

REMERCIEMENTS

*J'exprime en premier lieu mes remerciements à notre **Dieu** tout puissant qui m'a aidé et permis d'accomplir ce travail et pour m'avoir procuré, entres autres, de la volonté, de la patience et du courage tout au long de mon existence.*

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Biogéochimie des milieux désertiques de l'Université de Ouargla, sous la direction de Messieurs HADJ-Med Mahfoud, Professeur au département des sciences de la matière et TOUIL Youcef, Chargé de cours au département d'hydraulique et de génie civil, de la faculté des sciences et technologie et sciences de la matière, Qu'il me soit permis de les remercier très sincèrement et de leur exprimer ma profonde gratitude pour l'aide précieuse, les conseils et les encouragements qu'il m'ont sans cesse prodigué afin de mener à terme ce travail.

Je remercie respectueusement Monsieur KRIKER AbdelOuahed, Professeur à l'université Kasdi Merbah Ouargla, qui me fait un grand honneur en acceptant de présider le jury de ce mémoire.

J'exprime mes profonds remerciements à Messieurs BEBBA Ahmed AbdelHafid, Professeur, et BOUTOUTAOU Djamel, Maître de Conférences 'A', à l'université Kasdi Merbah Ouargla, pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de participer au jury de ce mémoire.

Je suis heureux de témoigner ma profonde gratitude à M^{elle} GHRAIRRI Yamina, pour ses encouragements, ses conseils et son aide précieuse dans la finalisation de ce travail.

Mes vifs remerciements et mes respects vont également à tous mes enseignants(es) de l'École Nationale supérieur d'hydraulique (BLIDA), ainsi qu'à tous mes enseignants(es) de la filière d'hydraulique de l'université Kasdi Merbah Ouargla, pour leur grande contribution dans ma formation universitaire.

Je tiens à remercier également tous mes collègues du Laboratoire pour le cadre agréable qu'ils ont su créer autour de moi, auxquels j'associe tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de loin par leurs encouragements et leur collaboration.

Je ne saurai oublier d'exprimer ma profonde gratitude à tous mes amis que j'ai connus tout au long de mes études supérieures pour leur soutien moral.

Je ne saurai oublier de dédier ce travail à toute ma famille à commencer par mes parents, mes frères et sœurs, mes oncles et tantes, mes cousins et cousines et à tous ceux ou celles que je n'ai pas cité, qui ont contribué matériellement et moralement dans ma formation et la finalisation de ce manuscrit, qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance et de mes vifs remerciements.

Sommaire

Introduction générale.....	6
Partie Bibliographique	
I. Généralités Sur Les Eaux Usées.....	8
I. 1. Définition.....	8
I. 2. Origines des eaux usées.....	8
I. 2. 1. Les eaux usées domestiques.....	8
I. 2. 2. Les eaux usées pluviales.....	8
I. 2. 3. Les eaux usées agricoles.....	8
I. 2. 4. Les eaux usées industrielles.....	8
I. 3. Nature et composition des eaux usées.....	9
I. 3. 1. Les matières en suspension MES.....	9
I. 3. 2. La demande chimique en oxygène DCO.....	9
I. 3. 3. La demande biochimique en oxygène après cinq jours DBO5.....	10
I. 3. 4. L'indice de biodégradabilité.....	10
II. 1. Généralités Sur La Filtration.....	11
II. 1. 1. Définition.....	11
II. 1. 2. Description de la filtration.....	11
II. 1. 3. Vitesse de filtration.....	12
II. 1. 4. Types de filtres.....	13
II. 1. 4. 1. Filtres à sable rapides.....	13
II. 1. 4. 2. Filtration à sable lente.....	14
II. 1. 4. 2. 1. Caractéristiques des filtres lents.....	14
II. 1. 4. 2. 2. Avantages des filtres lents.....	15
II. 1. 4. 2. 3. Inconvénient des filtres Lents.....	15
II. 1. 5. L'écoulement à travers le filtre à sable.....	16
II. 1. 5. 1. Mécanisme de filtration.....	16
II. 1. 5. 1. 1. Mécanismes de capture.....	17
II. 1. 5. 1. 2. Mécanismes de fixation.....	17
II. 1. 6. Colmatage du filtre à sable.....	18
II. 1. 6. 1. Définition.....	18
II. 1. 6. 2. Types de colmatage.....	18
II. 1. 6. 2. 1. Colmatage physique.....	18
II. 1. 6. 2. 2. Colmatage chimique.....	18
II. 1. 6. 2. 3. Le colmatage biologique.....	18
II. 1. 7. Optimisation de l'utilisation d'un filtre à sable.....	18
II. 2. Les caractéristiques du support filtrant.....	19
II. 2. 1. Introduction.....	19
II. 2. 2. L'analyse granulométrique.....	19
II. 2. 2. 1. Le diamètre effectif.....	20
II. 2. 2. 2. Le coefficient d'uniformité.....	20
II. 2. 3. La porosité.....	20
II. 2. 3. 1. Masse volumique réelle.....	21
II. 2. 3. 2. Masse volumique apparente.....	21
II. 2. 4. La perméabilité.....	22

II. 2. 5. La conductivité électrique.....	23
II. 2. 6. Le pH.....	23
II. 2. 7. La teneur en matière organique.....	23
Partie Expérimentale	
III. Sites de prélèvement et Caractérisations	
Introduction.....	24
III. 1. Présentation des sites de prélèvement.....	25
III. 2. Sahara septentrional.....	26
III. 3. Étude des sols.....	27
III. 4. Présentation des zones de prélèvement.....	27
III. 4. 1. La wilaya de Ouargla.....	27
III. 4. 2. La wilaya d'el oued.....	27
III. 4. 3. La wilaya de Tamanrasset.....	27
III. 5. Les carrières choisies.....	28
III. 5. 1. Ouargla.....	28
III. 5. 2. El oued.....	30
III. 5. 3. Tamanrasset.....	31
III. 2. Caractérisation des sables.....	32
III. 2. 1. Échantillonnage.....	32
III.2. 1. 1. La méthode d'échantillonnage.....	32
III. 2. 2. Le lavage du sable.....	33
III. 2. 3. les Paramètres physiques du sable.....	33
III. 2. 3. 1. L'analyse granulométrique par tamisage.....	33
III. 2. 3. 2. Analyse granulométrique par sédimentation	39
III. 2. 3. 3. La Densité réelle.....	40
III. 2. 4. Paramètres chimiques du sable.....	40
IV. Dispositif Expérimentale.....	43
IV.1. Le Choix des carrières.....	43
IV. 1. 1. Les paramètres de Choix.....	43
IV. 1. 1. 1. La granulométrie.....	43
IV. 1. 1. 2. Taux de sel.....	43
IV. 1. 1. 3. Taux de calcaire.....	43
IV. 1. 1. 4. La matière organique.....	43
IV. 2. La préparation des pilotes.....	45
IV. 3. Origine et nature de l'eau usée.....	46
V. Résultats et Discussions	47
V. 1. Les résultats physico-chimiques	47
V. 1. 1. Mesure de pH.....	47
V. 1. 2. Mesure de la Conductivité électrique(CE).....	47
V. 1. 3. Détermination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO).....	53
V. 1. 4. Détermination de la Demande Biologique en Oxygène (DBO5).....	59
V. 1. 5. Le Colmatage.....	68
Conclusion générale.....	69
Références Bibliographiques	70
Annexes... ..	75

Liste des Tableaux

N ^o	Titre	Page
I-1	composition moyenne d'un effluent domestique	10
II-1	propriétés physiques des matériaux filtrants	14
II-2	la masse volumique réelle d'un sol	22
II-3	la masse volumique apparente d'un sol	23
II-4	la conductivité électrique	24
III-1	les paramètres physiques des sables	36
III-2	les paramètres obtenus par la pipette de Robinson	38
III-3	Comparaison entre l'analyse granulométrie par tamisage et par sédimentation	39
III-4	la densité réelle des sables (Dr)	40
III-5	les paramètres chimiques des sables	41
IV-1	les caractéristiques des filtres avant le fonctionnement	45
V-1	la variation de pH en fonction de temps	48
V-2	les premières valeurs de la conductivité électrique	50
V-3	la conductivité électrique journalière	51
V-4	les concentrations des sels	51
V-5	Les volumes journalier d'eau filtrée	52
VI-6	la masse des sels éliminés de sable par jour (mg)	52
VI-7	les valeurs de la DCO en (mg/l)	55
V-8	les valeurs de la DBO ₅ en (mg/l)	60
V-9	la masse de la matière organique retenue par le filtre correspond à la DCO	64
V-10	la masse de la matière organique retenue par le filtre correspond à la DBO ₅	66

Liste des Figures

N ^o	Titre	Page
II-1	L'écoulement à travers le filtre	17
III-1	la délimitation du Sahara septentrional et les points de prélèvements(ANRH)	27
III-2	Carte des Carrières ciblées au niveau d'Ouargla	29
III-3	Carte des Carrières ciblées au niveau de la wilaya d'El Oued	30
III-4	Carte de la carrière d'In Salah (wilaya de Tamanrasset)	31
III-1	Les courbes granulométriques de N'Goussa, N'Goussa Lavé, In Salah, Tebesbest, Sidi Mehdi et Temacine	34
III-2	Les courbes granulométriques d' EL-Allia, Laghouat, Touggourt, Errachdi, EL-Goug et EL-Hadjira	34
III-3	Les courbes granulométriques de Hassi Ben Abdellah, Ain-Beida, Ben Naceur, Taibet, Menaguer et Hassi Guenifida	35
III-4	Les courbes granulométriques de Djamaa, Stil, Hassi Sayah SG, Hassi Sayah SF et Guemar	35
IV-1	Schéma du pilote filtrant	44
V-1	La variation de la conductivité électrique en fonction du temps	49
V-2	La quantité de sels éliminer du sable en (g /jour)	52
V-3	la variation des rendements d'élimination de la DCO en fonction du temps (les carrières)	56
V-4	la variation des rendements d'élimination de la DCO en fonction du temps (N'Goussa, N'Goussa Lavé et N'Goussa + G ravier)	57
V-5	la variation des rendements de la DBO ₅ en fonction du temps	61
V-6	la quantité de la matière organique retenue par le filtre correspond à la DCO	65
V-7	La quantité de la matière organique retenue par le filtre correspond à la BDO ₅	67

Liste des Photos

N ^o	Titre	Page
1	Balance de précision	78
2	L'analyse granulométrique	78
3	Détermination de la densité réelle par le dessiccateur	78
4	Dispositif d'ébullition	79
5	Le titrage de la DCO	79
6	DBO-mètre pour la détermination de la DBO ₅	79
7	Le colmatage des filtres	80

Introduction Générale:

A l'instar d'autres pays dans le monde, l'Algérie, place la problématique des eaux usées en tête de ses préoccupations environnementales. Le recours à des techniques d'épuration peu coûteuses et plus simples à gérer est devenu incontournable.

Le secteur hydraulique a bénéficié de différents types de programmes au niveau du territoire national, mais en parallèle, les impacts sur l'environnement restent assez peu fructueux en matière d'assainissement, notamment dans la région sud qui se caractérise par un grand nombre de contraintes qui méritent d'être investies d'une manière très rigoureuse par des équipes spécialisées dans ce domaine.

Bien que les moyens techniques d'épuration ont eu un essor considérable, leurs exploitations restent insatisfaisantes et ne présentent quasiment aucune rationalité. Ce qui nécessite une réorientation vers la recherche d'une cohérence entre les impératifs économiques, sociaux et environnementaux avant la mise en place de telle ou telle technique.

L'utilisation des filtres à sable pour le traitement des eaux usées domestiques est connue depuis très longtemps vers la fin des années 1900; cette technique a été fréquemment utilisée pour les petites agglomérations [9].

La recherche de modèles optimales régissant la technique de la filtration biologique sur sable de dunes était depuis toujours l'une des préoccupations de nombreux chercheurs dans ce domaine, notamment les travaux effectuées sur le sable de N'Goussa [29].

L'objectif visé par notre travail est de faire 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.

Il s'agira tout d'abord d'une évaluation des procédés de traitement d'eaux usées sur filtre à sable antérieurs et existants tout en faisant ressortir la durée de vie des filtres, et ensuite réaliser une optimisation de ces stations de filtre à sable pour une meilleure exploitation.

Dans ce mémoire, nous abordons dans la première partie une synthèse bibliographique, qui met en évidence les diverses notions sur les eaux usées et notamment sur la filtration biologique sur sable, ainsi que les paramètres régissant le colmatage des filtres.

La seconde partie, est consacrée à l'étude expérimentale qui comporte l'échantillonnage, l'analyse et la préparation du sable, la mise en place des dispositifs de filtration et enfin, l'évaluation des différents paramètres caractéristiques tels que le pH, la CE, la DCO et la DBO. L'interprétation des différents résultats est ensuite entreprise avant de conclure tout en énumérant quelques recommandations.

I. Généralités sur les eaux usées:

I. 1. Définition:

Les eaux usées, elles constituent l'ensemble des déchets liquides produits par l'homme par ses propres besoins et au cours de ses activités domestiques, agricoles et industrielles [1], [2].

I. 2. Origines des eaux usées:

Les eaux usées appelées aussi eaux résiduaires sont identifiées selon leurs origines tels que citées ci-dessous :

I. 2. 1. Les eaux usées domestiques:[3]

Ce Sont les eaux issues des habitations ou de sanitaires des entreprises. L'eau usée domestique est un complexe de matières organiques et minérales; produits par les eaux de cuisine, les eaux de vannes et les eaux de lavage

I. 2. 2. Les eaux usées pluviales:[1]

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

I. 2. 3. Les eaux usées agricoles:[4]

Ces eaux sont considérées comme usées, car elles sont chargées de matériaux contenus dans les engrais, ainsi que des matières issues du lessivage du sol

I. 2. 4. Les eaux usées industrielles:[4]

Toutes les unités industrielles utilisent les eaux dans leurs processus de production, par conséquence elles produisent des rejets assez considérables.

I. 3. Nature et composition des eaux usées:[5]

Les matières polluantes contenues d

ans les eaux usées urbaines sont très diverses; suivant leur nature, elles n'entraînent pas le même type de nuisance et nécessitent des traitements différents et appropriés. La composition et la quantité des eaux usées sont liées aux modes de vie. Elles proviennent essentiellement des activités domestiques et industrielles. La composition des eaux usées est étudiée par le biais de diverses mesures physiques, chimiques et biologiques

1. Les matières en suspension MES:[3]

Elles représentent les matières qui ne sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal, donc retenues par un filtre. Les MES, qui comportent des matières organiques et minérales, constituent un paramètre important qui marque bien le degré de pollution d'une eau usée. Il existe deux grands types de méthodes de détermination des MES:

- Les méthodes gravimétriques résultant d'une séparation physique des MES de l'eau par filtration ou centrifugation;
- Les méthodes optiques qui mesurent l'absorption ou la réfraction d'un rayonnement lumineux par les particules en suspension. Cette détermination est réalisée par turbidimétrie.

Les MES sont exprimées en milligramme par litre.

I. 3. 2. La demande chimique en oxygène DCO:[5]

Elle représente la teneur totale de l'eau en matières organiques, qu'elles soient ou non biodégradable. Nous noterons cependant que certains composés chimiques ne sont pas oxydés complètement par la détermination de la DCO comme par exemple l'azote organique. La méthode de dosage de la DCO est essentiellement basée sur la mesure de la consommation en oxygène nécessaire à sa dégradation. La DCO est exprimée en mg.L^{-1} d'oxygène équivalente à la quantité de dichromate de potassium consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par les normes.

I. 3. 3. La demande biochimique en oxygène après cinq jours DBO₅: [5]

Elle représente la quantité d'oxygène consommée à 20 C° et à l'obscurité pendant cinq jours, pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau. La DBO₅ est mesurée par la méthode manométrique qui consiste à mesurer l'évolution de la pression de l'air à l'intérieur d'un flacon contenant l'échantillon de l'eau ; cette évolution

est liée directement à la diminution de la concentration en oxygène de l'atmosphère d'incubation. La DBO_5 est exprimée en $mg.L^{-1}$.

Tableau (I-1): Composition moyenne d'un effluent domestique:[3]

Paramètres	valeur
pH	7,5 à 8,5
DBO_5	100 à 500 $mg O_2/L$
DCO	300 à 1000 $mg O_2/L$
MES	100 à 400 mg /L
NK	30 à 100 mg /L
$N-NH_4^+$	20 à 80 mg /L

I. 3. 6. L'indice de biodégradabilité:[7]

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

$$K = \frac{DCO}{DBO_5} \dots\dots\dots (I-1)$$

En général si:

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

II. 1. Généralités Sur La Filtration:

II. 1. 1. Définition: [8], [9]

La filtration est une méthode qui consiste à séparer les particules solides du milieu liquide à l'aide d'une matière poreuse. Il existe divers systèmes de filtration qui permettent l'épuration des eaux.

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

II. 1. 2. Description de la filtration: [8]

Dans les processus de traitement de l'eau, la filtration intervient au dernier stade des traitements physiques, tels que la coagulation et/ou la décantation. Nous ne considérerons dans ce travail que la filtration en volume, opération au cours de laquelle les matières en suspension sont retenues à l'intérieur de la masse poreuse. Cela implique que ces matières en suspension ont des dimensions inférieures à celles des pores du filtre, sinon elles seront retenues à la surface où on obtient une filtration dite en surface ou en gâteau ; procédé couramment utilisé en génie chimique mais qu'on ne rencontre en hydraulique urbaine que dans les procédés de traitement des boues par lit de séchage ou par filtration sous vide.

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

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

- Interception directe où il y a un choc entre une particule et un grain fixe;
- Diffusion : les particules les plus petites sont soumises à un mouvement brownien qui peut les amener au contact d'un grain. Ce phénomène dépend de la température de l'eau et de la taille des particules. Il n'a d'importance que pour les particules inférieures au micron;
- Tamisage : les particules les plus grosses peuvent être éliminées par tamisage à l'entrée d'un pore, une faible proportion des particules est ainsi retenue. Dans le cas où

cette proportion est importante, cela signifie que la décantation, dans la mesure où elle existe, est insuffisante. Dans le cas contraire, un micro tamisage mécanique en amont des filtres constituera une bonne forme de prétraitement;

- Inertie : l'inertie de la particule contraint cette dernière à continuer en ligne droite. Ce phénomène a une grande importance en filtration d'air où toute augmentation de la vitesse améliore le rendement de la filtration. Son importance est beaucoup plus limitée dans le cas de la filtration de l'eau. Cet aspect sera décrit par la suite à travers les nombres de Reynolds qui traduisant le rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité.
- Décantation : l'effet de gravité sur une particule peut l'amener à prendre une trajectoire différente des lignes d'eau ensuite revenir au contact du grain. L'importance de ce phénomène se caractérise par le rapport de la vitesse de Stokes à la vitesse de filtration; ce rapport est très faible, mais l'effet de décantation peut être mis en évidence expérimentalement.
- Hydrodynamique : les particules sont soumises sous l'action de diverses forces d'origine hydrodynamique à des mouvements de rotation.

Bien entendu, ces mécanismes de transport ne sont pas exclusifs les uns par rapport aux autres. La diffusion joue un rôle important pour les particules les plus petites. La décantation pour les plus grosses et les plus denses. Le tamisage pour les plus grenues et les effets hydrodynamiques pour les particules les plus dissymétriques.

La simple description des phénomènes permet de voir que généralement, la vitesse de filtration joue un rôle important. Plus elle est élevée plus les mécanismes énumérés perdent de leur efficacité. La plupart des chercheurs expliquent la fixation des particules sur le milieu filtrant par des forces de Van der Waals [8]

II. 1. 3. Vitesse de filtration: [9], [10]

On la désigne par U , et on appelle vitesse de filtration le quotient du débit Q passant dans un filtre par la surface de ce filtre. Cette vitesse est effectivement la vitesse de l'eau dans la couche qui surmonte le matériau filtrant. Cette définition rappelle d'ailleurs la notion de vitesse ascensionnelle de l'eau dans les décanteurs.

Elle n'a aucune réalité physique à l'intérieur de la masse filtrante où la vitesse moyenne réelle de l'eau est sa vitesse interstitielle, soit en début de filtration :

$$u_f = \frac{u}{f} \dots \dots \dots (II-1)$$

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

II.1.4. Types de filtres: [10]

Pour le traitement des eaux potables, on utilise principalement:

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

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

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

II. 1. 4. 1. Filtres à sable rapides:

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

Le fond de filtre: il représente 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.

Le gravier de support: situé immédiatement au-dessus du fond du filtre, il permet:

- 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.

Le milieu filtrant: les matériaux filtrants les plus utilisés sont le sable et l'antracite.

Le tableau (II-1), représente les principales propriétés physiques de ces matériaux.

