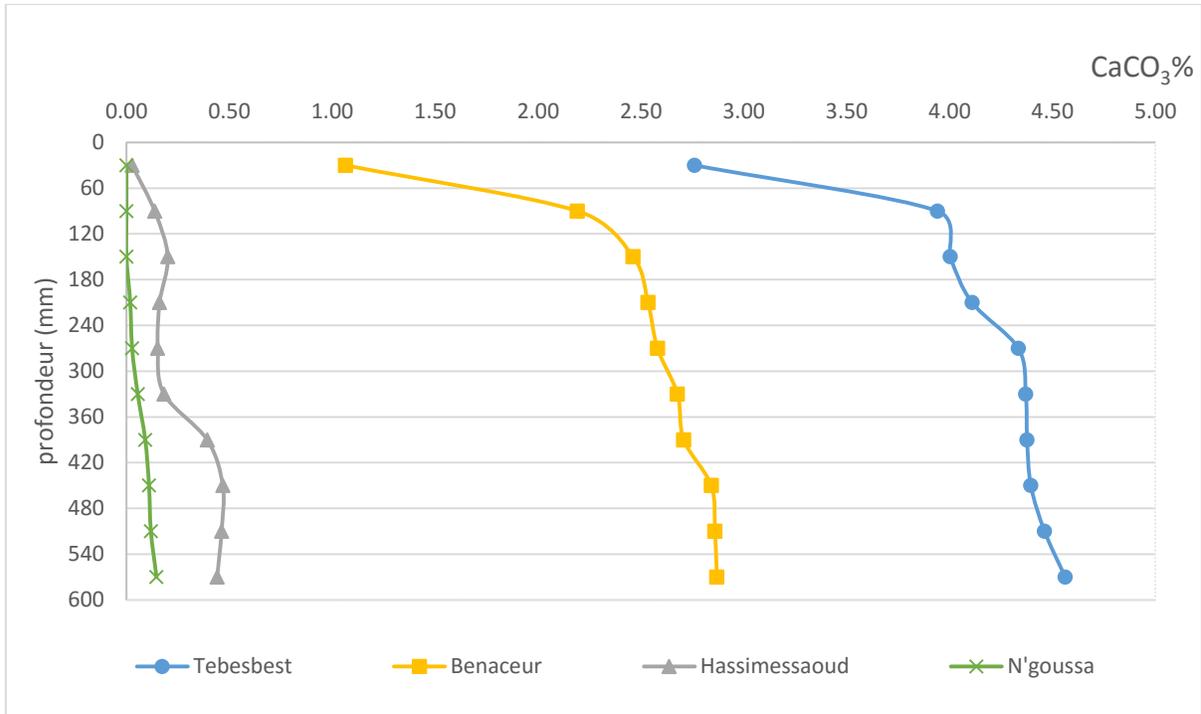


Figure II-08: Distribution verticale de (% CaCO_3) après le fonctionnement



Figure II-9: Distribution verticale de (% CaCO_3) après le fonctionnement

Pour les sables vierges Tebesbest et Benaceur le taux de calcaire est de 4,32% et 2,79% respectivement, mais après le fonctionnement le taux de calcaire enregistré au niveau de la couche de surface des pilotes 01 et 02 a diminué à environ de la moitié (2,76% et 1,06% respectivement), nous avons enregistré de la teneur élevée en calcaire dans les couches inférieures et qui dépassent même celles des sables vierges.

Le taux de calcaire des sables vierges des échantillons Hassi Messaoud, N'goussa, Ain Beida et Hassi Gnifida, est faible avec 0,32%, 0,27%, 0,72% et 0,35% respectivement. Après le fonctionnement du pilote 3 le taux de calcaire a baissé dans les couches supérieures (0,03% dans la couche 1 et 0,15% dans la couche 6), de même pour le pilote 4 où le sable est presque décarbonaté (~ 0%) dans les cinq couches de surface. En revanche, les couches inférieures du pilote 3 présentent une légère accumulation du calcaire, le sable du pilote 04 étant très faiblement calcaire n'a pas présenté une accumulation significative des carbonates, Nous avons remarqué que les pilotes 5 et 8 sont peu calcaire avec une valeur nulle au niveau de la surface des filtres.

Le pilote 6 présenté des valeurs varie entre 4,04 % et 4,50 %, avec 0,90 % au niveau de la surface des filtres, et pour le pilot 7, le taux de calcaire varie entre 2,63 % et 3,16 %, avec 0,63 % au niveau de la surface.

Le sable de Kouinine il est classé comme horizon modérément calcaire, après la période de fonctionnement de filtre, le taux de calcaire varie entre 16,02% et 17,02% dans les couches Inférieures, avec 13,62 % au niveau de la surface.

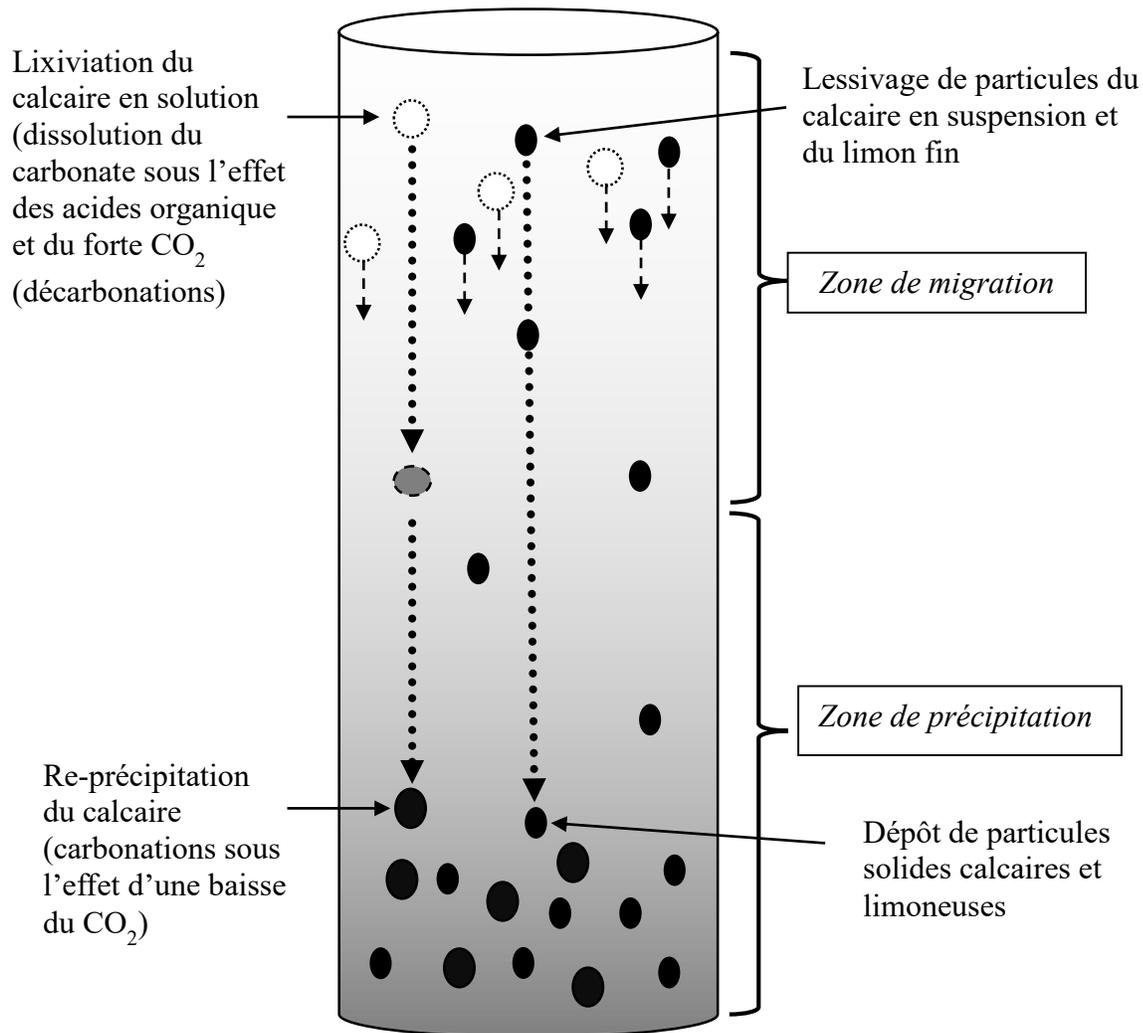
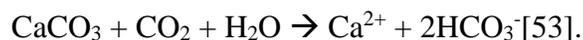


Figure II-10 : Modèle de colmatage du filtre à sable de dune sous l'effet combiné de la matière organique, du calcaire et de lessivage du limon fin

Deux processus simultanés peuvent être expliqués le carbonate de calcium (CaCO_3), biochimique et physique.

Le premier est une lixiviation du calcaire, il s'agit de décarbonatation des sables par les acides organiques issus de la décomposition de la matière organique et de la forte pression partielle du CO_2 sous contrôle de la biomasse microbienne qui se développe dans les couches supérieures du filtre. Ainsi le processus de dissolution des carbonates est déclenché selon la réaction



Dans la partie inférieure du filtre une baisse de pression partielle du CO_2 due à la faible activité microbienne favorise le processus précipitation des carbonates selon la réaction



Et par conséquent le colmatage du filtre.

Le second est un lessivage des particules limoneuses calcaires à travers la colonne du sable filtrant.

II.3. Le pH des matériaux filtrants

Les sols ont une réaction neutre, acide ou basique. Leur degré d'acidité ou de basicité (alcalinité) est exprimé par le pH. La mesure du pH constitue ainsi le test le plus sensible des modifications survenant dans l'évolution d'un sol (sur une pâte de sol saturé ou une pâte diluée) [51,71]

Nous avons déterminé le pH de notre matériau filtrant, avec un pH-mètre, dans un extrait de sol de 1/5 (20 g de sol et 100 ml d'eau distillée).

Nous avons déterminé le pH pour chaque couche (10 couches) et pour chaque type de sable (9 type de sable).

Les résultats de la détermination de pH sont présentés dans le tableau II.10

TableauII-10 : Variation de pH dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches

pH sable naturel	Type de sable de dune (pilote)								
	Tebesbest	Benaceur	Hassi Messaoud	N'goussa	Ain Beida	Sidi Mehdi	M'Naguer	Hassi Gnifida	Kouinine
	8.39	8.76	8.22	8.35	8.01	7.73	8.46	7.74	8.24
Couche	Variation de pH après le fonctionnement								
1	7,72	7,65	7,26	6,7	6,71	7,52	7,30	6,85	7,52
2	7,92	7,76	7,44	7,26	7,81	8,62	7,81	7,42	8,08
3	7,96	8,26	7,57	7,61	8,24	8,16	7,90	7,71	8,27
4	8,06	8,37	7,77	7,55	8,3	7,74	8,01	7,92	8,19
5	8,01	8,50	7,83	7,79	8,33	8,07	8,09	8,03	8,19
6	8,06	8,53	7,95	8,04	8,41	8,05	8,25	8,06	7,62
7	8,09	8,64	7,97	8,43	8,48	8,34	8,26	8,13	7,83
8	8,12	8,42	8,08	8,47	8,55	8,25	7,89	8,03	7,94
9	8,10	8,49	8,09	8,49	8,8	8,41	7,60	8,01	7,96
10	8,04	8,44	8,23	8,75	8,85	8,39	7,52	8,00	8,05

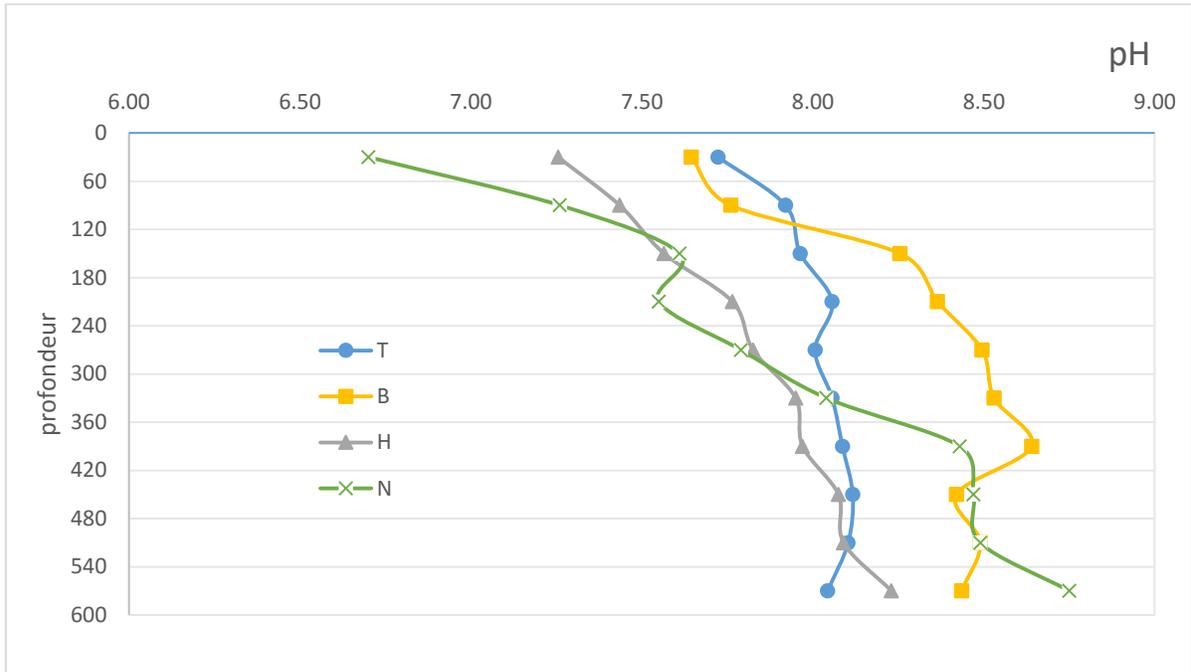


Figure II-11: Variation de pH dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches

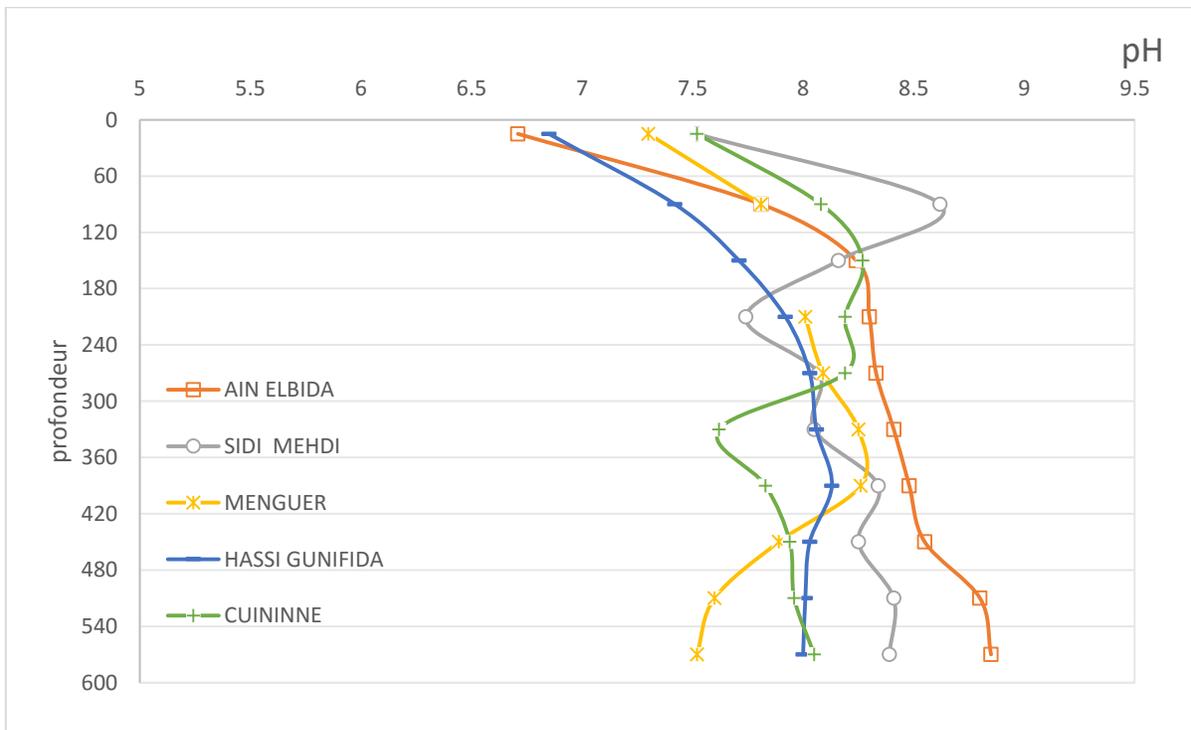


Figure II-12: Variation de pH dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches

Les résultats montrent que les sables vierges sont légèrement basiques avec des pH qui varient de 7,73 à 8,76.

Après utilisation les sables on a enregistré en générale une légère diminution de pH. Au sein de chaque pilote, le pH augmente avec la profondeur (de 7,72 à 8,12 pour Tebesbest ; de 7,65 à 8,64 pour Benaceur, de 7,26 à 8,23 pour Hassi Messaoud, de 6,7 à 8,75 pour N'goussa, de 6,71 à 8,71 pour Ain Beida, de 7,52 à 8,62 pour Sidi Mehdi, de 7,3 à 8,26 pour M'Naguer, de 6,85 à 8,13 pour Hassi gnifida, de 7,52 à 8,17 pour Kouinine).

Le pH affecte la diversité, l'activité et la taille des populations microbiennes, le pH optimal de développement des bactéries se situe entre 7 et 8,5 alors que les champignons sont favorisés dans milieux plus acides, le pH agit également sur l'état d'ionisation des enzymes, ce qui modifie leur affinité pour les substrats [54]

II.4 La conductivité électrique

La conductivité électrique elle représente la concentration des sels dans un milieu. Elle est mesurée directement par l'utilisation d'un conductimètre.

Nous avons déterminé la conductivité électrique sur une solution d'extrait aqueux 1/5 (sol/eau). Les sols sont classés selon leurs conductivités électriques comme suit [35]:

< 2.5	Non salé
2.5 à 5	Faiblement salé
5 à 10	Moyennement Salin
10 à 15	Salé
15 à 20	Fortement salé
20 à 27,5	Très Fortement salé
27,5 à 40	Excessivement salin

Les résultats de la détermination de la Variation de CE dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches sont présentés dans le tableau II.11

TableauII-11 : Variation de CE (mS/cm) dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches

CE(mS/cm)	Type de sable de dune (pilote)								
	Tebesbest	Benaceur	Hassi Messaoud	N'goussa	Ain Beida	Sidi Mehdi	M'Naguer	Hassi Gnifida	Kouinine
Sable naturel	2.68	0.46	0.35	3.52	1.41	1.77	1.71	0.09	0.11
Couche	Variation de CE (mS/cm) en fonction des couches								
1	0,85	0,48	0,18	0,22	0,29	0,28	0,24	0,18	0,27
2	2,27	0,37	0,18	0,21	0,14	0,13	0,11	0,10	0,10
3	2,27	0,19	0,10	0,40	0,13	0,36	0,11	0,07	0,09
4	2,31	0,21	0,08	0,14	0,12	1,94	0,12	0,08	0,09
5	2,31	0,14	0,08	0,24	0,13	1,95	0,15	0,08	0,09
6	2,33	0,20	0,09	0,22	0,14	1,98	0,12	0,08	0,10
7	2,32	0,19	0,10	0,13	0,14	1,94	0,27	0,08	0,08
8	2,35	0,20	0,10	0,15	0,15	1,93	0,78	0,09	0,09
9	2,31	0,23	0,11	0,19	0,11	1,93	1,76	0,09	0,09
10	2,35	0,20	0,12	0,22	0,15	1,95	1,76	0,10	0,09

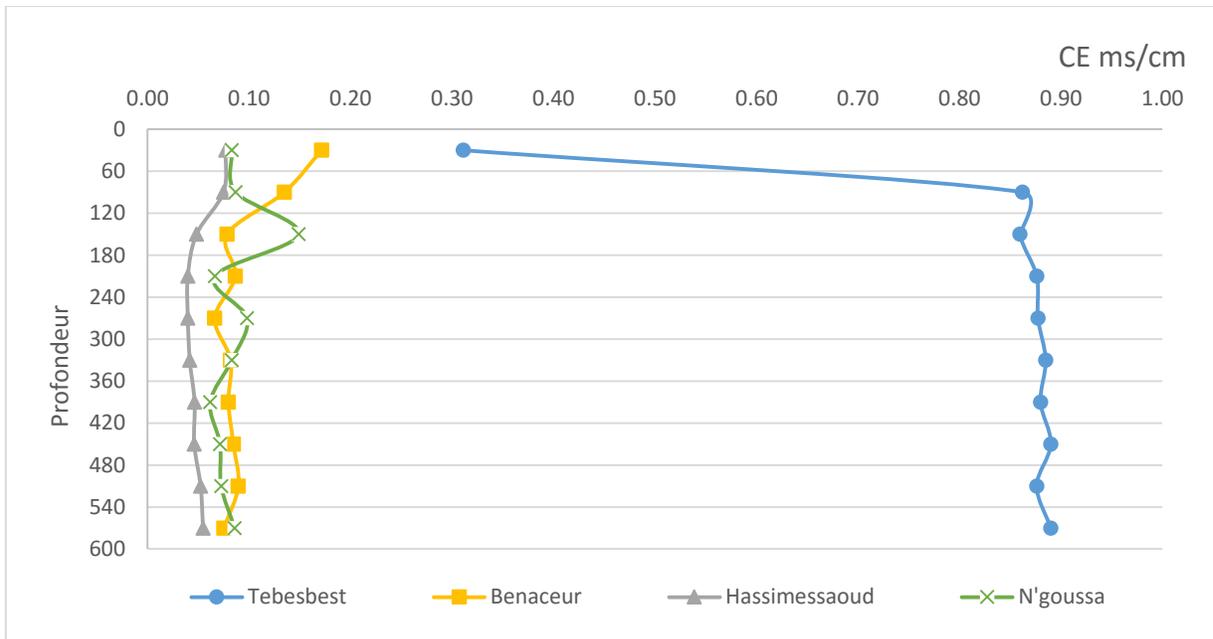


Figure II-13: Variation de CE dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches

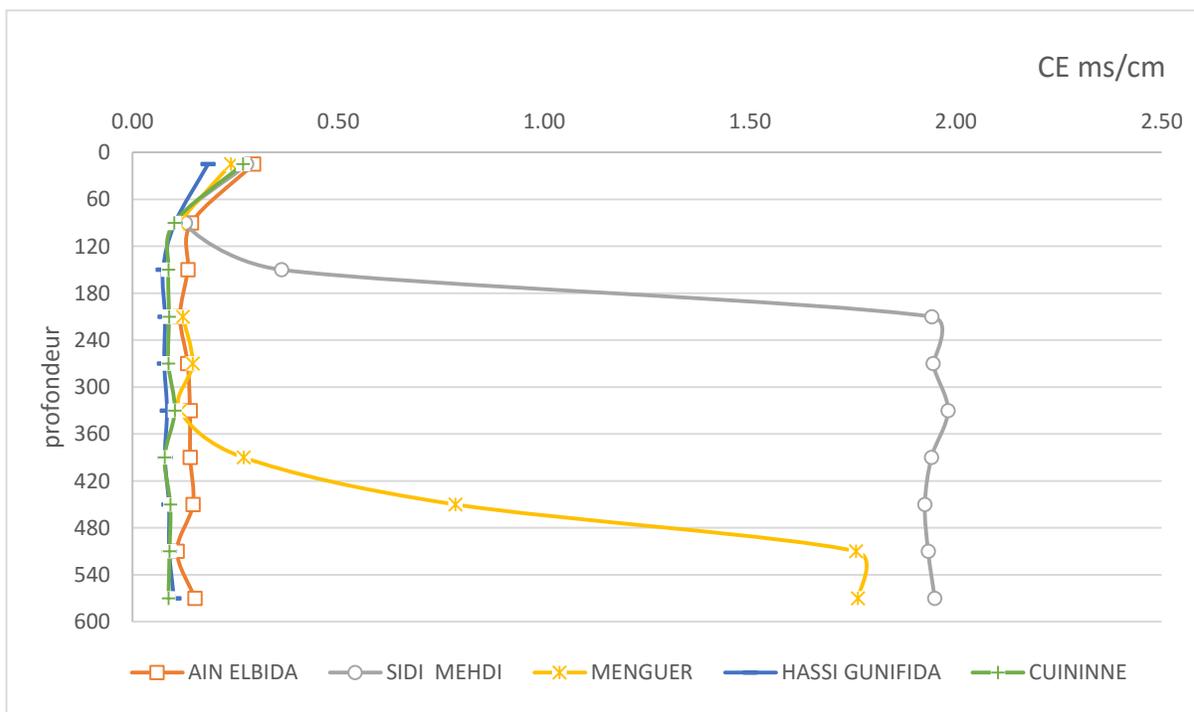


Figure II-14: Variation de CE dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction des couches

La salinité totale exprimée par la conductivité électrique (CE) des extraits dilués (sol/eau de 1/5), Figure II-13 et Figure II-14 montre que globalement les sables utilisés (vierges et après utilisation) sont non salins ($CE < 2,5\text{mS/cm}$), Tebesbest vierges et N'goussa vierges sont faiblement salé [35]. Relativement, les sables vierges sont plus salés que les sables après utilisation. Ces derniers présentent des CE qui varient de 0,85 à 2,35 mS/cm (à 25°C) dans le pilot 01 et de 0,08 à 0,48 mS/cm (à 25°C) dans les pilotes 02,03 et 04, et de 0,07 mS/cm à 0,29 ms/cm dans les pilotes 5,8 et 9.

