

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE de BLIDA 1

Faculté de Technologie

Département de Génie des Procédés



Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER EN GENIE DES PROCEDES

Spécialité : GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

Intitulé du mémoire

Utilisation d'un media filtrant à base d'argile expansée pour la filtration des eaux potables

Réalisé par :

Boubekeur Houda

Chafai Ouiame

encadré par :

Dr. AOUABED Ali

Année Universitaire **2021/2022**

Remerciements

Je commence par remercier Mon DIEU d'avoir eu la bonté de m'entourer de personnes formidables qui ont, chacune à leur façon, et ce, à différentes étapes de mon cheminement, contribué, d'une manière ou d'une autre, à la réalisation de ce travail.

Je tiens particulièrement à remercier et exprimer toute ma gratitude à Monsieur AOUABED Ali d'avoir été un membre de ce travail de mémoire, pour son encadrement, pour son aide précieuse, pour tous ses efforts, pour les conseils judicieux qu'il m'a donnés et d'une attention toute particulière

Je remercie vivement, Monsieur BADIS Malek, d'avoir fait l'immense honneur de présider le jury de ce travail.

Je témoigne toute ma gratitude à Mme TAOUALIT Nadjet, pour avoir mobilisé leur temps et leur compétence afin de juger ce travail

On voudrait exprimer, à toute nos famille, et plus particulièrement à nos parents nos profond reconnaissance pour leur patience et leur réconfort dans les moments de doutes et de découragements, pour le soutien qu'ils nous ont apporté en toute circonstance. Qu'ils trouvent dans ce travail le témoignage de mon affection. Je ne saurai passer sous silence l'apport inestimable des autres membres de Nos famille (Sœurs et Frères).

Je voudrai remercier toute l'équipe de laboratoire de Génie des procédés, pour leur aide, leur collaboration, leur amitié et les bons moments passés ensemble

Enfin, je rends hommage et j'exprime ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

DEDICACES

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail réalisé grâce à l'aide de dieu tout puissant .

Spécialement à ma mère qui a cru en moi et qui m'a donné les moyens d'aller aussi loin , tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence , la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.

À mon père qui m'a tout appris et s'est tant donné pour me voir aujourd'hui réussir et qui à aucun moment , n'a cessé de m'encourager et me pousser à aller de l'avant .

À mes très chères sœurs et mes chers frères qui ont toujours été là pour me tenir la main et me soutenir dans chaque moment de ma vie , spécialement à ma sœur samiha qui a toujours été à mes côtés .

À ma chère binôme ouiam .

À mes enseignants et mes amis de l'étude, à tout ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicaces de Quiame

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents qui m'ont toujours soutenu aussi bien

Psychologiquement que financièrement

A mon frère et sœur

A toute la famille Chafai

A mon Binôme : Houda

A tous les étudiants avec lesquels j'ai partagé ces longues

années d'études

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin a la

réalisation de ce mémoire

ملخص:

يتم الشرب مياه إنتاج أثناء الترشيح عملية في سيما لا ، المياه معالجة في مبتكر ترشيح وسيط سنستخدم ، المشروع هذا في جزائري صنع من موسع طين من هذا الترشيح وسط على الحصول الترشيح في المستخدمة التقليدية بالرمال مقارنة المزايا من بالعديد المرشح وسائط تتمتع الضغط انخفاض وانخفاض عالية بكفاءة الترشيح دورة بزيادة تسمح أعلى مسامية المرشح وسط كثافة وانخفاض الترشيح دورة بطء بسبب الغسيل مياه استهلاك تقليل موسع الكلمات الرئيسية : طين , الترشيح عملية , الشرب مياه , المياه معالجة مبتكر , ترشيح وسيط

Abstract :

In this project, we are going to use an innovative filter medium in water treatment, particularly in the filtration operation during the production of drinking water. This filter medium is obtained from expanded clay of Algerian manufacture.

The filter media has several advantages over conventional sands used in filtration

- Higher porosity allowing increased filtration cycle with high efficiencies and reduced pressure drop.
- Reduction in the consumption of washing water due to a slower filtration cycle and a lower density of the filter media.

Keywords : innovative filter medium, water treatment, drinking water, filtration, expanded clay.

Résumé :

Dans ce projet, nous allons utiliser un milieu filtrant innovant dans le traitement des eaux notamment dans l'opération de filtration lors de la production d'eau potable. Ce milieu filtrant est obtenu à partir d'argile expansée de fabrication Algérienne.

Le média filtrant présente plusieurs avantages par rapport aux sables classiques utilisés en filtration

- Porosité plus élevée permettant d'augmenter le cycle de filtration avec des efficacités élevées et une réduction de la perte de charge.
- Réduction de la consommation des eaux de lavages de par le faite d'un cycle de filtration plus lent et d'une masse volumique plus faible du média filtrant.

Mots clés : milieu filtrant innovant, traitement des eaux, eau potable, filtration, argile expansée.

Introduction générale	1
Chapitre I : PRESENTAYION DE L'ENTREPRISE D'ARGILE EXPANSEE « ALGEXPAN »	2
Présentation de l'usine « ALGEXPAN »	2
Procédures de fabrication de l'argile expansée	2
L'extraction de l'argile et le stockage :	2
Le concassage, le broyage et le malaxage :	3
Le façonnage :	3
La cuisson :	3
Refroidissement et criblage :	4
Le granulat d'argile expansée :	5
3.2 L'argile expansée et les filtres granulaires :	5
3.3 Les caractéristiques d'argile expansée :	6
3.4 Propriété et avantages d'argile expansée :	6
2.1 Introduction :	7
2.2 L'eau potable :	7
2.3 Qualité des eaux de boisson :	7
2.4 Contrôle de la qualité de l'eau :	7
2.5 Analyse de l'eau potable :	8
2.5.1 Différents types d'analyse de l'eau :	8
2.6 Traitement de l'eau :	8
2.6.1 Les étapes du traitement :	8
Chapitre III : Filtration	12
3.1 La filtration :	12
3.2 Rôle de la filtration :	12
3.3 Types de filtres granulaires :	12
Vitesse de filtration et perte de charge :	12
Granulométrie :	14
Mécanismes de la filtration	14
Mécanisme de capture	14
Mécanisme de fixation	15
Mécanisme de détachement	15
Equation de la perte de charge :	15
Perte de charge dans le lit propre :	15

Perte de charge dans le lit colmaté :	16
Cycles de filtration et perte de charge :	16
Colmatage du milieu filtrant :	17
Application de la Filtralite® comme matériau de filtration :	17
Chapitre IV : Matériel et Méthodes.....	24
4.1 Introduction.....	24
4.2 Dispositif expérimental :	24
4.2.1 Pilote expérimental :	24
4.2.2 Préparation de sable :	25
4.3 Analyse granulométrique :	26
CHAITRE V : Résultats et Discussion	28
Introduction	28
5.1 Matériau filtrant (argile expansé) :	28
5.2 Résultats d'analyse granulométrique :	28
La densité :	30
5.3 Résultats de l'analyse granulométrique des trois sables A, B, C :	37
Conclusion générale :	47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	48
Annexes.....	49

LISTE DES ABREVIATIONS

OMS : L'Organisation mondiale de la Santé

AFNOR : Association Française de Normalisation.

pH : Potentiel d'hydrogène

TE : La taille effective

Cu : Coefficient d'uniformité

ε : la porosité

DBO5 : demande biologique en oxygène sur 5 jours

DCO : Demande chimique en oxygène.