Tableau (II-1): propriétés physiques des matériaux filtrants. [10]

Matériau	Forme	Densité (Kg/m ³)	Dureté (mg/l)	Porosité (%)	Diamètre effectif (mm)
Sable de silice	arrondie	2,6	7	42	0,4 – 1,0
Sable de silice	non arrondie	2,6	7	44	0,4 – 1,0
Quartz	anguleuse	2,6	7	53	0,4 – 1,0
Anthracite	anguleuse	1,5	3	55	0,4 – 1,4
Anthracite	arrondie	1,5	3	50	0,5 – 1,0

II. 1. 4. 2. Filtration à sable lente :

On utilise la filtration lente sur sable depuis le début des années 1900. Cette méthode est toujours largement utilisée pour le traitement des eaux usées municipales. Des études avec d'autres observations ont montré que la filtration lente sur sable permet d'éliminer efficacement les bactéries coliformes des eaux usées et constitue un procédé de traitement innovateur et rentable qui exige peu d'entretien. Ce système est le plus efficace dans le cadre d'une approche comportant des traitements multiples [10].

Un filtre à sable lent comprend un lit de sable classé reposant sur une couche de gravier. Ce milieu de filtration est contenu dans une boîte comportant, aux deux extrémités, des ouvertures permettant à l'eau d'entrer et de sortir sous l'effet de la gravité. Au niveau de ce procédé de filtration, une forme de traitement naturel et biologique de l'eau est utilisée pour éliminer les solides, les précipités, la turbidité et, dans certains cas, les bactéries responsables du goût et de l'odeur désagréables [8].

II. 1. 4. 2. 1. Caractéristiques des filtres lents :

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

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

Les caractéristiques fondamentales des filtres à sable biologiques sont :

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

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

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

Pour remédier à l'obstruction, il faut enlever le film biologique et gratter les premiers centimètres de sable. Les filtres à sable lents ne fonctionnent pas bien si l'eau brute est trop sale ou trouble [11].

II. 1. 4. 2. 2. Avantages des filtres lents :

- Les filtres lents permettent de ne pas recourir à la coagulation.
- Les matériaux de ces filtres, simples en conception, sont disponibles.
- 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 efficacement les bactéries [10].

II. 1. 4. 2. 3. Inconvénients des filtres Lents :

- Les filtres lents occupent une grande superficie. Ils exigent une installation de grandes dimensions, un volume de sable important et des travaux coûteux.
- Leur exploitation manque de souplesse. Comme nous le verrons plus loin, leur mise en exploitation et leurs lavages requièrent des périodes trop longues, au cours desquelles ils sont inutilisables.
- Leurs utilisation est coûteuse lorsque la turbidité des eaux brutes dépasse 30 unités néphélométriques, et ce durant de longues périodes de temps, sauf lorsqu'on fait

préalablement sédimenter les impuretés de manière à abaisser suffisamment le degré de turbidité de ces eaux.

- Ils décolorent médiocrement les eaux colorées.
- Ils donnent de mauvais résultats lorsque les eaux sont riches en algues et n'ont pas été préalablement traitées [10].

II. 1. 5. L'écoulement à travers le filtre à sable : [12]

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

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta P / \eta \Delta H \quad \dots\dots\dots (II-2)$$

Avec :

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

K : coefficient de perméabilité (m/s)

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

ΔH : hauteur de la couche considérée (m)

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

II. 1. 5. 1. Mécanisme de filtration :

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

Capture, fixation et détachement [6].

II. 1. 5. 1. 1. Mécanismes de capture

Les mécanismes de capture sont essentiellement de deux natures:

a. Tamisage mécanique

Il s'agit de la rétention des particules plus grosses que la maille du filtre ou que celle des éléments déjà déposés formant eux-mêmes un matériau filtrant. Ce phénomène intervient d'autant plus que la maille du matériau filtrant est plus fine. Il n'a que 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 [6].

b. Dépôt sur le matériau filtrant:

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

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

Ces différents mécanismes de capture interviennent principalement dans la filtration en profondeur [6].

II. 1. 5. 1. 2. Mécanismes de fixation :

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

II.1. 5. 1.3 Mécanisme de détachement :

Sous l'action des mécanismes précédents, il se produit une diminution de l'espace entre les parois du matériau recouvertes de particules déjà déposées. Il y a alors augmentation de la vitesse d'écoulement. Les dépôts déjà retenus peuvent se détacher partiellement et être entraînés plus en avant dans le matériau filtrant ou même dans le filtrat.

Les particules solides contenues dans un liquide et les particules colloïdales plus ou moins flocculées n'ont pas les mêmes caractéristiques et ne réagissent pas dans la même proportion aux divers mécanismes précédents. La filtration directe d'un liquide dont les matières en suspension conservent leur état et leur charge électrique est donc très différente de la filtration d'un liquide coagulé [6].

II. 1. 6. Colmatage du filtre à sable :

II. 1. 6. 1. Définition :

Le colmatage est l'obstruction progressive des interstices des matériaux filtrants. La vitesse du colmatage dépend du type de support filtrant et de la qualité de l'eau à filtrer [6].

II. 1. 6. 2. Types de colmatage : [13], [14]

Le colmatage est classé suivant les facteurs mis en jeu dans ce phénomène, il est classé comme suit:

II. 1. 6. 2. 1. Colmatage physique :

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

II.1.6.2.2. Colmatage chimique :

L'eau joue le rôle d'un catalyseur pour les réactions chimiques entre les ions existants dans la masse filtrante. Ces réactions seront plus importantes en présence de l'argile (

II.1.6.2. 3. Le colmatage biologique :

Il est dû à l'accumulation de la matière organique dissoute et les micro-organismes sur les surfaces des grains).

II. 1. 7. Optimisation de l'utilisation d'un filtre à sable :

Pour optimiser l'utilisation d'un filtre, on doit le faire fonctionner de telle sorte que, lorsque la turbidité de l'effluent atteint la valeur maximale permise, les pertes de charge atteignent, elles aussi, leurs limites maximales permises [11], [14].

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

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

afin de ne pas briser le floc, soit additionner un polymère destiné à renforcer le floc, soit diminuer le diamètre effectif du milieu filtrant [11].

II. 2. Les caractéristiques du support filtrant :

II. 2. 1. Introduction :

Pour déceler la différence entre un sol et un autre, il faut connaître leurs caractéristiques physico-chimiques qui déterminent la validité de l'utilisation des sols comme lit pour la filtration ou pour d'autres domaines ; on peut citer ici quelques unes de ces caractéristiques.

II. 2. 2. L'analyse granulométrique :

C'est une analyse quantitative globale de la fraction minérale du sol, négligeant par conséquent les caractéristiques qualitatives de nature chimique et minéralogique. Elle est 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. Cette analyse est alors définie par la répartition numérique des particules élémentaires en fonction de leur forme géométrique.

L'objectif de l'analyse granulométrique consiste donc à différencier par la taille les éléments minéraux du sol et à quantifier leur répartition pondérale. Dans les classes de diamètres prédéfinis, ces analyses sont effectuées au laboratoire à partir d'échantillons de sol. Leur principe repose sur la séparation des particules selon leur dimension ; généralement par le tamisage (faire passer l'échantillon du sol à travers une série de tamis de diamètres décroissants de haut vers le bas) [11]. A chaque étape, le poids des éléments séparés rapporté au poids total de l'échantillon fournit la proportion d'éléments dont la taille se trouve comprise dans la gamme définie par les deux derniers diamètres utilisés comme critère de séparation.

Le cumul des compléments à 100% des diverses proportions ainsi obtenues dans le sens des diamètres croissants, permet de tracer un graphique donnant la proportion pondérale des éléments de taille inférieure à un diamètre donné. Les résultats d'une analyse granulométrique se présentent sous la forme d'une courbe granulométrique. On y trouve en abscisse le diamètre apparent des particules (en échelle logarithmique), et en ordonnée la proportion pondérale cumulée. La pente moyenne de la courbe granulométrique permet en outre de caractériser le degré d'uniformité de la taille des éléments minéraux du sol.

D'où la définition des caractéristiques suivantes: [15]

II. 2. 2. 1. Le diamètre effectif:

Le diamètre effectif correspond à la taille des mailles du tamis qui laissent passer 10% de la masse de l'échantillon [16].

II. 2. 2. 2. Le coefficient d'uniformité : [10].

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

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \dots\dots\dots (II-3)$$

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

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

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

II. 2. 2. 3. Coefficient de classement : [15]

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.

II. 2. 3. La porosité :

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

$$V_t = V_p + V_s \dots\dots\dots (II-4)$$

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

$$n = \frac{V_p}{V_t} \dots\dots\dots (II-5)$$

On peut estimer la valeur de la porosité en fonction de la densité réelle et la densité apparente par la formule:[17]

$$n\% = \left(1 - \frac{P_a}{P_r}\right) \dots\dots\dots (II-6)$$

Avec:

P_a : la masse volumique apparente.

P_r : la masse volumique réelle.

II.2.3.1. Masse volumique réelle

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

$$P_r = \frac{M_s}{V_{sr}} \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \dots\dots\dots (II-7)$$

La masse réelle d'un sol est déterminée par la nature de ses composants solides, et en particulier par leur masse volumique respective [17].

La masse volumique des éléments constituant un sol varie selon le type de minéraux présenté dans le tableau (II-2).

Tableau (II-2): la masse volumique réelle d'un sol [15]

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

II. 2. 3. 2. Masse volumique apparente :

Cette grandeur définie par le rapport de la masse des éléments solides au volume total apparent du sol, constitue un critère plus global de différenciation du sol [15]

$$P_a = \frac{M_s}{V_{sa}} \left(\frac{Kg}{m^3} \right) \dots\dots\dots (II-8)$$

La masse volumique apparente d'un sol est ainsi inférieure à sa masse volumique réelle, puisque la masse solide est rapportée ici au volume total apparent et non plus seulement au volume solide. L'ordre de grandeur pour divers types de sols est représenté dans le tableau (II-3) :

Tableau (II-3): la masse volumique apparente d'un sol [15]

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

II. 2. 4. La perméabilité :

Le sol est principalement constitué de particules minérales mais également organiques séparées par des espaces. Ces derniers, forment des canaux irréguliers de tailles variables, appelés pores, disponibles pour la circulation de l'eau. Cette aptitude du sol à l'infiltration s'appelle la perméabilité « K »

Un sol trop perméable ne permettra pas une filtration suffisante lente des eaux usées pour assurer une épuration à la fois mécanique (rétention des matières) et biologique (dégradation et consommation des matières organiques par les bactéries). Au contraire, un sol trop peu perméable constituera un obstacle à la filtration des eaux qui seront stagnées.

La perméabilité est déterminée par la loi de DARCY [19]:

$$K = \frac{L \cdot Q}{S \cdot H_c} \dots\dots\dots (II-9)$$

Avec :

K : perméabilité du sol.

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

Q : débit traversé l'échantillon.

S : section de l'éprouvette.

H_c : hauteur de la cellule.

II. 2. 5. La conductivité électrique :

Elle représente la concentration des sels dans le sol. Elle est mesurée directement par l'utilisation d'un conductimètre. Les sols sont classés selon leurs conductivités électriques comme suit [18], [20]:

Tableau (II-4): conductivité électrique et type de sable [20].

Conductivité (ms/cm)	Type du sable
<2,5	Non salin
2,5 à 5	Légèrement salin
5 à 10	Salin
10 à 20	Très salin
>20	Excessivement salin

II. 2. 6. Le pH :

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

II. 2. 7. La teneur en matière organique :

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

L'étude de la fraction organique d'un point de vue purement quantitatif se limite dès lors à un critère géométrique global. Soit par son volume total pour des raisons pratiques, dans ce cas, la notion de volume est remplacée par celle de la masse. Si bien que la fraction organique d'un sol est caractérisée par la teneur en matière organique pondérale de sa phase solide W_{org} , par le rapport de la masse de la fraction organique ; M_{org} à la masse totale de la phase solide M_s [18], [20] :

$$W_{org} = \frac{M_{org}}{M_s} \dots\dots\dots (II-10)$$

Introduction:

Toutes les études décrites dans la littérature, dans le domaine de la filtration biologique, ont avalisé les sables des dunes comme des supports filtrants très efficaces pour les traitements des eaux usées, notamment les travaux effectués sur le sable de N'Goussa. Mais ces résultats restent non valorisés en raison du non aboutissement à des modèles optimaux.

Dans ces mêmes travaux antérieurs, un obstacle majeur entrave cette valorisation, il s'agit des sels solubles d'où la nécessité d'une étude sur les modèles prenant en considération cet inconvénient. C'est dans ce contexte que nous avons à s'atteler sur cette technique d'épuration tout en élargissant la gamme de sables à investir dans notre vaste Sahara.

Il s'agira de proposer une hypothèse sur le support concernant le sable de N'Goussa, qui consistera à éliminer les sels solubles. Nous nous sommes donc proposé dans ce travail de confectionner différents filtres de sable (différentes carrières) et un filtre à sable lavé, c'est-à-dire issus du même sable que N'Goussa, faire des tests au laboratoire afin d'aboutir à une évaluation rigoureuse (suivant plusieurs paramètres) et de déduire le meilleur support filtrant caractérisé par le meilleur rendement épuratoire.

III. Sites de prélèvement:

III. 1. Présentation des sites de prélèvement :

Le Sahara est un grand désert formé de vastes étendues sablonneuses, (dunes) de matériaux caillouteux (ergs) et de massifs (Hoggar).

Le Sahara algérien couvre une superficie de plus de deux millions de kilomètres carrés et s'étend de l'Atlas saharien et des Aurès jusqu'aux frontières maliennes, nigériennes et libyennes soit une distance de plus de deux milles kilomètres (nord-sud) [21].

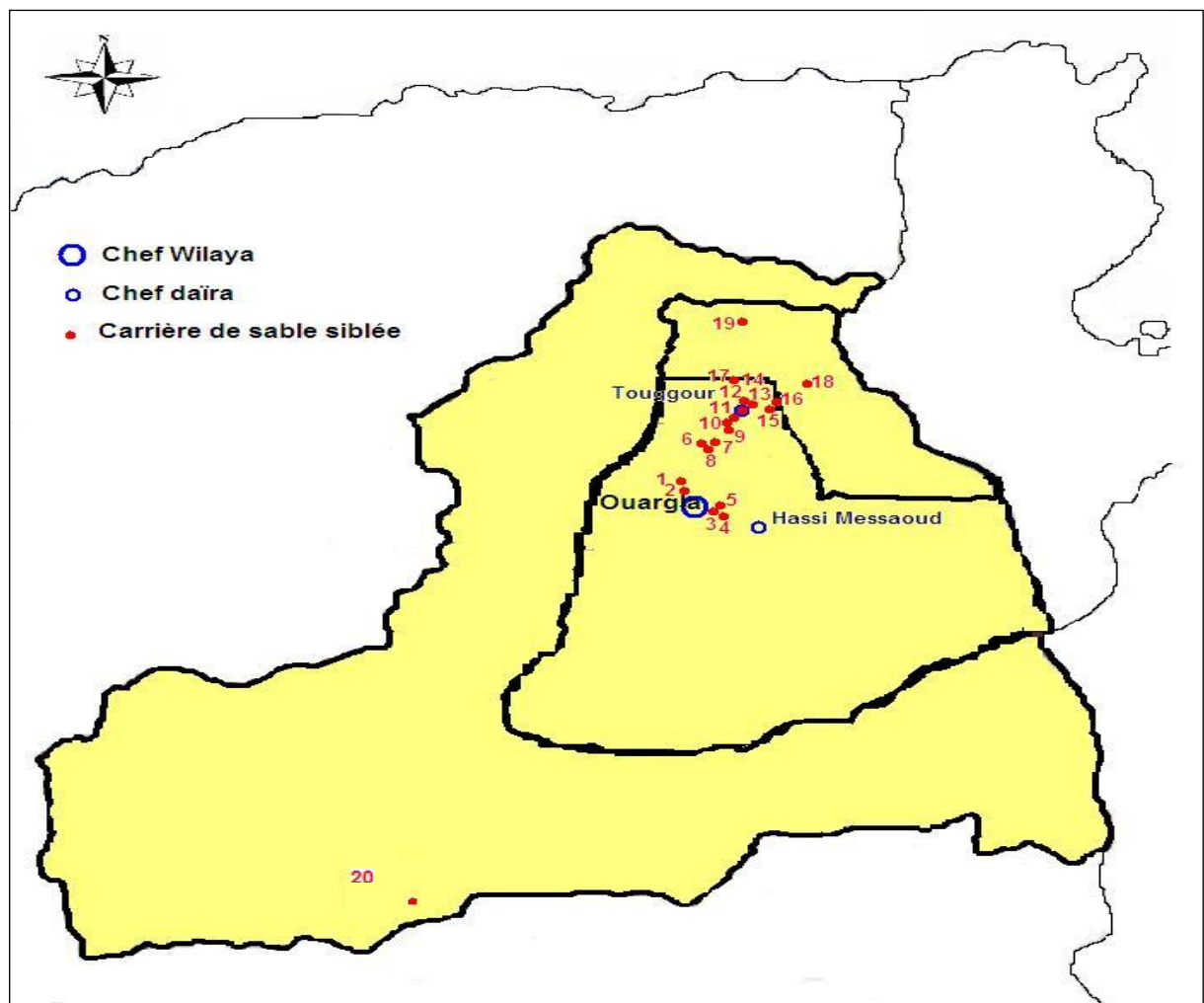
Ce vaste territoire compte neuf wilayas (en totalité) qui sont : Adrar – Bechar – Biskra – El Oued – Ghardaïa – Illizi – Ouargla – Tamanrasset – Tindouf. Et huit (partiellement) qui sont : Laghouat – Batna – Tébessa – Djelfa – El Bayadh – M'sila – Khenchla - Naama. Elles regroupent 264 communes pour une population évaluée à trois millions et demi d'habitants. La grande majorité de cette population est concentrée généralement dans les chefs lieu de wilaya dont certaines agglomérations dépassent les 150 000 habitants. La grande partie de ce vaste territoire est occupée par de grandes étendues représentées par des regs, ergs et chotts, qui sont des espaces inaptes à toute culture [22].

Le Sahara est subdivisée en plusieurs zones naturelles, regroupées dans quatre grandes entités, à savoir :

1. Chott Melghir.
2. Sahara septentrional.
3. Hoggar et tassili.
4. Saoura et Tindouf.

III. 1. 1. Sahara septentrional:

Le bassin du bas Sahara algérien, couvre une superficie de 700 000 km² et englobe au Nord une partie des Zibans et au sud de la totalité du territoire jusqu'à Reggane – In Salah en passant par les régions de Oued Souf, Oued Righ et Ghardaïa. Il regroupe aussi plusieurs wilayas : Biskra, Ouargla, Ghardaïa, EL Oued, Adrar, Tamanrasset (Ain Salah) et Illizi (Deb Deb). La figure (III -1) représente le Sahara septentrional [22]. et où nous avons indiqué la délimitation du Sahara septentrional et les sites de prélèvements choisis.



1 : N'Goussa	2 : Hassi Gunifida	3 : Ain Beida	4 : Hassi Sayah	20: In Salah
5 : Hassi Ben Abdella	6 : El Allia	7 : Errachdi	8 : El Hadjira	
9 : El Goug	10 : Temacine	11 : Sidi Mahdi	12 : Touggourt	
13 : Tebesbest	14 : M'Naguer	15 : Taibet	16 : Ben Naceur	
17: Djamaa	18: Guemar	19: Stil	Echelle: 1cm = 140km	

Figure (III.1): la délimitation du Sahara septentrional et les points de prélèvements(ANRH).
Notons que le Sahara algérien présente trois types de paysages différents :

- Les hamadas, plateaux de dalles rocheuses.
- Les regs, immenses étendues de graviers et de cailloux.
- Les ergs, immenses étendues de dunes de sable accumulées par l'érosion.

III. 1. 2. Étude des sols :

Toutes les études pédologiques réalisées au Sahara sont concentrées dans la partie septentrionale qui comprend deux grandes zones, à savoir : l'Erg occidental et l'erg oriental. La roche mère des sols de cette région est du continental intercalaire, elle se caractérise par des formations gréseuses plus ou moins compacte avec des passées argileuses. Ces formations sont hétérogènes ; elles présentent une texture le plus souvent sablonneuse, mais on peut rencontrer des textures limono-sablonneuses, des dépôts marneux ou un plan d'eau à une profondeur variable. Ces sols ne sont pas généralement calcarifères, ils sont tous affectés plus ou moins de salinité [22].

III. 1. 3. Présentation des zones de prélèvement :

III. 1. 3. 1. La wilaya de Ouargla :

La wilaya de Ouargla est située dans le prolongement du grand bassin de la partie Nord-Est du Sahara, sa superficie est de 99000 km². Elle est limitée au Nord par Biskra et Djelfa, à l'Est par Illizi et El Oued, à l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa et au sud par la wilaya de Tamanrasset.

III. 1. 3. 2. La wilaya d'El Oued :

Cette wilaya s'étend sur une superficie de 80000 Km², elle est limitée au Nord par les chotts Melghir et Merouane, au sud par l'extension de l'erg oriental, à l'ouest par l'oued Righ et à l'est par la frontière tunisienne. Elle est caractérisée par un climat saharien, chaud en été et froid en hiver avec la fréquence des vents de sable en printemps.