La forme des courbes des pilotes 01,06 et 07, permet de diviser en deux phases, la première phase se caractérise par lessivage des sels,

Au niveau de l'ensemble des pilotes, la variation des résultats de la conductivité électrique est expliquée par le processus de lixiviation des sels par les eaux filtrées [8].

Le colmatage chimique provient à la fois du dépôt des sels dissous à l'intérieur des pores et d'une altération de structure du sable à la suite des processus de défloculation [29]

L'évolution du pH en corrélation avec la teneur en matière organique sont présentées dans la Figure II-15 et Figure II-16

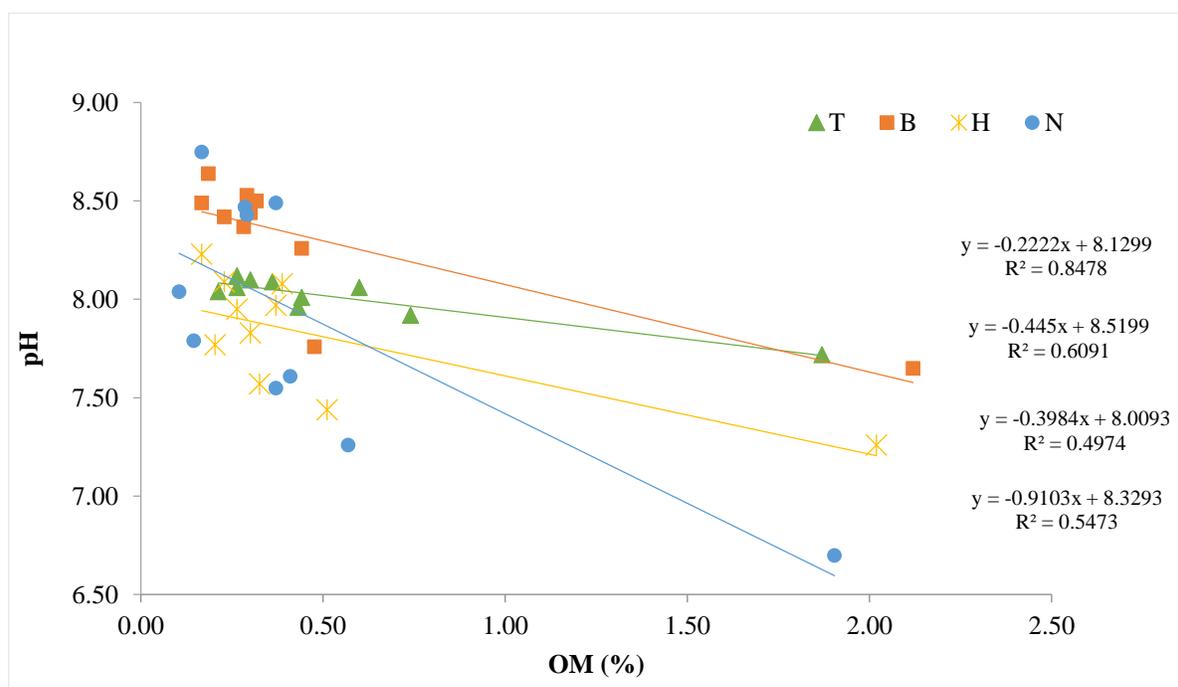


Figure II-15 : Evolution du pH en corrélation avec la teneur en matière organique

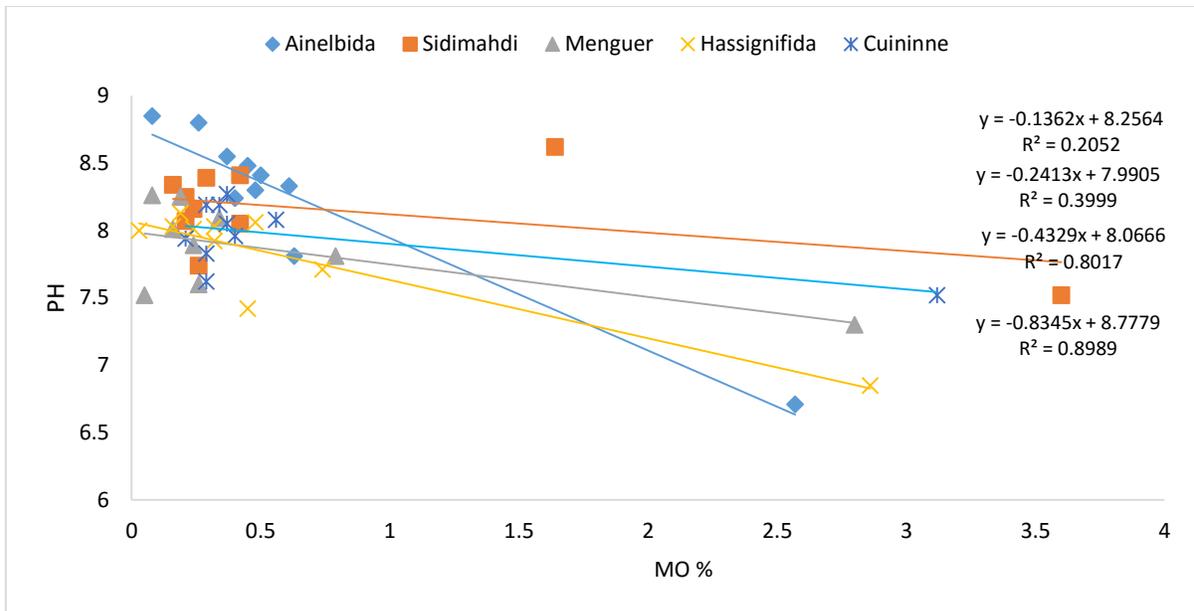


Figure II-16 : Evolution du pH en corrélation avec la teneur en matière organique

L'évolution du pH en corrélation avec le calcaire sont présentées dans la Figure II-17 et Figure II-18

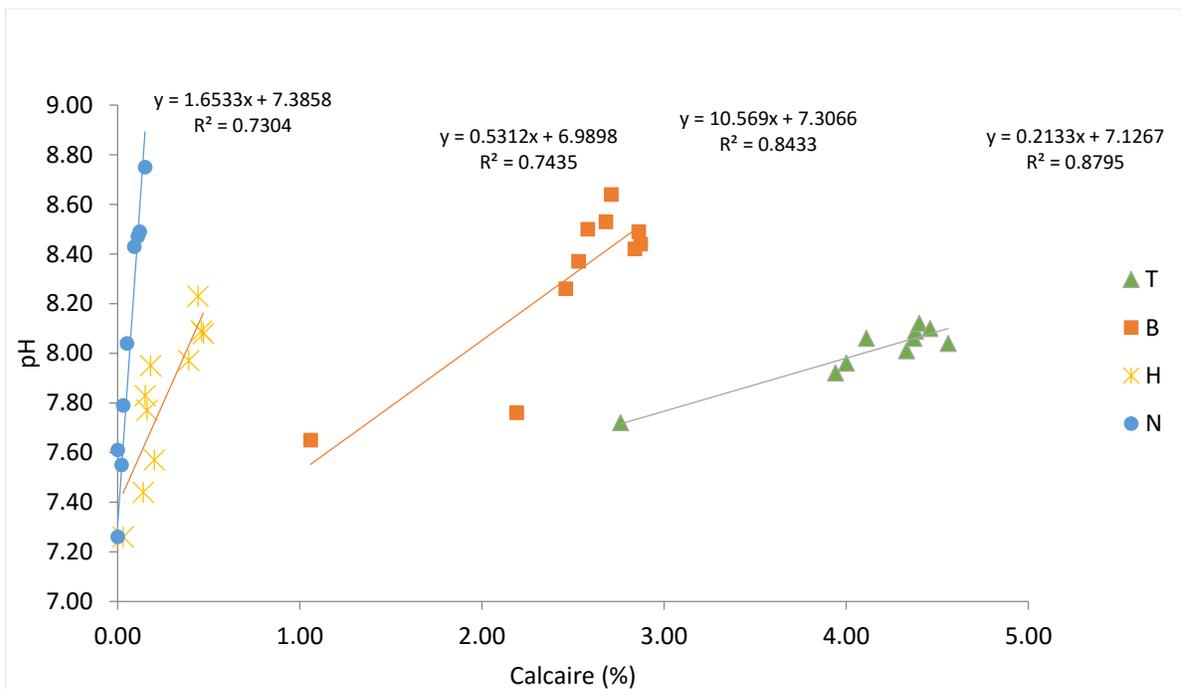


Figure II-17: Evolution du pH en corrélation avec le calcaire

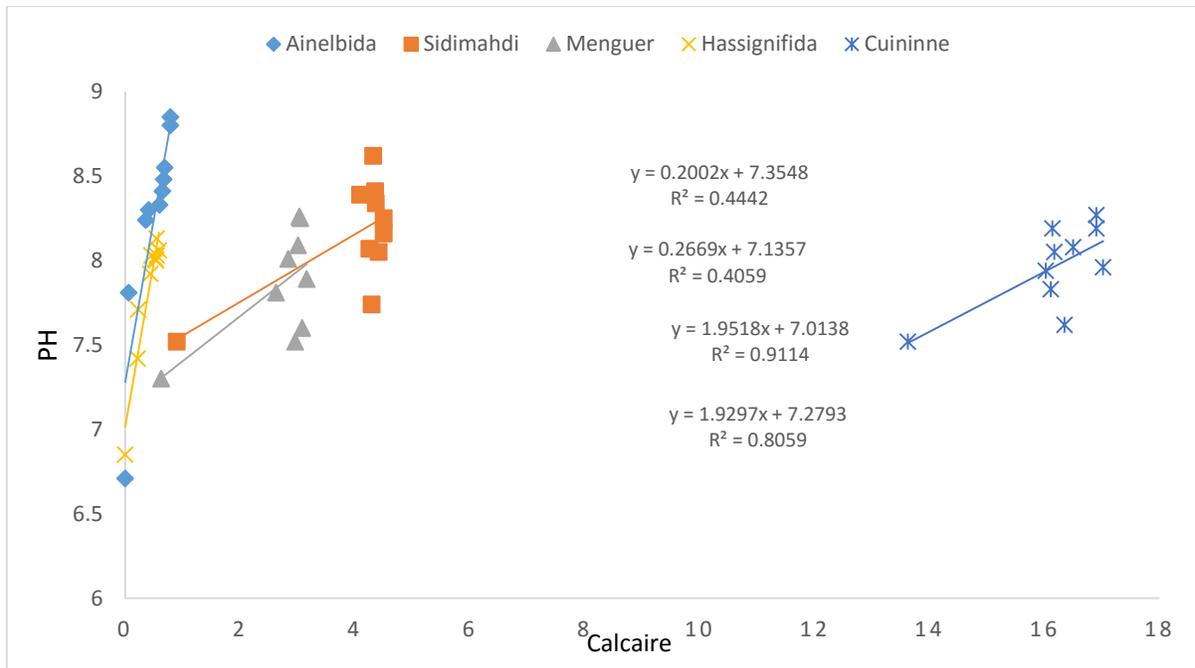


Figure II-17 : Evolution du pH en corrélation avec le calcaire

L'évolution du pH est en corrélation avec la teneur en matière organique et en calcaire. En effet, les couches supérieures des pilotes où il y a des fortes teneurs en matière organique (essentiellement microbienne) le pH est relativement faible.

Le pH a une corrélation positive avec le calcaire ; en raison de lessivage et de la dissolution de ce dernier par les acides organique et une forte CO_2 , le pH est relativement faible en surface des colonnes comparé aux couches inférieures. Au fond des colonnes les valeurs élevées du pH confirment l'accumulation du calcaire à ce niveau par l'effet combiné de lessivage et de lixiviation depuis les couches supérieures des pilotes.

II.5 L'analyse granulométrique

Les caractéristiques granulométriques sont très importantes. Un sable trop grossier et trop uniforme favorise un écoulement trop rapide alors qu'un sable trop fin avec une granularité trop étalée risque plus de se colmater, réduit l'aération du filtre et peut entraîner une saturation capillaire.

L'analyse granulométrique s'effectue sur une prise d'essai de terre fine (éléments < 2 mm). Elle a pour but de déterminer le pourcentage des différentes fractions des particules constituant les agrégats. L'analyse granulométrique d'un sol consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules

Figure II.19 à Figure II.27 sont représentées les Courbes granulométrique pour chaque couche et pour chaque type de sable

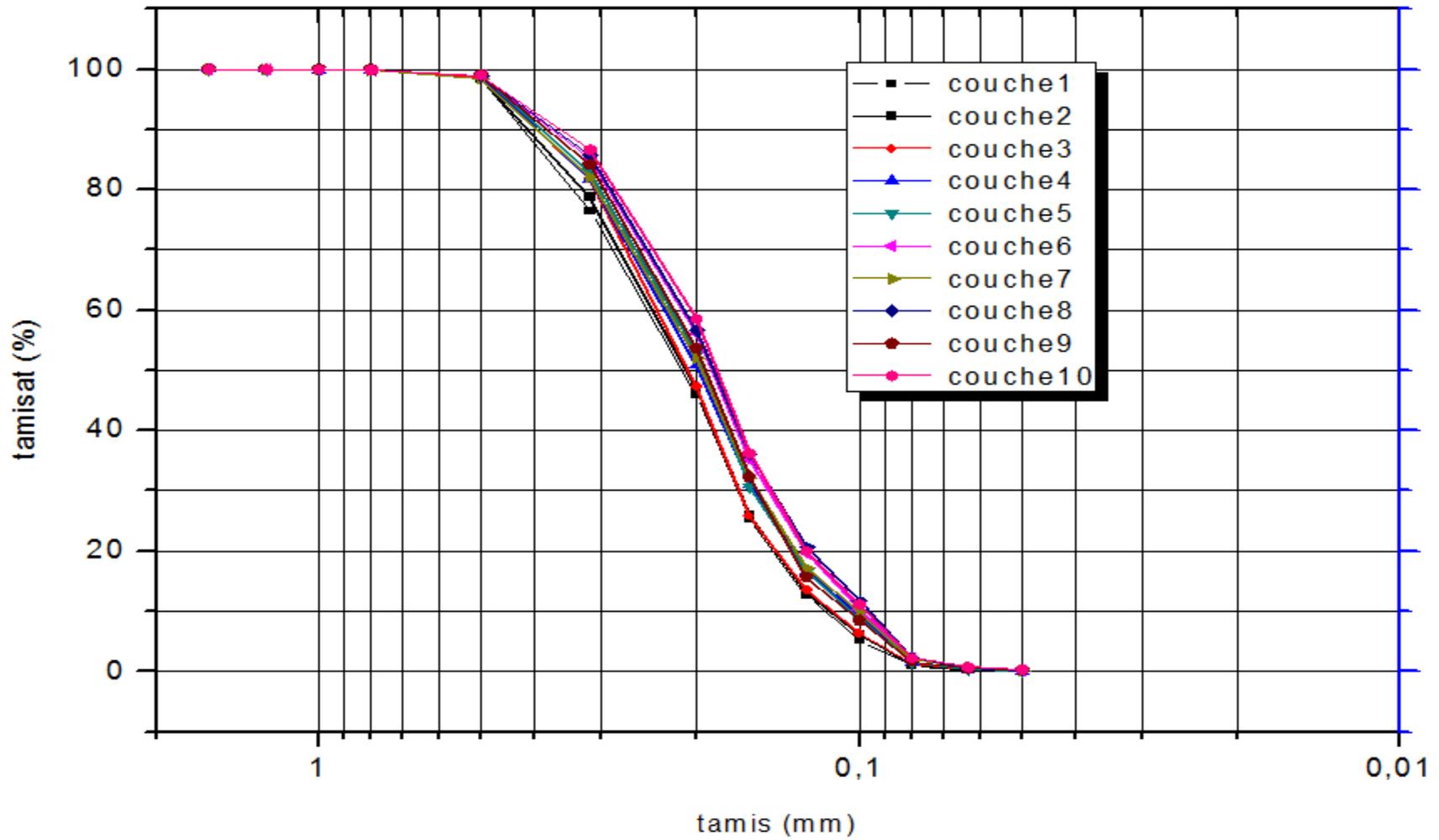


Figure II-19 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Tebesbest)

Tableau III-12: Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Tebesbest)

	couche 1	couche 2	couche 3	couche 4	couche 5	couche 6	couche 7	couche 8	couche 9	couche 10
D10	0,116	0,114	0,112	0,102	0,104	0,099	0,100	0,096	0,105	0,097
D30	0,167	0,167	0,167	0,157	0,158	0,148	0,155	0,146	0,155	0,145
D60	0,247	0,241	0,236	0,229	0,223	0,213	0,226	0,21	0,22	0,205
CU	2,134	2,116	2,102	2,235	2,143	2,139	2,252	2,187	2,098	2,104
D25	0,157	0,157	0,157	0,144	0,145	0,136	0,142	0,134	0,144	0,135
D75	0,309	0,298	0,288	0,285	0,278	0,268	0,263	0,266	0,274	0,261
CC	1,968	1,898	1,834	1,979	1,917	1,971	1,852	1,985	1,903	1,933

A partir des courbes granulométries, nous avons tiré et calculé les paramètres suivants :

Le diamètre efficace D_E D_{10} , le coefficient d'uniformité C_U , le coefficient de classement.

D_{25} , D_{30} , D_{60} , D_{75} : Les diamètres effectifs des particules qui correspond à 25%, 30%, 60%, 75% du passant respectivement.