H.A.P : hydrocarbure aromatique polycyclique.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : les limites de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (sauf l'eau en bouteilles). D'après l'annexe I de l'arrêté du 11 janvier 2007.

Tableau 3.1 : composition chimique de la filtration.

Tableau 3.2 : quelques exemples de la filtralite.

Tableau 3.3 : quelques exemples de la filtralite pure.

Tableau 5.1 : poids et ouverture des tamis utilisés.

Tableau 5.2 : analyse granulométrique de Grains de fraction (0.8_1.6) avec une masse de 975 g
Après 30 min de tamisage.

Tableau 5.3 : analyse granulométrique de Grains de fraction (1.6_2.5) avec une masse de 502.7g
Après 30 min de tamisage.

Tableau 5.4 : analyse granulométrique de Grains de fraction (1.6_2) avec une masse de 953.4g
Après 30 min de tamisage.

Tableau 5.5 : analyse granulométrique de Grains de fraction inconnue avec une masse de 1037.1 g
Après 30 min de tamisage.

Tableau 5.6 : Caractéristique physiques de lit filtrant.

Tableau 5.7: Caractéristique physiques de lit filtrant.

Tableau 5.8 : Caractéristique physiques de lit filtrant.

Tableau 5.9 : Caractéristique physiques de lit filtrant.

Tableau 5.10: analyse granulométrique du sable expansé brute A

Tableau 5.11: analyse granulométrique du sable expansé brute A

Tableau 5.12: analyse granulométrique du sable expansé brute B

Tableau 5.13: analyse granulométrique du sable expansé brute B

Tableau 5.14: analyse granulométrique du sable expansé brute C

Tableau 5.14: analyse granulométrique du sable expansé brute C

LISTE DES FIGURES

- Figure 1.1** : photo du site et logo de l'usine de l'argile expansée <ALGEXPAN>.
- Figure 1.2** : extraction de gisement.
- Figure 1.3** : four rotatif.
- Figure 1.4** : les différentes fractions d'argile expansée.
- Figure 2.1** : les différentes étapes du traitement de l'eau.
- Figure 2.2** : processus de coagulation floculation et sédimentation.
- Figure 2.3** : filtre à sable biologique.
- Figure 2.4** : désinfection d'eau potable.
- Figure 2.5** : coupe d'un réservoir.
- Figure 3.1** : mécanisme de capture.
- Figure 3.2** : mécanisme de fixation.
- Figure 3.3** : représentation de l'évolution de la turbidité (a) et de la perte de charge (b) durant la filtration.
- Figure 4.1** : montage de la colonne.
- Figure 4.2** : lavage de sable après le tamisage.
- Figure 4.3** : machine de tamisage.
- Figure 5.1** : distribution granulométrique du sable utilisé.
- Figure 5.2** : distribution granulométrique du sable utilisé.
- Figure 5.3** : distribution granulométrique du sable utilisé.
- Figure 5.4** : distribution granulométrique du sable utilisé.
- Figure 5.5** : graphe présente l'augmentation de hauteur du sable utilisé en fonction de Q.
- Figure 5.6** : graphe présente l'augmentation de hauteur du sable utilisé en fonction de Q.
- Figure 5.7** : graphe présente l'augmentation de hauteur du sable utilisé en fonction de Q.
- Figure 5.8** : graphe présente l'augmentation de hauteur du sable utilisé en fonction de Q.

Introduction générale

L'eau est à l'origine de la vie, Les premières formes de vie sont apparues dans l'eau. Pendant très longtemps, la vie n'a existé que dans l'eau. L'eau a toujours joué un rôle fondamental dans le développement des activités humaines.

L'eau est aussi nécessaire à la propreté corporelle et à l'hygiène publique. Cela pour obtenir de l'eau propre et potable, nous devons suivre les conditions de bonne filtration selon le ministère de la santé mondiale, et c'est ce que nous allons faire dans notre projet.

La filtration sur sable est un procédé indispensable pour le traitement de l'eau potable, elle permet la clarification et l'épuration de l'eau qui contient des matières solides en suspension. Dans notre étude on s'intéresse à l'optimisation de la filtration, à travers le sable, des eaux destinées à la consommation humaine.

L'utilisation de la filtration sur sable, permet à l'eau turbide de traverser un milieu poreux. Lors de ce passage, l'eau entre en contact avec les couches filtrantes ce qui contribue à la rétention des impuretés sur la surface des filtres et entre les interstices des sables également.

L'efficacité de la filtration sur sable dépend de la nature des matériaux filtrants, d'où la nécessité de caractériser les sables en fonction de leur granulométrie, leur morphologie ainsi que leur composition chimique.

Ce travail est structuré en deux parties suivant une introduction générale ;

La première partie de ce mémoire est consacré à l'étude bibliographique sur les eaux potables, des généralités sur les principales propriétés de l'eau, ainsi on détaille le procédé de filtration sur sable (les mécanismes, hydrauliques de la filtration et les caractéristiques physique de lit filtrant (sable)) ;

Dans la deuxième partie, nous décrivons les méthodes expérimentales, le matériel employé, ainsi que le dispositif expérimental utilisées pour réaliser le traitement par filtration sur sable ;

À l'étude expérimentale, nous présentons les différents résultats obtenus lors de la réalisation du traitement de filtration sur sable, l'étude de la granulométrie du lit filtrant a été étudié dans ce chapitre, une analyse physicochimique de l'eau avant et après filtration seront présentiez, ainsi que l'étude de l'effet de certains paramètres sur l'efficacité du traitement par filtration sur sable.

Une conclusion générale ainsi que quelques perspectives seront présentées en fin de ce mémoire.

Chapitre I : PRESENTAYION DE L'ENTREPRISE D'ARGILE EXPANSEE « ALGEXPAN »

1. Présentation de l'usine « ALGEXPAN »

ALGEXPAN est le seul fabricant de granulats d'argile expansée en ALGERIE et détenteur de l'unique gisement d'argile à propriétés d'expansion sur le territoire. L'usine est implantée à Bouinan (Blida) (Figure 1.1). Le granulat est une harmonie de résistance et de légèreté. ALGEXPAN transforme l'argile en pierre poreuse et résistante par un traitement thermique sans additifs. ALGEXPAN extrait 1 m³ d'argile de la nature pour fabriquer 2 à 3 m³ de matériaux de construction. Le produit est à 100 % Algérien. La capacité de production est de 600 m³ par jour.