III. 4. 3. La wilaya de Tamanrasset :

La région de Tamanrasset est l'une des plus anciennes civilisations africaines et mondiales, dont ses milliers de peintures rupestres magnifiques, éparpillées sur des centaines de km, témoignent de son plus riche musée préhistorique à ciel ouvert au monde, c'est celui du Tassili N'Ajjer. Parler de cette région, c'est rappeler également le proverbial esprit de résistance des populations touaregs.

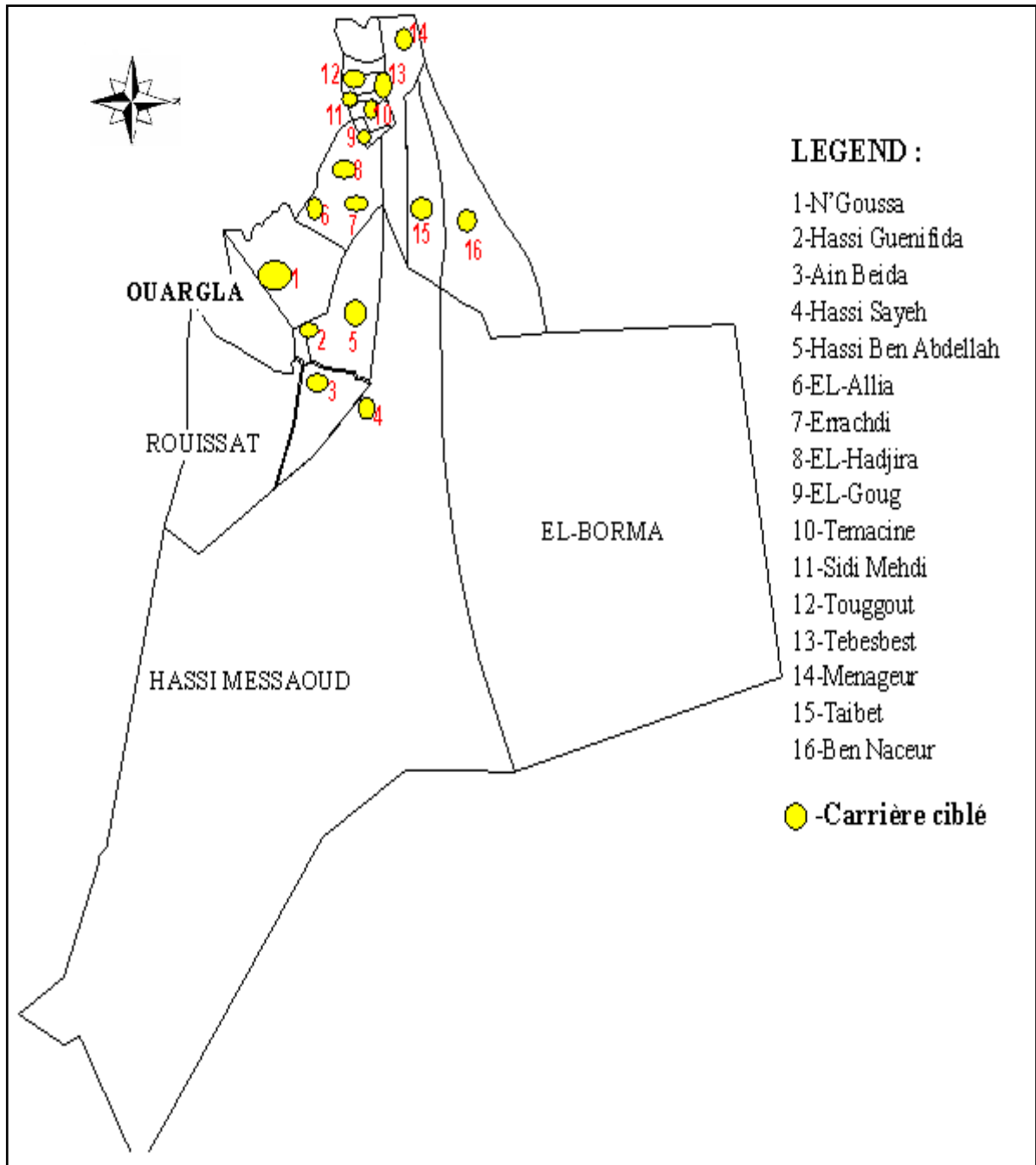
Elle s'étend sur une superficie de 556.000 km². Le relief nord est couvert de sable avec un climat rude. Le sud se caractérise par un massif montagneux avec le pic le plus élevé d'Algérie, c'est celui de Tahat 3003 m.

III. 1. 4. Les carrières choisies :

A travers l'analyse de plusieurs cartes d'états major du Sahara septentrional, nous avons ciblé tout ce qui est ergs, siouf et dunes comme carrières d'études. Nous avons pris en considération la possibilité d'accès aux zones ciblées et nous avons choisi les carrières suivantes :

III. 1. 4. 1. Ouargla :

Les carrières choisies au niveau de la wilaya de Ouargla sont : N’Goussa, El Hadjira, Touggourt, Taibet, Ain Beida, El Goug, Benaceur, El Allia, Errachdi, Hassi Ben Abdellah, M'neguer, Temacine, Tebesbest, Hassi Sayeh, Hassi guenifida, Sidi Mahdi (figure III-5).

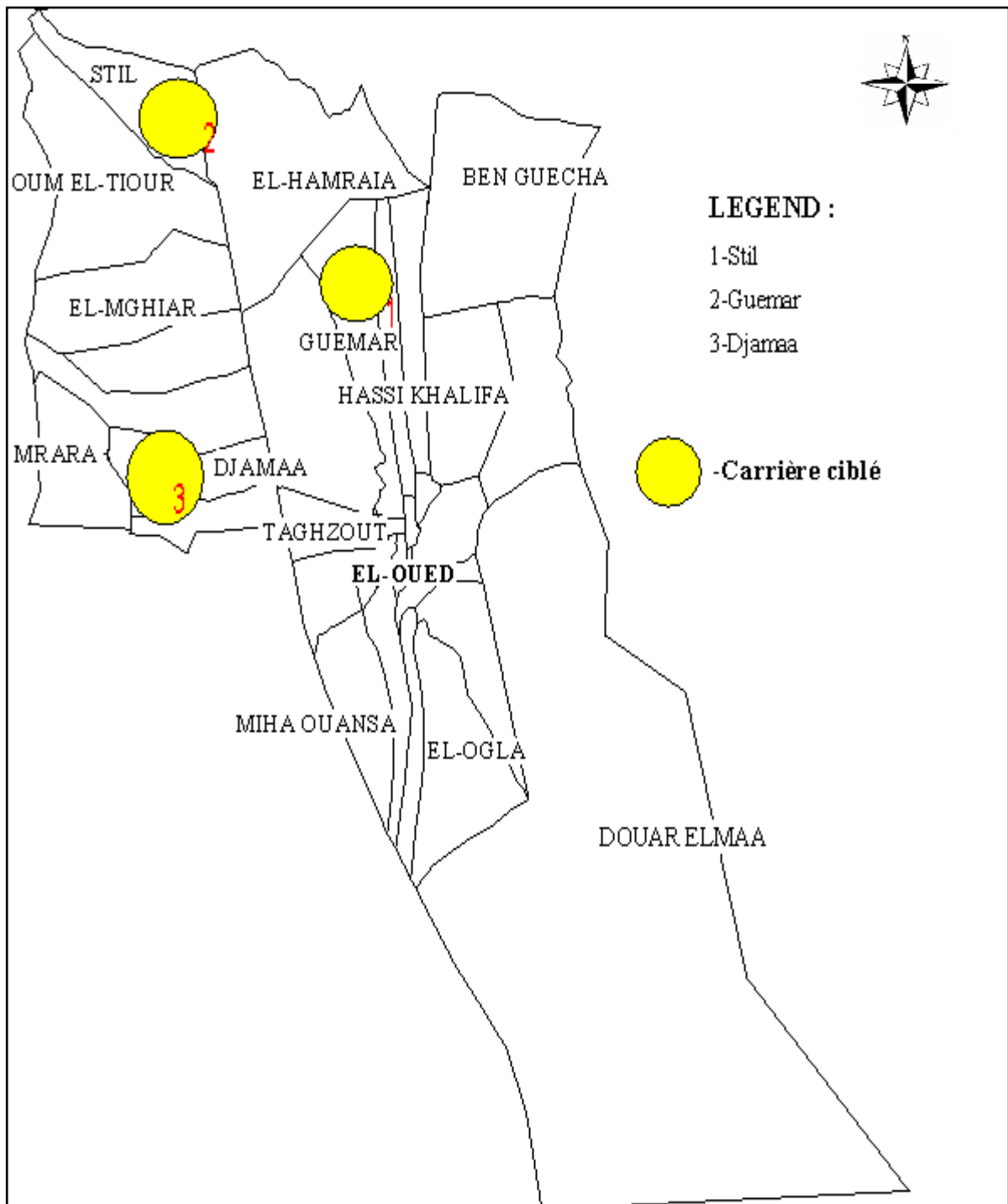


1cm = 5 km

Figure III-2: Carte des Carrières ciblées au niveau d’Ouargla.

I. 1. 4. 2. El Oued :

Les carrières choisies au niveau de la wilaya d'El Oued sont : Djamaa, Guemmar, Still.



1cm = 5km

Figure III-3: Carte des Carrières ciblées au niveau de la wilaya d'El Oued .

III. 1. 4. 3. Tamanrasset :

Vu l'éloignement de la wilaya de Tamanrasset et les difficultés d'accessibilité aux carrières ciblées dans la carte, nous nous sommes limité à une seule carrière qui est celle de In-Salah (figure III-4).

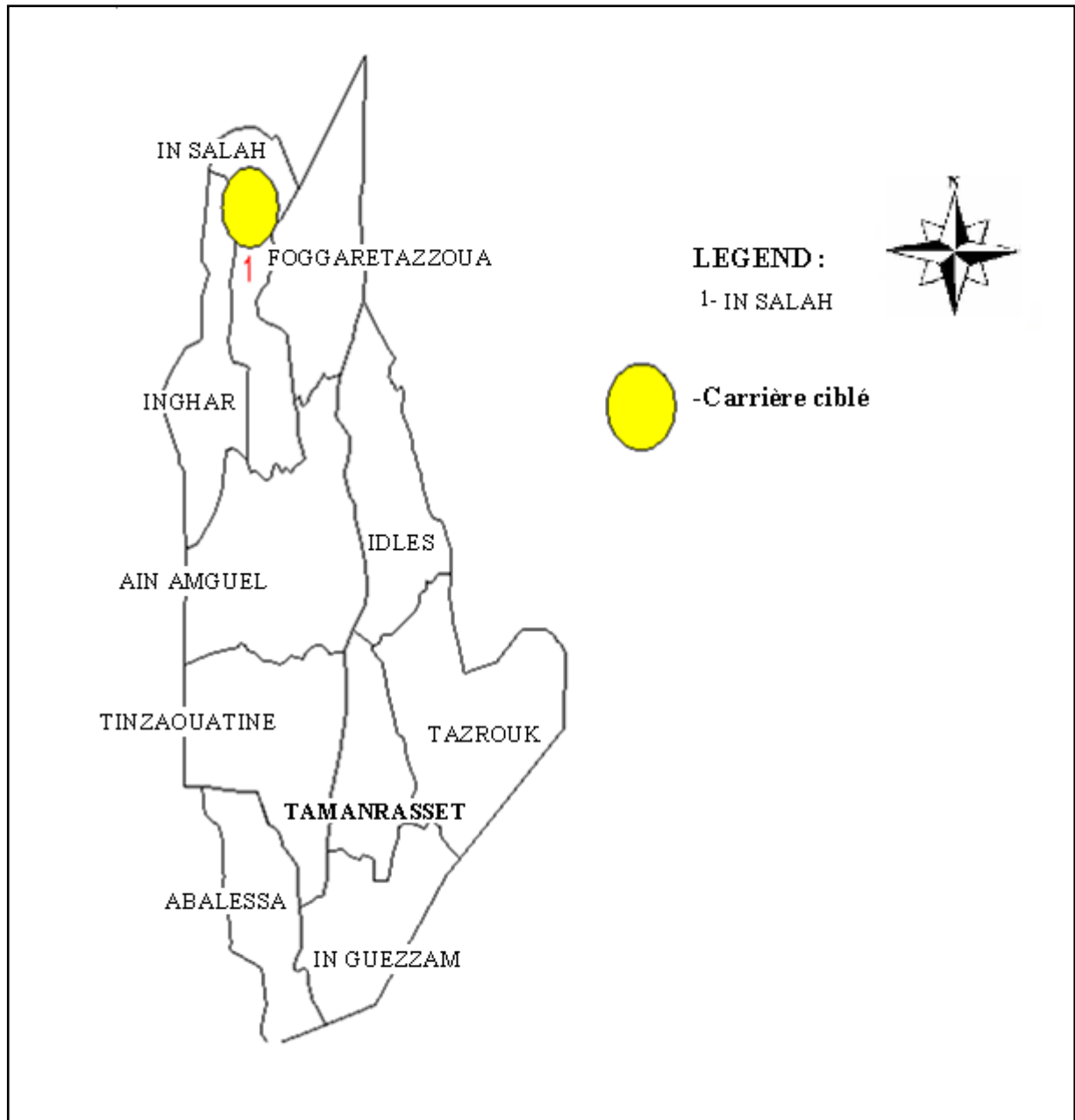


Figure III-4 : Carte de la carrière d'In Salah (wilaya de Tamanrasset).

III. 2. Caractérisation des sables:

Nous présentons en premier lieu le mode de prélèvement des sables avant de passer aux caractérisations proprement dites :

III. 2.1. Échantillonnage:

Toute étude approfondie d'un sol passe par une étude spatiale du terrain, dirigé par un spécialiste dans le domaine, qui va localiser les sites de prélèvement. Il s'agit donc d'une opération importante à réaliser soigneusement, suivant un certain nombre de règles qu'il faudra respecter [23]. Les échantillons du sable prélevés seront ainsi plus au moins représentatif de la carrière considérée et par voie de conséquence l'évaluation des résultats sera satisfaisante.

III. 2. 1. 1. La méthode d'échantillonnage:

Le prélèvement des échantillons de sable sur le terrain, c'est-à-dire « où, comment et combien ? » dépend d'abord de la problématique de l'analyse [23].

Nous avons appliqué deux méthodes d'échantillonnage pour le prélèvement des sables. Pour certaines carrières, nous avons fait un échantillonnage au hasard par une analyse visuelle, nous avons choisi des sites plus ou moins représentatifs, ceux qui ne sont pas influencés par des conditions extérieures telle que le trafic routier, les palmiers dattiers et les interventions de l'être humain.

Nous avons fixé trois points alignés dans le sommet de la dune, la distance entre deux sommets successifs est égale à 100 m environs. Pour chaque sommet, nous avons implanté deux points dans les deux talus de part et d'autre du sommet formant un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal de la dune, donc on a obtenu neuf points.

Les prélèvements ont été faits dans deux horizons, le premier celui de la surface et le deuxième à 50 cm de profondeur dans chaque point, ce qui nous a donné 18 échantillons.

Pour d'autres carrières nous avons pris un seul point de prélèvement. Afin d'avoir un sable représentatif de la dune, nous avons procédé par la méthode de mélange des sables. Nous avons pris une certaine quantité du sable du 1^{er} échantillon qui a été étalée sur une plaque appropriée. Une même quantité du 2^{ème} échantillon a été étalée sur la première, puis nous avons mélangé les deux échantillons pour obtenir un nouvel échantillon qui sera à son tour étalé sur la plaque, sur ce dernier nous avons étalé une même quantité du 3^{ème} échantillon. De

la même façon nous les mélangeons et nous continuons l'opération jusqu'au 18^{ème} échantillon pour obtenir à la fin un échantillon final plus au moins représentatif.

III. 2. 2. Le lavage du sable:

Comme nous l'avons signalé au début de ce travail, l'existence des sels solubles dans le sable de N'Goussa pose un problème épineux. Dans l'optique d'améliorer les rendements de ce sable, nous avons proposé de construire un filtre constituant le sable de N'Goussa lavé.

III. 2. 2. 1. Mode opératoire:

Pour le lavage, nous avons réalisé la méthode à l'extrait de (1/5) terre/eau [18] Nous mettons des quantités de 40g de sable préparés précédemment dans des bouteilles de 500 ml de volume, puis nous ajoutons un volume de 200 ml d'eau distillée, ensuite les bouteilles sont soumises à l'agitation mécanique pendant deux heures. Le lavage a été répété quatre fois. Nous avons réalisé une séparation liquide-solide, puis l'extrait de sol est transféré dans un bécher pour mesurer sa conductivité électrique et le pH et nous laissons la totalité du sable pour sécher.

III. 2. 3. les Paramètres physiques du sable:

III. 2. 3. 1. L'analyse granulométrique par tamisage:

Afin de caractériser les sables, nous avons procédé à l'analyse granulométrique en utilisant les normes AFNOR (NF 1996). L'ordre de sa série est comme suit: 5; 4 ; 3.15 ; 2.5 ; 2 ; 1.6 ; 1.25 ; 1 ; 0.8 ; 0.5 ; 0.315 ; 0.250 ; 0.2 ; 0.16 ; 0.125 ; 0.1 ; 0.08 ; 0.063 ; 0.05mm. (Notons que deux tamis 0,4 mm et 0,63 mm étaient indisponibles).

Les résultats de ces analyses sont montrés par les courbes granulométriques sur les figures de (IV-1) à (IV-7).

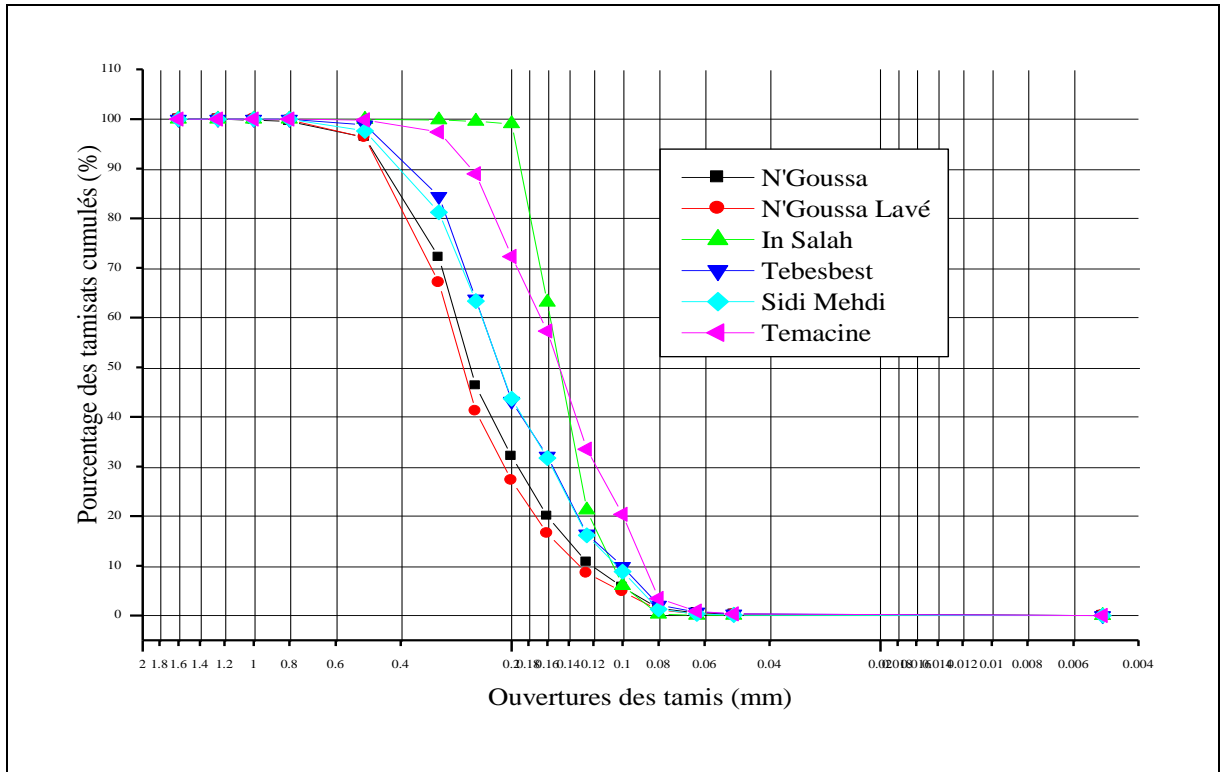


Figure (III-5) : Les courbes granulométriques de N'Goussa, N'Goussa Lavé, In Salah, Tebesbest, Sidi Mehdi et Temacine.