D'après les résultats représentés dans le tableau, le coefficient d'uniformité de nos sables (les couches de pilot Tebesbest) varie entre 2.098 et 2.252, et le coefficient de classement varie entre 1,834 et 1,985;

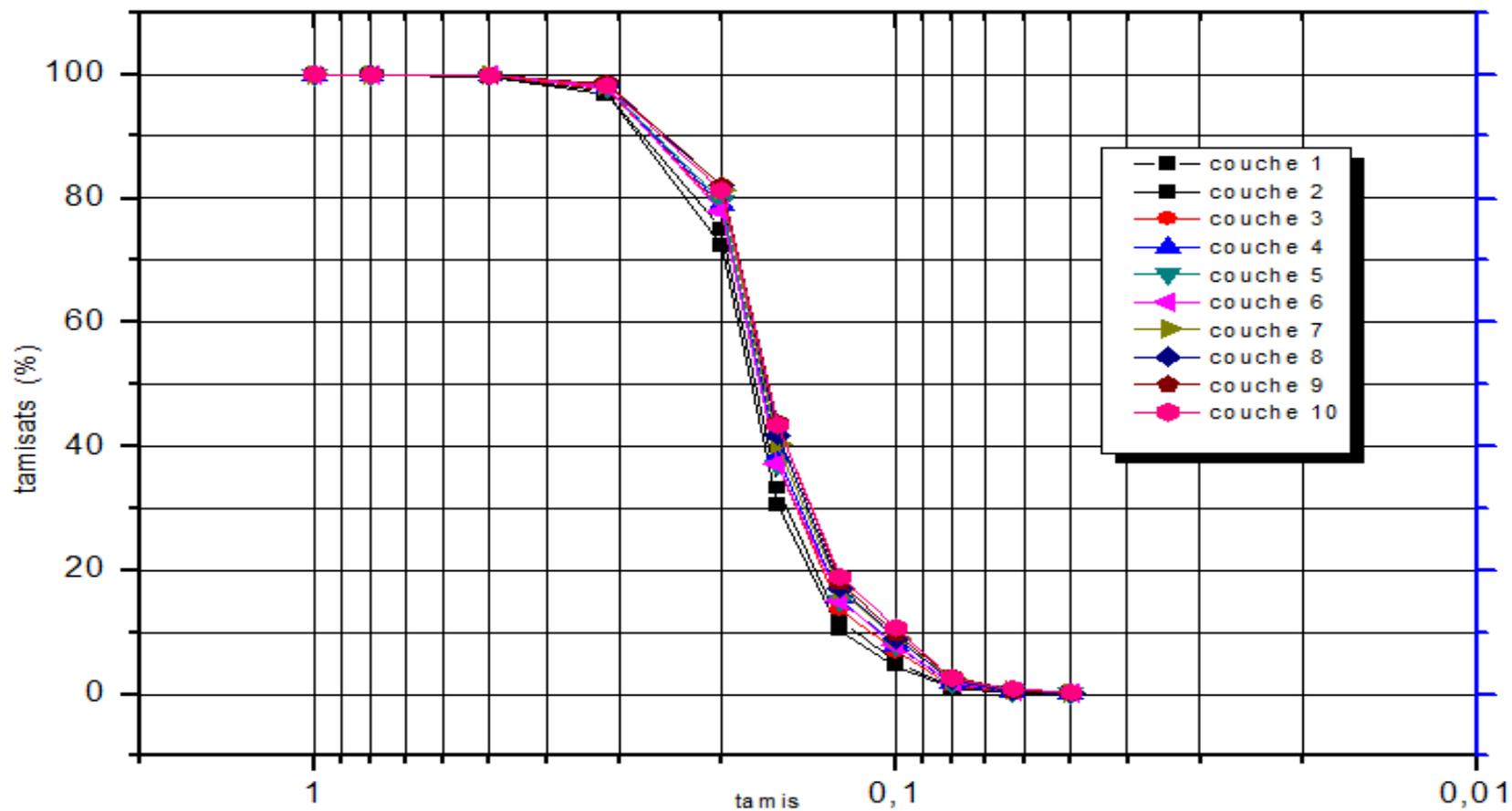


Figure II-20: Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Benaceur)

Tableau III-13 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilote Benaceur)

	couche 1	couche 2	couche 3	couche 4	couche 5	couche 6	couche 7	couche 8	couche 9	couche 10
D10	0,117	0,124	0,111	0,107	0,107	0,107	0,103	0,103	0,101	0,098
D30	0,154	0,159	0,148	0,146	0,148	0,148	0,144	0,142	0,14	0,14
D60	0,184	0,187	0,181	0,18	0,18	0,181	0,178	0,177	0,176	0,176
DU	1,573	1,513	1,638	1,69	1,692	1,701	1,728	1,72	1,747	1,798
D25	0,145	0,149	0,141	0,138	0,14	0,14	0,136	0,135	0,134	0,133
D75	0,213	0,203	0,197	0,197	0,196	0,197	0,196	0,193	0,193	0,193
CC	1,469	1,362	1,397	1,428	1,400	1,407	1,441	1,430	1,440	1,451

A partir des courbes granulométries, nous avons tiré et calculé les paramètres suivants :

Le diamètre efficace D_E D_{10} , le coefficient d'uniformité C_U , le coefficient de classement.

D_{25} , D_{30} , D_{60} , D_{75} : Les diamètres effectifs des particules qui correspondent à 25%, 30%, 60%, 75% du passant respectivement.

D'après les résultats représentés dans le tableau, le coefficient d'uniformité de nos sables (les couches de pilote Benaceur) varie entre 1.798 et 1.513, et le coefficient de classement varie entre 1,362 et 1,469 ;

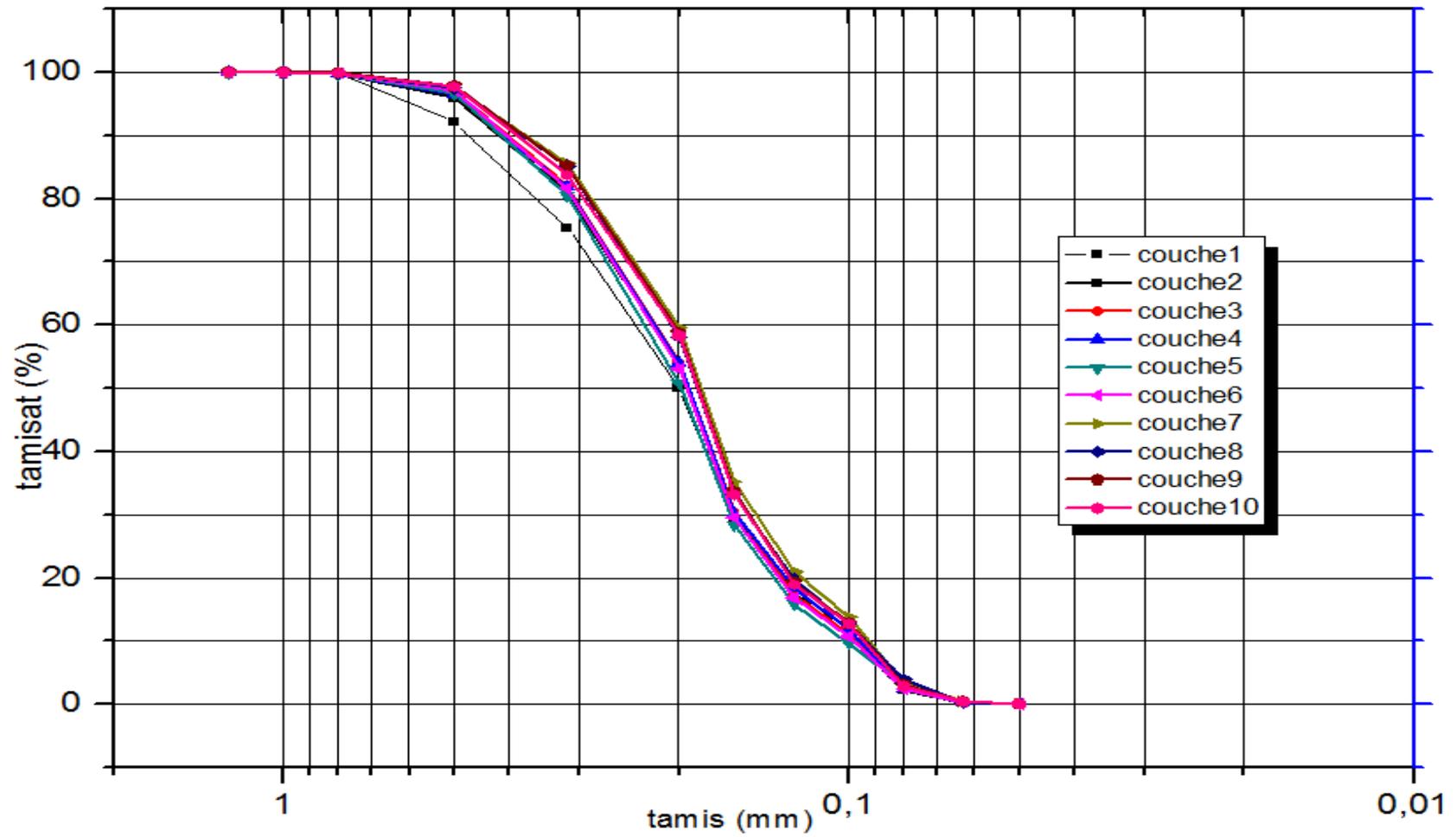


Figure II-21: Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Hassi Messaoud)

Tableau III-14 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Hassi Messaoud)

	couche 1	couche 2	couche 3	couche 4	couche 5	couche 6	couche 7	couche 8	couche 9	couche 10
D10	0,096	0,098	0,097	0,096	0,101	0,098	0,092	0,093	0,094	0,094
D30	0,160	0,159	0,158	0,158	0,162	0,160	0,146	0,151	0,150	0,151
D60	0,239	0,223	0,221	0,220	0,230	0,223	0,201	0,207	0,204	0,206
DU	2,493	2,284	2,274	2,302	2,280	2,276	2,187	2,212	2,178	2,195
D25	0,145	0,145	0,144	0,143	0,149	0,146	0,133	0,137	0,137	0,138
D75	0,308	0,282	0,277	0,277	0,287	0,283	0,262	0,264	0,264	0,269
CC	2,124	1,945	1,924	1,937	1,926	1,938	1,970	1,927	1,927	1,949

A partir des courbes granulométries, nous avons tiré et calculé les paramètres suivants :

Le diamètre efficace D_E D_{10} , le coefficient d'uniformité C_U , le coefficient de classement.

D_{25} , D_{30} , D_{60} , D_{75} : Les diamètres effectifs des particules qui correspond à 25%, 30%, 60%, 75% du passant respectivement.

D'après les résultats représentés dans le tableau, le coefficient d'uniformité de nos sables (les couches de pilot Hassi Messaoud) varie entre 2.178 et 2.493, et le coefficient de classement varie entre 1,924 et 2,124;

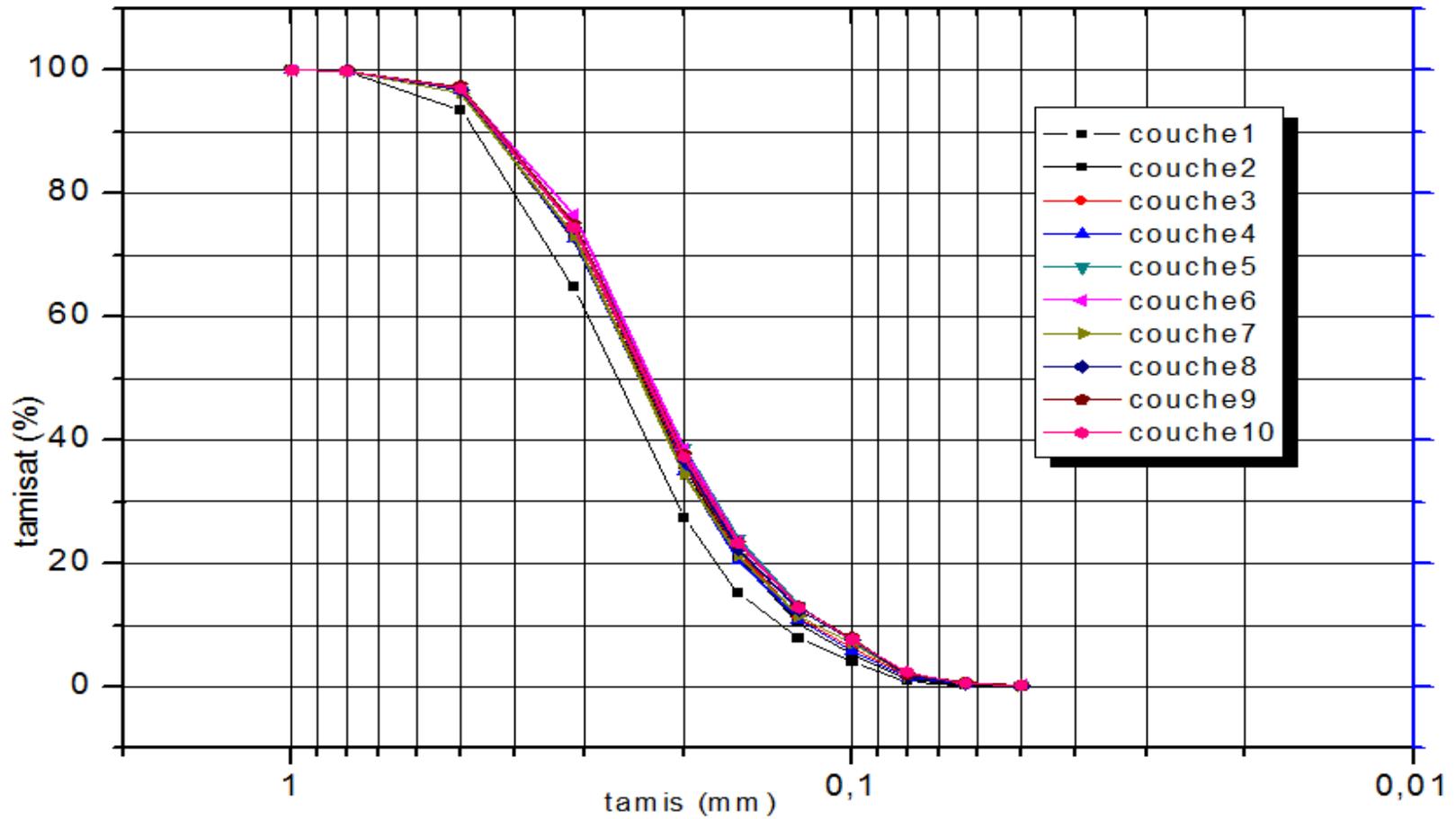


Figure II-22 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilote N'goussa)

Tableau III-15 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot N'goussa)

	couche 1	couche 2	couche 3	couche 4	couche 5	couche 6	couche 7	couche 8	couche 9	couche 10
D10	0,134	0,124	0,118	0,12	0,111	0,111	0,116	0,112	0,11	0,111
D30	0,205	0,183	0,181	0,185	0,175	0,176	0,185	0,18	0,178	0,178
D60	0,297	0,27	0,264	0,27	0,262	0,258	0,27	0,264	0,263	0,264
DU	2,216	2,177	2,237	2,250	2,360	2,324	2,328	2,357	2,391	2,378
D25	0,191	0,17	0,168	0,172	0,162	0,163	0,17	0,167	0,165	0,165
D75	0,371	0,33	0,32	0,329	0,317	0,309	0,327	0,318	0,316	0,319
CC	1,942	1,941	1,905	1,913	1,957	1,896	1,924	1,904	1,915	1,933

A partir des courbes granulométries, nous avons tiré et calculé les paramètres suivants :

Le diamètre efficace D_E D_{10} , le coefficient d'uniformité C_U , le coefficient de classement.

D_{25} , D_{30} , D_{60} , D_{75} : Les diamètres effectifs des particules qui correspond à 25%, 30%, 60%, 75% du passant respectivement.

D'après les résultats représentés dans le tableau, le coefficient d'uniformité de nos sables (les couches de pilot N'goussa) varie entre 2.177 et 2.391, et le coefficient de classement varie entre 1,896 et 1,957;

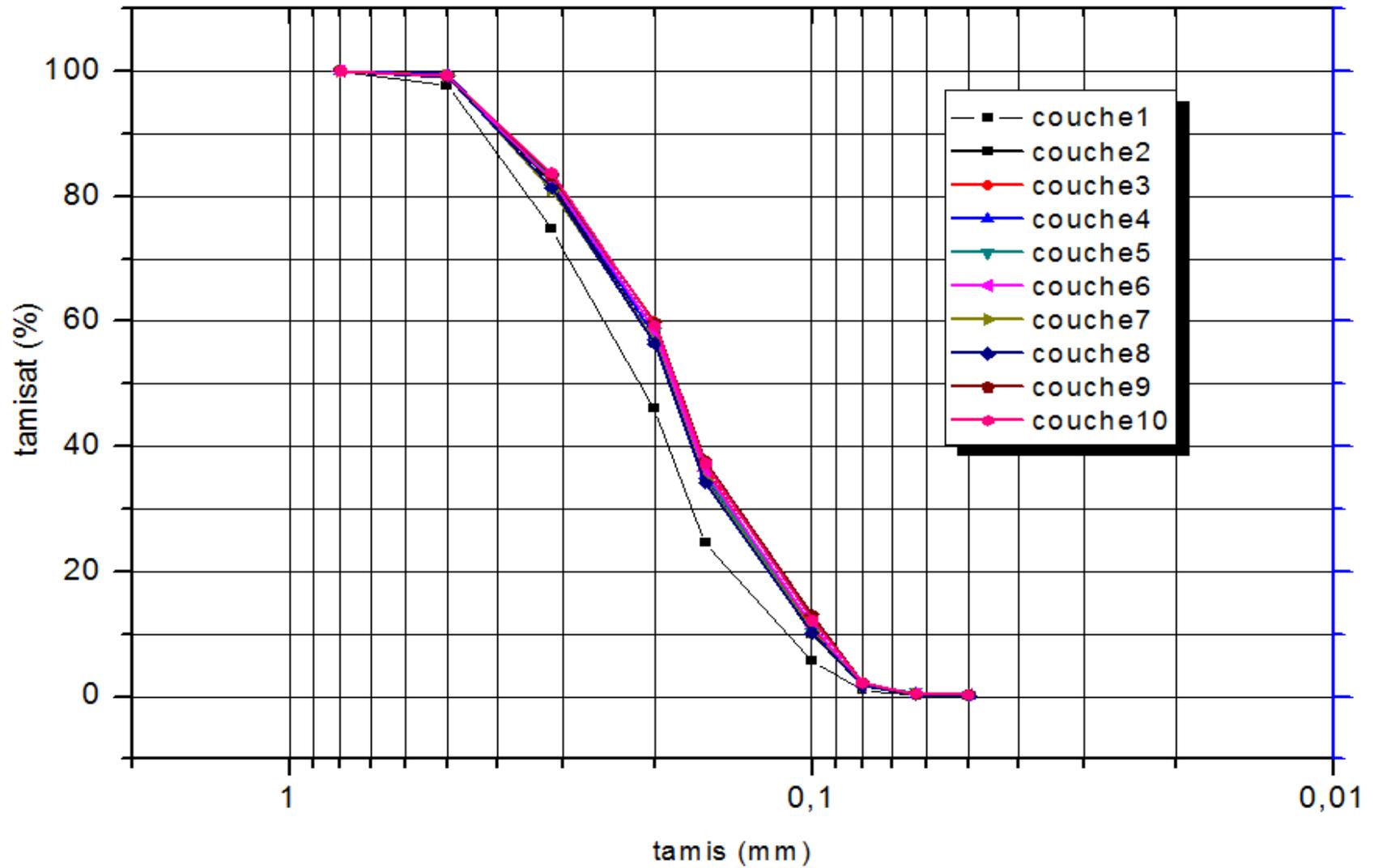


Figure II-23 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Ain Beida)

Tableau III-16 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Ain Beida)

	couche 1	couche 2	couche 3	couche 4	couche 5	couche 6	couche 7	couche 8	couche 9	couche 10
D10	0,111	0,100	0,098	0,099	0,099	0,097	0,099	0,099	0,094	0,095
D30	0,17	0,146	0,142	0,145	0,144	0,143	0,146	0,147	0,138	0,14
D60	0,249	0,213	0,200	0,209	0,206	0,206	0,213	0,213	0,201	0,202
DU	2,243	2,130	2,041	2,111	2,081	2,124	2,152	2,152	2,138	2,126
D25	0,16	0,133	0,13	0,131	0,131	0,13	0,133	0,134	0,126	0,127
D75	0,316	0,278	0,271	0,276	0,273	0,274	0,283	0,281	0,269	0,268
CC	1,975	2,090	2,085	2,107	2,084	2,108	2,128	2,097	2,135	2,110

A partir des courbes granulométries, nous avons tiré et calculé les paramètres suivants :

Le diamètre efficace D_E D_{10} , le coefficient d'uniformité C_U , le coefficient de classement.

D_{25} , D_{30} , D_{60} , D_{75} : Les diamètres effectifs des particules qui correspond à 25%, 30%, 60%, 75% du passant respectivement.

D'après les résultats représentés dans le tableau, le coefficient d'uniformité de nos sables (les couches de pilot Ain Beida) varie entre 2.041 et 2.243, et le coefficient de classement varie entre 1,975 et 2,135 ;

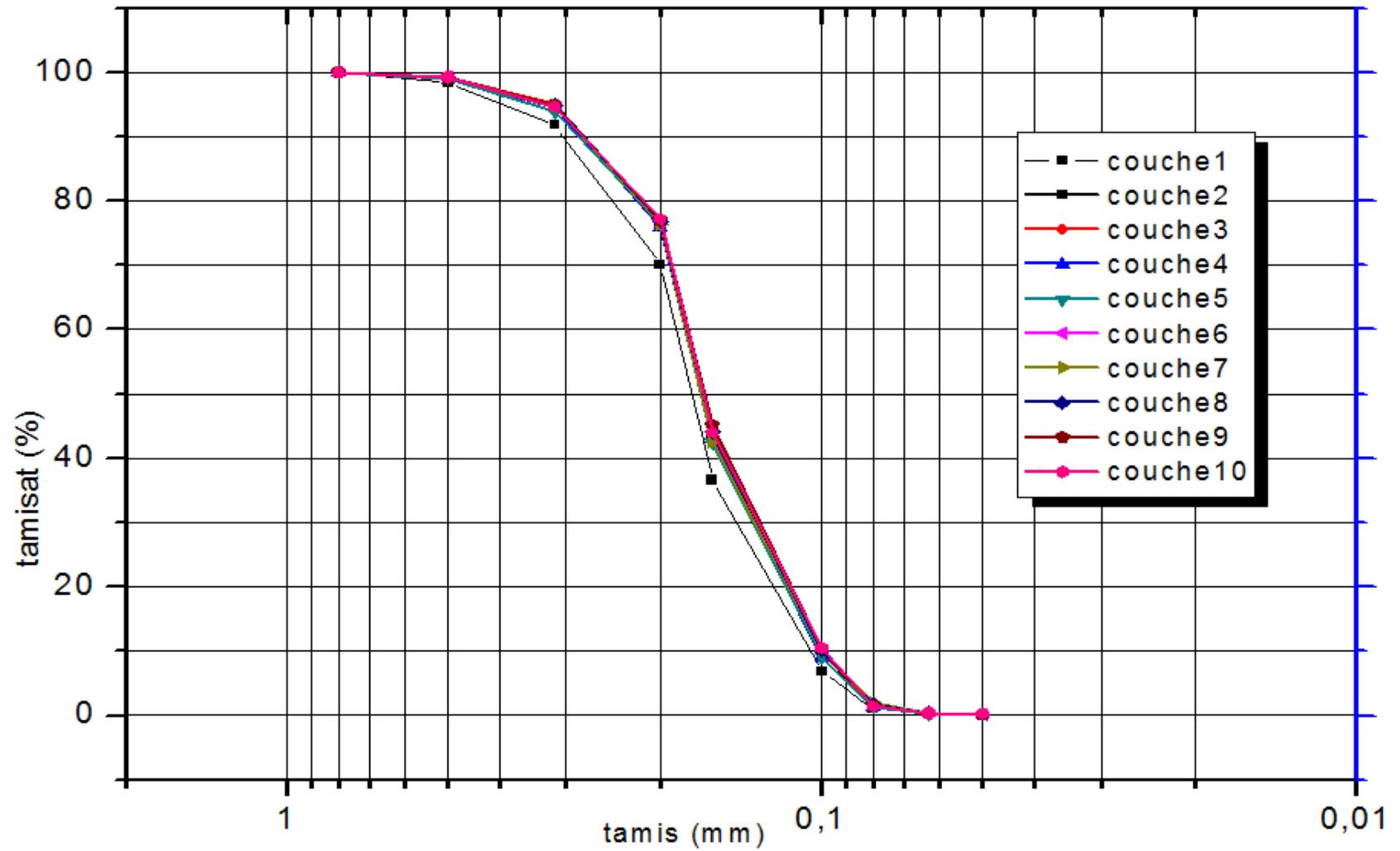


Figure II-24 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Sidi Mehdi)

Tableau III-17 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Sidi Mehdi)

	couche 1	couche 2	couche 3	couche 4	couche 5	couche 6	couche 7	couche 8	couche 9	couche 10
D10	0,105	0,100	0,100	0,101	0,101	0,100	0,100	0,100	0,099	0,099
D30	0,133	0,124	0,124	0,125	0,125	0,123	0,124	0,123	0,122	0,123
D60	0,187	0,179	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180	0,178	0,177	0,178
CU	1,781	1,790	1,800	1,782	1,782	1,800	1,800	1,780	1,788	1,798
D25	0,144	0,133	0,134	0,134	0,134	0,132	0,134	0,132	0,13	0,131
D75	0,223	0,198	0,198	0,198	0,198	0,198	0,198	0,198	0,198	0,198
CC	1,677	1,597	1,597	1,584	1,584	1,610	1,597	1,610	1,623	1,610

A partir des courbes granulométries, nous avons tiré et calculé les paramètres suivants :

Le diamètre efficace D_E D_{10} , le coefficient d'uniformité C_U , le coefficient de classement.