Figure 1.1 : Photo du site et logo de l'usine de l'argile expansée « ALGEXPAN ».

2. Procédures de fabrication de l'argile expansée

Auparavant, on a déjà connu que l'argile expansée appartient à la famille des matériaux céramiques. Alors, leur fabrication inclut dans l'industrie de céramique, et comme tout genre de céramisation des produits argileux comme les tuileries et les briqueteries, la fabrication de l'argile expansée aussi suit cinq (5) grandes étapes :

2.1 L'extraction de l'argile et le stockage :

L'extraction se fait dans le lieu où on trouve le gisement (l'argile et schiste) en quantité abondante, ces argiles sont ainsi acheminées vers le lieu de stockage en utilisant les différents moyens de transport (Figure 1.2).



Figure 1.2 : Extraction de gisement.

2.2 Le concassage, le broyage et le malaxage :

A ce stade, on diminue la taille du granulat jusqu'à (0.1 ; 0.2 mm), on obtient une farine crue à l'aide des différentes machines comme le concasseur, le broyeur. Après, on ajoute l'eau afin d'obtenir une pâte très homogène.

2.3 Le façonnage :

Dans cette étape, on va donner la forme du produit qu'on voudrait obtenir. Alors, on utilise des moules spéciales en donnant leur forme arrondie dont le diamètre varie entre 10 à 20 mm, S'il n'y en a pas, on fera un petit modelage à main à condition que son diamètre soit obtenu.

2.4 La cuisson :

A cette étape, la bille d'argile crue subit 2 phases bien séparées de cuisson :

La première phase : C'est la phase de préchauffage, on met les billes d'argile crue au four rotatif à 400°C. Cette étape passe nécessairement par la phase de durcissement de l'argile expansée. En effet, elle y prend sa propriété plastique qui est déjà perdue lors de malaxage. En outre, la quantité de l'eau restant dans ce matériau est suffisamment importante pour assurer leur dureté.

La deuxième phase : De plus, cette cuisson se fait dans un four rotatif dont la température tend vers 1200°C pendant (1h30) afin d'obtenir une bille d'argile expansée. Il vaut mieux aussi utiliser un four rotatif pour équilibrer et répartir la cuisson dans toutes leurs surfaces.

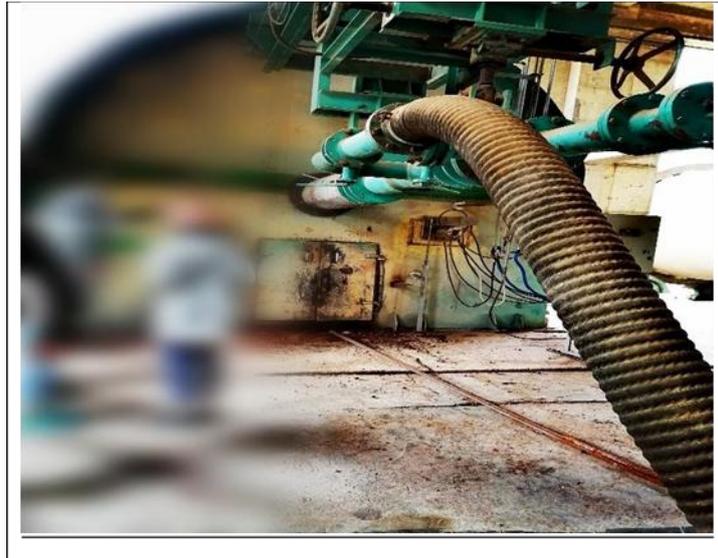


Figure 1.3 : four rotatif

Dans cette étape, il y a une augmentation de volume des grains qui constituent ce matériau et on a diminution des vides. Le matériau devient compact. Ensuite, on a aussi vitrification des surfaces extérieures de ce matériau due à la cristallisation des silices et des alumines vers ses températures de vitrification. On a donc présence des différents dégagements gazeux qui sont piégés à cause de la formation de la structure vitreuse sur leur surface, Les différentes réactions sont explicitées par les équations :



2.5 Refroidissement et criblage :

La période de refroidissement se fait à l'air libre, Cette période suit directement la phase d'expansion de l'argile. Elle empêche ce matériau ainsi obtenu de fondre. On a donc durcissement total de ce matériau qui améliore la propriété mécanique.

Criblage : Après refroidissement, les billes d'argile expansée sont tamisées et criblées à l'aide d'une série des tamis, pour obtenir quatre classes de granulats :

- Classe 0/3 (sable nodulaire).
- Classe 3/8 (petit gravier nodulaire).
- Classe 8/15 (gravier nodulaire).
- Classe 15/25 (grand gravier nodulaire).



Figure 1.4 : Les différentes fractions d'argile expansée.

On obtient un produit léger, dur, à texture cellulaire très marquée dont la masse volumique réelle varie de 750 à 1 200 kg/m³. Après criblage ou éventuellement concassage, les nodules ont, suivant leurs granularités, des masses volumiques apparentes comprises pour la plupart entre 300 et 1 000 kg/m³.

2.5 Le granulat d'argile expansée :

La structure poreuse du granulat et l'écorce céramique qui l'enveloppe lui confèrent la légèreté et la dureté atteignant une résistance élevée à la compression. La surface poreuse et rugueuse du granulat lui permet d'avoir une excellente cohésion avec les liants hydrauliques.

- La masse volumique varie entre 350 à 800 kg/m³.
- La densité des particules entre 900 à 1700 kg/m³.
- La résistance à la compression jusqu'à 12 MPa.
- Le granulat est incombustible Euro classe A1.

2.6 L'argile expansée et les filtres granulaires :

La filtration de l'eau est le procédé de production d'eau potable le plus conventionnel. Les produits d'argile expansée présentent des propriétés idéales en tant que média filtrant à la fois dans des filtres monocouches et bicouches, pour la filtration d'eau brute ou coagulée.

Par rapport aux médias filtrants classiques, l'argile expansée présente une porosité nettement supérieure, qui offre :

- Une perte de charge initiale moindre
- Une augmentation de perte de charge plus lente
- Une plus grande capacité de rétention des particules
- Des débits d'eau pour les rétro lavages plus faibles.

Ces avantages permettent des durées de cycles entre rétro lavages plus longues, ce qui conduit à une réduction de la consommation d'énergie et d'eau, et une augmentation de la capacité de production d'eau potable, avec des coûts plus faibles.