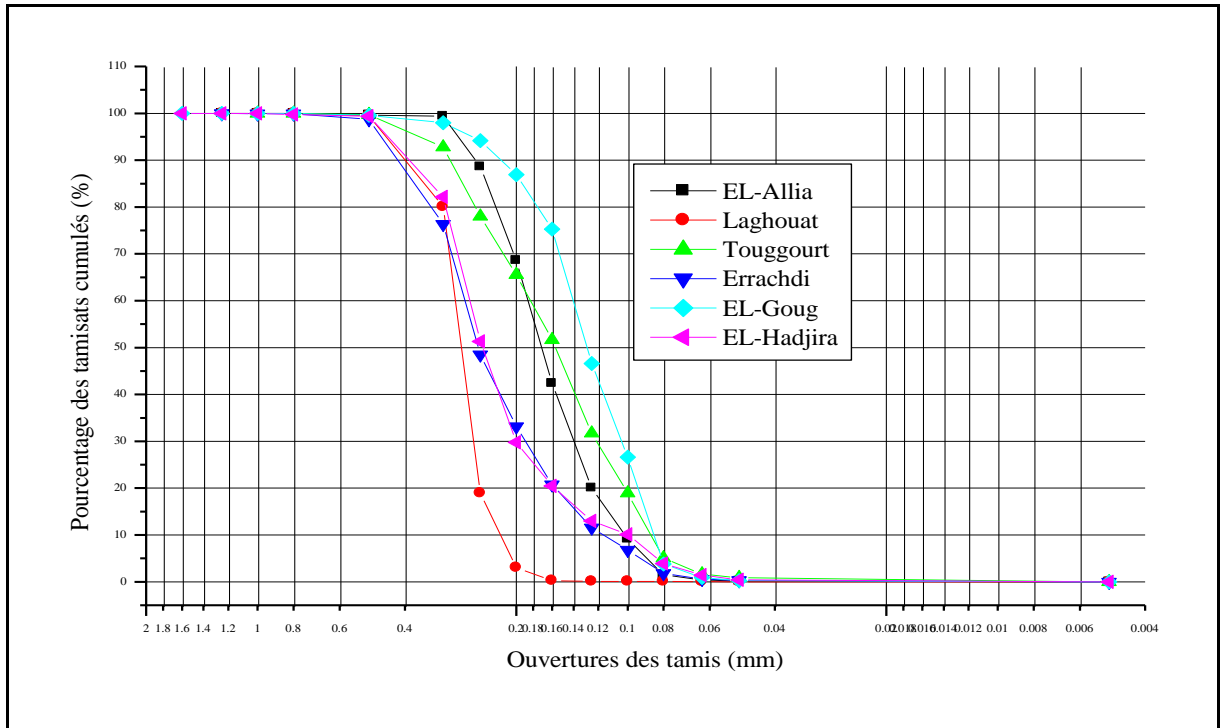


Figure (III-6) : Les courbes granulométriques d' EL-Allia, Laghouat, Touggourt, Errachdi, EL-Goug et EL-Hadjira.

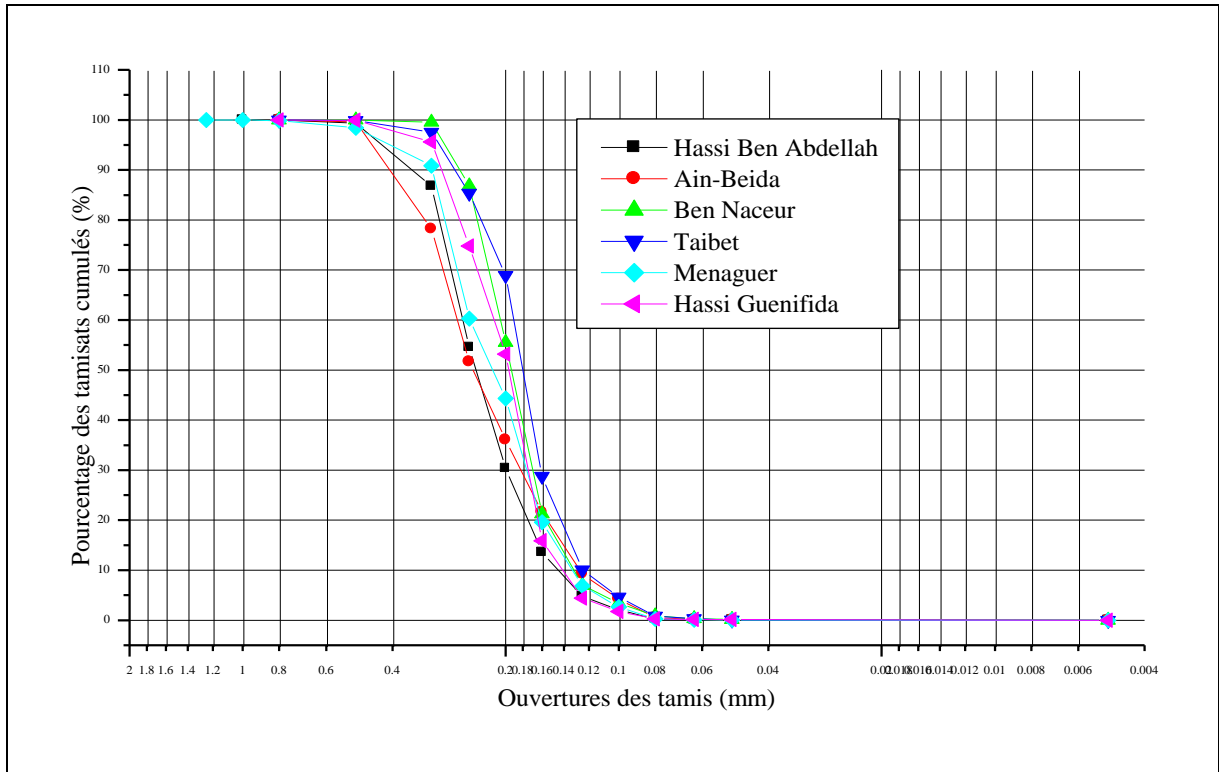


Figure (III-7) : Les courbes granulométriques de Hassi Ben Abdellah, Ain-Beida, Ben Naceur, Taibet, Menaguer et Hassi Guenifida.

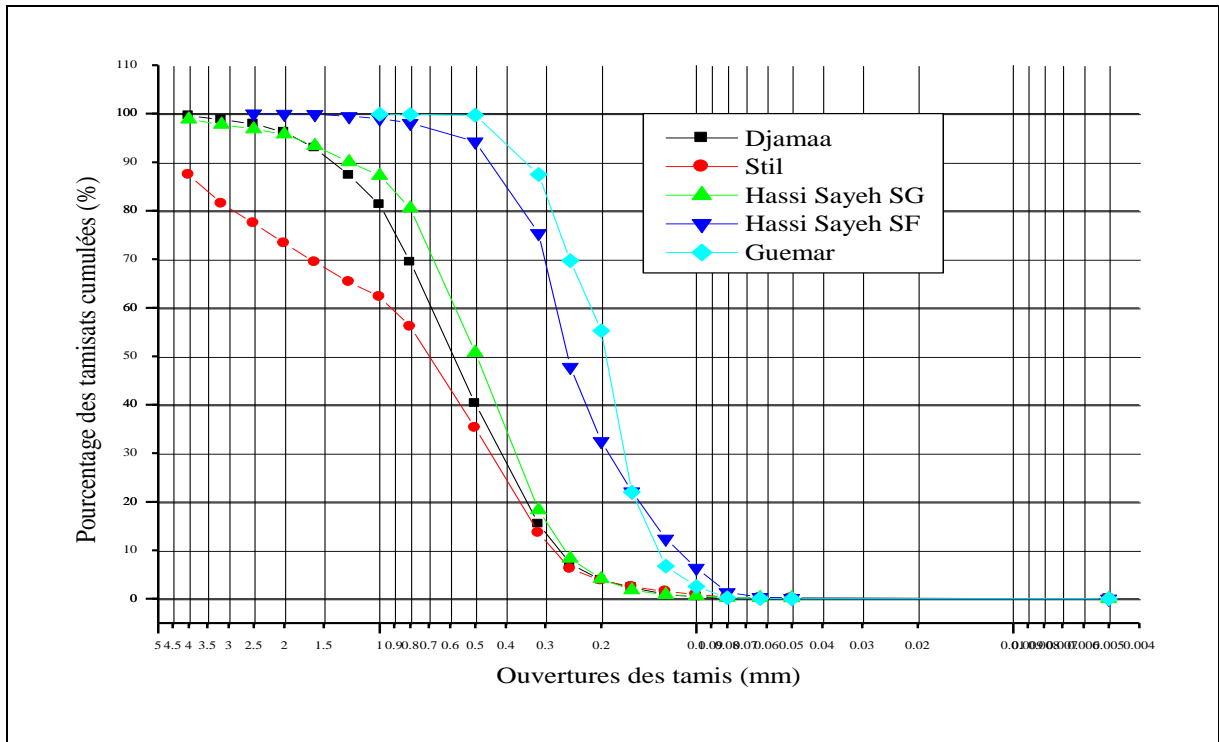


Figure (III-8) : Les courbes granulométriques de Djamaa, Stil, Hassi Sayeh SG, Hassi Sayeh SF et Guemar.

A partir de ces courbes granulométriques, nous avons tiré et calculé les paramètres suivants :

- d_{10} : Le diamètre effectif des particules qui correspond à 10% du passant.
- d_{60} : Le diamètre effectif des particules qui correspond à 60% du passant.
- d_{30} : Le diamètre effectif des particules qui correspond à 30% du passant.
- C_c : Le coefficient de courbure, avec:

$$C_c = d_{30}^2 / (d_{10} \times d_{60}), \text{ selon [24].}$$

- C_u : Le coefficient d'uniformité, avec:

$$C_u = d_{60} / d_{10}, \text{ selon [24] et [25].}$$

Tableau III-1 : les paramètres physiques des sables.

Carrières	d_{10}	d_{30}	d_{60}	C_u	C_c	Classement
N'Goussa	0,108	0,123	0,232	2,148	0,032	Granulométrie serrée
H Sayeh SG	0,277	0,375	0,580	2,094	0,875	Granulométrie serrée
In Salah	0,120	0,145	0,170	1,417	1,031	Granulométrie très serrée
El-Allia	0,110	0,150	0,185	1,682	1,106	Granulométrie très serrée
H Ben A	0,155	0,205	0,275	1,774	0,986	Granulométrie très serrée
Errachdi	0,130	0,192	0,280	2,154	1,013	Granulométrie serrée
Meneguer	0,137	0,180	0,240	1,752	0,985	Granulométrie très serrée
Taibat	0,135	0,175	0,185	1,370	1,226	Granulométrie très serrée
Ben Naceur	0,145	0,175	0,215	1,483	0,982	Granulométrie très serrée
Laghouat	0,240	0,265	0,290	1,208	1,009	Granulométrie très serrée
Touggourt	0,088	0,130	0,185	2,102	1,038	Granulométrie serrée
Djamaa	0,285	0,433	0,700	2,456	0,940	Granulométrie serrée
Stil	0,285	0,465	0,935	3,281	0,811	Granulométrie serrée

H Sayah SF	0,123	0,195	0,235	1,911	1,316	Granulométrie très serrée
Ain-Beida	0,140	0,182	0,255	1,821	0,928	Granulométrie très serrée
Hassi Guenifida	0,160	0,180	0,220	1,375	0,920	Granulométrie très serrée
Sidi Mehdi	0,113	0,167	0,245	2,168	1,007	Granulométrie serrée
Temacine	0,090	0,125	0,170	1,889	1,021	Granulométrie très serrée
El-Goug	0,087	0,110	0,147	1,690	0,946	Granulométrie très serrée
Tebesbest	0,100	0,160	0,225	2,250	1,138	Granulométrie serrée
El-Hadjira	0,100	0,200	0,265	2,650	1,509	Granulométrie serrée
Guemar	0,150	0,170	0,220	1,446	0,876	Granulométrie très serrée

Nous avons classé les sables selon [24] tel que :

Si : $C_u \leq 2$, la granulométrie est très serrée ;

Si : $2 < C_u \leq 5$, la granulométrie serrée ;

D'après les résultats représentés dans le tableau (III-1), nous constatons que la majorité des échantillons est classée 'de granulométrie très serrée' ($C_u \leq 2$) et le reste classé comme 'granulométrie serrée' ($2 < C_u \leq 5$). Elle signifie que la plupart des particules du sable traverse le tamis de 0,315 mm et sont retenues sur le tamis de 0,200 mm. Il s'agit donc d'un sable constitué de particules ayant pratiquement toutes le même diamètre équivalent.

III. 2. 3. 2. Analyse granulométrique par sédimentation (par la pipette de Robinson):

Cette méthode permet de déterminer les différentes classes des particules minérales qui sont identifiées par leurs tailles. La référence de ce classement est (*classification d'ATTERBERG adoptée par l'Association Internationale de la Science du sol*) qui donne 5 classes des particules:

- les Argiles : 0 à 2 μm ;
- Les limons fins : 2 à 20 μm ;
- Les limons grossiers : 20 à 50 μm ;

- Sables fins : 50 à 200 μm ;
- Sables grossiers : 200 μm à 2mm.

Tableau III-2: les paramètres obtenus par la pipette de Robinson.

Carrières	% Sable G	% Sable F	% Limon G	% Limon F	% Argile
N'Goussa	38,62	45,68	7,91	1,01	6,37
H Sayeh SG	83,80	10,27	0,53	0,56	4,69
In Salah	0,74	93,52	0,80	2,25	2,62
El-Alia	10,46	84,38	0,05	0,10	4,94
H Ben A	44,09	53,27	1,53	0,08	0,96
Errachdi	49,33	41,95	1,30	4,99	2,21
Meneguer	33,64	61,58	2,93	0,61	0,97
Taibate	13,06	81,51	0,94	0,13	4,21
Ben Naceur	12,24	85,34	0,08	0,10	2,10
Laghouat	79,42	17,13	0,45	0,27	2,67
Touggourt	16,02	74,48	0,80	0,96	7,40
Djamaa	89,18	5,38	0,15	2,36	2,71
Stil	67,02	25,42	0,00	1,88	5,16
H Sayeh SF	51,01	46,96	0,27	1,56	0,12
Ain-Beida	44,72	49,90	0,35	0,50	4,38
H Gnifida	20,25	72,70	1,40	0,05	5,38
Sidi Mehdi	32,79	55,86	0,96	0,28	9,77
Temacine	6,16	82,40	0,39	1,68	8,96
El-Goug	2,85	91,46	0,76	0,61	3,98
Tebesbest	27,42	62,86	0,77	0,84	7,63
El-Hadjira	43,43	50,76	0,05	0,36	5,20
Guemar	24,32	69,86	0,10	2,56	2,99

Concernant les carrières, le sable de Djamaa possède un pourcentage de sable grossier de 89,36%, et de l'autre côté nous trouvons que le sable ayant la plus grande fraction de sable fin est celui d'In Salah (93,59%). Le sable de N'Goussa garde la plus haute quantité de limon grossier (de l'ordre de 7,97%), et la plus grande fraction de limons fins est 4,99% elle est relative à Errachdi. La plus grande fraction des argiles a été enregistrée au niveau du sable de Sidi

Mehdi (une valeur de 9,79%). Lorsque nous observons les résultats d'analyse granulométrique par tamisage et par sédimentation, nous remarquons une différence assez significative entre les différentes valeurs notamment les pourcentages de sables. Le tableau (III-3) illustre cet aspect.

Tableau III-3: Comparaison entre l'analyse granulométrique par tamisage et par sédimentation.

Carrières	Analyse granulométrique par tamisage		Analyse granulométrique par sédimentation	
	% Sable G	% Sable F	% Sable G	% Sable F
N'goussa	67,94	31,78	38,62	45,68
Djamaa	96,15	3,85	89,18	5,38
Stil	96,23	3,65	67,02	25,42
Hassi Sayeh SG	95,89	3,95	83,80	10,27
EL allia	31,44	68,38	10,46	84,38
Laghout	97,00	3,00	79,42	17,13
Tougourt	34,48	64,65	16,02	74,48
Errachdi	66,86	32,84	49,33	41,95
Hassi Ben Abdellah	69,70	30,26	44,09	53,27
Ain-Beida	63,95	36,01	44,72	49,90
Hassi Sayeh SF	67,55	32,33	51,01	46,96
In salsh	0,95	99,03	0,74	93,52
Ben Naceur	44,48	55,40	12,24	85,34
Taybate	31,07	68,87	13,06	81,51
Mengueur	55,65	44,29	33,64	61,58
Hassi Gnifida	46,81	53,04	20,25	72,70
Tebesbest	56,81	42,87	27,42	62,86
Sidi Mahdi	56,36	43,53	32,79	55,86
Temacine	27,71	72,00	6,16	82,40
EL-Goug	13,07	86,69	2,85	91,46
EL-Hadjira	70,24	29,31	43,43	50,76
Guemar	44,74	55,23	24,32	69,86

A la première lecture à ces résultats, nous constatons une diminution des pourcentages du sable grossier pour la granulométrie par tamisage, par rapport aux pourcentages obtenues par sédimentation. Cette diminution est justifiée par la décomposition des blocs des grains de sables d'une part et d'autre par l'élimination des particules fines présentes autour d'un grain de sable telle que la poussière, les argiles et les limons lors de leur contact avec l'eau.

L'augmentation des pourcentages du sable fin dans la deuxième analyse est justifiée par l'apport des quantités de particules fines autour du sable grossier.

En conclusion nous pouvons dire que nos sables sont constitués d'un pourcentage de particules fines non négligeable.

III. 2. 3. 3. La Densité réelle :

Nous avons effectué les mesures de la densité réelle par le pycnomètre en utilisant la solution au tétrachlorure de carbone (CCl_4). Les résultats obtenus sont illustrés par le tableau (III-4).

Tableau III-4: la densité réelle des sables (Dr).

Carrières	Dr (kg/m^3)	Carrières	Dr (kg/m^3)
N'Goussa	2,96	Djamaa	2,52
H Sayah SG	2,76	Still	2,72
IN Salah	2,64	H Sayah SF	2,63
EL allia	2,57	AIN Beida	2,74
H Ben A	2,65	H Guenifida	2,61
Errachdi	2,62	Sidi Mehdi	2,69
Meneguer	2,65	Temacine	2,54
Taibat	2,68	El Goug	2,61
Ben Naceur	2,59	Tebesbest	2,55
Laghout	2,58	El Hadjira	2,56
Touggourt	2,50	Guemmar	2,45

D'après la classification des sables en fonction de la densité relative [26], nos sables sont dits 'lâches'.

III. 2. 4. Paramètres chimiques du sable :

La chimie des sols ayant une grande influence sur nos analyses ultérieures, il est donc impératif de déterminer certains paramètres tels que le pH, la conductivité électrique (exprimée en % en sels), la Matière organique (MO déterminée par la méthode d'ANNE, citée

en annexe) et enfin le taux de calcaire (%CaCO₃) (mesuré par le calcimètre de BERNARD). Les résultats pour ces paramètres sont regroupés dans le tableau (III-5).

Tableau III-5: les paramètres chimiques des sables.

Carrières	%MO	pH	%Sels	%CaCO ₃
N'Goussa	0,860	8,000	0,310	0,240
N'Goussa Lavé	0,005	9,0	0,003	0,13
H Sayeh SG	1,204	8,680	0,019	0,170
In Salah	0,430	8,250	0,012	0,065
El-Allia	0,258	8,300	0,022	0,280
H Ben A	0,344	8,300	0,017	0,220
Errachdi	0,430	7,680	0,153	0,350
Meneguer	0,860	8,600	0,154	2,020
Taibate	0,950	8,800	0,019	1,820
Ben Nacer	0,940	8,950	0,007	1,480
Laghouat	0,860	8,600	0,005	2,670
Touggourt	0,688	8,400	0,247	1,340
Djamaa	1,376	8,150	0,066	0,300
Stil	2,752	8,400	0,234	4,990
H Sayeh SF	0,670	8,300	0,036	0,480
Ain-Beida	0,172	8,230	0,139	0,570
H Gnifida	1,720	8,300	0,007	0,430
Sidi Mehdi	1,204	7,970	0,160	3,170
Temacine	1,376	7,940	0,226	2,370
El Goug	1,548	8,000	0,173	3,190
Tebesbest	2,580	7,930	0,166	4,240
El Hadjira	1,376	8,210	0,032	1,420
Guemar	0,172	8,03	0,113	3,08

Au vu des résultats obtenus nous pouvons conclure ce qui suit :

- Les sables sont pauvres en matières organiques puisque tous les taux en MO sont nettement inférieur à 3%.
- Les sables sont alcalins (pH compris entre 7,68 et 8,95).

- Les sables analysés présentent quasiment tous un taux de sel faible, ce qui est favorable pour leur utilisation comme support filtrant. Le sable le plus salin est celui de N'Goussa (0,31%), par contre le sable le moins salin est celui de Laghouat (0,005%).
- Les sables étudiés sont peu calcaires puisqu'ils révèlent une valeur minimale de 0,065% pour In Salah et une valeur maximale de 4,99 % de Ca CO₃ pour Stil.

IV. Dispositif Expérimentale :

IV. 1. Le Choix des carrières :

Afin d'aboutir à la sélection du meilleur support filtrant pour effectuer des tests d'efficacité, nous nous sommes basés sur les paramètres évalués précédemment.