D_{25} , D_{30} , D_{60} , D_{75} : Les diamètres effectifs des particules qui correspond à 25%, 30%, 60%, 75% du passant respectivement.

D'après les résultats représentés dans le tableau, le coefficient d'uniformité de nos sables (les couches de pilot Sidi Mehdi) varie entre 1.780 et 1.800, et le coefficient de classement varie entre 1,584 et 1,677 ;

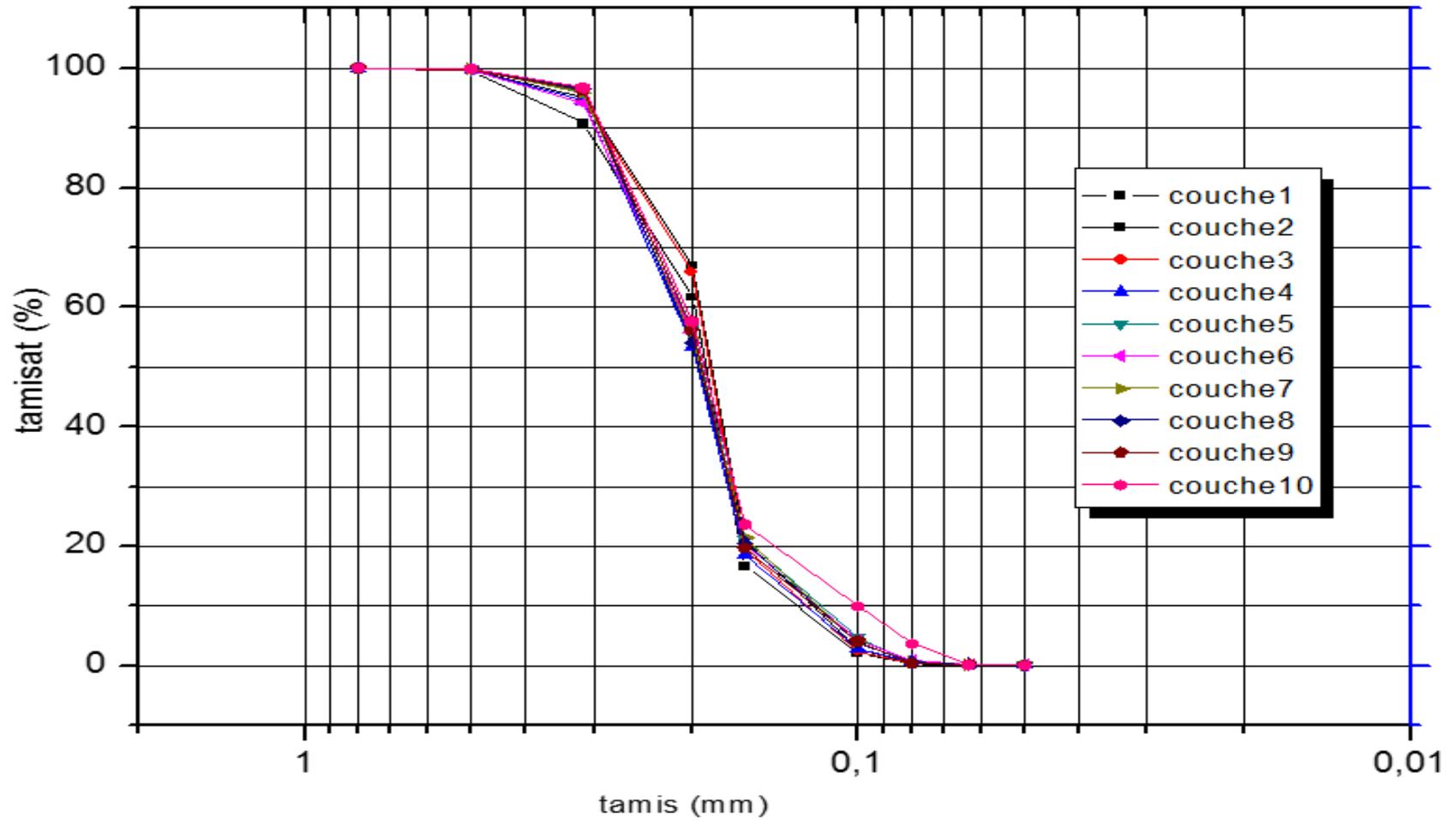


Figure II-25 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Hassi gnifida)

Tableau III-18 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Hassi gnifida)

	couche 1	couche 2	couche 3	couche 4	couche 5	couche 6	couche 7	couche 8	couche 9	couche 10
D10	0,129	0,121	0,123	0,124	0,116	0,118	0,118	0,119	0,12	0,1
D30	0,171	0,167	0,168	0,169	0,17	0,17	0,169	0,17	0,17	0,167
D60	0,198	0,193	0,194	0,215	0,208	0,21	0,211	0,213	0,208	0,205
DU	1,535	1,595	1,577	1,734	1,793	1,780	1,788	1,790	1,733	2,050
D25	0,167	0,163	0,164	0,167	0,164	0,164	0,164	0,167	0,165	0,161
D75	0,264	0,228	0,231	0,254	0,248	0,251	0,25	0,25	0,248	0,245
CC	1,581	1,399	1,409	1,521	1,512	1,530	1,524	1,497	1,503	1,522

A partir des courbes granulométries, nous avons tiré et calculé les paramètres suivants :

Le diamètre efficace D_E D_{10} , le coefficient d'uniformité C_U , le coefficient de classement.

D_{25} , D_{30} , D_{60} , D_{75} : Les diamètres effectifs des particules qui correspond à 25%, 30%, 60%, 75% du passant respectivement.

D'après les résultats représentés dans le tableau, le coefficient d'uniformité de nos sables (les couches de pilot Hassi Gnifida) varie entre 1.535 et 2.05, et le coefficient de classement varie entre 1,399 et 1,581;

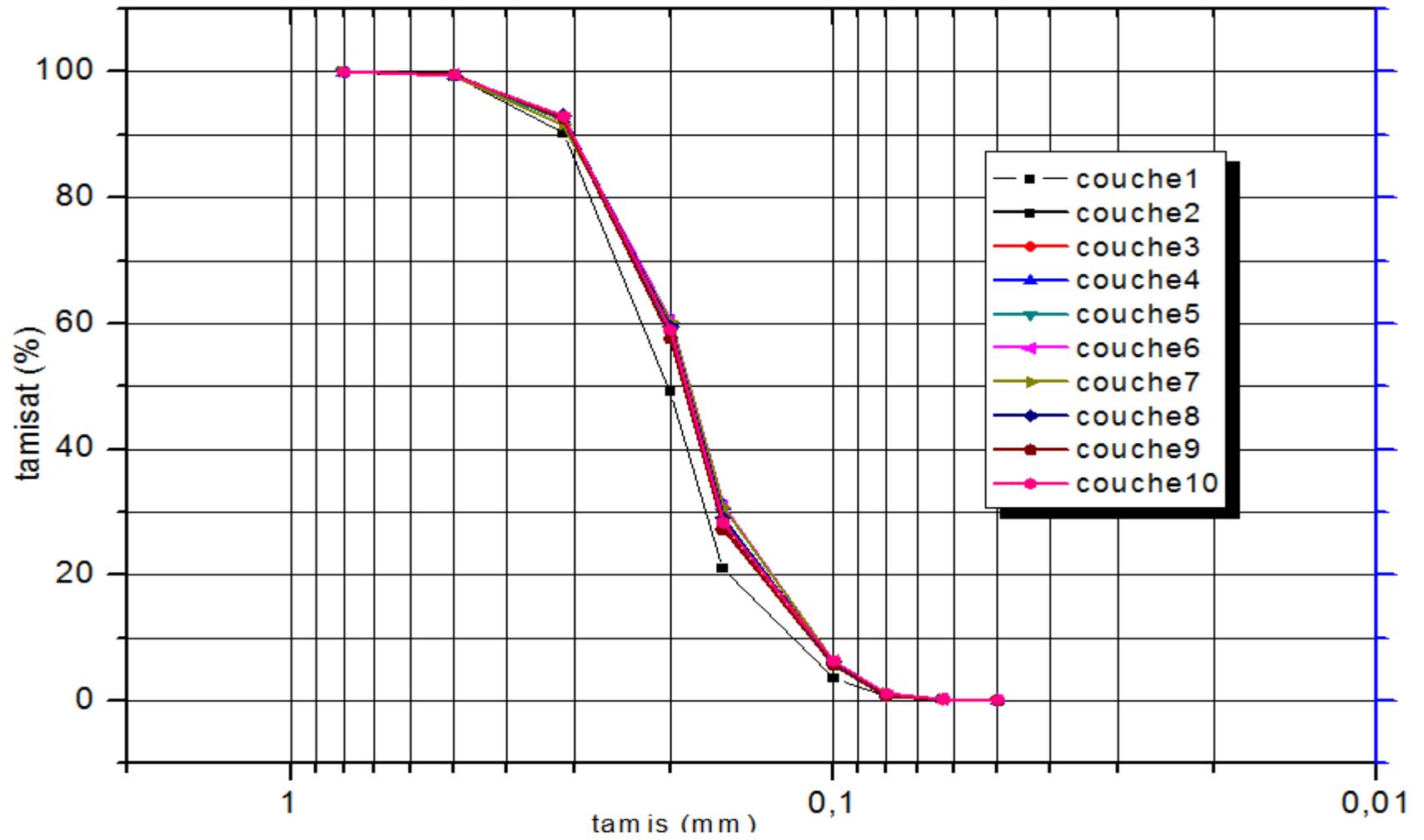


Figure II-26 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot M'Naguer)

Tableau III-19 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot M'Naguer)

	couche 1	couche 2	couche 3	couche 4	couche 5	couche 6	couche 7	couche 8	couche 9	couche 10
D10	0,119	0,11	0,11	0,107	0,109	0,107	0,107	0,109	0,11	0,109
D30	0,172	0,163	0,163	0,156	0,161	0,157	0,157	0,161	0,163	0,162
D60	0,225	0,206	0,203	0,199	0,203	0,199	0,199	0,201	0,206	0,203
DU	1,891	1,873	1,845	1,860	1,862	1,860	1,860	1,844	1,873	1,862
D25	0,165	0,151	0,152	0,143	0,148	0,143	0,143	0,147	0,153	0,149
D75	0,266	0,246	0,248	0,246	0,249	0,246	0,248	0,245	0,25	0,248
CC	1,612	1,629	1,632	1,720	1,682	1,720	1,734	1,667	1,634	1,664

A partir des courbes granulométries, nous avons tiré et calculé les paramètres suivants :

Le diamètre efficace D_E D_{10} , le coefficient d'uniformité C_U , le coefficient de classement.

D_{25} , D_{30} , D_{60} , D_{75} : Les diamètres effectifs des particules qui correspond à 25%, 30%, 60%, 75% du passant respectivement.

D'après les résultats représentés dans le tableau, le coefficient d'uniformité de nos sables (les couches de pilot M'Naguer) varie entre 1.844 et 1.891, et le coefficient de classement varie entre 1,612 et 1,734 ;

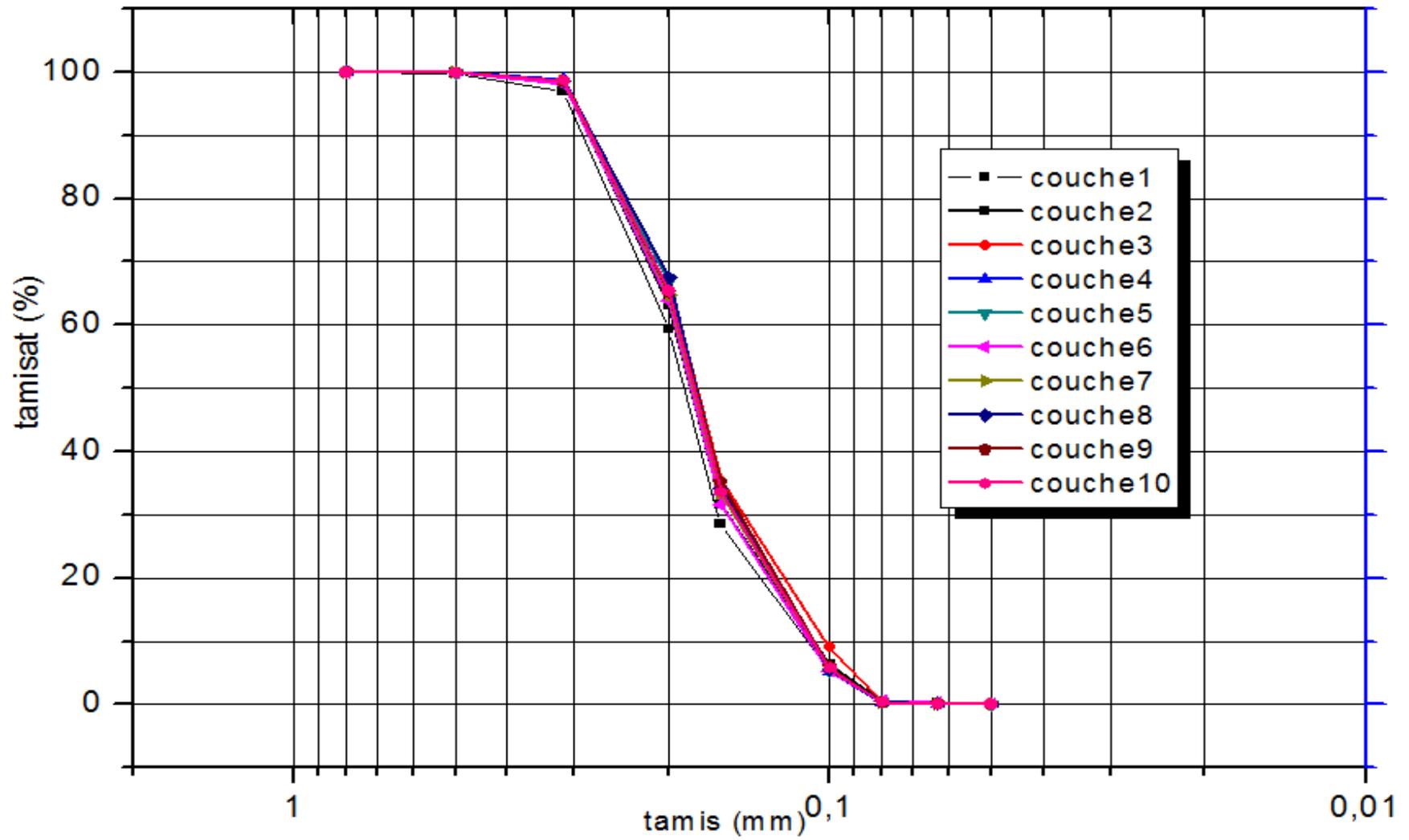


Figure II-27 : Courbes granulométrique d'échantillons (pilot Kouinine)

Tableau III-20 : Paramètres physiques des sables après le fonctionnement (pilot Kouinine)

	couche 1	couche 2	couche 3	couche 4	couche 5	couche 6	couche 7	couche 8	couche 9	couche 10
D10	0,11	0,107	0,101	0,108	0,107	0,109	0,107	0,108	0,106	0,107
D30	0,149	0,141	0,133	0,138	0,137	0,142	0,139	0,138	0,136	0,139
D60	0,201	0,195	0,19	0,192	0,19	0,194	0,193	0,19	0,192	0,192
DU	1,827	1,822	1,881	1,778	1,776	1,780	1,804	1,759	1,811	1,794
D25	0,162	0,155	0,145	0,15	0,148	0,156	0,151	0,15	0,147	0,15
D75	0,242	0,233	0,225	0,228	0,225	0,232	0,23	0,223	0,229	0,228
CC	1,624	1,652	1,692	1,652	1,642	1,634	1,655	1,616	1,684	1,640

A partir des courbes granulométries, nous avons tiré et calculé les paramètres suivants :

Le diamètre efficace D_E D_{10} , le coefficient d'uniformité C_U , le coefficient de classement.

D_{25} , D_{30} , D_{60} , D_{75} : Les diamètres effectifs des particules qui correspond à 25%, 30%, 60%, 75% du passant respectivement.

D'après les résultats représentés dans le tableau, le coefficient d'uniformité de nos sables (les couches de pilot Kouinine) varie entre 1.759 et 1.881, et le coefficient de classement varie entre 1,616 et 1,692;

L'écoulement des eaux usées à travers les filtres pendant une certaine période provoque une redistribution verticale de la fraction fine (<0,050 mm) notamment les limons fins dans la colonne du sable.

La distribution des limons fins dans le filtre qui a été déjà utilisé en fonction de la profondeur des couches est représentée dans la figureII-28 et la figureII-29

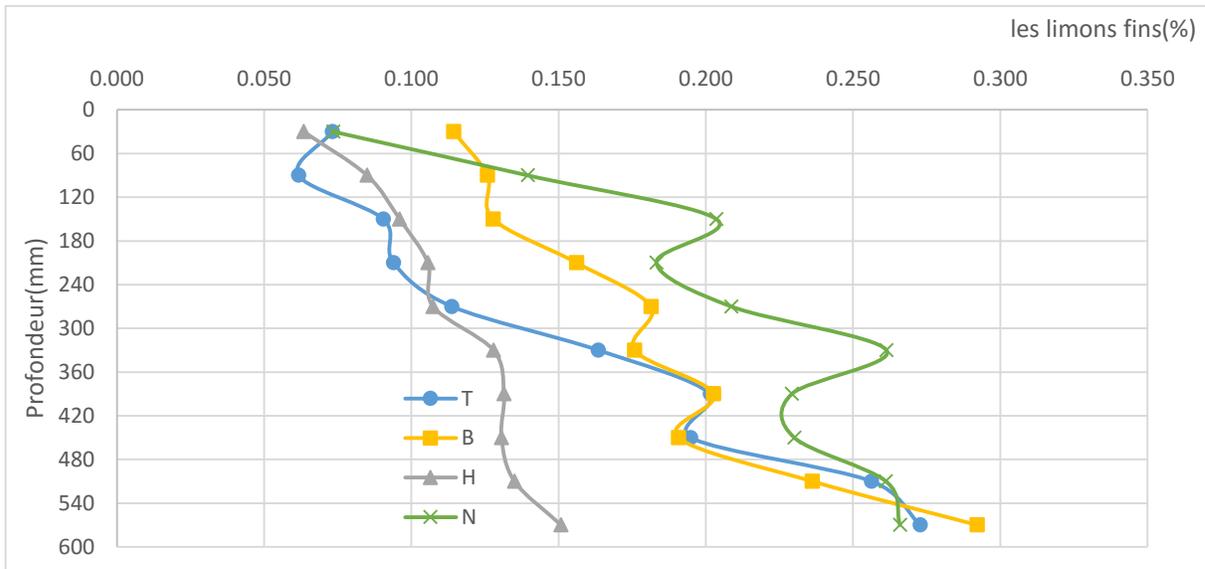


Figure II-28 : la distribution des limons fins dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction de la profondeur des couches

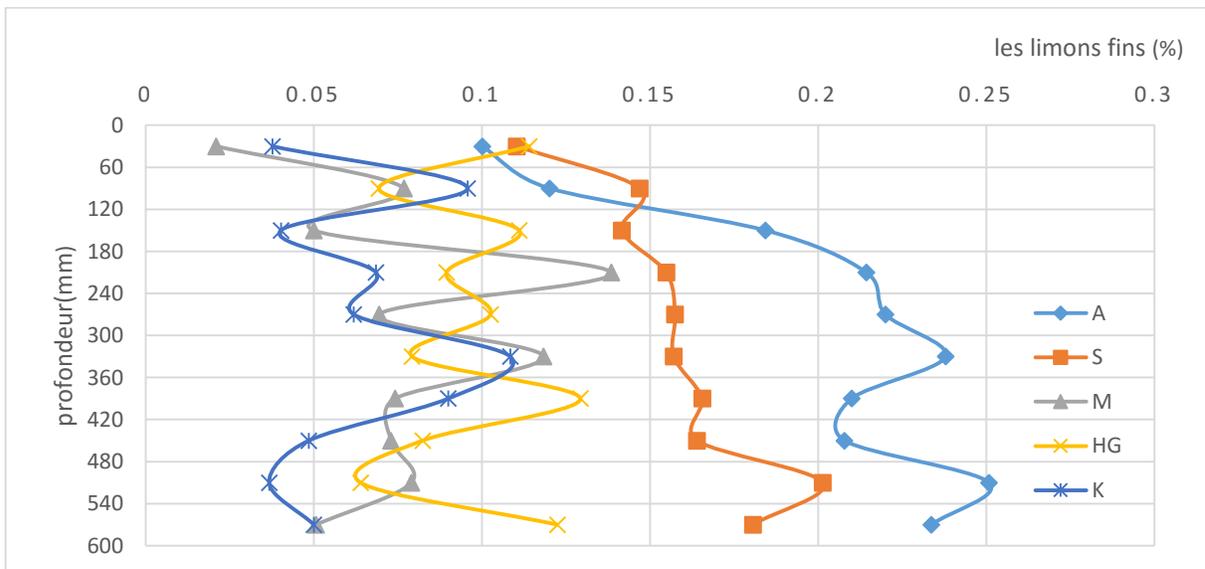


Figure 29 : la distribution des limons fins dans le sable qui a été déjà utilisé en fonction de la profondeur des couches

La fraction fine migre par lessivage des couches supérieures vers les couches inférieures des filtres à travers la macroporosité inter granulaire du filtre à sable, en effet les particules les plus fines pénètrent plus profondément dans le filtre.