3. Les caractéristiques d'argile expansée :

Grâce à sa porosité unique, le média filtrant offre des conditions optimales d'écoulement de l'eau à travers le lit de filtration, de façon à piéger plus de polluants. Cette caractéristique, particularité des produits à base d'argile expansée, permet de filtrer des volumes d'eau plus importants à travers le même volume de filtration, grâce à une surface de contact accrue.

En remplaçant tout simplement leur média filtrant habituel par les produits d'argile expansée, les usines d'eau potable peuvent augmenter leur production sans avoir à construire de nouvelles infrastructures ni agrandir leurs installations.

4. Propriété et avantages d'argile expansée :

- **Légèreté :**

L'Argile Expansée est un matériau inerte et léger, grâce à sa structure interne très poreuse.

- **Résistance mécanique :**

Grâce à son écorce extérieure clinkerisée compacte et rigide, l'Argile Expansée a une résistance mécanique idéale qui permet la réalisation de mortiers et bétons structurels à haute résistance.

Chapitre II : Généralités sur l'eau potable.

Introduction :

L'eau, très présente sur notre Terre et indispensable à la survie de tout être vivant, animal ou végétal, n'est pas un liquide banal

Elle a des propriétés physiques originales qui résultent de la composition de sa molécule et de la façon dont ces molécules se lient entre elles. On peut la trouver sous trois formes : liquide, solide ou gazeuse. [1]

2.2 L'eau potable :

L'eau potable est une eau que l'on peut boire ou utiliser à des fins domestiques et industrielles sans risque pour la santé. Elle peut être distribuée sous forme d'eau en bouteille (eau minérale ou eau de source, eau plate ou eau gazeuse), d'eau courante (eau du robinet) ou encore dans des citernes pour un usage industriel.

2.3 Qualité des eaux de boisson :

Pour pouvoir être consommée en toute sécurité, l'eau doit répondre à des critères de potabilité très strictes dictés par le Ministère de la Santé et le Conseil Supérieur du secteur d'Hygiène Publique. Ces normes varient en fonction de la législation en vigueur et selon qu'il s'agit d'une eau destinée à la consommation humaine ou d'une eau industrielle.

2.4 Contrôle de la qualité de l'eau :

L'eau est essentielle à la vie. C'est pourquoi, elle fait l'objet d'un contrôle de qualité permanent de façon à en garantir la sécurité sanitaire. L'eau, pour pouvoir être consommée sans danger, ne doit comporter aucun élément toxique, ni bactérie, parasite ou virus nuisibles pour l'homme. En effet, les bactéries pathogènes, les virus et autres parasites présents dans une eau ne répondant à ces critères minimums peuvent être la cause de maladies contagieuses. [2]

Le contrôle qualité de l'eau est réalisé depuis le captage en milieu naturel jusqu'au robinet du consommateur. Ces paramètres ont été regroupés en sept catégories principales :

- Paramètres organoleptiques
- Paramètres physico-chimiques
- Paramètres microbiologiques
- Paramètres relatifs aux substances « indésirables »
- Paramètres concernant les substances toxiques
- Pesticides et produits apparentés
- Paramètres relatifs aux eaux adoucies et déminéralisées (doivent contenir une teneur minimale en calcium et magnésium ainsi qu'en carbonate ou bicarbonate pour l'alcalinité).

Voici tout d'abord quelques précisions afin de mieux en comprendre le contenu :

1 µg = 1 microgramme soit 10⁻⁶ g

1 mg = 1 milligramme soit 10⁻³ g

H.A.P. = hydrocarbure aromatique polycyclique. Cela signifie qu'il y a des cycles dans la forme des molécules.

Les nitrates en eux-mêmes ne sont pas dangereux mais ils peuvent être naturellement transformés en nitrites par des bactéries et les nitrites sont dangereux.

La turbidité est le fait que l'eau soit trouble. Elle se mesure par la réflexion d'un rayon lumineux dans l'eau (néphélométrie) et l'unité de mesure est le NFU, ou FNU pour Formazine Néphélométric Unit. La formazine est une substance utilisée à différentes dilutions pour l'étalonnage des appareils de mesure de turbidité. Dans le tableau des références, il y a 2 valeurs de turbidité, car la limite acceptée varie selon le lieu de mesure (2 au robinet et 0,5 au point de mise en distribution).

La couleur de l'eau est évaluée grâce à l'échelle Pt/Co ou échelle platino-cobalt, pour l'eau potable et grâce à l'échelle Pt pour les eaux brutes. On procède par comparaison de l'échantillon d'eau avec une série de solutions contenant du platine et du cobalt à des doses prédéfinies.

La conductivité est mesurée en microsiemens par centimètre, à une température fixe de 20°C (car la température influence la conductivité). Le siemens par mètre est l'unité du système international pour la conductivité. 1 siemens = 1 ampère par volt. [3]

Un pH faible montre que l'eau est acide et un pH élevé qu'elle est basique.

La dose totale indicative (DTI), en msv/an, exprime la dose annuelle de radioactivité. La limite est basée sur la consommation de 730 litres d'eau par an (arrêté du 12 mai 2004 fixant les modalités de contrôle de la qualité radiologique des eaux destinées à la consommation humaine). L'énergie reçue 1 Sv = 1 J/Kg (1 joule par kilo).[4]

Le tritium est une forme d'hydrogène radioactive. La radioactivité mesurée en becquerels (1 Bq = 1 désintégration par seconde) est importante pour les doses de radiations à court terme. Elle est mesurée pour un litre d'eau à l'aide d'un compteur Geiger.

La DBO5, ou demande biologique en oxygène sur 5 jours, est la quantité d'oxygène que les microorganismes vont utiliser pendant 5 jours pour oxyder les éléments qu'ils trouveront dans l'eau. Autrement dit, la DBO5 est représentative de la charge organique biodégradable.

La DCO, ou demande chimique en oxygène, est la quantité d'oxygène qui va réagir chimiquement avec les éléments contenus dans l'eau. La DBO5 est comprise dans la DCO car tout ce qui est oxydable réagit, même s'il s'agit de composés organiques. La DCO est représentative du niveau de pollution global de l'eau (à l'exception des éléments non oxydables).

L'azote Kjeldahl donne la somme de l'azote organique et de l'azote ammoniacal moins les nitrates et les nitrites.