IV. 1. 1. Les paramètres de sélection :

IV. 1. 1. 1. La granulométrie :

La dimension optimale des grains doit se situer entre 0,25 et 0,35 mm avec un coefficient d'uniformité de $1,7 \div 2,5$. Pour le bon fonctionnement du processus d'épuration, il faut prévoir un lit filtrant d'une hauteur minimum de 0,6 mètre [27].

Par rapport à ce qui a été cité préalablement, le coefficient d'uniformité de nos sables varie entre $(1,208 \div 3,281)$.

IV. 1. 1. 2. Taux de sel:

Dans la majorité des cas, les sels étant plus ou moins solubles dans l'eau, cette propriété peut fausser nos résultats d'analyse surtout dans le début du fonctionnement des filtres, car elle se caractérise par un fort lessivage. Et d'autre part, on ne peut pas utiliser ces eaux en irrigation, pour cela nous avons choisi les sables de faible teneur en sels.

IV. 1. 1. 3. Taux de calcaire:

La présence de carbonate de calcium en quantité trop forte peut exercer des influences défavorables c'est-à-dire lors de la dissolution, il peut engendrer une cimentation des grains de sables et par conséquent favoriser le colmatage rapide des filtres [23]. Notre choix se portera donc sur le sable de faible teneur en carbonate de calcium.

IV. 1. 1. 4. La matière organique:

De même que pour le carbonate de calcium, La présence de la matière organique en quantités élevées favorise la cimentation des grains et conduit ainsi au phénomène de colmatage assez rapidement [18]. Notons aussi que la présence d'une petite quantité de matière organique peut aider l'accélération de la maturation des filtres c'est-à-dire, favoriser la formation rapide de la biomasse.

La réunion de tous ces paramètres permet de classer les sables des différentes carrières, selon l'ordre préférentiel suivant: El allia, Hassi Sayeh sable grossier, In Salah, Errachdi et Hassi ben Abdallah, avec le sable de N'Goussa qui est considéré comme sable de référence. invloves

IV. 2. La préparation des pilotes:

Nos pilotes de filtration sont des colonnes en PVC ouvertes en haut et fermées dans leur partie inférieure et avec une sortie munie d'un petit tuyau servant à l'évacuation des eaux filtrées. La colonne est de 70 cm de hauteur et de 76 mm de diamètre intérieur.

Pour la préparation d'un pilote, nous avons commencé par le placement d'un film, ensuite une couche fine de gravier est uniformément répartie au fond (une épaisseur de 2 cm), elle a pour rôle de faire passer l'eau (favoriser le drainage) et de retenir les particules de sable; puis nous avons ajouté le sable préparé précédemment t en constituant une couche de 60 cm d'épaisseur comme le montre la figure (V-1).

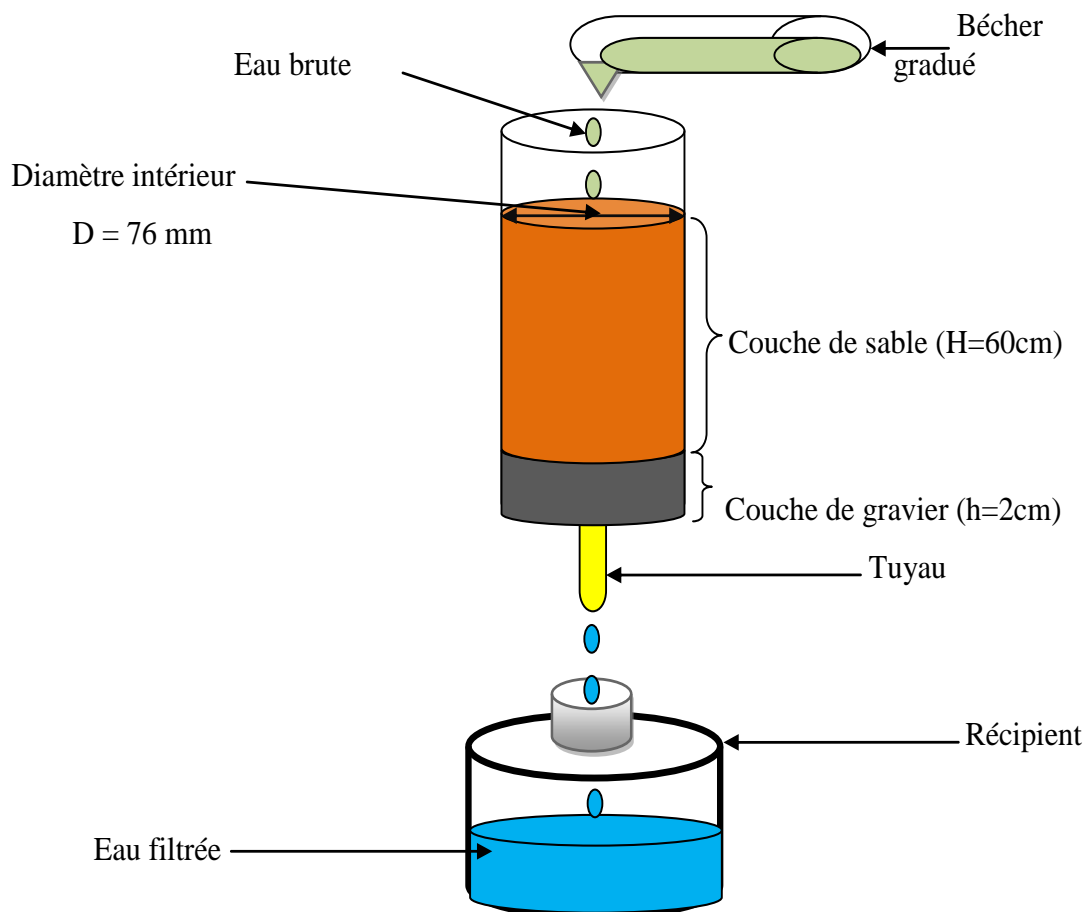


Figure IV-1 : schéma du pilote filtrant

Nous tapotons la colonne à l'aide d'un outil approprié pour assurer le tassement du sable jusqu' à obtention de la hauteur voulue (30 cm pour les bicouches et 60 cm pour les autres).

En parallèle aux six sables cités précédemment qui vont être utilisés comme support filtrant, nous avons utilisé un filtre avec des caractéristiques modifiées (le sable lavé).

Tous les dispositifs doivent être conçus dans les mêmes conditions (même hauteur du sable, même façon de remplissage du sable, ...etc.).

La porosité (n) est un paramètre lié au poids mis dans le filtre et le mode d'arrangement entre les grains; ce paramètre est déterminé tout en déterminant les densités réelles et apparentes (tableau (IV-1)).

Tableau IV-1 : les caractéristiques des filtres avant le fonctionnement.

Filtre	D_r (kg/m ³)	D_a (kg/m ³)	n (%)
N'Goussa	2,96	1,785	39,70
N'Goussa Lavé	2,89	1,642	43,18
Hassi Sayeh Grossier	2,76	1,822	33,99
Hassi Ben Abdellah	2,65	1,828	31,02
El-Allia	2,57	1,655	35,60
Errachdi	2,62	1,789	31,72
In Salah	2,64	1,700	35,61

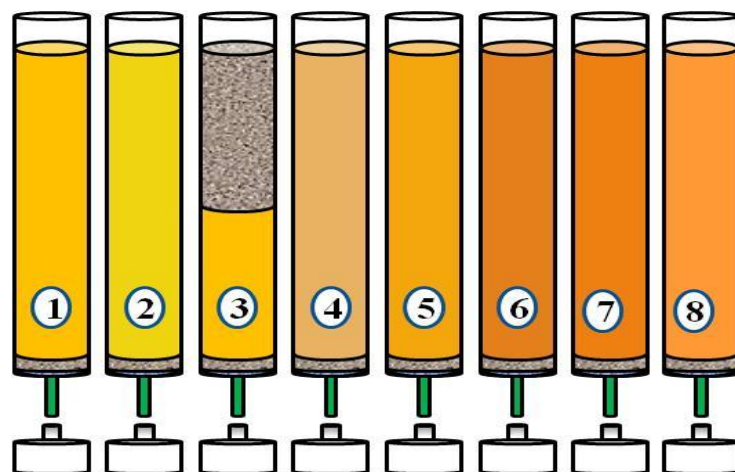


Figure IV-2 : La mise en place des filtres

D'après le tableau (IV-1) nous constatons que la mise en place des filtres nous a donné des porosités différentes, et ceci est due à l'uniformité de la mise en place, ce qui nécessite des poids différentes mis dans le même volume, donc on a des valeurs de densité apparent différentes, et par conséquent une différence de la porosité. On remarque que la porosité du sable de N'Goussa augmente de 39% à l'état naturelle jusqu'à 43% à l'état lavé, l'opération de lavage reproduit un nouveau réarrangement des grains de sable.

Une fois la phase de conception achevée, les sept pilotes sont placés dans le support de serrage l'un à coté de l'autre, ces derniers doivent être bien fixés en position parfaitement verticale afin d'avoir une certaine stabilité pour avoir une protection contre les vibrations, mais aussi pour favoriser l'écoulement gravitaire.

L'alimentation des filtres et le choix du débit se fait selon les normes de la filtration lente [25]. Le débit réel est de 50 à 60 l/j/m², nous travaillons au laboratoire avec un débit doublé pour accélérer la cadence du travail. L'alimentation se fait d'une façon ponctuelle avec l'injection d'un volume de 40 ml toutes les heures pendant 12 heures.

IV. 3. Origine et nature de l'eau usée:

L'eau usée est d'origine domestique (eaux de vanne), mélangée avec des petites quantités d'eaux usées rejetées par les laboratoires d'hydraulique et de génie civil et de chimie, prélevée au niveau d'un regard situé au niveau du département d'hydraulique et génie civil de l'Université Kasdi Merbah Ouargla.

V. Résultats et Discussions

Pour l'évaluation des paramètres de notre dispositif filtrant, des prélèvements entrée-sortie ont été effectués une fois par semaine afin de réaliser des campagnes d'analyses répétitives. La durée de ces opérations est de 80 jours.

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.

V. 1. Les analyses physico-chimiques :

V. 1. 1 Mesure de pH :

Nous avons effectué les mesures de pH à l'aide d'un pH-mètre, les résultats sont regroupés dans le tableau (V -1).

Nous remarquons que les valeurs de pH de l'eau usée sont comprises entre 6,73 et 8,11; cette variation entre ces deux valeurs extrêmes d'une campagne à une autre est due à la variabilité de l'effluent en fonction du temps quelque soit sa nature.

Pour les eaux filtrées, la gamme de pH varie entre 6,89 et 8,38; ceci est due à la variabilité de eaux usées (à l'entrée des filtres) d'une part et d'autre à la différence des caractéristiques entre les différents filtres. La valeur maximale 8,38 a été enregistrée au niveau du filtre à sable lavé. Nous constatons aussi que les valeurs de pH des eaux filtrées sont toujours nettement supérieures aux valeurs d'eau usée (entrée).

V. 1. 2. Mesure de la Conductivité électrique (CE):

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

Les variations de la conductivité électrique en fonction du temps sont illustrées par la figure (V -1).

Tableau V -1 : la variation de pH en fonction de temps.

SABLE	Semaine										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Eau Usée	7.70	8.11	7.58	8.03	7.42	7.72	7.71	7.63	7.04	6.73	6.84
N'Goussa	8.00	8.14	8.31	8.24	7.96	8.03	8.10	8.03	8.33	7.42	7.01
N'Goussa Lavé	8.20	8.24	8.38	8.37	8.29	8.20	8.30	8.22	8.29	7.56	7.68
N'Goussa + Gravier	7.90	8.22	8.30	8.23	8.20	8.05	8.30	8.27	8.25	7.53	7.19
Hassi Sayeh Grossier	7.87	8.11	8.32	8.27	8.07	8.06	8.20	8.22	8.37	7.55	7.70
Hassi Ben Abdellah	8.10	8.21	8.19	8.18	8.04	7.97	8.28	8.19	8.17	7.26	7.64
El allia	7.80	8.14	8.25	8.13	7.86	8.01	8.15	8.20	8.25	7.40	7.58
Errachdi	7.90	8.15	8.19	8.24	8.14	8.06	8.29	8.21	8.32	7.47	7.58
In Salah	7.80	8.16	8.26	7.99	8.14	8.16	8.16	8.07	8.16	6.89	7.55

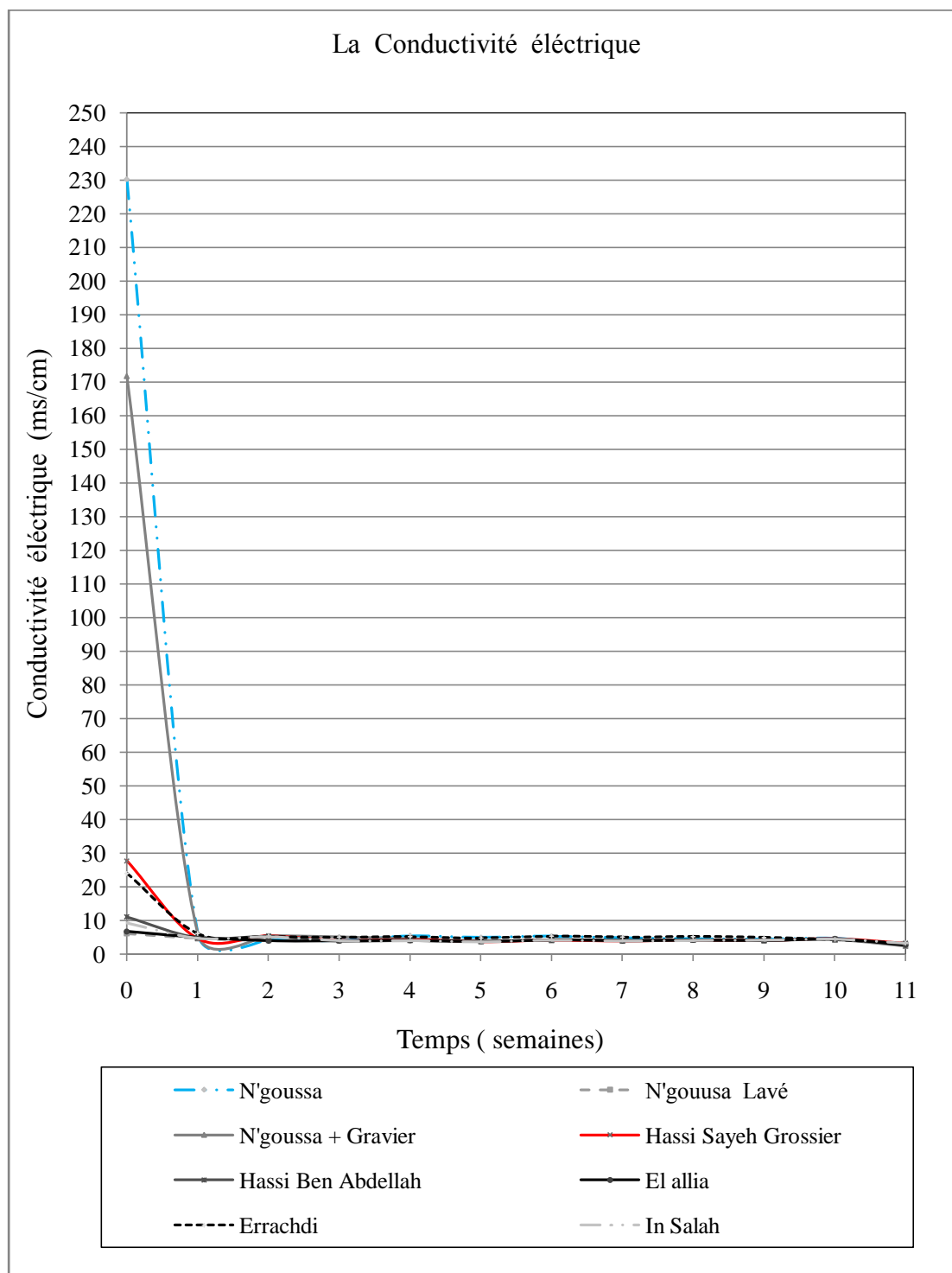


Figure V -1: La variation de la conductivité électrique en fonction du temps.

A la première lecture de ces courbes, deux constatations peuvent être décrites, la première : la courbe de la salinité est répartie en deux intervalles, le premier [1-8 jours] est une phase qui se caractérise par une chute remarquable des valeurs de la conductivité électrique, c'est la phase de lessivage des filtres, le second intervalle [8-71 jours] quant à lui

marque une stabilité de la salinité. Le deuxième constat c'est que le filtre de N'Goussa possède une même allure de courbure, ils sont caractérisés par une forte salinité qui dépasse 200 ms/cm pour les premières gouttes sortantes.

Dans la première phase, nous remarquons que les premières séries de mesure se caractérisent par des fortes conductivités électriques, notamment les premières gouttes récupérées, ces valeurs sont assez grandes au début du fonctionnement des filtres à cause de la concentration très élevée des sels solubles (Début de lessivage). Néanmoins ces valeurs ne reflètent pas la conductivité électrique réelle mesurée à l'extrait de 1/5 terre/eau, le tableau (V -2) nous donne la conductivité électrique des eaux filtrées des premiers volumes recueillis.

Tableau V -2 : les premières valeurs de la conductivité électrique.

Filtre	CE(mS/cm)
N'Goussa	230,2
N'Goussa Lavé	6,1
N'Goussa + Gravier	171,7
Hassi Sayeh SG	27,68
Hassi Ben Abdellah	11,44
El-Allia	8,34
Errachdi	24,15
In Salah	9,25

Nous remarquons que l'évolution des valeurs de la conductivité électrique est lié à la salinité initiale des sables.

Après huit jours de fonctionnement, la salinité des filtres commence à se stabiliser autour d'une valeur qui est nettement inférieure à 6 ms/cm, et qui diffère légèrement d'un sable à un autre ; à partir de cette date nous relevons une élimination quasi-totale des sels solubles. Les fluctuations apparaissent par la suite, elles sont engendrées par la dissolution des sels moins solubles d'une part, et d'autre part, par les micro-organismes lors de la transformation de la matière organique de l'état dissous à la forme minérale, tels que les composés azotés et phosphorés. Cette transformation est bien expliquée dans la littérature.

La courbe de la conductivité électrique du filtre à sable lavé possède une allure quasi droite c'est-à-dire, toutes les valeurs de la conductivité électrique sont légèrement supérieures à 4mS/cm, cette valeur correspond à la valeur de la conductivité électrique des eaux usées courantes, ce qui est attendu, car ce filtre est constitué de sable pauvre en sels solubles.

Pour quantifier les sels éliminés durant les huit premiers jours de fonctionnement, nous avons effectué un suivi quotidien de la conductivité électrique, puis nous avons converti

ces valeurs en taux de sels pour déterminer les quantités de sels éliminés en gramme par jour. Nous avons représenté ici uniquement les résultats du filtre à sable de N'Goussa, et de la même manière nous pouvons évaluer la quantité des sels éliminés pour les autres filtres.

Tableau V -3: la conductivité électrique journalière.

Jour	1	2	3	4	5	6	7	8
CE_{eu} à t °C (µS/cm)	4690	4450	4720	4760	4620	4260	4440	4440
la température (°C)	21.6	20.6	19.3	20.1	20.8	23.1	23.8	24.2
f₂₀	0.964	0.987	1.016	0.997	0.981	0.933	0.919	0.911
CE_{eu} à 20°C (µS/cm)	4522	4390	4796	4747	4533	3974	4082	4046
CE_{ef} à t °C (µS/cm)	32700	11600	8410	6380	6700	6510	6770	6170
la température (°C)	21.3	20.6	18.8	20.1	20.8	21.9	22	22.9
f₂₀	0.970	0.987	1.028	0.997	0.981	0.958	0.956	0.937
CE_{ef} à 20°C (µS/cm)	31733	11444	8644	6363	6574	6236	6473	5783

Avec:

CE_{eu}: Conductivité électrique d'eau usée.

CE_{ef}: Conductivité électrique d'eau filtrée.

f₂₀: Facteur de correction de la conductivité électrique.

Nous avons rapporté les valeurs de la conductivité électrique du tableau (V-3) à la conductivité électrique mesurée à la température 20 °C par la formule (V-1), citée dans la littérature, (selon [3]) :

$$\text{CE mesurée à 20 °C} = \text{CE mesurée à t °C} \times f_{20} \dots\dots\dots (\text{V-1})$$

Nous pouvons également calculer la minéralisation totale (les concentrations C₁ et C₂), à partir des relations empiriques (voir l'annexe N° 9), les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (V -4).

Tableau V -4: les concentrations des sels en mg/l.

Jour	1	2	3	4	5	6	7	8
C₁ (mg/l)	3430.1	3330.2	3638.1	3601.0	3438.5	3014.2	3096.3	3069.2
C₂ (mg/l)	26986.8	9732.4	6556.6	4826.5	4986.6	4730.2	4909.9	4386.7

Avec:

C₁: la concentration des sels dans les eaux usées.

C₂: la concentration des sels dans les eaux filtrées.