Le processus de lessivage des particules fines provoque le colmatage des pilotes dans la partie inférieure comme le modèle de fonctionnement du filtre à sable de dune.

Nous montrons la variation de la distribution des limons fins en fonction de la profondeur pour chaque couche.

La distribution des particules fines est croissante avec la profondeur des couches, c'est expliqué par la migration des matériaux et les grains fins, Les particules les plus fines pénètrent plus profondément dans le sol [55,79,81,82]

Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude ont montré que la couche de surface (couche 01) est une phase qui se caractérise par une augmentation importante de la teneur en matière organique, dans les couches sous-jacentes (couches 02 à 10), il y a une diminution progressive avec la profondeur, ceci peut être expliqué par le dépôt de matière organique lessivée par écoulement des eaux usées.

Deux processus simultanés peuvent expliquer la dynamique du carbonate de calcium (CaCO_3) : biochimique et physique. Le premier est une lixiviation du calcaire, il s'agit de décarbonatation des sables par les acides organiques issus de la décomposition de la matière organique. Le second est un lessivage des particules limoneuses calcaires à travers la colonne du sable filtrant.

Après utilisation, les sables enregistrent en général, une légère diminution de pH, ce dernier augmente avec la profondeur

Au niveau de l'ensemble des pilotes la CE est décroissante du haut vers le bas du filtre ceci est expliqué par le processus de lixiviation des sels par les eaux filtrées.

L'écoulement des eaux usées à travers les filtres pendant une certaine période provoque une redistribution verticale de la fraction fine ($<0,050$ mm).

Chapitre III :

*Caractérisation des filtres en
fonction du temps d'utilisation*

I. Introduction

L'objectif du deuxième chapitre, est de caractérisation des matériaux filtrants (les propriétés physiques et chimiques) en fonction du temps d'utilisation, nous avons fait un suivi de l'évolution de certains éléments, à savoir le pH de sable, CE de sable, la matière organique, le calcaire.

Dans ce chapitre, nous avons fait un suivi de certains éléments d'évaluation d'une pollution, à savoir le pH, la CE, la DBO₅ et la DCO.

Les massifs filtrants utilisés dans cette partie du travail sont le sable de N'goussa naturel, leurs caractéristiques physico-chimiques sont représentées dans le tableau III.1.

Tableau III.1 Paramètres physico-chimiques de sable N'Goussa

Dr g/cm ³	2,96
D _{app} g/cm ³	1,53
Porosité	48,46
Cu	1,75
D ₁₀	0,12
D ₆₀	0,21
CE (extrait de sol mS/cm)	3,52
pH (extrait de sol)	8,35
MO %	0,40
CaCO ₃ %	0,27

Le sable de N'goussa naturel est caractérisé par une granulométrie serré et bien graduée (Cu égale à 1,75), et caractérisé par un faiblement salé,(CE de extrait de sol égale à 3,52 mS/cm),et un taux de calcaire et la matière organique faibles, le sable de N'goussa naturel présentent des caractéristiques favorables pour leur utilisation dans la filtration lente.

En vue de caractérisation des filtres en fonction du temps d'utilisation (traitement des eaux usées par la filtration lente sur sable), les caractéristiques de l'eau usée choisie sont regroupées dans le chapitre II, nous avons utilisé des eaux usées synthétiques dont la composition est similaire à celle utilisée par GHERAIRI.Y et al [8,41,42,56].

I.2 Dispositif expérimental

Pour atteindre notre objectif, nous avons mis en place un dispositif expérimental (Figure III-1), nous avons réalisé 14 pilotes de filtration avec le même sable. Les durées de fonctionnement des filtres sont respectivement, une semaine pour le filtre numéro 1, deux semaines pour le filtre numéro 2, trois semaines pour jusqu'à quatorze semaines pour le filtre numéro 14.

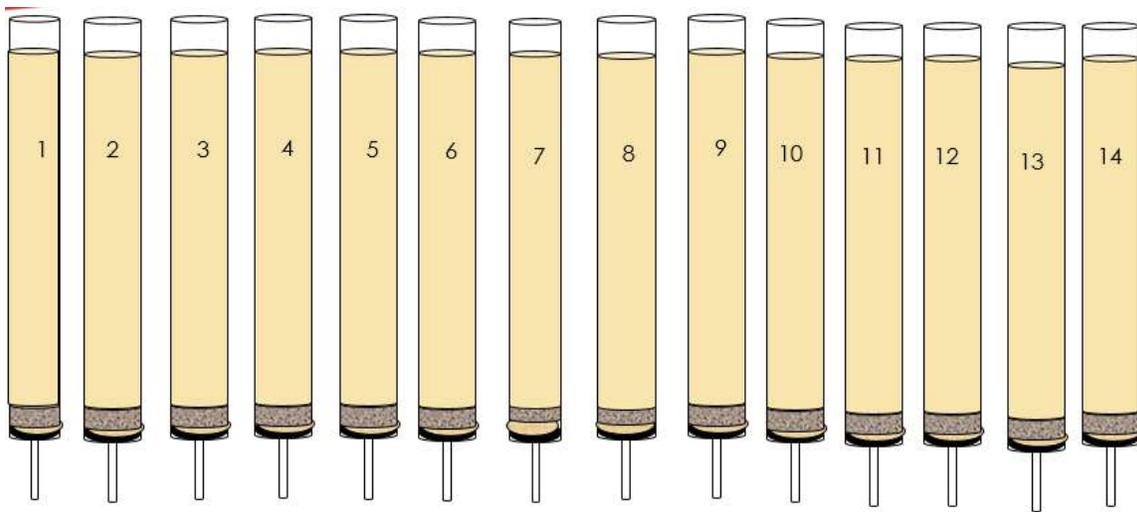


Figure III-1: Dispositif expérimental

II. Résultats et discussion

Dans ce travail, nous avons fait un suivi de l'évolution de certains éléments d'évaluation d'une pollution, à savoir le pH, la CE, la DBO₅ et la DCO.

II.1. Le pH des eaux filtrées

Le pH (potentiel hydrogène) est une des caractéristiques fondamentales de l'eau. Le pH donne une indication de l'acidité d'une substance. Il est déterminé à partir de la quantité d'ions d'hydrogène hydronium (H⁺) ou d'ions hydroxide (OH⁻) contenus dans la substance. Quand les quantités de ces deux ions sont égales, l'eau (ou la substance) est considérée comme neutre, et le pH a une valeur aux alentours de 7. Le pH d'une substance varie entre 1 et 14. Au-dessus de 7, la substance est considérée comme basique et la quantité d'ions OH⁻ est supérieure à celle d'ions H⁺. Au-dessous de 7, la substance est acide ; les ions H⁺ sont en quantités supérieures. [64]

Nous avons effectué les mesures de pH à l'aide d'un pH-mètre, les résultats sont regroupés dans le tableau III.2. Les résultats représentant les 14 semaines de fonctionnement.

Tableau III.2 Variation du pH en fonction du temps

semaines	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
pH d'eau filtrée	8,37	8,32	8,3	8,21	8,29	8,37	8,66	8,63	8,48	8,5	8,81	8,7	8,36	8,11

Le pH de l'eau usée est légèrement acide, les valeurs de pH de l'eau usée sont variées entre 7,19 et 6,21, les valeurs de pH de l'eau filtrée sont toujours supérieures aux valeurs de pH de l'eau usée.

Les valeurs obtenues pour les quatorze semaines sont comprises entre 8,11 et 8,81 nous remarquons une augmentation du pH, de l'eau filtrée, il devient plus basique dans la totalité des campagnes. Ceci est dû essentiellement à la transformation de certaine matière organique (la décomposition aérobie de la matière organique) et la dissolution de certains sels existants

dans des réactions chimiques produites à l'intérieur des filtres, par le caractère alcalin du sable. [42,29]

II.2 la Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique est peut-être de plus importants paramètres et de plus simples pour la mesure, pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle permet d'estimer la minéralisation globale de l'eau. C'est un facteur principal à suivre lorsqu'on est intéressé par une réutilisation des eaux usées en agriculture. [43]

Nous avons mesuré la conductivité électrique de l'eau filtrée. La variation de la CE en fonction du temps est représentée dans la figure III.2 :

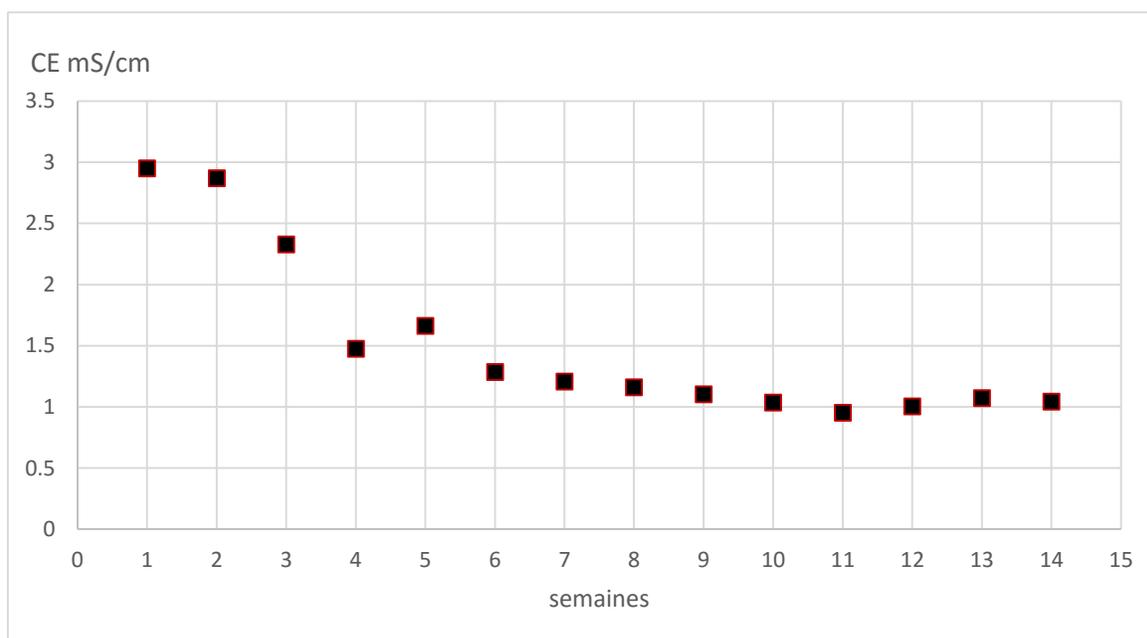


Figure III-2 : Variation de la conductivité électrique en fonction du temps.

D'après le graphique dans la figure III-2-, on remarque que les eaux filtrées sont caractérisées par une conductivité dépasse 2 mS/cm pour les premières semaines de fonctionnement, elles sont comprises entre 2.95 mS/cm (1^{er} semaine) et 2.87 mS/cm

(2^{ème} semaine) et 2,33 mS/cm (3^{ème} semaine), Ceci peut se justifier par la période de lessivage de support filtrant,

Pour la 4^{ème} semaine et 5^{ème} semaine, les valeurs de la conductivité électrique ont varié entre 1,476 mS/cm et 1,664 mS/cm.

Après la 5^{ème} semaine, nous avons remarqué une stabilisation des valeurs de la conductivité électrique, cette stabilisation pue justifié par l'élimination presque complète des sels solubles dans le filtre par l'écoulement de l'eau filtrée, l'augmentation de la valeur de la conductivité électrique des eaux filtrées par rapport de l'eau usée due à la transformation d'une partie de la matière organique par les activités microbiennes. [42]

Les valeurs de la conductivité électrique de l'eau filtrée sont toujours supérieures à celles des eaux usées au cours des 14 semaines, les valeurs de la conductivité électrique sont varie enter 0,645 mS/cm et 0,906 mS/cm.

On ne peut pas estimer ou calculer la quantité en sel engendré par l'activité microbienne à cause de la forte solubilité des sels au niveau du milieu filtrant (sable de N'goussa naturel). [43]

II.3 la Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) exprimée en mg.L⁻¹ a été déterminée par oxydation des matières organiques au dichromate de potassium à chaud en milieu sulfurique.

Elle est considérée comme un indicateur principal du degré de la pollution organique. La mesure de DCO nécessite une précision élevée à cause de la sensibilité des solutions utilisées et les erreurs de l'expérimentateur qui peuvent survenir lors de la prise d'essai des eaux à analyser, ou bien des volumes de solutions utilisés.[43,50]

Le calcul du rendement épuratoire de l'élimination en termes de DCO s'est fait selon la relation suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = [(\text{DCO eau usée} - \text{DCO eau filtré}) / \text{DCO eau usée}] \times 100$$

La variation des rendements de la DCO en fonction du temps est représentée dans la figure III.3 :

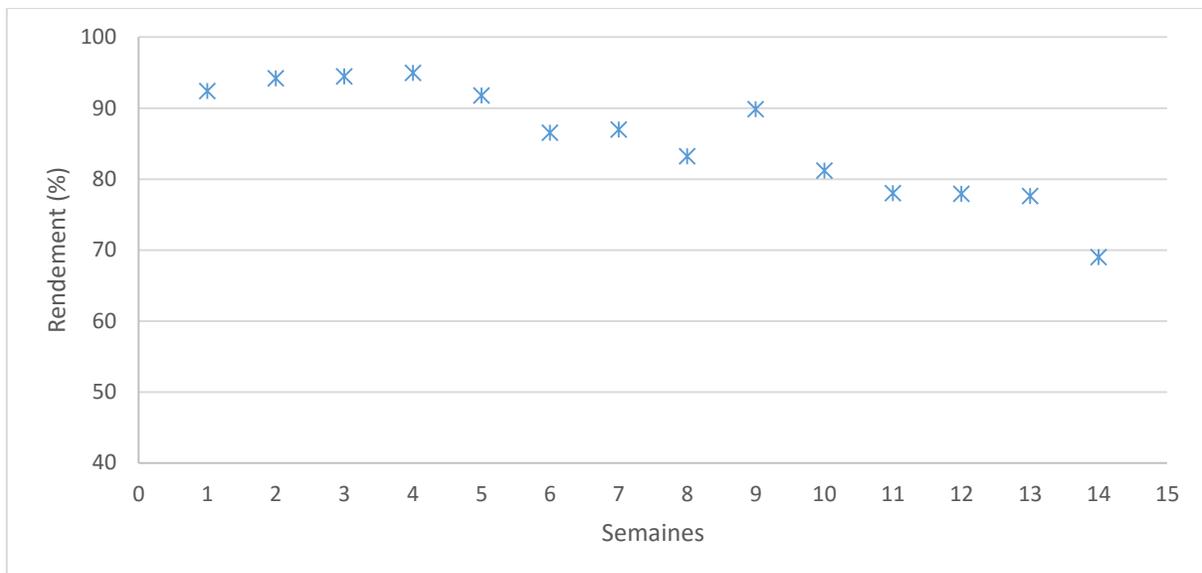


Figure III-3 : Variation des rendements d'élimination de la DCO en fonction du temps

Les résultats de la variation des rendements épuratoires de la DCO pour chaque semaine sont représentés dans la figure III.3, d'après les résultats, on constate une efficacité épuratoire pour tous les filtres, les valeurs des rendements épuratoires sont entre 69,01 à 94,96 %.

Nous observons ensuite une augmentation des rendements de la DCO pour les cinq premières semaines, les valeurs des rendements épuratoires qui sont nettement supérieures à 90%, les premières semaines sont de la période de maturation des filtres et de formation des films biologiques sur la surface des filtres.[73]

Les valeurs des rendements de la DCO sont variées entre 83,22% et 89,86% pour les semaines de 6 à 9.

Nous observons une augmentation remarquable des rendements épuratoires de la DCO pour l'ensemble des filtres qui correspondent à la période du bon fonctionnement (l'intervalle de 1^{er} semaine de 9^{ème} semaine), cette période peut-être expliquée par trois différents mécanismes (la formation de gâteau, l'enlèvement stérique et l'attachement physico-chimique).

Les procédés de filtration lente tirent profit de la formation de gâteau plus spécifiquement de schmutzdecke afin de permettre l'enlèvement de particules, l'enlèvement de particules par formation de gâteau a lieu lorsque les particules en suspension de taille

équivalente ou supérieure à la taille des matériaux filtrants s'accumulent en surface du lit filtrant, l'autre mécanisme est l'attachement physico-chimique, qui résulte d'une série de réactions physico-chimiques entre les matériaux filtrants, l'eau et les particules en suspension.[57,63]

L'enlèvement de particules par filtration physico-chimique est couramment décrit en deux temps, soit le transport et l'attachement de particules, le troisième mécanisme est l'enlèvement stérique, il est défini comme l'exclusion physique d'une particule ou d'un agrégat de particules dans un contexte où le diamètre des pores entre les grains est inférieur au diamètre de la particule [57]

Les semaines de 10 à 14 caractérisés par la diminution des rendements de la DCO progressivement ou légèrement, cette période peut justifier par la saturation des filtres, la formation de gâteau engendre des augmentations importantes de pertes de charge, ce qui est peu désirable lors de l'opération de filtres [57]

II.4 la Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

La demande biologique en oxygène après cinq jours au niveau d'un échantillon, est la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes aérobies (oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques). [17,18]

Afin de suivre le rendement épuratoire de la filtration en termes de la DBO₅, les mesures sont faites pour chaque filtre chaque semaine, en appliquant la formule suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = [(DBO_5 \text{ eau usée} - DBO_5 \text{ eau filtrée}) / DBO_5 \text{ eau usée}] * 100$$

Les valeurs de DBO₅ sont représentées dans la figure III-4 :

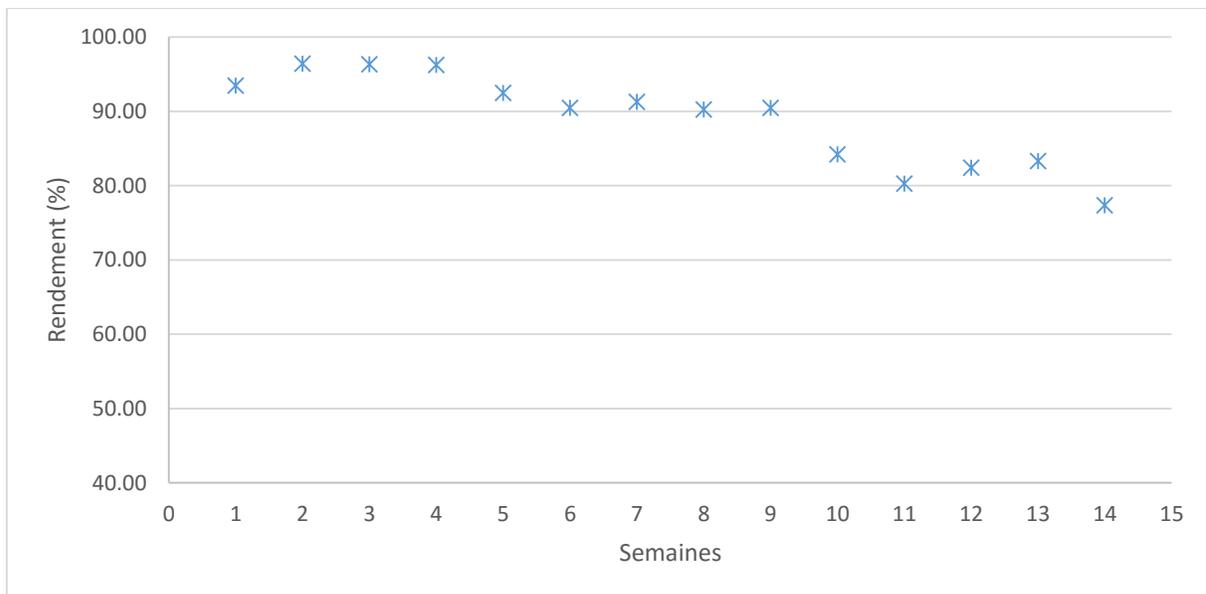


Figure III-4 : Variation des rendements d'élimination de la DBO₅ en fonction du temps

Les résultats de la DBO₅ sont très intéressants, ils traduisent une bonne dégradation des matières biodégradables, ceci se traduit par l'efficacité de la technique d'épuration utilisée. [7,8,31]

Dans le premier intervalle, de 1^{er} semaine à 9^{ème} semaine, les rendements de la DBO₅ atteignent des valeurs remarquables, varie de 96,43% à 77,38%, dans les eaux usées. La matière organique est formée essentiellement de glucides, de lipides et de protéines, leurs dégradations se fait de façon spontanée en milieu aérobie ou en milieu anaérobie par l'action de microorganismes s'y développent, elles éliminent la pollution organique carbonée biodégradable (DBO₅) et la pollution inorganique pour assurer leur multiplication et leur développement [50,61]

Le second intervalle (10^{ème} semaine à 14^{ème} semaine) les rendements de la DBO₅ varie de 83,33% à 77,38%, la diminution de rendement peut être justifiée par la stagnation de l'eau usée.

La croissance du biofilm augmente le temps de rétention d'eau usée dans le filtre (surface), cela augmentera également l'élimination des polluants tant que l'oxygène est présent,

mais en augmentant le risque de colmatage. Ce phénomène peut être défavorable lorsqu'il est excessif en raison d'une diminution de la diffusion de l'oxygène dans le système. [30,62,67,70]

II.5 Les paramètres chimiques du sable

La chimie du sol à une grande influence sur le résultat du traitement des eaux usées [43], il est donc nécessaire de déterminer quelques caractéristiques chimiques des sables après le fonctionnement, illustrées par les paramètres suivants.