Limites de qualité – Critères de potabilité		
PARAMETRE	LIMITE	UNITE
Paramètres microbiologiques		
Escherichia coli (E. coli)	0	/100ml
Entérocoques	0	/100ml
Paramètres chimiques		
Acrylamide	0,1	µg/l
Antimoine	5	µg/l
Arsenic	10	µg/l
Baryum	0,7	mg/l
Benzène	1	µg/l
Benzo[a]pyrène	0,01	µg/l
Bore	1	mg/l
Bromates	25(10 à partir du 25/12/2008)	µg/l
Cadmium	5	µg/l
Chrome	50	µg/l
Chlorure de vinyle	0,5	µg/l
Cuivre	2	mg/l
Cyanures totaux	50	µg/l
1,2-dichloroéthane	3	µg/l
Epichlorhydrine	0,1	µg/l
Fluorures	1,5	mg/l
H.A.P.	0,1	µg/l
Mercure total	1	µg/l
Microcystine-LR	1	µg/l
Nickel	20	µg/l
Nitrates (1)	50	mg/l
Nitrites (1)	0,5	mg/l
Pesticides (2)	0,1	µg/l
Total pesticides	0,5	µg/l

Plomb	25(10 à partir du 25/12/2013)	µg/l
Sélénium	10	µg/l
Tétrachloroéthylène et Trichloroéthylène	10	µg/l
Total trihalométhanes (THM)	150(100 à partir du 25/12/2008)	µg/l
Turbidité (3)	1	NFU

Tableau 1 : les limites de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (sauf l'eau en bouteilles). D'après l'annexe I de l'arrêté du 11 janvier 2007.

(1) : La somme de la concentration en nitrates divisée par 50 et de celle en nitrites divisée par 3 doit rester inférieure à 1.

(2) : A l'exception de 4 substances pour lesquelles la limite est de 0,03 µg/l (l'aldrine, la dieldrine, l'heptachlore et l'heptachlorepoxyde).

(3) : La limite de qualité est applicable au point de mise en distribution, pour les eaux superficielles et pour les eaux d'origine souterraine provenant de milieux fissurés présentant une turbidité périodique importante et supérieure à 2 NFU.

2.5 Analyse de l'eau potable :

Lorsque nous parlons d'une analyse de l'eau potable, il est évident que nous nous référons à la procédure que nous effectuons pour connaître les caractéristiques physicochimiques et sensorielles de l'eau qui va être incorporée dans le réseau d'approvisionnement d'une installation ou d'un noyau de population. Les exigences sont donc plus rigoureuses. [5]

2.5.1 Différents types d'analyse de l'eau :

- L'analyse de l'eau, qui concerne strictement une analyse chimique
- L'analyse de l'eau qui concerne une analyse physique seulement
- L'analyse sensorielle de l'eau [5]

2.6 Traitement de l'eau :

2.6.1 Les étapes du traitement :

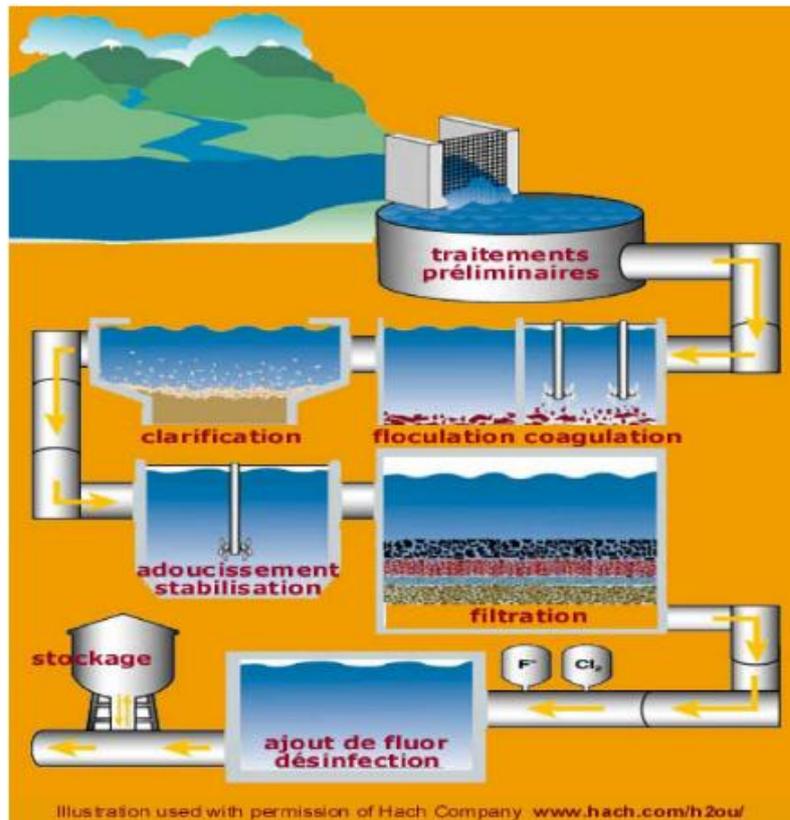


Figure 2.1 : Les différentes étapes du traitement de l'eau. [8]

Prétraitement :

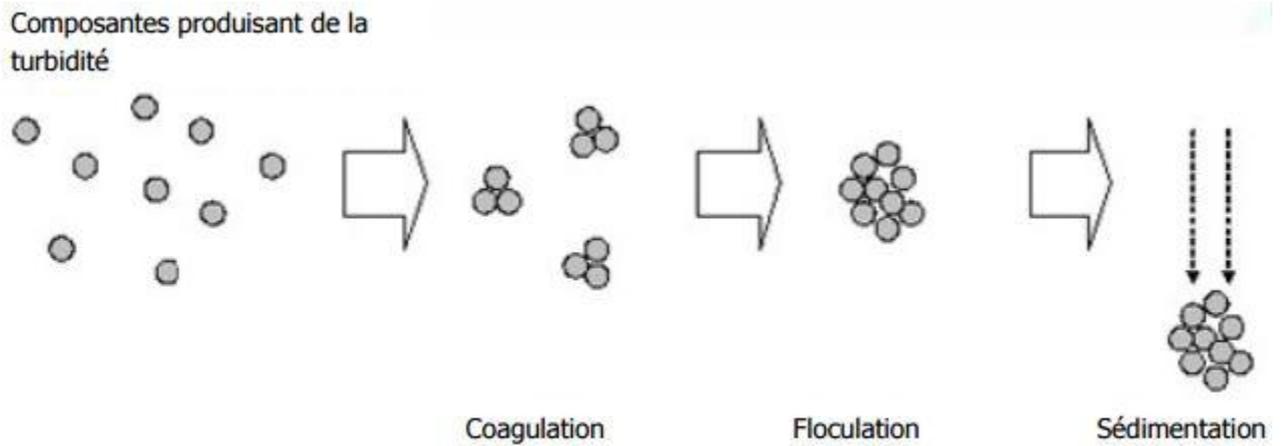
Le traitement préliminaire ou partiel pouvant intervenir soit sur un effluent industriel qui, s'il était directement rejeté dans le réseau, nuirait à celui-ci ou au fonctionnement de la station d'épuration, soit en tête d'une station d'épuration est destiné à éliminer les plus gros déchets solides, les huiles et graisses : dégrilleur, dessableur, dilacérateur, déshuileur.[6]

Floculation coagulation :

Traitement à base de coagulant et floculant des solides en suspension, le retrait de l'huile et des substances organiques, assèchement de boue et adoucissement de chaux.[7]

La coagulation-floculation est un procédé de traitement physico-chimique d'épuration de l'eau, utilisé pour le traitement de potabilisation ou le traitement d'eau usée.