Pour trouver la quantité des sels éliminés du sable par jour, nous devons connaitre en premier lieu les volumes d'eau filtrée que nous représentons dans le tableau (V-5).

Tableau V-5: Les volumes journalier d'eau filtrée (volumes sortants du filtre).

Jours	1	2	3	4	5	6	7	8
Volume (Litre)	0.290	0.359	0.402	0.442	0.442	0.441	0.450	0.446

Le volume d'eau à l'entrée du filtre est constant et égal à 0,48 litre / jour. Ainsi, nous avons déterminé la masse des sels entrants et sortants du filtre pour chaque jour. Les résultats sont regroupés dans le tableau (V-6), avec m_1 la masse entrante et m_2 la masse sortante. Nous déduisons ainsi la différence $\Delta m = m_2 - m_1$.

Avec:

$$m_i = C_i \times V_i \dots\dots\dots (V-2)$$

Tableau V-6: la masse des sels éliminés de sable par jour (mg).

Jour	1	2	3	4	5	6	7	8
m_1	7826.18	3493.94	2635.74	2133.31	2204.08	2086.00	2209.44	1956.45
m_2	1646.43	1598.47	1746.28	1728.46	1650.49	1446.83	1486.24	1473.20
Δm	6179.75	1895.47	889.46	404.85	553.59	639.17	723.20	483.25

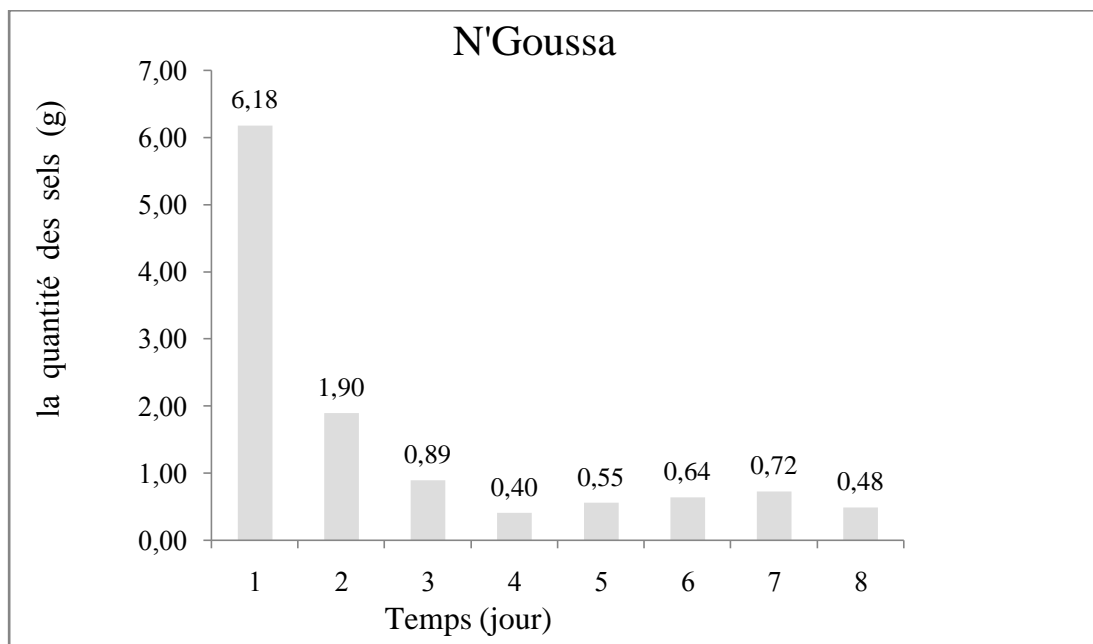


Figure V-2: La quantité de sels éliminer du sable en (g /jour).

L'histogramme de la figure (V-2), nous donne la quantité journalière des sels éliminés du sable durant les huit premiers jours de fonctionnement. Nous remarquons qu'elle décroît d'une journée à une autre, ce qui illustre l'opération de lessivage du sable. Une quantité assez importante de sels a été éliminée dès le premier jour, elle a atteint 6,18 g. Cette quantité représente un pourcentage de 58,35 % de la quantité initiale des sels (14,84 g), c'est une proportion qui indique aussi le début du lessivage d'une part, et que la majorité des sels constituant le sable sont des sels solubles d'autre part. Ensuite, nous avons enregistré des quantités très petites, diminuant progressivement jusqu'à des valeurs de 0,40 g de sels au quatrième jour.

Les fluctuations en quantité de sels éliminés ont été enregistrées à partir du quatrième jour, notamment les quantités en excès, une partie importante est justifiée par l'humectation totale de l'échantillon de sable, car les premiers jours l'humectation des grains n'est que partielle et progressive, ce qui favorise la solubilité des sels peu solubles dans l'eau, et par conséquent une augmentation de la salinité des eaux filtrées. La seconde partie peut être justifiée par la transformation de la matière organique, de sa forme dissoute à la forme minérale, notamment les composés azotés et phosphorés [28].

Malgré cette forte élimination des sels solubles, nous avons noté que la totalité des sels éliminés durant les huit premiers jours est de 11,73 g, ce qui signifie que le sable contient aussi des sels moins solubles, leur solubilité évolue en fonction du temps.

L'objectif visé par ce travail est le suivi de l'évolution de la salinité, pour élucider son impact sur l'opération de la filtration, car la salinité des eaux filtrées pose un problème du point de vue rendement épuratoire engendré par certaines réactions chimiques au cours de la filtration, ce qui est confirmé dans la littérature [7].

Enfin, après huit jours de fonctionnement, la salinité des eaux filtrées se stabilise autour d'une valeur plus ou moins constante, à ce stade on peut commencer les analyses physico-chimiques afin de pouvoir évaluer correctement les différents paramètres qualitatifs.

V. 1. 3. Détermination de la Demande Chimique en Oxygène (DCO):

La mesure DCO nécessite une précision élevée, à cause de la sensibilité des solutions utilisées et les erreurs de l'expérimentation qui peuvent être commises lors de la prise d'essai des eaux à analyser, ou bien des volumes des solutions utilisées car ce sont des quantités assez petites. La mesure de l'oxygène emprunté à un oxydant dans les conditions standards, par un échantillon, permet d'apprécier la teneur en matières oxydables de ce dernier.

La DCO (exprimée en mg d'O₂ consommés par litre) s'obtient en utilisant le bichromate de potassium comme oxydant, à 140-150 °C, en présence d'acide sulfurique pendant 2 heures.

Les campagnes de mesures sont effectuées d'une façon hebdomadaire, la mesure de la DCO est effectuée par la méthode titrimétrique [7], la technique de mesure est citée dans l'annexe № 6.

La DCO des usées est varié entre 153,6 et 246 mg o₂/l, par contre celle des eaux filtrées est variée entre 24 et 120 mgo₂/l.

Nous avons calculé les rendements d'élimination de la DCO par la relation (V-3):

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{DCO}_{\text{eau usée}} - \text{DCO}_{\text{eau filtrée}}}{\text{DCO}_{\text{eau usée}}} \cdot 100 \dots \dots \dots (\text{V-3})$$

Les résultats obtenus sont illustrés par la figure (V-3).

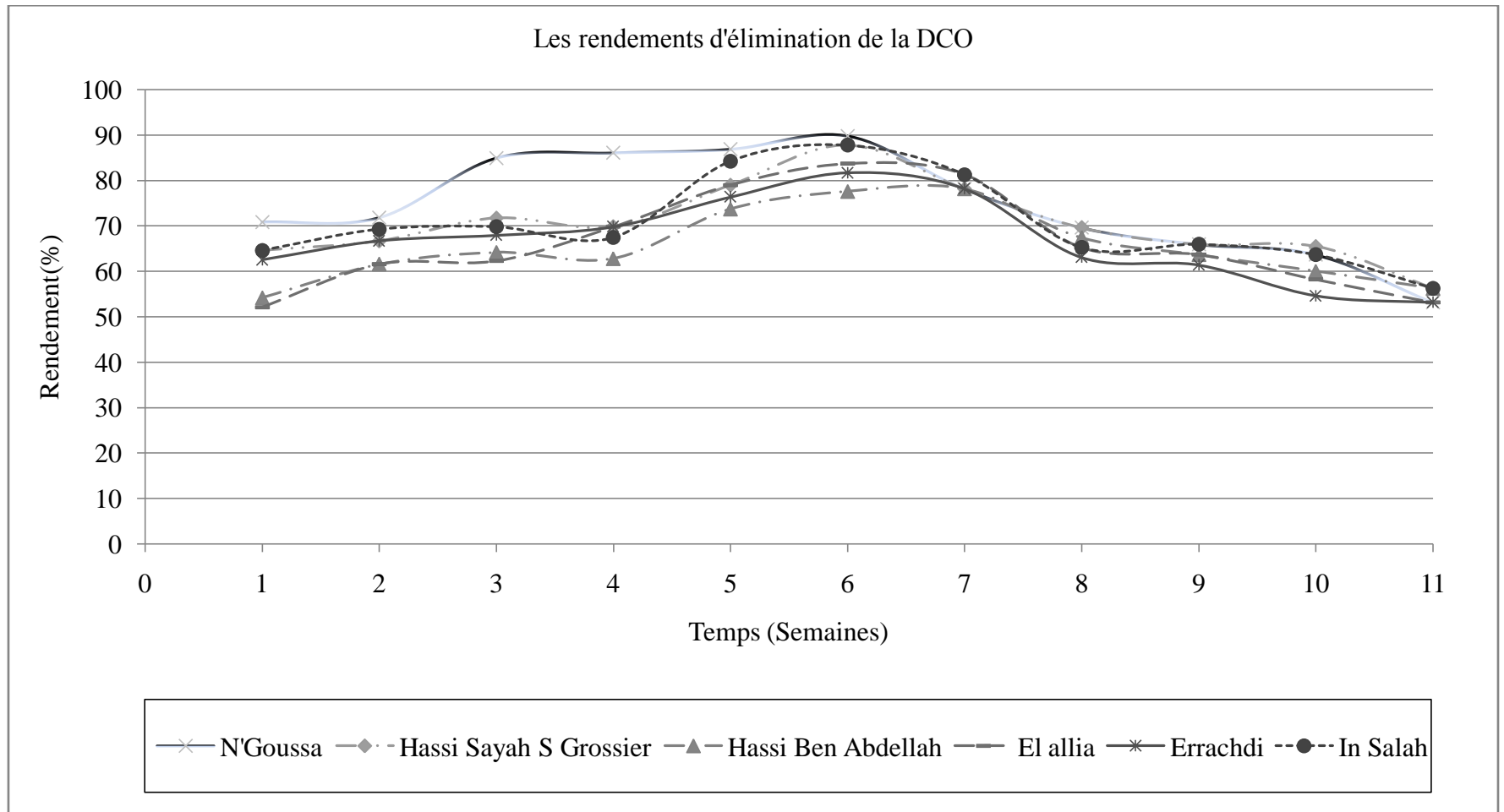


Figure V-3: la variation des rendements d'élimination de la DCO en fonction du temps (les carrières).

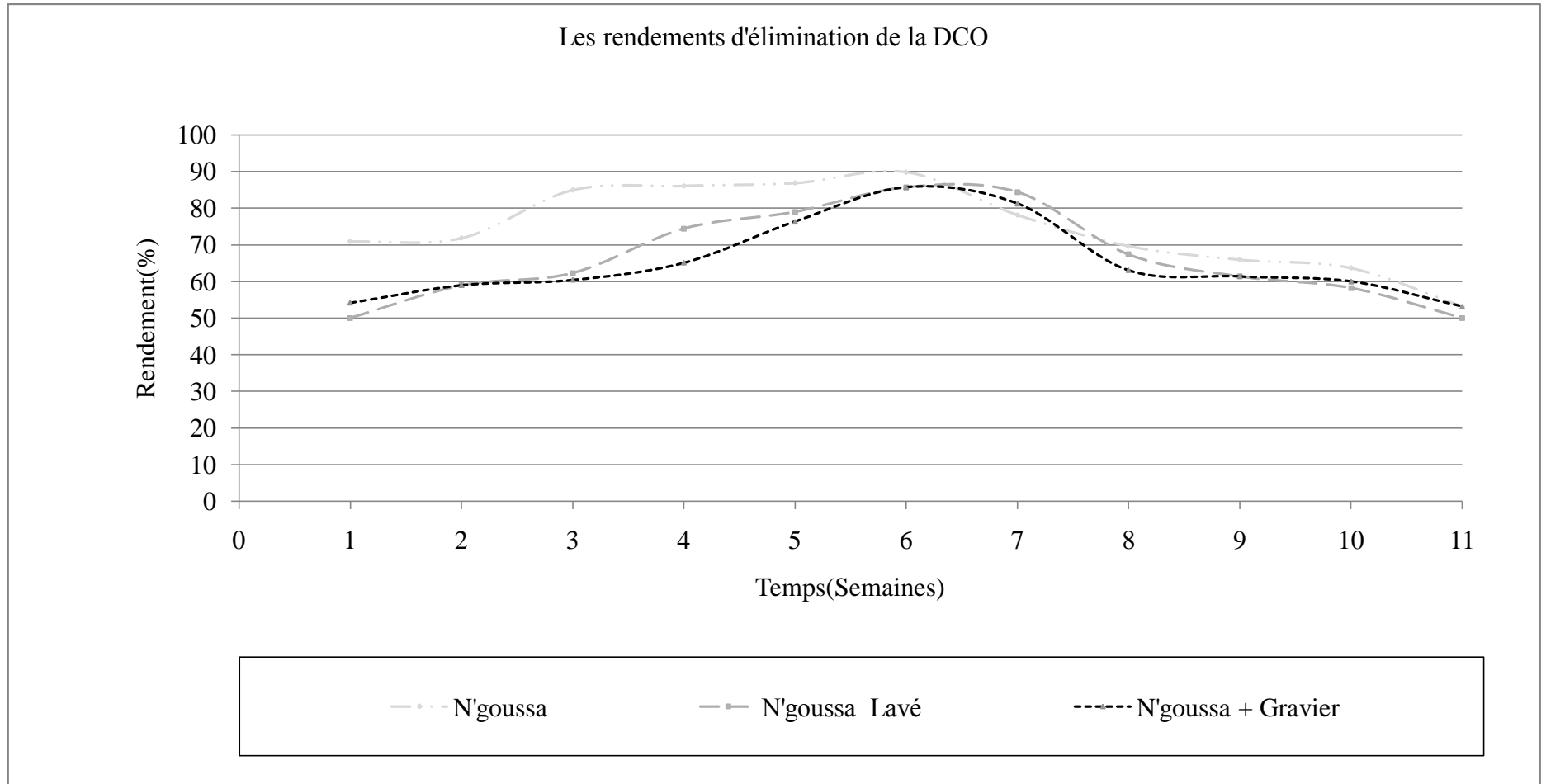


Figure V-4: la variation des rendements d'élimination de la DCO en fonction du temps (N'Goussa, N'Goussa Lavé et N'Goussa + G ravier).

La forme générale des courbes, (Figures (V-3) et (V-4)), permet de diviser la durée de fonctionnement d'un filtre en trois phases, la première phase se caractérise par des courbes ascendantes de rendements épuratoire sur l'intervalle [0-3^{ème} semaine] c'est la phase de maturation des filtres; mais celui de N'goussa s'étale uniquement sur l'intervalle [1-2^{ème} semaine]. La deuxième phase se caractérise par une stabilisation sur [3-6^{ième} semaine] c'est la phase de fonctionnement normale des filtres. Dans la troisième partie, nous observons une diminution de rendement après la 6^{ème} ou 7^{ème} semaine, c'est une phase d'usure des filtres.

Du début à la fin du fonctionnement du dispositif, tous les filtres conduisent à des rendements épuratoires nettement supérieurs à 50%, ce qui montre l'efficacité assez importante de cette technique de traitement (filtration biologique sur sable).

Au vu des résultats obtenus pour les carrières (Figure V-3), nous remarquons que l'ensemble des rendements des carrières ont des rendements de DCO supérieurs à 52%, formant un faisceau qui converge vers un seul point à la limite de la phase de fatigue des filtres. Toutefois, certaines différences peuvent être observées, elles sont liées aux particularités de chaque filtre. La dominance de la structure fine du sable de In Salah et El allia 99,05 et 68,56% respectivement, peut être ainsi mise en évidence par ces résultats, et engendrer de faibles rendements de la DCO pendant la phase de maturation des filtres, même sur la phase de fonctionnement normale des filtres (cas du sable de In Salah). Mais par contre la dominance de la structure grossière pour les sables de Hassi Ben Abdellah et Errachdi (69,70 et 66,86%), fait apparaître des rendements acceptables.

Concernant le sable de N'goussa et N'goussa lavé (Figure V-4), les courbes de rendements d'élimination de la DCO, montrent que le sable de N'Goussa est meilleur que le sable de N'Goussa lavé, avec un écart important de 20% environs pendant les deux premières phases de fonctionnement (phase de maturation et la phase de bonne fonctionnement); puis cet écart se réduit au cours du temps. Cette différence entre les deux sables, indique que l'opération de lavage influe probablement sur la composition minéralogique du sable, ce qui influe directement sur le réarrangement des grains à l'intérieur du filtre, se traduisant par une augmentation de la porosité de 39% jusqu'à 43%, ce favorise une diminution de rendement de ce filtre par rapport au filtre à sable naturel (voir chapitre caractérisation). Ceci implique un changement de comportement, c'est-à-dire une modification des propriétés physiques et hydrauliques de ce filtre, et par conséquent sur les résultats obtenus, ce qui est constaté par le ralentissement de la maturation de filtre. Enfin, nous observons que l'écart se minimise entre les deux courbes dans la phase de fatigue des filtres, ce qui explique l'apparition de la crevaison de filtre.

Pour le filtre à sable éolien (sable de N'goussa) et le filtre à sable alluvionnaire (sable de Hassi Sayeh), les résultats sont illustrés par la Figure (V-3). Nous constatons que le rendement de DCO avoisine 79,13% dans les six premières semaines pour les deux filtres. Ce rendement diminue ensuite dans les deux dernières semaines, ce qui s'explique par un début de saturation de la couche superficielle. Le rendement de DCO de l'eau filtrée de N'Goussa est supérieur à celui de l'eau filtrée de Hassi Sayah, surtout au début du fonctionnement. Ceci est probablement dû à la granulométrie, car le sable de N'Goussa est plus fin, ce qui favorise la fixation de la matière organique.

Le filtre bicouches « Gravier + N'goussa » (figure V-4), conduit à des rendements assez faibles, variant de 53,13 à 85,7% ; la couche du gravier joue le rôle d'un pré-filtre, mais favorise une vitesse d'infiltration très élevée. En outre, la formation du film biologique n'est obtenue qu'à basses vitesses, et par conséquent, la circulation 'facile', des particules fines, laisse apparaître des accumulations sur la couche du sable (hauteur de 30 cm), provoquant la fatigue hâtive de ce modèle de filtration.

Conformément à la littérature [27], nous obtenons le pic de la phase de fonctionnement normale des filtres lorsque des valeurs maximales de rendements sont obtenues (dans l'intervalle 6-7^{ème} semaine) qui résultent de la prolifération de la biomasse.

Les rendements d'élimination de la DCO commencent à diminuer dans l'intervalle [7-11^{ème} semaine], cette décroissance accompagnée d'une fragilité des filtres indique le stade de fatigue des filtres. Ceci illustre l'apparition du phénomène de colmatage des filtres [13] et [14].

Notons enfin, bien qu'une stagnation d'eau à la surface des filtres fait son apparition, le rendement épuratoire reste acceptable (50%) pour tous les filtres jusqu'à la fin du fonctionnement. Ceci traduit l'efficacité de la technique d'épuration utilisée [9].

V-1- 4 Détermination de la Demande Biologique en Oxygène (DBO₅):

La demande biochimique en oxygène (DBO₅) 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 ; (la technique de mesure est décrite en annexe N°7). Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau V-8.

Nous constatons que les allures de l'abattement de la DBO₅ (figure V-5) suivent presque les mêmes allures que la DCO mais avec des valeurs plus importantes. Ceci est justifié par la qualité d'eau épurée, et la technique de traitement utilisée (traitement biologique d'un effluent domestique).

Tableau V-8: les valeurs de la DBO₅ en (mg/l).