II.5.1 La teneur en matières organiques :

Pour la mesure des matières organiques, la méthode 'Anne' est utilisée. Elle se base sur la décomposition des molécules organiques par une solution d'acide sulfurique additionnée de bichromate de potassium pour le sable utilisé [77]

Tableau III.3 : Variation de la MO (%) en fonction du temps

semaines couches	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,74	0,69	1,06	1,16	1,11	1,38	1,43	1,38	1,43	1,80	1,85	1,90	2,27	3,38
2	0,63	0,63	0,69	0,79	0,79	0,85	0,74	0,90	1,16	1,16	0,90	1,27	1,27	0,58
3	0,63	0,58	0,69	0,74	0,53	0,63	0,69	0,69	0,69	0,74	0,90	1,00	0,74	0,79
4	0,58	0,58	0,42	0,48	0,58	0,42	0,69	0,69	0,85	0,74	0,90	0,90	0,79	0,90
5	0,48	0,48	0,48	0,53	0,53	0,79	0,69	0,74	0,85	0,74	1,00	0,90	0,74	0,85
6	0,48	0,42	0,58	0,53	0,48	0,74	0,63	0,74	0,79	0,74	0,69	0,69	0,95	0,69
7	0,42	0,37	0,42	0,48	0,69	0,85	0,63	0,69	0,69	0,48	0,90	0,69	0,74	0,79
8	0,37	0,42	0,42	0,48	0,69	0,32	0,69	0,74	0,69	0,85	0,69	0,74	0,74	0,63
9	0,16	0,37	0,37	0,37	0,48	0,48	0,58	0,69	0,63	0,74	0,63	0,74	0,69	0,63
10	0,05	0,42	0,37	0,37	0,58	0,42	0,63	0,63	0,63	0,63	0,58	0,63	0,69	0,79

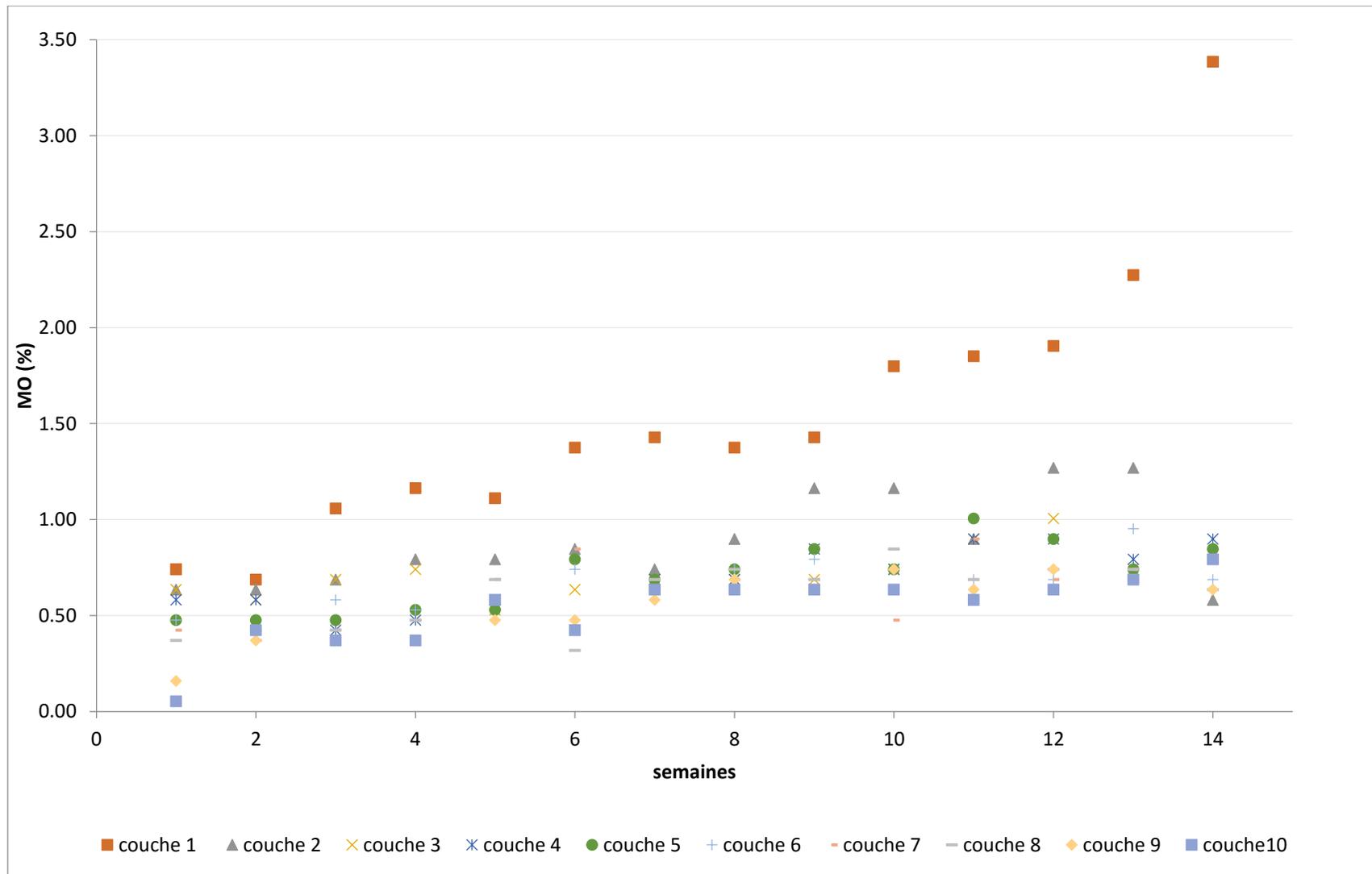


Figure III-5 : Variation de la MO en fonction du temps

Le tableau III.5, représente la variation de la teneur en matière organique de la couche filtrante en fonction de sa profondeur et en fonction du temps.

A partir des courbes présentées aux figure III.5, nous avons remarqué une augmentation de la teneur en matière organique dans la couche de surface au cours du temps de fonctionnement, la teneur en matière organique généralement croissante au cours du temps de fonctionnement, les valeurs de la teneur en matière organique dans la surface varié entre 0,69% pour la première semaine, et 3,38% pour la 14^{ème} semaine.

Les valeurs de la variation de la teneur en matière organique en fonction des profondeurs du filtre nous montre que la teneur en matière organique est décroissante avec la profondeur du filtre (de haut vers le bas),

L'augmentation de la teneur en matière organique est plus ou moins régulière dans les couches de surface en fonction du temps de fonctionnement, parce que la surface de filtre c'est une zone de dépôt de les matières organiques des eaux usées utilisées, et de la formation des algues qui se développe en surface et aussi à la formation des micro-organismes (activités microbiennes).

Ainsi, la teneur en matière organique a diminuée avec la profondeur, selon les substances transportées et la dynamique de la biodégradation associée à ce milieu.

La matière organique est un élément indispensable à une activité biologique. Elle est présente en quantité maximale dans les dix premiers centimètres de sol. [58]

II.5.1.1 La variation de la MO mesurée et de la MO calculée

Les matières oxydables (MO) correspond à une moyenne pondérée des 2 paramètres globaux DCO et DBO₅, en attribuant un coefficient double à la DBO₅ : [17,72,76]

$$MO = (DCO + 2 DBO_5)/3$$

La MO éliminé (calculée) est déterminée par le calcul de la DCO éliminée et DBO₅ éliminée ; qui présente la matière organique oxydable présentée dans l'eau.

$DCO \text{ éliminée} = DCO \text{ eaux usées} - DCO \text{ eaux filtrées}$

$DBO_5 \text{ éliminée} = DBO_5 \text{ eaux usées} - DBO_5 \text{ eaux filtrées}$

La matière organique totale est égale à la somme de la teneur en MO dans les sables utilisés comme lit de filtration, et qui ont fonctionné pendant des durées de temps bien précises (d'une semaine à quatorze semaines)

La matière organique déposée (mesurée) est déterminée par la relation :

MO déposée est égale à MO totale moins MO de sable N'goussa naturel (0,4 %)

La figure III.6, représente la quantité de la matière organique retenue par les filtres, et la quantité de la matière organique correspondant à la DCO et à la DBO₅.

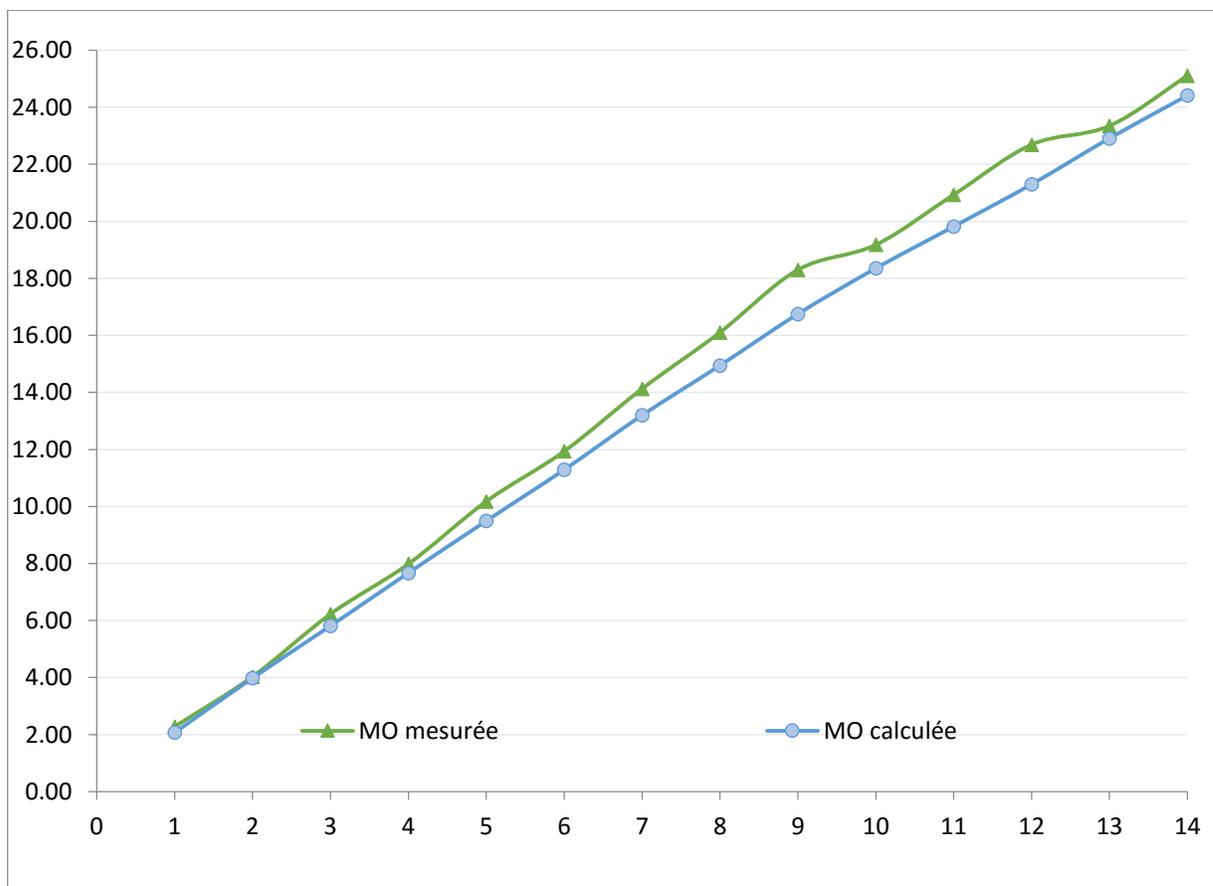


Figure III.6 : variation de la MO mesurée et de la MO calculée.

La figure III.6, montrent l'évolution de la quantité de la matière organique retenue par les filtres, et la quantité de la matière organique correspondant à la DCO et à la DBO₅ en fonction du temps de fonctionnement.

La courbe de la quantité de la matière organique correspondant à la DCO et à la DBO₅ en fonction du temps de fonctionnement prend une forme linéaire avec une pente positive, ceci peut être expliqué par le fait que la concentration constante de l'eau usée préparée au laboratoire.

Les valeurs de la matière organique déposée sont supérieures à celles éliminées, cette différence est peut-être expliquée par la transformation d'une partie de la matière organique par les activités microbiennes.

La différence entre les valeurs de la matière organique mesurée et de la matière organique calculée sont nettement inférieure à 9%.

II.5.2 Calcaire total

On utilise la propriété du carbonate de calcium à se décomposer sous l'action d'un acide.

Le dosage de calcaire total est fondé sur la réaction du carbonate de calcium au contact de l'acide chlorhydrique, ceci est réalisé à l'aide du calcimètre de Bernard par mesure du volume de CO₂ dégagé. [35,36]

Classification des sols selon le taux de calcaire [35] :

< 1%	horizon non calcaire
1 à 5%	horizon peu calcaire à
5 à 25%	horizon modérément calcaire
25 à 50%	horizon fortement calcaire
50 à 80%	horizon très fortement calcaire
> 80 %	horizon excessivement calcaire

Le tableau III.4 représenté la variation de Taux de calcaire en fonction du temps et en fonction de profondeur des couches.

Tableau III.4 : Taux de calcaire en fonction du temps

semaines couches	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,16	0,05	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,11	0,08	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,11	0,08	0,07	0,04	0,05	0,08	0,06	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,14	0,06	0,14	0,14	0,06	0,07	0,07	0,09	0,04	0,11	0,00	0,00	0,04	0,00
6	0,07	0,15	0,11	0,10	0,04	0,10	0,10	0,10	0,08	0,09	0,02	0,02	0,04	0,03
7	0,08	0,14	0,12	0,15	0,12	0,12	0,16	0,16	0,15	0,12	0,10	0,07	0,06	0,07
8	0,07	0,11	0,17	0,11	0,11	0,15	0,13	0,18	0,15	0,14	0,14	0,05	0,10	0,11
9	0,11	0,14	0,15	0,15	0,13	0,12	0,09	0,16	0,14	0,17	0,12	0,13	0,15	0,17
10	0,20	0,11	0,13	0,14	0,13	0,13	0,22	0,20	0,21	0,16	0,16	0,19	0,14	0,14

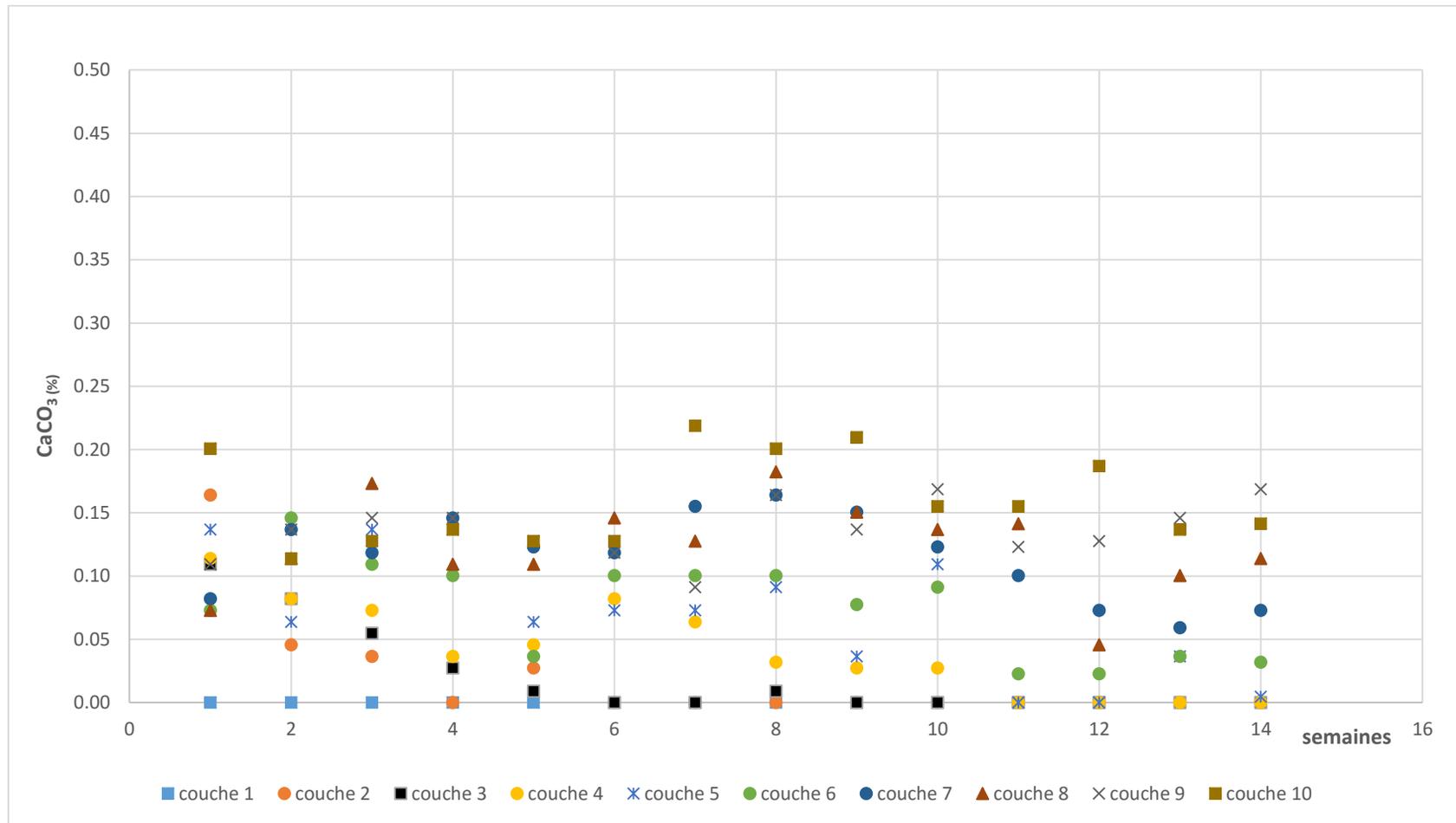


Figure III-7 : Taux de calcaire en fonction du temps

Le tableau III.4, représente la variation du taux de calcaire de la couche filtrante en fonction de sa profondeur et en fonction du temps.

A partir des courbes présentées aux figure III.7, nous avons remarqué que le taux de calcaire dans les couches de surface égale à zéro, pour les couches sous-jacentes, nous avons remarqué un taux de calcaire faible varie entre 0.01 % et 0.22 %.

Deux processus simultanés peuvent être expliqués le carbonate de calcium (CaCO_3), biochimique et physique.

Le premier est une lixiviation du calcaire, il s'agit de décarbonatation des sables par les acides organiques issus de la décomposition de la matière organique.

Le second est un lessivage des particules limoneuses calcaires à travers la colonne du sable filtrant.

II.5.3 La conductivité électrique des matériaux filtrants

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ioniques présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité.

Des extractions aqueuses de rapports sol/eau (m/v) fixes pour obtenir des fortes dilutions (sol/eau de 1/5 ou 1/10, le rapport 1/5 est le plus souvent utilisé) ; ce rapport sol/eau restant donc constant quelle que soit la nature de l'échantillon et sa granulométrie. [51,59]

Nous avons déterminé la conductivité électrique sur une solution d'extrait aqueux 1/5 (sol/eau) à l'aide d'un conductimètre.

Le tableau III.5 représenté la variation de la CE en fonction du temps et en fonction de profondeur des couches,

Tableau III.5 : Variation de la CE en fonction du temps

semaines couches	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,278	0,196	0,17	0,196	0,204	0,165	0,314	0,24	0,25	0,31	0,274	0,358	0,196	0,38
2	0,477	0,151	0,107	0,167	0,168	0,147	0,134	0,158	0,186	0,166	0,19	0,157	0,178	0,198
3	0,952	0,285	0,291	0,165	0,251	0,181	0,247	0,199	0,199	0,275	0,303	0,167	0,384	0,342
4	1,278	0,808	0,185	0,288	0,204	0,209	0,185	0,205	0,188	0,301	0,353	0,18	0,359	0,349
5	1,466	1,036	0,275	0,313	0,413	0,398	0,498	0,282	0,294	0,29	0,29	0,215	0,476	0,397
6	1,503	1,057	0,895	0,69	0,532	0,257	0,307	0,352	0,195	0,195	0,264	0,38	0,37	0,367
7	1,588	0,938	0,632	0,427	0,298	0,198	0,438	0,211	0,14	0,31	0,19	0,34	0,172	0,15
8	1,701	1,002	0,773	0,312	0,258	0,172	0,205	0,146	0,159	0,137	0,152	0,206	0,122	0,165
9	1,507	0,84	0,742	0,219	0,196	0,192	0,196	0,157	0,141	0,113	0,16	0,153	0,134	0,166
10	1,61	1,229	1,232	0,349	0,255	0,287	0,201	0,167	0,111	0,124	0,148	0,175	0,143	0,201

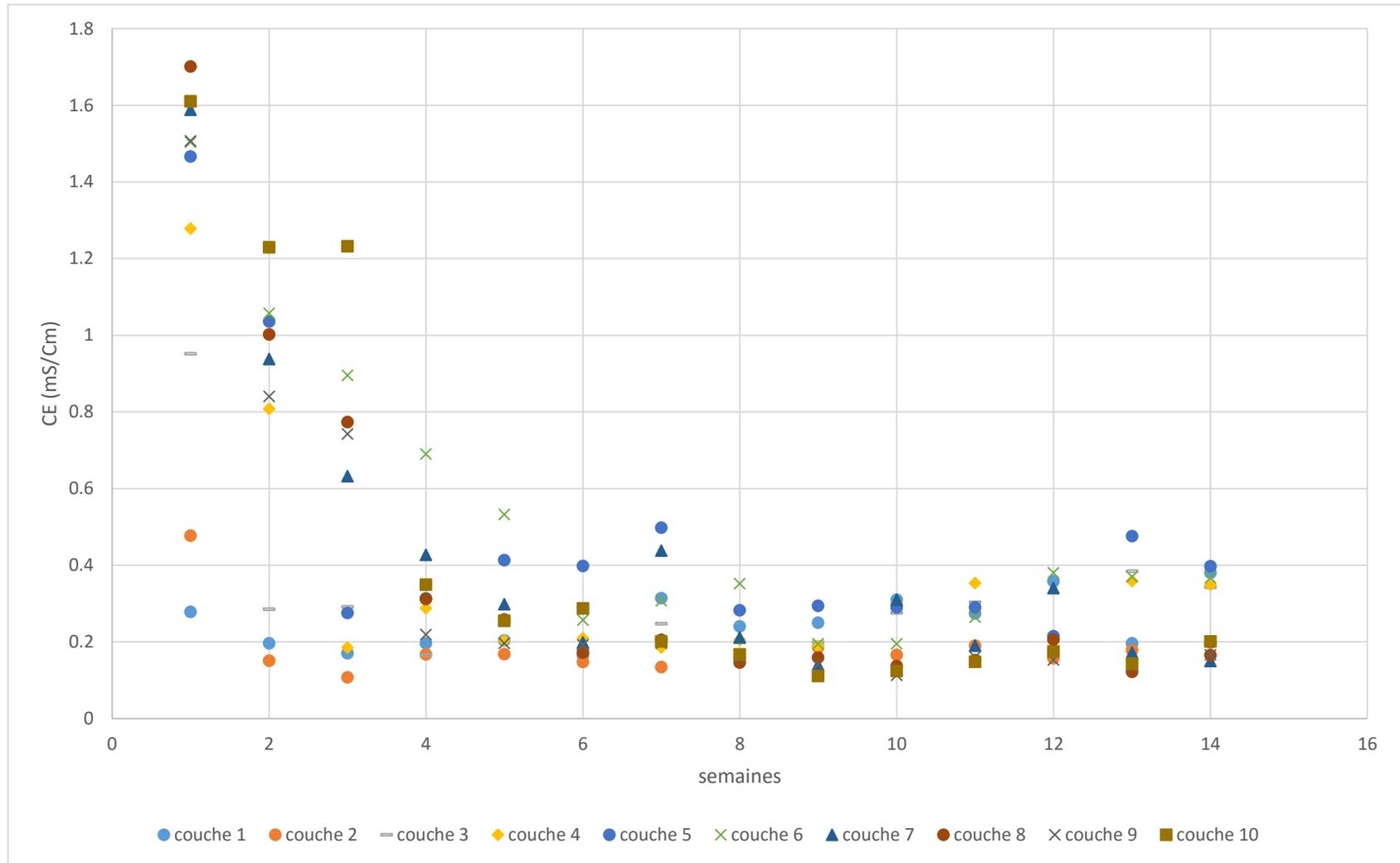


Figure III-8 : Variation de la CE en fonction du temps

Le tableau III.5, représente la variation de la conductivité électrique de la solution d'extrait dans la couche filtrante en fonction de sa profondeur et en fonction du temps.