Son principe repose sur la difficulté qu'ont certaines particules à se décanter naturellement : les colloïdes.[8]



Processus de coagulation, floculation et de sédimentation

Figure 2.2 : Processus de coagulation, floculation et de sédimentation.

Filtration :

La filtration est la barrière ultime et obligatoire de la filière de traitement des eaux dans la majeure partie des cas. Elle vise à réaliser ou à compléter, à travers un lit filtrant, la réduction des particules en suspension, des coliformes, des virus, des parasites ainsi que la turbidité. Sans elle, plusieurs filières de traitement ne pourraient obtenir de crédits pour l'enlèvement des virus et des kystes de protozoaires.

Les filières de traitement incorporant une filtration peuvent être de type physico-chimique, physique, biologique ou adsorptive.[9]

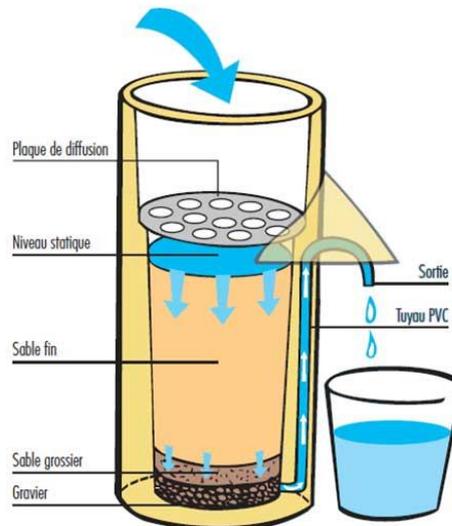


Figure 2.3 : filtre à sable biologique. [8]

Désinfection :

La désinfection de l'eau signifie l'élimination ou la désactivation des microorganismes pathogènes. Les microorganismes sont détruits ou désactivés, entraînant la fin de leur développement et de leur reproduction. Quand les microorganismes ne sont pas éliminés de l'eau potable, l'utilisation d'eau potable provoquera des maladies.

La stérilisation est un procédé relatif à la désinfection. Cependant, lors du procédé de stérilisation, tous les microorganismes présents sont tués (les microorganismes nocifs et non nocifs).**[10]**

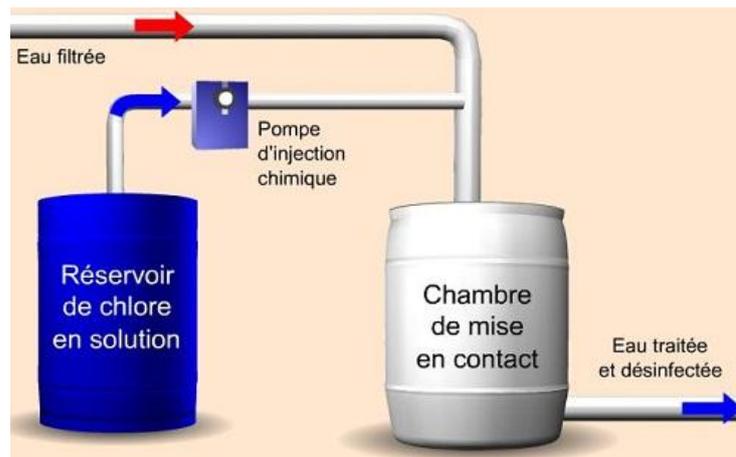


Figure 2.4 : désinfection d'eau potable.**[8]**

Stockage :

Une fois traitée, l'eau potable est stockée dans des « réservoirs sur tour », plus communément appelés châteaux d'eaux, ou dans des réservoirs enterrés si la commune dispose d'une zone à topographie élevée.**[14]**

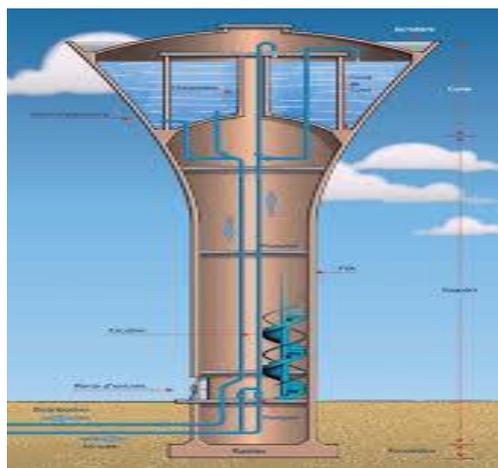


Figure 2.5 : coupe d'un réservoir. **[8]**

Chapitre III : Filtration

3.1 La filtration :

La filtration est un procédé de séparation permettant de séparer les constituants d'un mélange qui possède une phase liquide et une phase solide au travers d'un milieu poreux.

L'utilisation d'un filtre permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité). Le liquide ayant subi la filtration est nommé filtrat ou perméat, tandis que la fraction retenue par le filtre est nommée résidu, retentât ou gâteau.

La filtration peut aussi désigner le phénomène passif d'épuration naturelle ou de diminution de la turbidité qui se produit quand l'eau pénètre un lit de sable ou de sédiment pour rejoindre la nappe.

La filtration est une technique très utilisée dans le domaine de l'agroalimentaire, de la chimie, de la pharmacie et par de nombreuses espèces animales, principalement aquatiques. Chez les animaux filtreurs (éponges, bivalves...), c'est un mode actif d'alimentation. Le rein assure également une fonction de filtration.[8]

3.2 Rôle de la filtration :

Le but de la filtration est d'opérer la séparation la plus complète possible entre l'eau et différentes sortes de particules en suspension.

3.3 Types de filtres granulaires :

Les filtres sont généralement composés de trois parties :

- Le fond pour supporter le matériau filtrant.
- Le gravier pour retenir le matériau filtrant et améliorer la distribution de l'eau de lavage dans le filtre.
- Le matériau filtrant qui sert à retenir les contaminants.

Dans le traitement des eaux, les différents types de filtre à sable sont classés suivant les paramètres de fonctionnement, à savoir :

Vitesse de filtration et perte de charge :

Deux types de filtration sont appliqués selon la perte de charge et le cycle de la filtration (durée de fonctionnement entre deux opérations de lavage).

➤ **Filtration lente :**

L'eau traverse lentement et régulièrement une couche de sable d'une épaisseur et d'une granulométrie déterminée, qui retient les matières en suspension. Elle nécessite la mise en œuvre de surfaces de filtration très importantes.