SABLE	Semaine									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eau Usée	100	90	110	70	90	110	60	110	110	150
N'Goussa	18	15	10	8	8	10	10	18	20	30
Hassi Sayeh SG	24	20	20	14	12	12	10	20	22	32
In Salah	32	22	26	18	20	16	12	22	30	42
El-allia	28	20	26	16	16	16	10	24	26	36
Hassi Ben Abdellah	28	18	22	16	14	12	10	20	32	44

Le rendement épuratoire est calculé selon la formule suivante:

$$Rendement(\%) = \frac{DBO \text{ eau usée} - DBO \text{ eau filtré}}{DBO \text{ eau usée}} \cdot 100 \dots \dots \dots (V- 4)$$

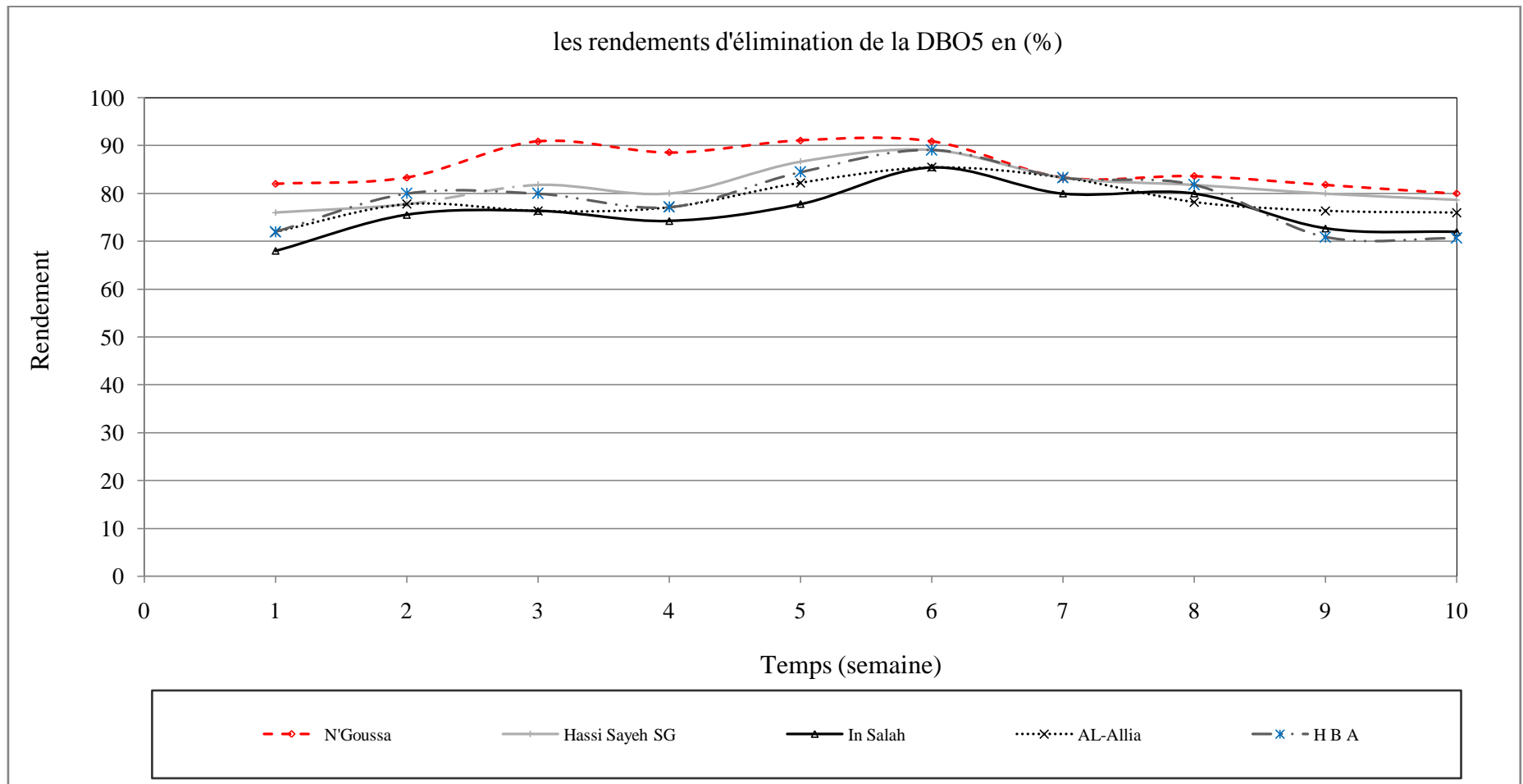


Figure VI- 5: la variation des rendements de la DBO₅ en fonction du temps.

Dans la première semaine, les valeurs de la DBO₅ atteignent des valeurs remarquables de 90,9, 81,8 et 72,7 % pour les eaux filtrées de N'Goussa, Hassi Sayeh et In Salah successivement.

A la 2^{ème} semaine toutes les eaux filtrées des différents dispositifs possèdent quasiment les mêmes valeurs de DBO₅, à l'exception de celles de El allia.

Les rendements maximaux de la DBO₅ apparaissent dans l'intervalle [6- 8^{ème} semaine] avec un rendement maximal de 96,7 % c'est la phase de fonctionnement normale des filtres.

Au-delà de cet intervalle, les rendements d'élimination de la DBO₅ commencent à diminuer, s'accompagnant d'une fragilité des filtres, c'est la phase de fatigue des filtres.

A signaler le bon rendement épuratoire du filtre à sable de N'Goussa (commençant par 83%), qui atteint au bout de 2 semaines de fonctionnement une valeur de 90% et reste pratiquement constante sur 3 semaines de fonctionnement, puis diminue et se stabilise à 80% durant les 4 semaines restantes.

Pour le sable éolien (N'Goussa) et le sable alluvionnaire (Hassi Sayah), nous constatons que la valeur du rendement atteint dans les trois premières semaines une valeur maximale de 95,83 % et 91,67 % respectivement, puis se stabilise dans les quatre semaines suivantes autour de 91,25 % pour N'Goussa et de 91,11 % pour Hassi Sayah (saturation du filtre). Ce qui est confirmé par les travaux de **(Genin et al ., 1989)**, qui ont constaté une maturation du filtre après plusieurs heures de mise en service du matériau filtrant. Il se forme dans les couches supérieures du sable une accumulation de particules organiques et minérales dans laquelle règne une vie biologique intense (biomasse), cette association biologique recouvre les grains de sable ; c'est la formation d'un biofilm qui permet une épuration très poussée. Enfin, nous observons une rapide diminution dans la septième semaine, s'expliquant par une période de lyse cellulaire.

La biodégradabilité est un phénomène complexe qui concerne toutes les transformations des polluants dans l'eau sous l'action de micro-organismes. La valeur du rapport DCO/DBO₅ de l'effluent utilisé, nous permet d'enregistrer un coefficient de biodégradabilité qui est compris entre 3 et 4, dans la majorité des cas, ce qui montre une faible biodégradabilité de l'effluent. La propriété de ce dernier est justifiée par la portion des eaux usées rejetée par les laboratoires, leur composition chimique influence sur la totalité d'eaux usées, et par conséquent, réduit la biodégradabilité de l'effluent.

VI-1-5. Le Colmatage:

Le colmatage des filtres est dû à l'accumulation progressive de la matière organique dans le filtre [9] et [14]. Pour l'illustration de ce phénomène, nous avons utilisé les résultats de la DCO et de la DBO₅ (tableaux (VI-7) et (VI-8)).

La quantité de la matière organique retenue par le filtre a été déterminée selon les relations suivantes:

$$\text{La masse de MO}_{\text{DCO}} = \text{DCO}_{\text{EU}} \times V_{\text{E}} - \text{DCO}_{\text{EF}} \times V_{\text{S}} \dots\dots\dots (\text{VI-5})$$

$$\text{La masse de MO}_{\text{DBO5}} = \text{DBO}_{5\text{EU}} \times V_{\text{EU}} - \text{DBO}_{5\text{ES}} \times V_{\text{ES}} \dots\dots\dots (\text{VI-6})$$

Avec :

MO_{DCO} : la matière organique donnée par la DCO;

MO_{DBO5} : la matière organique donnée par la DBO₅;

DCO_{EU}: demande chimique en oxygène des eaux usées;

DCO_{EF} : demande chimique en oxygène des eaux filtrées;

DBO_{5EU}: demande biochimique en oxygène des eaux usées;

DBO_{5EF}: demande biochimique en oxygène des eaux filtrées;

V_{EU} : volume d'eaux usées entrant dans le filtre;

V_{ES} : volume d'eaux filtrées sortant du filtre;

Les résultats obtenus sont représentés dans les tableaux (VI-9) et (VI-10), à travers les résultats présentés dans ces tableaux nous avons présenté les cumules des dépôts de la matière organique correspondant à la DCO et à la DBO₅ par les graphes représentés par les figures (VI-6) et (VI-7).

Tableau VI-9: la quantité de la matière organique retenue par le filtre correspond à la DCO.

SABLE	La quantité de la matière organique retenue par le filtre correspond à DCO										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
N'Goussa	17.28	14.23	22.87	18.80	16.77	22.36	12.70	16.26	14.74	17.78	8.64
N'Goussa Lavé	12.20	11.69	16.77	16.26	15.24	21.34	13.72	15.75	13.72	16.26	8.13
Hassi Sayeh SG	15.75	13.21	19.31	15.24	15.24	21.85	12.70	16.26	14.74	18.29	9.15
Hassi Ben Abdellah	15.24	13.21	18.29	15.24	14.74	20.33	12.70	14.74	13.72	15.24	8.64
El-Allia	12.70	12.20	16.77	15.24	15.24	20.83	13.21	15.24	14.23	16.26	8.64
Errachdi	15.75	13.72	18.80	14.74	16.26	21.85	13.21	15.24	14.74	17.78	9.15
In Salah	13.21	12.20	17.28	13.72	14.23	19.31	12.70	15.75	14.23	16.77	9.15

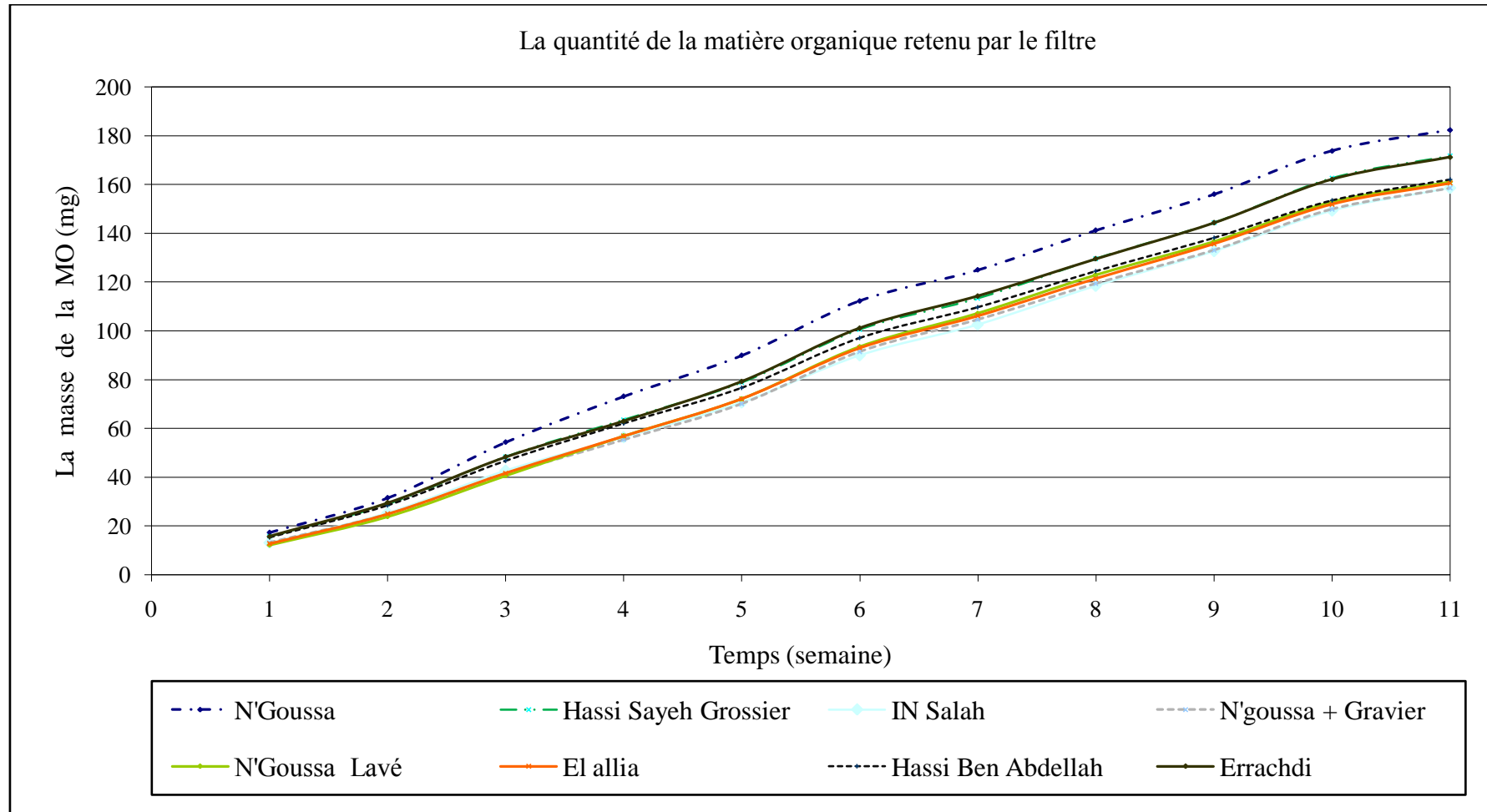


Figure VI-6: la quantité de la matière organique retenue par le filtre correspond à la DCO.

Tableau VI-10: la quantité de la matière organique retenue par le filtre correspond à la DBO₅.

SABLE	La quantité de la matière organique retenue par le filtre (mg).									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N'Goussa	8.68	16.62	27.21	33.77	42.45	53.04	58.33	68.07	77.60	90.30
Hassi Sayeh SG	8.05	15.46	24.98	30.91	39.17	49.54	54.84	64.36	73.68	86.17
Hassi Ben Abdellah	7.62	15.24	24.56	30.28	38.32	48.70	53.99	63.52	71.77	82.99
El-Allia	7.62	15.03	23.92	29.64	37.47	47.43	52.72	61.82	70.71	82.78
In Salah	7.20	14.40	23.29	28.79	36.20	46.15	51.24	60.55	69.02	80.45

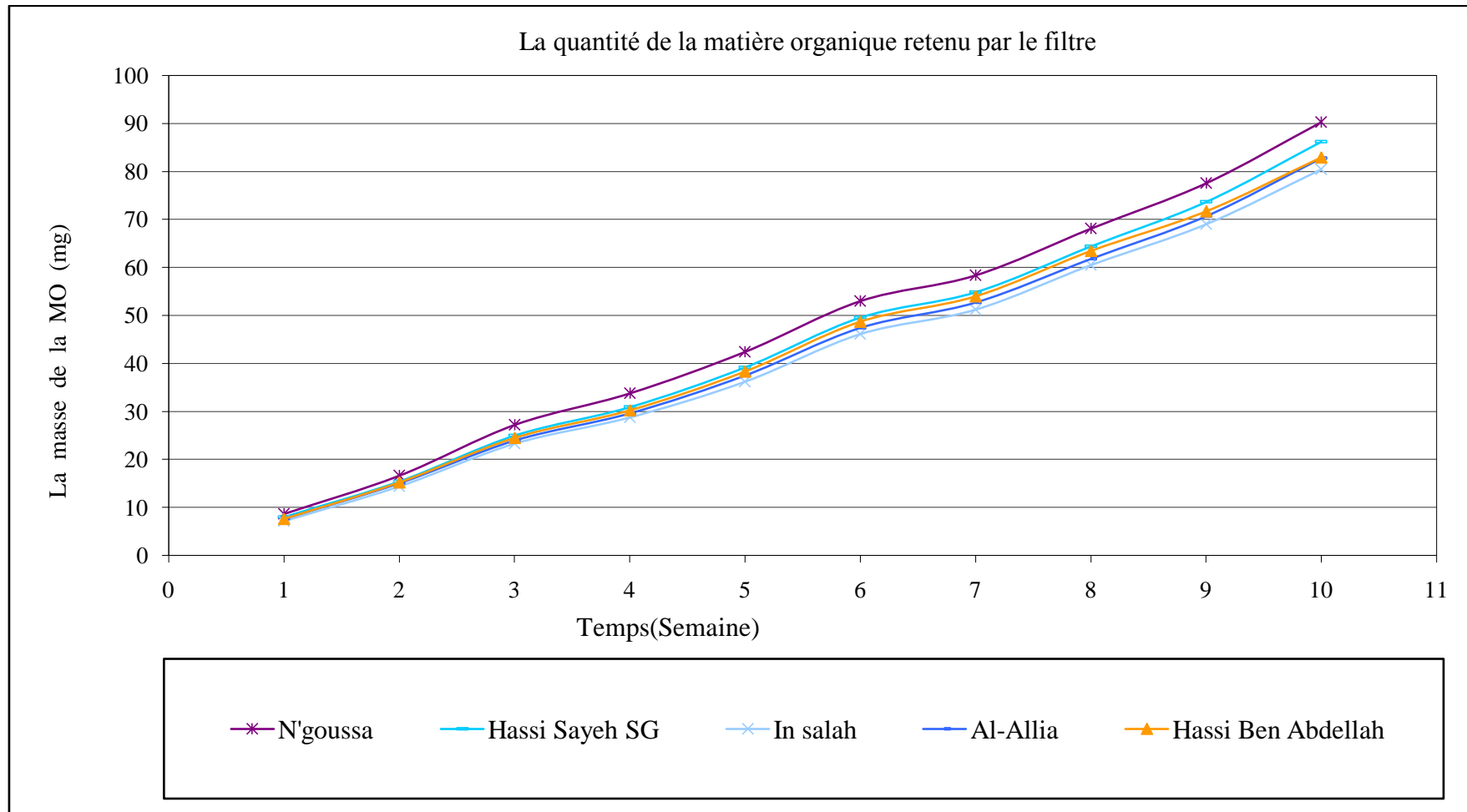


Figure VI- 7: La quantité de la matière organique retenue par le filtre correspond à la BDO₅.

Dans cette étude, nous avons mis en exergue le colmatage chimique, il est dû à la rétention de la matière organique correspondant aux paramètres mesurés tels que la DCO et la DBO₅.

Les figures (VI- 6) et (VI- 7) montrent l'évolution du colmatage en fonction du temps de fonctionnement, les courbes prennent des allures plus ou moins linéaires avec une pente positive, avec un même point de départ reflétant le taux initial de la matière organique (quantité négligeable pour la totalité des sables). Nous observons ensuite une divergence de ces courbes, montrant la différence entre les filtres en termes surtout de la porosité et de la granulométrie des divers sables étudiés.

Bien entendu, l'importance du colmatage va régir la porosité libre à l'air et à l'eau libre, conduisant à modifier les vitesses d'écoulement et de transfert d'oxygène au sein du massif, donc il est permis d'augmenter les temps de contact du triptyque (eau-gaz-biofilm), indispensable à une bonne dégradation des polluants, il doit être limité pour maintenir des conditions de perméabilité et d'oxydation nécessaires à pour le bon fonctionnement normal des filtres.

La dominance de la structure fine du sable d'In Salah et El allia 99,05 et 68,56 % respectivement, et la hauteur 30 cm de sable pour le filtre bicouches (hauteur insuffisante) [29], permet de mettre en évidence la favorisation de la rétention de la matière organique justifiée par les résultats obtenus, et par conséquent un accroissement rapide du phénomène de colmatage, notamment pour le sable de N'goussa.

Nous constatons aussi que l'ordre de ces courbes est le même que celui obtenu pour la DCO et la DBO₅ des eaux filtrées (figures (VI-4) et (VI-5)). Ce qui est conforme aux résultats obtenus engendrant le colmatage.