A partir des courbes présentées à la figure III.8, nous avons remarqué que la conductivité électrique varie entre 1,701 mS/cm et 0,111 mS/cm,

Au niveau de l'ensemble des pilotes la conductivité électrique est décroissante du haut vers le bas du filtre ceci est expliqué par le processus de lixiviation des sels par les eaux filtrées.

Dans la 1^{er} couche, la conductivité électrique de la solution d'extrait varié entre 0,165 mS/cm et 0,38 mS/cm, nous avons remarqué que les sels soluble sont lessivée à partir de 1^{er} semaine, la variation de CE dans la surface peut être peut être justifiée par la transformation de la matière organique, de sa forme dissoute à la forme minérale (la décomposition aérobie de la matière organique).

Dans la 2^{eme} couche, nous avons remarqué après deux semaines de fonctionnement, une légère stabilité de la conductivité électrique de la solution d'extrait, les valeurs sont variées entre 0,107 mS/cm et 0,198 mS/cm, avec 0,477 mS/cm pour 1^{er} semaine, les valeurs de la 3^{eme} couche, ont présenté une légère stabilité après deux semaines de fonctionnement.

Les valeurs de CE dans la 4^{eme} couche sont varié entre 0,18 mS/cm et 0,359 mS/cm, avec 1,278mS/cm pour la 1^{er} semaine, et 0,808 mS/cm pour la 2^{eme} semaine.

On a remarqué que les valeurs de la conductivité électrique de la solution d'extrait, sont supérieures à 1,4 mS/cm dans les couches sous-jacentes (de 5 à 10) pour la 1^{er}semaine.

Le phénomène de la lixiviation est le transport convectif des particules dissoutes dans l'eau ou dans la solution de sol. La fraction dissoute est supposée migrer dans le sol à la même vitesse que l'écoulement de l'eau. [58]

II.5.4 pH des matériaux filtrants

Les sols ont une réaction neutre, acide ou basique. Leur degré d'acidité ou de basicité (alcalinité) est exprimé par le pH.

La mesure du pH constitue ainsi le test le plus sensible des modifications survenant dans l'évolution d'un sol (sur une pâte de sol saturé ou une pâte diluée) [51,74].

La figure III.9 représente les normes d'interprétation du pH-eau du sol

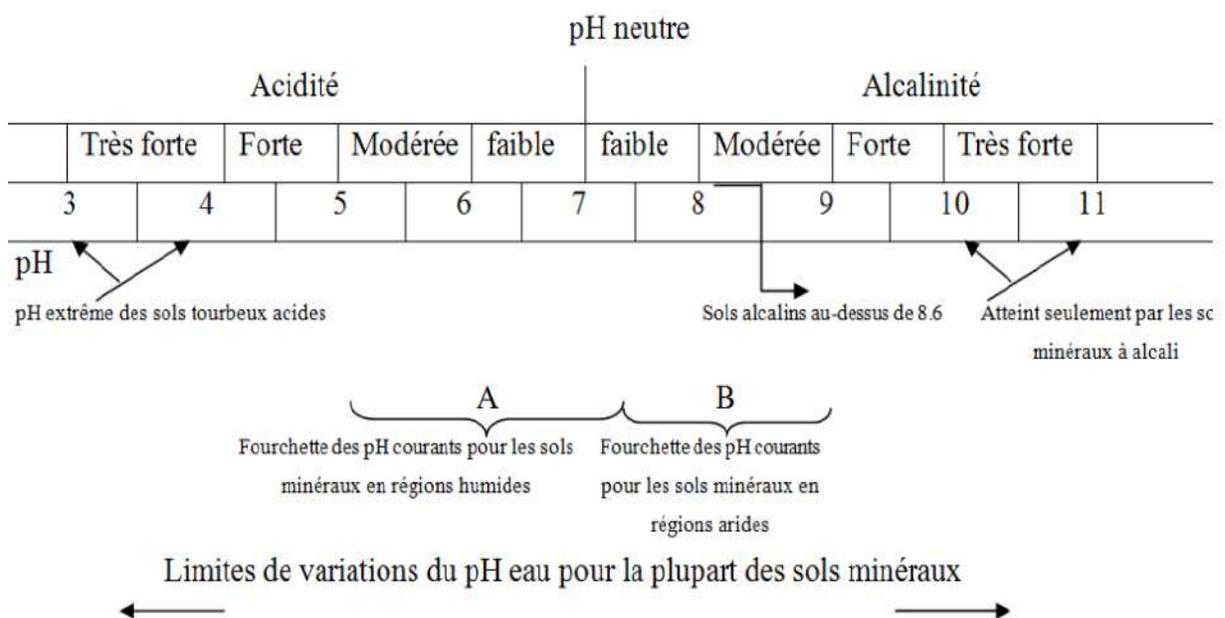


Figure III.9 : Normes d'interprétation du pH-eau du sol

Le tableau III.6, représente la variation du pH dans la couche filtrante en fonction de sa profondeur et en fonction du temps

Tableau III.6 : Variation du pH en fonction du temps

semaines couches	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	7,01	7,59	7,94	6,89	7,60	7,78	7,17	6,94	6,71	6,31	7,05	6,96	6,86	6,37
2	7,35	7,90	8,23	7,52	7,92	7,77	7,55	7,33	7,31	6,71	6,96	7,30	7,16	6,72
3	7,85	8,05	8,15	7,99	7,87	7,86	7,66	7,09	7,95	6,88	7,02	7,29	7,12	6,99
4	7,86	8,03	8,39	8,09	7,97	8,01	7,84	7,70	7,83	7,24	7,24	7,48	7,23	0,23
5	8,11	8,13	8,50	8,23	7,90	6,59	7,84	8,33	7,84	7,62	7,41	7,63	7,10	7,26
6	8,09	8,23	8,26	8,10	8,11	7,27	7,91	8,25	7,89	8,12	7,52	7,57	8,10	7,48
7	8,12	8,15	8,33	8,24	8,29	7,61	7,90	8,42	8,47	8,15	8,10	7,49	8,29	7,91
8	8,12	8,13	8,29	8,31	8,33	7,91	8,14	8,59	8,48	8,41	8,27	7,84	8,55	8,18
9	8,20	8,23	8,30	8,38	8,36	7,84	8,21	8,60	8,56	8,53	8,34	7,95	8,59	8,34
10	8,23	8,05	8,31	8,33	8,38	7,94	8,24	8,62	8,76	8,64	8,44	8,03	8,62	8,41

Le tableau III.6, représente la variation de pH dans les couches filtrante en fonction de profondeur et en fonction du temps.

Nous avons déterminé le pH pour chaque couche (10 couches) et pour chaque pilot de sable (les mesures du pH sont prises régulièrement toute une semaine).

Les valeurs du pH dans les couches de surface sont comprises entre 6,31 et 7,94, pour les quatorze semaines de fonctionnement,

Le pH est relativement faible dans les couches de surface, où il y a des fortes teneures en matière organique (principalement microbienne).

Conclusion

L'augmentation de la teneur en matière organique est plus ou moins régulière dans les couches de surface en fonction du temps de fonctionnement, parce que la surface de filtre c'est une zone de dépôt des matières organiques des eaux usées utilisées.

Deux processus simultanés peuvent être expliqués le carbonate de calcium (CaCO_3), biochimique et physique. Le premier est une lixiviation du calcaire et le second est un lessivage.

Au niveau de l'ensemble des pilotes la conductivité électrique est décroissante du haut vers le bas du filtre ceci est expliqué par le processus de lixiviation des sels par les eaux filtrées.

Chapitre VI :
La réutilisation des supports
filtrants

I.1. Introduction

L'objectif de cette partie, est l'étude de nettoyage et régénération du filtre à sable, la deuxième partie, est l'étude de possibilité de la réutilisation des matériaux du support filtrant, et comparaison des boues des filtres avec fertilisant organique.

Dans la première partie, l'évaluation de l'efficacité de la filtration a été effectuée par le suivi de la variation de la CE, du pH, DBO₅ et de la demande chimique en oxygène (DCO) de l'eau traitée.

Les massifs filtrants utilisés dans cette partie du travail sont le sable de N'goussa naturel, leurs caractéristiques physico-chimiques sont représentées dans le tableau Paramètres physico-chimiques de sable N'goussa

Tableau VI.1 Paramètres physico-chimiques de sable N'goussa

Dr g/cm ³	2,96
D _{app}	1,53
Porosité	48,46
Cu	1,75
D10	0,12
D60	0,21
EC (mS/cm)	3,52
pH	8,35
MO %	0,40
CaCO ₃ %	0,27

Le sable de N'goussa naturel est caractérisé par un taux de sel faible (CE de l'extrait < 5mS/cm), un taux de calcaire et la matière organique faibles, une granulométrie serré et bien graduée, et un sable qui répond aux exigences de la filtration lente [7,8,43], les valeurs du pH et de la CE, sont mesurées sur l'extrait aqueux à 1/5 (g/ml). Les pilots ont été alimentés par une eau usée synthétique.

I.2. Dispositif expérimental

Pour atteindre notre objectif, nous avons mis en place un dispositif expérimental, pour suivre les résultats et évaluer l'efficacité de la technique d'épuration et la réutilisation des supports filtrants.

A cet effet, nous avons réalisé 03 pilotes de filtration (figure III-1) avec le même sable (N'goussa), Après la période de fonctionnement de 7 semaines, nous avons remplacé la couche première (surface), pour le pilote R1 (6cm) et le pilote R2 (1cm), les deux pilotes ont été réutilisée pendant 04 semaines.

L'évaluation de l'efficacité de cette filtration a été effectuée par le suivi de la variation de la CE, du pH, DBO₅ et de la demande chimique en oxygène (DCO) de l'eau traitée.

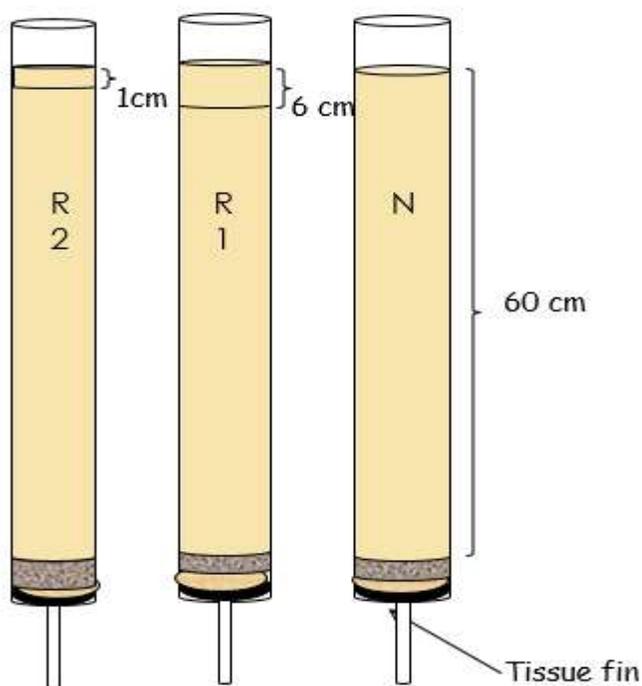


Figure VI-1: Dispositif expérimental

I.3.Résultats et discussion

I.3.1.pH d'eau filtrée

Le pH est l'un des paramètres chimiques importants lorsqu'il s'agit de déterminer la qualité d'une eau. Il sert au contrôle de la qualité de l'eau à l'entrée de la station d'épuration [64]

Nous avons effectué les mesures de pH à l'aide d'un pH-mètre, les résultats de pH pendant les sept premières semaines (Les trois colonnes sont identiques) sont regroupés dans le tableau VI.2, et les résultats de pH pendant les 4 semaines de la réutilisation sont regroupés dans le tableau VI.3.

Tableau VI.2 Variation du pH en fonction du temps

Semaines	1	2	3	4	5	6	7
pH	8,37	8,32	8,3	8,21	8,29	8,37	8,66

Tableau VI.3 Variation du pH en fonction du temps de la réutilisation

Semaines	1	2	3	4
N	8,63	8,48	8,5	8,81
R1	8,56	8,65	8,72	8,65
R2	8,66	8,71	8,4	8,08

Les trois colonnes sont identiques pendant les sept premières semaines, nous remarquons que les valeurs de pH pour les eaux filtrées, varie entre 8,08 et 8,81 ; ceci est due à la variabilité de eaux usées, nous constatons aussi que les valeurs de pH des eaux filtrées sont toujours nettement supérieures aux valeurs d'eau usée.

L'augmentation du pH des eaux filtrée, peut être expliquée à la fois par la diminution de la décomposition aérobie de la matière organique le long de massif filtrant et par le caractère alcalin du sable (pH de sable de N'goussa égale à 8,35) [29]

I.3.2. La Conductivité électrique d'eau filtrée (CE)

La Conductivité électrique permet de définir la salinité totale d'une solution, elle est proportionnelle à la concentration totale en sels solubles. Nous avons mesuré la conductivité électrique de l'eau à l'aide d'un conductimètre. Les variations de la conductivité électrique en fonction du temps sont illustrées par le tableau VI.4, et les résultats de la CE (mS/cm) pendant les 4 semaines de la réutilisationsont regroupés dans le tableau VI.5.

Tableau VI.4 Variation de la CE (mS/cm) en fonction du temps

Semaines	1	2	3	4	5	6	7
pH	2,95	2,87	2,33	1,476	1,664	1,286	1,207

Tableau VI.5 Variation de la CE (mS/cm) en fonction du temps de la réutilisation

Semaines	1	2	3	4
N	1,161	1,103	1,037	0,952
R1	1,367	1,089	1,26	1,109
R2	1,175	1,186	1,4	1,071

D'après le tableau, on remarque que les eaux filtrées sont caractérisées par une conductivité comprises entre 0,952 mS/cm et 2,95 mS/cm pendant toute la période de leur fonctionnement (7 semaines de fonctionnement et 4 semaine de réutilisation).

Les valeurs de la conductivité électrique de l'eau filtrée sont toujours supérieures à celles des eaux usées, cette augmentation due à la transformation d'une partie de la matière organique dissoute en sels minéraux.

I.3.3. la Demande Chimique en Oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) (exprimée en mg O₂/l) représente la quantité d'oxygène consommée par les matières existant dans l'eau et oxydables dans des conditions opératoires définies. En fait la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau, quelle que soit leur origine organique ou minérale (fer ferreux, nitrites,

ammonium, sulfures et chlorures). Elle est considérée comme un indicateur principal du degré de la pollution organique. [17]

Le calcul du rendement épuratoire de l'élimination en termes de DCO s'est fait selon la relation suivante :

$$\text{Rendement (\%)} = [(\text{DCO eau usée} - \text{DCO eau filtré}) / \text{DCO eau usée}] \times 100$$

Nous observons une variabilité remarquable de la DCO au cours du traitement de l'effluent dans la période de travail.

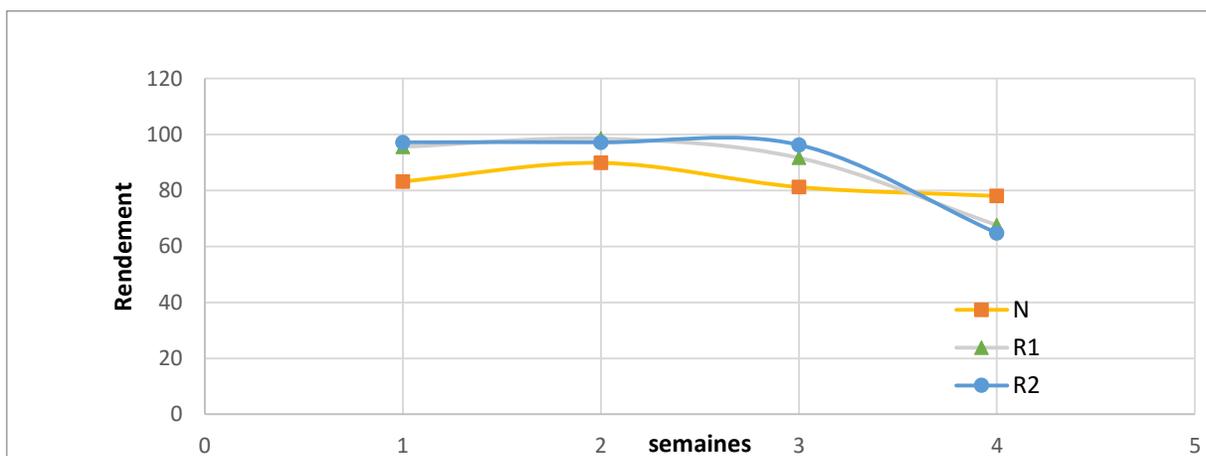


Figure VI-2 : La variation des rendements d'élimination de la DCO en fonction du temps

A partir de la figure VI-2 représentant la variation des rendements épuratoires de la DCO pour chaque semaine (après la régénération), on constate une efficacité épuratoire pour tous les filtres, cette dernière traduisant par des valeurs des rendements épuratoires qui sont nettement supérieures à 65,71% pendant les sept semaines du fonctionnement.

Nous observons ensuite une augmentation des rendements de la DCO pour les filtres R1 et R2 (95,61 % et 79,22 % respectivement) dans la 1^{er} semaine de réutilisation (nettoyage des filtres), le rendement de filtre N égale à 73,67 %, l'augmentation des rendements de la DCO pour les filtres R1 et R2, peut-être expliqué par le nettoyage et régénération des filtres,

Après 11^{eme} semaine de fonctionnement, le rendement de la DCO diminue pour les 3 pilotes, peut-être explique par la saturation des filtres.

I.3.4. la Demande Biologique en Oxygène (DBO₅)

La demande biologique en oxygène après cinq jours au niveau d'un échantillon, est la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes aérobies (oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques). [52]

Les rendements de DBO₅ (après la régénération), sont représentées dans la figure VI-3:

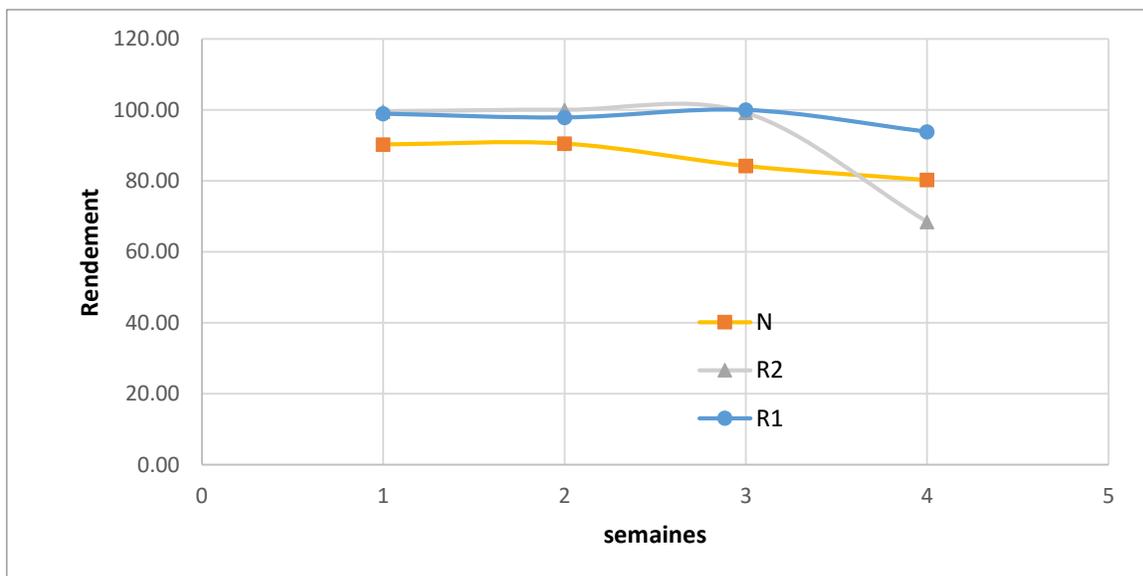


Figure VI-3: La variation des rendement de la DBO₅ en fonction du temps

Les valeurs de rendement de la DBO₅ des eaux filtrées varient globalement entre 100% et 68,48%,

Une augmentation des valeurs de rendement de la DBO₅ a été remarquée après une semaine jusqu'à 4^{ème} semaine de l'expérimentation,

Dans la 11^{ème} semaine de l'expérimentation, nous avons remarqué diminution de rendement de la DBO₅, peut-être expliqué par la stagnation des eaux usées, la diminution de la teneur en oxygène pendant les périodes d'alimentation en raison de la consommation d'oxygène par la biomasse associée à une diffusion décroissante de l'oxygène due à une plus grande teneur en eaux usée dans le milieu filtrant.

Pendant les périodes de repos, la teneur en oxygène augmente rapidement grâce à la diffusion et la saturation en oxygène est récupérée en période de repos. [30]

Une augmentation des valeurs de rendement de la DBO₅ a été remarquée dans la période de réutilisation pour pilot R1 (varié entre 100 % et 93,83 %), et pilot R2 (varié entre 100% et 99,15 %, avec 68,48 % pour 11^{ème} semaine).

Les matières en suspension (MES) sont arrêtées à la surface du massif filtrant, avec une partie de la pollution organique[65], Ces phénomènes sont responsables du colmatage organique des filtres par obstruction des pores[50], la régénération de filtre réduit les risques de colmatage

II. possibilité de réutilisation

II.1 Introduction

Les sols sahariens sont réputés pour être, dans leur ensemble, pauvres en matière organique et en éléments minéraux indispensables aux végétaux. La teneur en matière organique (M.O.) de ces sols est souvent inférieure à 0,1 %. Cette faible teneur résulte de la rareté de la végétation et de la faible biomasse.