➤ **Filtration rapide :**

C'est la technique la plus répandue dans le traitement des eaux de consommation, elle est associée à plusieurs étapes du traitement comme la coagulation -floculation et la décantation. La vitesse de filtration est plus importante que dans le cas de la filtration lente.

Granulométrie :

Il existe trois types de filtration qui correspondent à un choix de granulométries différentes :

- Filtration sur couche de matériau homogène : la granulométrie du matériau est la même de la base jusqu'au sommet de la couche filtrante.
- Filtration sur couche de matériau hétérogène : la granulométrie du matériau filtrant est hétérogène, les grains les plus gros sont à la base du filtre, alors que les grains les plus fins sont en surface.
- Filtration sur plusieurs couches filtrantes ou bien filtre multicouche.

Mécanismes de la filtration

Trois mécanismes principaux interviennent successivement et sont responsables de la mise en contact des particules avec le matériau granulaire, à savoir :

Mécanisme de capture

Les mécanismes de capture selon la Figure 3.1 sont essentiellement caractérisés par deux natures de mécanismes :

Un tamisage mécanique : La rétention de particules par le matériau filtrant se fait sur des sites en surface (la particule se dépose sur la surface d'un grain), dans des crevasses (la particule est coincée entre deux grains) et sur la surface restreinte (la particule vient se bloquer à l'entrée d'une maille de taille inférieure à la sienne).

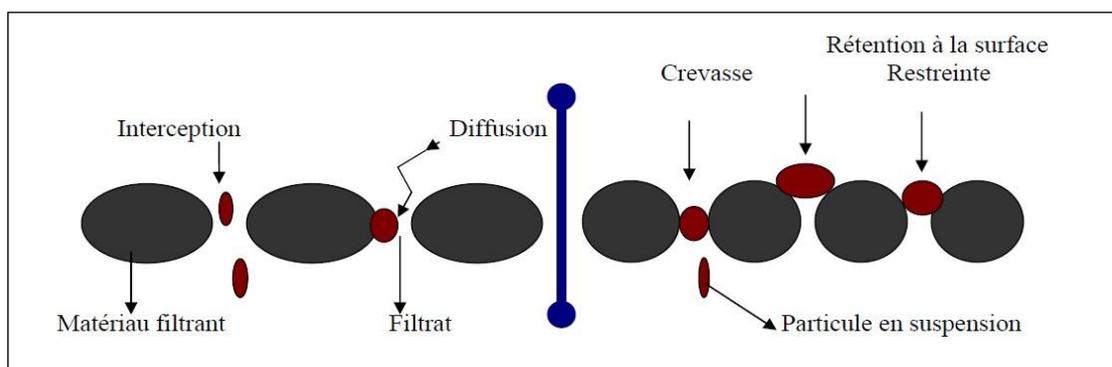


Figure 3.1 : Mécanisme de capture. [13]

Ce type de mécanisme consiste en la rétention des particules en suspension plus grosse que la maille du filtre ;

Une particule plus dense que l'eau, sous l'influence de la pesanteur, suit dans l'eau une ligne de courant ; sa taille inférieure comparée à celle des pores, peut traverser le volume du vide sans être arrêtée par le filtre ; lors de sa trajectoire, des contacts particule/matériau peuvent

avoir lieu, ce qui permet sa capture. Quand la particule est moins dense que l'eau, les différents phénomènes entraînent un changement de sa trajectoire et le contact d'une Particule avec le matériau, qu'il s'agisse d'une interception directe par frottement ou d'un transport de diffusion, la particule est soumise à un mouvement brownien.

Mécanisme de fixation

Ce mécanisme est dû à des forces d'origine physique (coincement et cohésion) et à des forces d'adsorption principalement les forces de Van Der Waals. La Figure 3.2 , explique la fixation des particules à la surface du matériau filtrant.

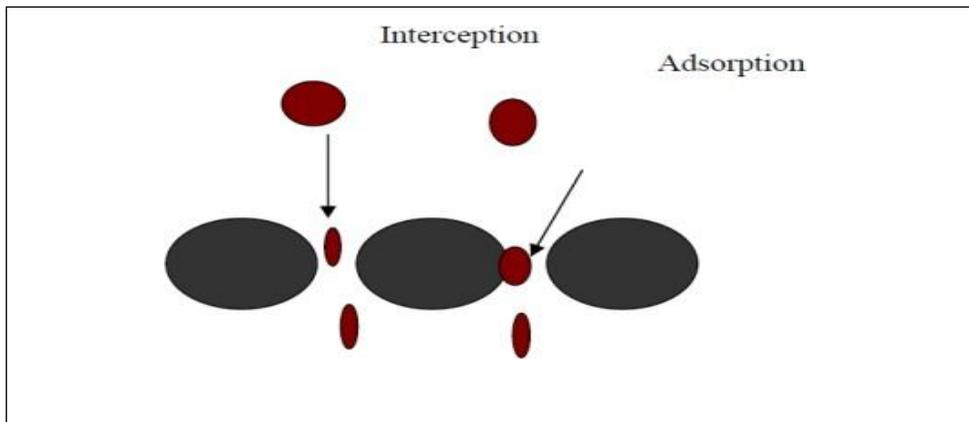


Figure 3.2 : Mécanisme de fixation. [13]

Mécanisme de détachement

Sous l'action des mécanismes précédents, il se produit une diminution de l'espace entre les parois du matériau recouvert de particules déjà déposées, qui conduit à l'augmentation de la vitesse d'écoulement intergranulaire. En effet, les dépôts déjà retenus peuvent alors se détacher et être entraînés dans le matériau filtrant.

Le mécanisme de détachement est un mécanisme de décolmatage des particules ensuspension, sous l'influence de la vitesse de l'eau lors du lavage.

Equation de la perte de charge :

Perte de charge dans le lit propre :

On doit toujours travailler dans un lit immergé pour éviter le phénomène de chemin préférentiel.

Pour garder le niveau d'eau constant on utilise deux vases communiquant.

Δp_0 : perte de charge du lit propre.

h_k : constante de KOZENY ; de l'ordre de 5 (4,5 ;5).

μ : viscosité dynamique du fluide.

ε_0 : porosité du lit propre.

z : épaisseur du lit.