Par ailleurs, nous observons une évolution de la rétention de la matière organique se jusqu'au colmatage total du filtre, ce stade correspond à l'apparition de la lame d'eau stagnante à la surface des filtres à partir de 7 et la 8^{ème} semaine, accompagné par une réduction de performance épuratoire.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]**Satin M. et Selmi B. 1999:** Guide technique de l'assainissement, Edition le Moniteur Paris
- [2]**Badia G. 2003:** L'assainissement des eaux usées, Edition Techni-Cités.
- [3]**Rejsek F. 2002:** Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques, Edition Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine France
- [4]**Claude Gros C. 1999:** L'eau usage et pollution (tome 2), Institut Nationale de la Recherche Agronomique.
- [5]**Claude C., 1999:** Les traitements de l'eau, Edition ellipses.
- [6]**Dégremont, 1989:** Mémento technique de l'eau, Edition de cinquanteenaire.
- [7]**Rodier J. 1996,** analyse de l'eau, Edition Doin.
- [8]**Colomb R. 1989:** Hydraulique urbaine, Edition Eyrolles Paris.
- [9] **Gougoussis C. 1979:** Assainissement individuel et aptitude des sols a l'élimination et a l'épuration des effluents domestiques, Edition Institut national polytechnique de lorraine.
- [10] **Disjardind R. 1997:** Le traitement des eaux, Edition de l'école polytechnique de Montréal.
- [11] **Nur M. 1996:** Optimization of slow sand filtration, 22nd WEDC Conference Reaching The Unreached: Challenges For 21st Century, New Delhi, India
- [12] **De Marsily G. 1994: Hydrogéologie** : comprendre et estimer les écoulements souterrains et le transport des polluants, Edition Ecole de mines de Paris
- [13] **Rodgers M. 2004:** Surface clogging in an intermittent stratified sand filter, Soil. Sci. Soc. Am, Vol. 68, 1827-1832
- [14]**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
- [15]**Musy A. et Soutter M. 1991:** Physique du sol, Presse polytechnique et universitaires romandes
- [16]**Castany G. 1982:** Principes et méthodes de l'hydrogéologie, Edition Bordas Paris
- [17]**Lancastre A. 1996:** Hydraulique générale, Edition Eyrolles Paris

- [18] **Aubert G. 1978:** Méthodes d'analyse des sols, Edition centre régional de documentation pédagogique de Marseille
- [19] **Schneebeil G. 1987:** Hydraulique souterraine, Edition Eyrolles Paris
- [20] **Baize D. 2000:** Guide des analyses en pédologie, Edition INRA éditions paris
- [21] **Ould Baba Sy M. 2005:** Recharge et paleorecharge du système aquifère du Sahara septentrional, Thèse de Doctorat.
- [22] **Tabouche N et Achour S.2004 :** Étude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien, Edition CRSTRA.
- [23] **Clément M et Françoise P 2003 :** Analyse chimique des sols, Edition Lavoisier.
- [24] **Robitaille V et Tremblay D 1997:** Mécanique des sols, Edition Modulo.
- [25] **Bouafia A 2002 :** Mécanique des sols appliquée, Edition El Maarifa.
- [26] **Chelghoum .N 1999:**Élément de sable en mécanique des sols, publication de l'université Badji mokhtar –ANNABA.
- [27] **Thomazeau .R 1981:** Station d'épuration « eaux potables eaux usées », Paris.
- [28] **Laurent P. 1999:** Biodegradable organic matter removal in biological filter, Wat. Res. vol. 33, 1387-1398
- [29] **Touil Y. 2009:** Pilot plant for wastewater treatment involving septic pit and biological filtration on sand of dunes of Algerian Sahara, Euromed Desalination
- [30] **Ouali Mohand S. 1996:** Procèdes unitaires biologiques, Edition Office nationale des publications universitaires.
- [31] **Dupont A. 1981:** Hydraulique urbaine (tome 1), Edition Eyrolles Paris.
- [32] **Musy A et Soutter M. 1991:** Physique de sol, Edition presses polytechniques et universitaires romandes.
- [33] **Doggar Ma. 1979 :** Méthode d'analyse des sols salés-alcalins, Edition Département Sciences du Sol, INA Alger, 35p.
- [34] **Duchauffour PH.1965 :** Précis de pédologie. MASSON, Paris 481,

- [35] **Aaron I. 1997:** Experimental techniques for laboratory investigation of clay colloid transport and filtration in a stream with a sand bed, *Water, Air and Soil pollution*, vol. 99, 113-122
- [36] **Auriault J. L. 2000:** Filtration law in rotating porous media, *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 328, 779-784
- [37] **Balean D. 1998:** Transport de masse par convection et diffusion dans un milieu multi poreux, *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 326, 821-826
- [38] **Bonneau M. 1994:** Constituants et propriétés du sol, Masson Paris
- [39] **Bonnin J. 1986:** Hydraulique urbaine appliqué aux agglomérations de petite et moyenne importance, Edition Eyrolles Paris
- [40] **Bowles J. E. 1989:** Physical and geotechnical proprieties of soils, McGraw-Hill Singapore
- [41] **Camuward J. P. 2003:** Le sol, un milieu complexe au pouvoir épurateur limité, ENGREF Paris
- [42] **Cassan M. 1978:** Les essais in situ en mécanique des sols, Edition Eyrolles Paris
- [43] **Cassan M. 1989:** Les essais d'eau dans la reconnaissance des sols, Edition Eyrolles Paris
- [44] **Chabaud S. 2006:** Comparisons of packing materials in on-site wastewater treatment system, *Water practice & technology*, Vol. 1, 1-7
- [45] **Dean Adams V. 1990:** Water & wastewater examination manual, Lewis publishers
- [46] **Dupont A. 1981:** hydraulique urbaine (tome 1) Eyrolles Paris
- [47] **Gballou Y. 1990:** Les méthodes de mesure de la densité apparente, *Cah. ORSTOM*, sér. Pédo. Vol XXV. 423-429
- [48] **Gnagne T. 2002:** Etude des limites de l'épuration par infiltration sur sables des eaux usées fortement chargées en matière oxydables de l'abattoir de Ouagadougou au Burkina Faso, *Sud sciences et technologie*, vol.9, 34-41
- [49] **Hatt B. E. 2005:** Filter media for storm water treatment and recycling: the influence of hydraulic proprieties of flow on pollutant removal^{10th} International Conference on Urban Drainage, Copenhagen / Denmark

- [50] **Heinonen-tanki H. 2003:** Costs of tertiary treatment of municipal wastewater by rapid sand filter with coagulants and UV, *Wat. Sci. and Tech.* vol. 03, 145-152
- [51] **Heller L. 2007:** Association between the concentration of protozoa and surrogates in effluents of the slow sand filtration for water treatment, *Brazilian journal of Microbiology*, vol 38, 337-345
- [52] **Henzel Y. 1999:** Dynamique des écoulements en milieux poreux double échelle, *C. R. acad. Sci. Paris*, t. 327, 1171-1177
- [53] **Huck P.M. 1999:** Development of a framework for quantifying the removal of humic substances by biological filtration, *Wat. Sci. and Tech.* vol. 40, 149-156
- [54] **Jimenez B. 2000:** Sand and synthetic medium filtration of advanced primary treatment effluent from Mexico City, *Wat. Res.* Vol. 34, 473-480
- [55] **Kang Y. W. 2006:** Treatment of turkey processing wastewater with sand filtration, *Bioresource. Tech.* nol. doi. 10.1016
- [56] **Kretzschmar R. 1997:** Experimental determination of colloid deposition rates and collision efficiencies in natural porous media, *Wat. Res. Res.* Vol. 33, 1129-1137
- [57] **Laboratoire de technologie des poudres, 2002:** Caractérisation de la granulométrie laboratoire de technologie des poudres, IMX, EPEL
- [58] **Lakel A. 1998:** Hydrodynamique d'un filtre biologique en système insaturé avec nitrification d'un effluent septique, *Wat. Res.* Vol. 32, 3157-3167
- [60] **Le Tallec X. 1999:** Up flow biological filter: modeling and simulation of filtration, *Wat. Sci. tech.* vol. 39, 79-84
- [61] **Logan J. A. 2001:** Transport and fate of cryptosporidium parvum oocysts in intermittent sand filters, *Wat. Res.* vol 35, 4359-4369
- [62] **Logsdon G. S. 2002:** Slow sand filtration for small water systems, *J. Environ. Eng. Sci.* Vol. 01, 339-348
- [63] **Mackie R. I. 2003:** Filtrate quality from different filter operations, *Acta. Hydrochim. Hydrobiol.* Vol 31, 25-35
- [64] **Mansoor M. 1996:** Sand-based filtration/adsorption media, *J. Water SRT-Aqua* vol. 45, 67-71
- [65] **Maxime N. 2003:** Ecoulement dans les milieux poreux, Université de Provence Marseille

- [66] **Nath Barman R. 2008:** Estimation of a relationship between dispersion number, Reynolds number, porosity and hydraulic gradient in horizontal roughing filter, Journal of agricultural, food, and environmental sciences, vol 2, 1934-235
- [67] **Olanczuk-neyman K. 2000:** The role of physico-chemical and biological processes in manganese and ammonia nitrogen removal from groundwater, Polish journal of environmental studies, vol. 9, 91-96
- [68] **Québec, 2006:**Filtration multi stage MS filtre INC comité sur les technologies de traitement de l'eau potable
- [69] **Rooklidge S. J. 2005:** Modeling antimicrobial contaminant removal in slow sand filtration, Wat. Res. Vol 39, 331-339
- [70] **Rustinge H. 2005:** Planted soil filters for wastewater treatment according to new germane guideline international meeting on phytodepuration, Spain
- [71] **Stephen A. 1982:** Fate of virus in wastewater applied to slow-infiltration land treatment systems Applied Environmental Microbiology, Vol. 44, 383-394
- [72] **Tzanakakis V.E. 2007:** Performance of slow rate systems for treatment, Wat. Sci. and tech. vol. 55, 139-147
- [73] **Valiron F. 1994:** Mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement (tome 2), Edition Lavoisier
- [74] **Van Cuyk S. 2001:** Hydraulic and purification behaviors and their interactions during wastewater treatment in soil infiltration systems, Wat. Res. Vol. 35, 953-964
- [75] **Vega E. 2003:** Transport and survival of bacterial and viral tracers through submerged-flow constructed wetland and sand filter system, Bioresource Tech. vol. 89, 49-56
- [76] **Way C. 2002:** Slow sand filtration within rainwater tanks, Edition Engineering department university of Warwick
- [77] **Williams C. J. 1998:** An investigation of the biological fouling in the filtration of sea, Wat. Sci. Tech, vol. 38, 309-316
- [78] **R. S. Ayers et D. w. Westcot 1988:** La qualité de l'eau en agriculture, organisation des nation union pour l'alimentation en agriculture.

Conclusion générale

Le travail exposé dans ce mémoire, nous a permis de contribuer à la réalisation du projet intitulé " mise au point d'un site expérimental de traitement des eaux usées dans la région de Ouargla" inscrit dans l'un des axes de recherche du laboratoire de biogéochimie des milieux désertiques.

L'utilisation des sables de dune permet de résoudre le problème des eaux usées sans recours à des techniques très coûteuses et qui nécessitent des moyens de gestion très importantes.

L'un des principaux résultats obtenus dans notre travail est la sélection du meilleur sable conduisant au meilleur rendement épuratoire. Il s'agit du sable de N'Goussa comparativement à ceux investis et provenant de diverses carrières de notre vaste Sahara.

La recherche du modèle régissant le phénomène de la filtration biologique, repose sur la maîtrise des différents processus d'une part, et la connaissance des relations entre les paramètres qui ont une influence sur ce phénomène, Cette relation est d'autant plus complexe que le nombre de paramètres est important.

La construction, ou le développement d'un modèle nécessite une compréhension assez profonde afin de formuler les différentes hypothèses pour une bonne optimisation. Dans ce contexte nous sommes arrivés à conclure que la granulométrie est un paramètre très important qui peut être considéré comme le cœur du modèle.

Comme tout travail de laboratoire, nous recommandons une continuité de ce travail en prenant en considérations les points suivants :

- Rechercher l'influence de chaque paramètre physico-chimique et bactériologique sur le rendement épuratoire.
- Caractérisation plus complète des sables.
- Faire une extension d'études de filtration sur d'autres sables.
- Envisager l'adjonction d'un autre procédé au support de filtration afin d'améliorer la qualité d'eau pour une meilleure désinfection des germes restants après filtration.
- Ne plus s'investir sur sables fins.

Enfin, nous préconisons d'exploiter nos modestes résultats pour une meilleure rationalisation et une meilleure gestion des stations d'épuration des filtres à sable.

I. Les Méthodes de Mesure:

Annexe N°1:Analyse granulométrique par tamisage;

Se fait avec un échantillon représentatif de sol comme suit :

- Peser une quantité du sable de 200g préalablement débarrassé de toute humidité.
- Ces échantillons sont placés sur une série de tamis et sont classés par ordre décroissant selon les mailles du tamis.
- Pour favoriser le tamisage, faire vibrer la série des tamis, en évitant les vibrations violentes.
- peser la quantité de sable retenu par chaque tamis.
- Calculer le pourcentage qui traverse chaque tamis puis en déduire le pourcentage cumulatif retenu.
- Tracer sur papier logarithmique la variation du pourcentage de l'échantillon en fonction du diamètre des mailles des tamis.

Annexe N°2:Analyse granulométrique par sédimentation;(Méthode internationale, modifiée par l'emploi de la pipette de Robinson):

Mode opératoire:

1- Destruction de la matière organique:

- Mettre dans un bécher de 600ml de volume une quantité de 20g de sable tamisée au travers un tamis de mailles carrées de 2mm de côté;
- Verser dans le bécher 50ml d'eau oxygénée à 20 volumes davantage pour une teneur élevée en matière organique;
- Mettre le bécher sur le bain de sable dont la température de 85 °C (24 à 48heurs), si on a une apparition des effervescences, faire descendre la mousse en ajoutant quelques gouttes de l'alcool éthylique;
- Après l'élimination de l'eau oxygénée par chauffage de deux heures enivrant, on laisse refroidir le bécher;
- Verser dans le flacon 10ml d'héxamétaphosphate de sodium (100g par litre) qui est a pour rôle de disperser les particules qui ont tendance à s'agglomérer;
- Compléter avec l'eau distillée jusqu'à 100 ml, puis agiter le flacon durant 1 heure au moins, sur l'agitateur mécanique.
- Porter le flacon à la proximité de la pipette de Robinson qui doit être placé dans une pièce à température constante.

2-Prélèvement des fractions des argileuses et limoneuses:

a) Prélèvement des argiles, des limons fins, des limons grossiers (particules inférieures à 50 microns):

-Mettre le flacon. Si la température indiquée est égale à 20°C, sortir le flacon; l'agiter immédiatement et violemment par retournements répétés de manière à mettre en suspension toute la terre.

-Prélever au bout de 46 secondes et à 10 cm de profondeur 20 ml de liquide, puis transvaser les 10 ml et l'eau de rinçage dans une capsule en verre pyrex ou en porcelaine d'une contenance de 30 ml et préalablement tarée.

-Porter la capsule dans une étuve à dessiccation ou sur un bain de sable dont la température est maintenue à 105°C pour éviter toute ébullition et toute perte des sédiments par projection.

-Après évaporation totale, peser la capsule et son contenu sec puis faire la différence avec le poids de capsule vide, déterminer le poids "Palh" de sédiments (argile+limon fin+limon grossier + hexamétophosphate) contenu dans 10 ml de suspension.

b) Prélèvement des argiles et des limons fins (particules inférieures à 20 microns).

-De la même manière effectuer le deuxième prélèvement après 4 minutes 48 secondes pour déterminer le poids "Palfh" de sédiment (argile + limon fin + hexamétophosphate).

c) Prélèvement des argiles (particules inférieures à 2 microns).

-Au bout de 6 heures, 7 heures ou 8 heures on peut effectuer le troisième prélèvement pour déterminer le poids "Pah" de sédiment (argile + hexamétophosphate).

3-Détermination de la surcharge de l'hexamétophosphate de sodium:

-Prendre un flacon de 1000 ml ou une éprouvette graduée de 1000 ml.

-Verser 10 ml d'hexamétophosphate de sodium, compléter avec de l'eau distillée à 100ml

-Agiter, puis faire un prélèvement à la pipette de Robinson comme précédemment, Transvaser le prélèvement dans une capsule et son contenu sec.

-Déterminer comme précédemment le poids de l'hexamétophosphate contenu dans 10 ml de suspension.

4-Calcul des quantités d'argile, de limon fin et de limon grossier:

- Le poids d'argile désigné par (Pa) : $Pa = Pah - Ph$
- Le poids de limon fin désigné par (Plf) : $Plf = Palfh - Pah$
- Le poids de limon grossier désigné par (Plg) : $Plg = Palh - Palfh$

5-Fractionnement des sables:

- Faire couler le contenu de flacon sur deux tamis de 200 microns et 50 microns superposés et à l'aide d'un jet d'une pissette contenant de l'eau distillée terminer le rinçage des sédiments tout en recueillant les sables fins et les sables grossiers, séparément dans deux capsules préalablement tarées.
- Après le séchage des capsules à l'étuve, faire la différence avec les poids vides, déterminer les poids de sables fins et de sables grossier contenant dans la prise d'essai.
- Exprimer les résultats en (%).

Annexe №3:Détermination de la densité apparente;

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

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

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

Avec :

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

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

V_a : volume de cylindre (cm^3).

Annexe №4: Détermination de la densité réelle;

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

Matériel

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

Mode opératoire :

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

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

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

Remarque:

Pour notre cas, nous avons utilisé le liquide organique non polaire tel que le tétrachlorure de carbone (CCl_4), dont la forme permet de pénétrer à la microporosité entre les grains du sable d'une part, et d'éviter la dissociation des sels solubles existants car c'est un liquide inerte.

Annexe N°5: Détermination de la demande biochimique en oxygène (DBO);

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

Mode opératoire :

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

Expression et résultat :

- Lire la valeur affichée sur le DBO mètre.
- Multiplier cette valeur par un coefficient selon le volume (V) introduit.

Exemple :

Selon la concentration de l'eau à analyser :

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

Annexe N°6: Détermination de la demande chimique en oxygène (DCO);

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires définies. On effectue la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quelque soit leurs origines organiques ou minérales (fer ferreux, nitrites, ammonium, sulfate et chlorures).

Principe:

L'oxydation est réalisée par un excès de dichromate de potassium en milieu acide, à ébullition sous reflux pendant 2 heures et en présence de catalyseurs (sulfates d'argent et de mercure). L'oxygène consommé (en mg/l) est calculé après détermination de l'excès de dichromate par titration avec du sulfate de fer et d'ammonium. **(CIRAD; 2004)**

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.
- Mettre le mélange sous une température de 148°C pendant 2 heures.
- Laisser le mélange se refroidir, diluer à 75ml avec de l'eau distillée.
- Ajouter quelques gouttes de solution de féroïenne.
- Déterminer la quantité nécessaire de solution de sulfate de fer et d'ammonium par titrage de la solution, le point de virage est de couleur rouge violet.

Expression des résultats :

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

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

Avec :

- V0 : volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire au dosage (ml).
- V1: volume de sulfate de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml).
- T : titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium T= 0,12;
- V : volume de la prise d'essai.

Annexe N°7: Détermination de la matière organique (méthode Anne);**Le principe :**

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

Mode opératoire :

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

Expression des résultats

- Soit « X » le volume en ml de solution de Mohr versée dans l'essai à blanc.
- Soit « Y » le volume en ml de solution de Mohr versée.- La différence $(X - Y)$ donne la quantité en ml de solution de Mohr à 0,2N correspond à une même quantité de bichromate à 0,2N ayant oxydée le carbone organique.
- Le produit $(X - Y) \times 0.615$ permet d'obtenir le poids C en mg contenu dans les 20 ou 10ml de solution dosée.
- Le poids contenu dans la prise d'essai égale à $(X - Y) \times 0.615 \times (5 \text{ ou } 10) \dots \dots \text{mg}$.
- La matière organique est donnée par : $\text{MO \%} = \%C \times 1,72$

Remarque :

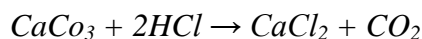
- Pour les sols pauvres en matière organique, on prend 1g de sol comme échantillon.
- Pour les sols riches en matière organique, on prend 0,5g de sol comme échantillon.
- Pour notre travail on a pris 1g de sol à l'état naturel.

Annexe N°8: Dosage du calcaire total (norme internationale ISO 10693:1995);
(Méthode gazométrique: CALCIMETRE DE BERNARD)

Le Principe:

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

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

**Mode opératoire :****Essai témoin Etalonnage de l'appareil**

Introduire 0.3g de CaCO_3 pur et sec au fond de l'erlenmeyer et mouiller par quelques gouttes d'eau distillée.

- Mettre 5ml d'Hcl 6N à l'aide d'une petite éprouvette dans le petite tube et le en place en dans l'erlenmeyer en faisant attention que l'acide ne coule pas.
- Boucher convenablement l'erlenmeyer en le raccordant au calcimètre, la pince étant ouverte, ajuster la position de l'ampoule mobile jusqu'à ce que le niveau du liquide coloré soit au niveau zéro dans la colonne graduée.

- Maintenir l'ampoule à ce niveau, fermer la pince et l'erlenmeyer de manière à répondre l'HCl sur CaCO₃.
- Agiter calmement l'erlenmeyer pour favoriser la réaction.
- Le CO₂ se dégage et comprime le niveau du liquide coloré dans la colonne.
- Abaisser l'ampoule mobile pour suivre la dénivellation dans la colonne.
- Une fois la réaction terminée (fin du bouillonnement) ajuster les niveaux (ampoule t colonne) et noter le volume " y " en ml de CO₂ dégagé.

Dosage de l'échantillon:

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

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

Calcul:

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

Avec:

0,3: la prise d'essai pour le témoin;

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

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

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

Annexe №9:

Tableau de calcul de la minéralisation totale à partir de la conductivité électrique mesurée à 20 °C (Rejsek F. 2002).

Conductivité électrique en µS/cm	Minéralisation en mg/l
<50	Conductivité électrique × 1,365079
Entre 50 et 166	Conductivité électrique × 0,947658
Entre 166 et 333	Conductivité électrique × 0,769574
Entre 333 et 833	Conductivité électrique × 0,715920
Entre 833 et 10 000	Conductivité électrique × 0,758544
>10 000	Conductivité électrique × 0,850432

II) LES PHOTOS:



Photo (1) : Balance de précision



Photo (2) : L'analyse granulométrique



Photo (3) : Montage pour la détermination de la densité réelle



Photo (4): Dispositif d'ébullition



Photo (5) : Le titrage de la DCO



Photo (6): DBO-mètre pour la détermination de la DBO_5



Photo (7) : Le colmatage des filtres