Dans le Nord du Sahara algérien, les sols sont d'origine essentiellement éolienne et comportent principalement des sables ; c'est le cas des sols de la région de Ouargla. Ces sols, compte tenu de leurs caractéristiques, présentent de mauvaises qualités physiques et chimiques.

Une solution possible pour améliorer leurs propriétés consiste à apporter de la matière organique à ces sols, afin d'améliorer à la fois leurs propriétés physiques et chimiques.

La valeur agronomique des composts peut être définie comme l'aptitude des composts à améliorer la fertilité du sol. Les composts sont en effet des produits riches en matières organiques et également en composés minéraux (N, P, K, Mn, oligo-éléments,...) et à ce titre sont susceptibles d'améliorer la fertilité du sol. [12]

Les différentes voies de valorisation et d'élimination des boues : Epannage, Méthanisation, Compostage, Incinération. [84,85,86]

II.2 Comparaison des boues des filtres avec fertilisant naturel l'amendement des sols

Concernant la possibilité de réutilisation des matériaux du support filtrant comme fertilisant organique en agriculture, -une comparaison a été faite avec des travaux (N. Koull et all) sur l'amendement organiques des sols sahariens (mélanges sol-matière organique) s'avère que les taux de matières organiques (1 à 3%) sont proches de ceux enregistrés dans boues des filtres dans les premières couches de pilotes (1,8 à 3%).

Dans ce chapitre on va aborder une comparaison entre les boues des filtres et fertilisant naturel

Tableau VI.6 Caractéristiques de l'amendement des sols (fumier bovin et ovin).

Caractéristiques de la M.O	Valeurs		
	Fumier bovin	Fumier ovin	les mélanges (sol-matière organique)
pH eau (1/5)	6,83	6,39	7,88
CE à 25°C (1/5) (mS/m)	13,59	14,17	5,92
MO (%)	69,81	57,32	01 à 03

Les doses de la de matière organique sont choisies en fonction de la teneur du sol en argile, pour les sols à un taux d'argile < 10% un apport de matière organique de l'ordre de 3 à 3,5 %.[12]

Tableau VI.7 Caractéristiques des boues des filtres

Caractéristiques de la M.O	Valeurs
pH eau (1/5)	6,7 à 7.72
CE à 25°C (1/5) (mS/m)	0.18 à 0.85
MO (%)	1.87 à 3.44

A travers les résultats présentés dans ces tableaux (Tableau VI.4 et Tableau VI.5), nous avons remarqué que les valeurs de pH (surface de filtre) moins que les valeurs de mélange sol-matière organique (fertilisant naturel). La conductivité électrique de la solution d'extrait varié entre 0,18 mS/cm et 0,85 mS/cm (pour le filtre), nous avons remarqué que les sels soluble sont lessivée par l'écoulement de l'eau, les taux de matières organiques dans la surface (1,87 à 3,44%) sont proches de ceux enregistrés dans le mélange sol-matière organique (fertilisant naturel).

II.3. La détermination de la quantité de des boues

L'épaisseur de la couche de la surface (enlevé) est égale à 01cm pour pilot 01 et 06 cm pour pilot 02.

la quantité de sable enlevé est égale à $0,01 \text{ m}^3$ pour chaque 01 m^2 de filtre, 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, On choisit pour notre dispositif ($50 \text{ l/m}^2/\text{j}$), alors le débit nécessite une surface de sable de 2 m^2 à 2.5 m^2 , c'est à dire, la quantité de sable déplacée pour chaque habitation est égale à:

Couche de 01 cm ----- $0,02 \text{ m}^3$

Couche de 06 cm ----- $0,12 \text{ m}^3$

Conclusion générale

L'objectif général du présent travail étant de caractériser les paramètres physiques et chimiques du support filtrant des filtres à sable de dunes après son fonctionnement, nous avons caractérisé des sables qui ont été déjà utilisés comme support filtrant. Neuf (09) colonnes qui ont fonctionné pendant une période de 84 jours (12 semaines) ont été étudiées. Les sables utilisés comme support filtrant sont des sables de dunes du sud algérien, provenant des localités de Benaceur, Tebesbest, Hassi Messaoud, N'goussa, Ain Beida, Sidi Mehdi, M'Naguer, Hassi Gnifida, Kouinine.

Les résultats obtenus dans cette étude ont montré que la couche de surface (couche 01) est une phase qui se caractérise par une augmentation importante de la teneur en matière organique (1,87 à 3,6%), il s'agit de la zone de dépôt de matières organiques des eaux usées utilisées, ainsi qu'aux activités microbiennes notamment d'algues qui se développent en surface des filtres.

Dans les couches sous-jacentes (couches 02 à 10) où le taux de matière organique varie de 0,21 à 0,74%, il y a une diminution progressive avec la profondeur, ceci peut être expliqué par le dépôt de matière organique lessivée par écoulement des eaux usées.

Deux processus simultanés peuvent expliquer la dynamique du carbonate de calcium (CaCO_3) : biochimique et physique. Le premier est une lixiviation du calcaire, il s'agit de décarbonatation des sables par les acides organiques issus de la décomposition de la matière organique. Le second est un lessivage des particules limoneuses calcaires à travers la colonne du sable filtrant.

Après utilisation, les sables enregistrent en général, une légère diminution de pH, ce dernier augmente avec la profondeur et atteint des valeurs de 7,72 à 8,12 pour Tebesbest ; de 7,65 à 8,64 pour Benaceur, de 7,26 à 8,23 pour Hassi Messaoud, de 6,7 à 8,75 pour N'goussa, de 6,71 à 8,71 pour Ain Beida, de 7,52 à 8,62 pour Sidi Mehdi, de 7,3 à 8,26 pour M'Naguer, de 6,85 à 8,13 pour Hassi gnifida et de 7,52 à 8,17 pour Kouinine.

Conclusion Générale

Le pH à une corrélation positive avec le calcaire en raison du lessivage et de la dissolution de ce dernier par les acides organiques, le pH est relativement faible en surface des colonnes, comparé aux couches inférieures.

Au niveau de l'ensemble des pilotes la CE est décroissante du haut vers le bas du filtre ceci est expliqué par le processus de lixiviation des sels par les eaux filtrées.

L'écoulement des eaux usées à travers les filtres pendant une certaine période provoque une redistribution verticale de la fraction fine (<0,050 mm) notamment les limons fins dans la colonne du sable. La fraction fine migre par lessivage des couches supérieures vers les couches inférieures.

Concernant la possibilité de réutilisation du matériau filtrant comme fertilisant organique en agriculture, une comparaison a été faite avec des travaux antérieurs (N. Koull et all) sur l'amendement organique des sols sahariens (mélanges sol-matière organique). Il s'avère que les taux de matières organiques (1 à 3%) sont proches de ceux enregistrés dans les boues des filtres dans les premières couches des pilotes (1,8 à 3%).

Dans la partie de l'étude de régénération du filtre à sable, après un fonctionnement de 07 semaines et après renouvellement de la couche 01, la variation de la CE, du pH, de la DBO₅ et de la DCO de l'eau traitée. A été suivi durant 04 semaines de réutilisation. Les résultats obtenus ont montré que la réutilisation du matériau après régénération est satisfaisante.

Références bibliographiques

- [1] Anne-Sophie Roux. Les enjeux de l'innovation responsable dans le secteur de l'eau. Dossier The future of water, pour SoScience. 2016, 59p.
- [2] UNESCO. Water and energy. The United Nations World Water Development Report, Vol 1, 2014.
- [3] UNESCO. L'eau dans un monde durable. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, 2015.
- [4] UNESCO. Les eaux usées, une ressource inexploitée. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, 2017.
- [5] World_Water_Forum. 7th world water forum (white paper).Daegu-Gyeongbuk Republic of Korea science and technology process, 2015.
- [6]S. Finley, S. Barrington, D. Lyew, Reuse of domestic greywater for the irrigation of food crops, *Water Air Soil Pollut.*, 199 (2009) 235–245.
- [7] Y. Touil, S. Tahab, R. Issaadi, A. Amrane, Pilot plant for wastewater treatment involving septic pit and biological filtration on sand of dunes of the Algerian Sahara, *Desal. Wat.Treat.*,10(2009)148–152.
- [8] G. Yamina, A. Abdeltif, T. Youcef, H.M. Mahfoud, G. Fatiha, B. Lotfia, A comparative study of the addition effect of activated carbon obtained from date stones on the biological filtration efficiency using sand dune bed, *Energy Procedia*, 36 (2013) 1175–1183.
- [9] Rodgers M. 2004: Surface clogging in an intermittent stratified sand filter, *Soil. Sci. Soc. Am*, Vol. 68, 1827-1832
- [10] A. Sani, M. Scholz, A. Babatunde, Y. Wang, Impact of water quality parameters on the clogging of vertical-flow constructed wetlands treating urban wastewater, *Water Air Soil Pollut.*, 224 (2013) 1488–1505.
- [11]H. Kandra, D.M. Carthy, A. Deletic, Assessment of the impact of stormwater characteristics on clogging in stormwater filters, *Water Resour. Manage.*, 29 (2015) 1031–1048.
- [12] N. Koull,M.T. Halilat, Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie), *Étude et Gestion des Sols*, 2016

- [13] S.AMIR, contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost, Thèse,2005
- [14]Claude Gros C. 1999: l'eau usage et pollution (tome 2), Institut Nationale de la Recherche Agronomique.
- [15]Dégremont, 1989: Mémento technique de l'eau, Edition de cinquantenaire.
- [16]Claude C., 1999: Les traitements de l'eau, Edition ellipses.
- [17]Rodier J. 1996, analyse de l'eau, Edition Doin.
- [18]W. Fresenius, K. Quentin, W. Schneider, Water Analysis: A Practical Guide to Physico-Chemical, Chemical and Microbiological Water Examination and Quality Assurance, Springer Berlin Heidelberg, 1988.
- [19]M. Henze, P. Harremoes, J. Jansen, E. Arvin, Wastewater Treatment, Springer, 1997
- [20] Disjardind R. 1997: Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal.
- [21]A. Cheval, l'assainissement autonome, centre national de documentation et d'information sur l'eau 1974
- [22] R. Franceys, J. Pickford, R. Reed, Guide de l'assainissement individuel,OMS, 1995
- [23]G.claude L'eau : Tome 2: Usages et polluants. (tome 2), Institut Nationale de la Recherche Agronomique,1999
- [24]Rejsek F. 2002: Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, Edition Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine France
- [25] A. Roche, J. Miquel, E. Gaume / Hydrologie quantitative: Processus, modèles et aide à la décision, Springer,2012
- [26]Y. Berthaud, P. Buhan, N. Schmitt, Aide-mémoire de mécanique des sols-Dunod (2014)
- [27] A. Lienard, Y. Racault, épuration sur supports granulaires principes et mises en œuvre, CEMAGREF,2003.

- [28]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
- [29]S. Et-taleb, R. Elhaouti, M. Abbaz, S. Lhanafi, M. Ez-zahery, R. Aba-aaki, N. El Alem, Comparaison du phénomène de colmatage des eaux usées à travers deux types de sables : l'un vierge et l'autre utilisé lors de traitement par infiltration, J. Mater. Environ. Sci. 5 (6) (2014) 1906-1912 ISSN : 2028-2508
- [30] L. Rolland, P. Molle, A. Lie ´nard, F. Bouteldja, A. Grasmick, Influence of the physical and mechanical characteristics of sands on the hydraulic and biological behaviors of sand filters, Desalination 248 (2009) 998–1007
- [31] Y. Touil, Y. Gherairi, R. Issaadi, A. Amrane, Biological filtration on sand of dunes – Filters fouling, Energy Procedia, 50 (2014) 471–478.
- [32]Messrouk H. Elimination of Hydrocarbon Contaminants from Synthetic Waste water by Soil Filter, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 11, November-2015
- [33]A. Musy, M. Soutter, Physique du sol, Presse polytechnique et universitaires romandes, 1991
- [34]Clément M. 1996: Analyse physique des sols, Edition Lavoisier
- [35] D. Baize, Guide des analyses en pédologie, Edition INRA, Paris, 2000.
- [36] G. Aubert, Méthodes d'analyse des sols, Edition centre régional de documentation pédagogique, Marseille, 1978.
- [37]S chneebeli G. 1987: Hydraulique souterraine, Edition Eyrolles Paris
- [38]V.robitalle, D. trembley, Mécanique des sols, bibliothèque nationale du Québec, 1997
- [39]A. Bahadori, T. Smith, Dictionary of Environmental Engineering and Wastewater Treatment, Springer International Publishing Switzerland, 2016
- [40]Glossaire des Termes de la Science Des sols, direction de la recherche ministère de l'agriculture du canada, 1976

- [41]F.Gherairi. Comparative Study between Two Granular Materials and Their Influence on The effectiveness of Biological Filtration. *Energy Procedia* 74 (2015) 799 – 806
- [42]K. Khengaoui, Influence of secondary salinity wastewater on the efficiency of biological treatment of sand filter, *Energy Procedia* 74 (2015) 398 – 403
- [43]K.Khengaoui, étude de l'effet de la salinité des eaux usées sur le processus de la filtration lente sur sables, Thèse de doctorat. université de ouargla,2017
- [44]M. Rodgers, M.G. Healy, J. Mulqueen, Organic carbon removal and nitrification of high strength wastewaters using stratified sand filters, *Water Research*, 2005
- [45] A. Baban, I. Talinli, Modeling of organic matter removal and nitrification in sewer systems an approach to wastewater treatment, *Desalination*,2009
- [46] U. Bracklow, A. Drews, M.Vocks, M. Kraume, Comparison of nutrients degradation in small scale membrane bioreactors fed with synthetic/domestic wastewater, *Journal of Hazardous Materials*, 2007
- [47] Y.W.Kang, K.M.Mancl and O.H.Tuovinen. *Bioresource technology* 98 (2007): 1460-1466.
- [48]L.Gill, C.Doran, D. Misstear, B. Sheahan, The use of recycled glass as a filter media for on-site wastewater treatment, *Desalination and Water Treatment* 4 (2009) 198–205
- [49] T.K.Stevik, K.Aa, G.Ausland and J.F.Hanssen. *Water Research* 38(2004): 1355-1367.
- [50] M.K.Diallo. Infiltration-percolation sur sable et sur fibres de coco, filtres plantes et épuration d'eaux usées domestiques à dominance agroalimentaire sous climat tropical sec : Cas des eaux résiduaires urbaines de Ouagadougou, Burkina Faso. Thèse doctorat. Université Claude Bernard Lyon 1. (2011).
- [51]C. Mathieu, F. Pieltain. *Analyse chimique des sols*. Edition Lavoisier TEC&DOC. (2003)
- [52]M.Satin, B. Selmi, *Guide technique de l'assainissement*, Edition le Moniteur Paris, 1999
- [53]N. Durand, H.C. Monger, M.G. Canti, *Calcium Carbonate Features*, Chap. 9, *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, Elsevier, 2010, pp. 149.

- [54] R. Calvet, Les pesticides dans le sol: conséquences agronomiques et environnementales, France Agricole Editions,2005
- [55] A. Alem, A,Elkawafi, A,Benamar, H. Wang, N. Ahfir, Transport et rétention de particules d'argile dans un milieu poreux saturé, Colloque International Sols Non Saturés et Environnement « unsatlemcen09 » Tlemcen, 27 et 28 Octobre 2009
- [56] F, Gherairi, L'influence des caractéristiques physicochimiques des matériaux filtrants sur l'efficacité de la filtration biologique, thèse doctorat, 2017
- [57] P. Isabelle, Influence des variations de qualité d'eau brute et du vieillissement des matériaux filtrants sur la performance de la filtration granulaire, Thèse doctorat, école polytechnique de Montréal,2013
- [58] M. Isabelle, Infiltration des eaux de ruissellement pluvial et transfert de polluants associés dans le sol, l'institut national des sciences appliquées de lyon, 1999
- [59] C. Mathieu, Les principaux sols du monde, TEC.DOC,2009
- [60]K. Lawrence, I. Volodymyr, T. Joo-Hwa, H. Yung-Tse, Environmental Biotechnology, Humana Press,2010
- [61] J. Cervantes, G. Pavlostathis, C. van Haandel, Advanced Biological Treatment Processes for Industrial Wastewaters, IWA, 2006
- [62]L.F. Melo,T.R. Bott, M. FletcherB. Capdeville, Biofilms -Science and Technology, Springer, 1992
- [63]N. Nakamoto, N. Graham, M. Collins,R. Gimbel, Progress in Slow Sand and Alternative Biofiltration Processes, IWA Publishing, 2014
- [64] C.Tidiane, contrôle et suivi de la qualité des eaux usées, CREPA,2007.
- [65] W. Young, M. Karen, H. Olli H, Treatment of turkey processing wastewater with sand filtration, Bioresource Technology 98 (2007) 1460–1466
- [67]A. Grace, G. Healy, E. Clifford, Performance and surface clogging in intermittently loaded and slow sand filters containing novel media, Journal of Environmental Management, 2016

- [68] F. Dugain, les methodsd' analysesutilisees au laboratoire de physico-chimie des sols, centre de pédologie de hann, 1961
- [69] F. Ammour, M. Messahel, use of sands of the dunes like biofilter in the purification of waste water of the town of ouargla (algeria), Options Méditerranéennes, 2007
- [70]M. Sperling,C.Augusto, Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, IWA Publishing,2005
- [71]M. Pansu, J. Gautheyrou, Handbook of Soil Analysis, Springer, 2003
- [72] G. Yamina, l'elimination de la matiereorganique des eaux usees par la filtration biologique sur les sables de dune (cas de ouargla), 1^{er} Séminaire International sur la Ressource en eau au sahara : Evaluation, Economie et Protection, 2011
- [73] C. Gougoussis, Assainissement individuel et aptitude des sols a l'élimination et a l'épuration des effluents domestiques, Edition Institut national polytechnique de lorraine,1979
- [74] C. Mathieu, J.Lozet,Dictionnaire encyclopédique de science du sol,TEC.DOC,2011
- [75] A.H. Maiga, la filtration lent sur sable, Lausanne, 1983
- [76] procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités office des publications des communautés européennes, 2011
- [77] M. Bonneau, B. Souchier, Contituants et propriétés du sol, masson, 1994
- [78] P. Duchaufour, Introduction à la science du sol, dunod, 2018
- [79]R. Beguin, Erosion de contact entre un filtre granulaire et divers sols fins, en présence d'un écoulement d'eau parallèle à l'interface, 19^{ème} Congrès Français de Mécanique, 2009
- [80]A. Alem, N. Ahfir, A. Elkawafi. H. Wang, Hydraulic Operating Conditions and Particle Concentration Effects on Physical Clogging of a Porous Medium, Transp Porous Med, 2015
- [81] A. Djehiche, Étude expérimentale du dépôt de particules colloïdales en milieu poreux : Influence de l'hydrodynamique et de la salinité, C. R. Mécanique, 2009

[82] Y.S. KIM, Filtration in a Porous Granular Medium: 1.Simulation of Pore-Scale Particle Deposition and Clogging, Transport in Porous Media, 2006

[83] Z. Lianfang, Clogging processes caused by biofilm growth and organic particle accumulation in lab-scale vertical flow constructed wetlands, Journal of Environmental Sciences, 2009

[84] F. Derouiche, contribution à l'étude des boues résiduares comme amendement organique, magister, 2012

[85] C.S. Gilbert, Recycling biosolids and lake-dredged materials to pasture-based animal agriculture: alternative nutrient sources for forage productivity and sustainability. A review, Agron. Sustain. Dev., 29 (2009) 143–160.

[86] T. Fitamo, A. Boldrin, K. Boe, I. Angelidaki, C. Scheutz, Co-digestion of food and garden waste with mixed sludge from wastewater treatment in continuously stirred tank reactors, Bioresour. Technol., 206 (2016) 245–254.

ANNEXE

Détermination de la densité :

La densité apparente :

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

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

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

Avec :

D_{app} : densité apparente (g/cm^3);

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

V_a : volume de cylindre (cm^3).

La densité réelle :

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

Matériel :

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

Mode opératoire :

- Remplir le pycnomètre d'eau distillé dégazé à la température du laboratoire.
- Peser (M_2) (pycnomètre+eau distillé).
- Vider le pycnomètre.
- Introduire l'échantillon (10g).

- Compléter au $\frac{3}{4}$ le pycnomètre avec l'eau distillé.
- Placé le pycnomètre sous vide pendant plusieurs heures jusqu'à la disparition des bulles d'aires. Compléter ensuite avec de l'eau dégazé jusqu'au repère. Ajuster à l'aide d'une seringue. Essuyer soigneusement le pycnomètre.
- Peser ($M_1 = \text{pycnomètre} + \text{eau} + \text{échantillon}$).

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

L'analyse granulométrique par tamisage :

Le tamisage du sable :

Se fait avec un échantillon représentatif de sol comme suit :

-On pèse une quantité du sable de 200g préalablement débarrassé de toute humidité.

-On place ces échantillons sur une série de tamis sont classé par ordre décroissant selon les mailles du tamis.

-Pour favoriser le tamisage en fait vibrer la série des tamis, en évite les vibrations violentes.

-On pèse la quantité de sable retenu par chaque tamis.

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

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 consommé est suivie dans une solution ensemencée 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.

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

- **Exemple :**

Selon la concentration de l'eau analyser :

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

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

Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO) :



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

Mode opératoire :(méthode iso9000)

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

Expression des résultats :

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

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

Avec :

- V_0 : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml).
- V_1 : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml).
- T : titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium $T= 0,24$.
- V : volume de la prise d'essai.

Détermination de la matière en suspension (MES) :

La détermination des MES en eau est effectué par filtration ou par centrifugation et surtout réservé à l'eau contenant trop des matières colloïdales.

Mode opératoire :

- Sécher à 105°c le papier filtre jusqu'à une masse constante.
- Peser le papier filtre.
- Le mètre 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.

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 le 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 était insuffisant. Dans ce cas, recommencer en réduisant la prise d'essai de moitié.
- Transvaser le contenu du ballon dans une fiole jaugé 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 distillé, 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, orange, 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 oxydé le carbone organique.

- Le produit $(X-Y) \times 0,615$ permet d'obtenir le poids Carbone en mg contenu dans les 20 ou 10ml de solution dosée.
- Le poids contenu dans la prise d'essai égale à $(X-Y) \times 0,615 \times (5 \text{ ou } 10) \dots \dots \text{ mg}$.
- La matière organique est donnée par :

$$\text{MO \%} = \%C \times 1,72$$



La couche de surface



Pilots de filtration



Conductimètre