U : la vitesse de filtration.

a_{c0} : la surface spécifique de la couche propre.

$$\frac{\Delta p_0}{\Delta z} = h_k \mu \frac{U}{\varepsilon_0} \left(\frac{a_{c0}}{\varepsilon_0}\right)^2 \quad \text{KOZENY-CARMAN}$$

- ΔH_0 doit rester constant après chaque lavage .
- $a_{c0} = (1 - \varepsilon_0) \quad ; \quad a_{g0} = \frac{6}{d_{g0}}$

$$\frac{\Delta p_0}{\Delta z} = h_k \mu \cdot U (1 - \varepsilon_0)^2 \cdot \frac{a_{g0}^2}{\varepsilon_0^3} = 36 h_k \mu U \frac{(1 - \varepsilon_0)^2}{d_{g0}^2 \cdot \varepsilon_0^3}$$

Perte de charge dans le lit colmaté :

On reprend la même équation que dans le lit propre avec maintenant :

$$\frac{\Delta p}{\Delta z} = h_k \mu \frac{U}{\varepsilon} \left(\frac{a_c}{\varepsilon}\right)^2$$

Δp : perte de charge du lit colmaté.

h_k : constante de KOZENY ; de l'ordre de 5 (4,5 ;5).

μ : viscosité dynamique du fluide.

ε : porosité du lit colmaté.

z : épaisseur du lit.

U : la vitesse de filtration.

a_c : la surface spécifique de la couche colmatée.

Cycles de filtration et perte de charge :

Le fonctionnement du filtre est généralement suivi à l'aide de la mesure de la qualité de l'eau filtrée ou la perte de charge.

- Mesure et évolution de la qualité de l'eau filtrée La Figure 3.3 donne l'évolution de la turbidité du filtrat et définit les périodes caractéristiques de fonctionnement du filtre :

a = période de maturation.

b = période de fonctionnement normal.

c = début de colmatage du filtre.

d = limite de turbidité acceptable ; la turbidité de l'eau filtrée atteint cette valeur pour un temps t_1 , où le cycle doit être arrêté.

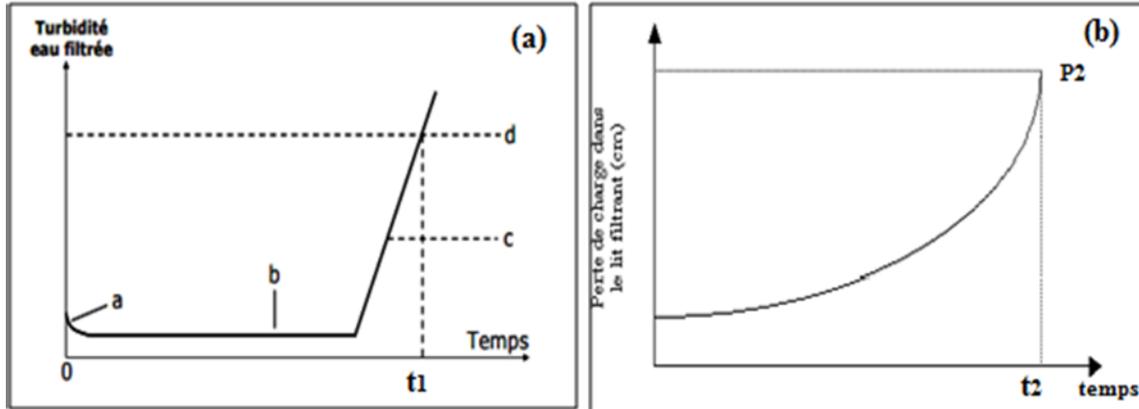


Figure 3.3 : Représentation de l'évolution de la turbidité (a) et de la perte de charge (b) durant la filtration. [14]

L'évolution de la perte de charge en fonction du temps est représentée sur la Figure 3.3. Par construction, il existe une perte de charge maximale P_2 , qui est atteinte après un temps t_2 .

- Lorsque la courbe est linéaire le filtre travaille très bien.
- Lorsqu'elle présente une légère courbe vers le haut le filtre est en colmatage.
- Une première partie linéaire correspondant à une bonne filtration, à partir de t_a une légère courbure vers le haut correspondant au colmatage du lit.

Colmatage du milieu filtrant :

Le colmatage des filtres est l'obstruction progressive du matériau filtrant au cours de la filtration, entraînant une augmentation des pertes de charge ou une diminution de la vitesse due au fonctionnement et une dégradation de la qualité de l'eau filtrée (augmentation de la turbidité). De ce fait, nous pouvons dire que le colmatage est un phénomène qui a pour effet un grossissement des grains du matériau filtrant, réduisant la dimension des espaces interstitiels et la section de passage offerte à l'eau.

Les filtres doivent donc régulièrement être lavés selon des consignes liées à la qualité de l'eau filtrée (turbidité) ou à l'opération des filtres (pertes de charge, durée de fonctionnement), afin de les ramener à leur état initial et ce, en inversant le sens de l'écoulement de l'eau ; alors que, le matériau filtrant est en expansion et devient fluidisé, chaque grain est séparé de ses voisins. De même, les particules d'impuretés arrêtées par le filtre, beaucoup moins dense que les grains de sable, sont décollées et aisément évacuées du matériau filtrant.

Application de la Filtralite® comme matériau de filtration :

Afin d'améliorer les performances de la filtration en termes d'abattement de turbidité et de réduction des pertes de charges, des médias alternatifs au média conventionnel à sable/anthracite (S/A) ont été évalués dans la perspective de maximiser l'efficacité énergétique. À cette fin, la Filtralite® (F), un média à base d'argile expansée a la particularité d'avoir une structure poreuse favorisant une surface spécifique élevée et une texture rugueuse [15]. Plusieurs avantages en découlent tels qu'une capacité de rétention des particules élevée, des faibles pertes de charge

initiale et progressive ce qui a pour effet de prolonger les durées de cycles, de réduire les pertes d'eau associées aux rétrolavages des filtres et par conséquent de réduire les coûts énergétiques [16].

Pour produire la Filtralite®, l'argile est chauffée à 1200 °C, broyée/concassée puis tamisée pour obtenir des granulométries et des densités selon les applications désirées. Lorsque la Filtralite® est concassée, une grande surface spécifique est exposée. La Filtralite® est fabriquée par Leca Norge As (Groupe Saint-Gobain) en Norvège et elle est distribuée au Canada par Sapphire Water (maintenant Delco Water). La Filtralite® Pure est certifiée NSF/ANSI/CAN 61 pour l'utilisation en eau potable, peut servir comme média granulaire en filtrations physique ou biologique et en prétraitement au dessalement d'eau de mer. C'est un média inerte en céramique à base d'aluminosilicate, peu soluble au contact de l'acide. Les composants chimiques de la Filtralite® sont résumés dans le Tableau 3.1 suivant :

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O
63 %	17 %	7 %	4 %	2 %	2 %

Tableau 3.1 :Composition chimique de la Filtralite® [17]

Les médias Filtralite® Pure peuvent être utilisés en filtration granulaire comme média monocouche ou média bicouche tel que suggéré avec le filtre Mono-Multi pour l'enlèvement des particules [17]. La couche supérieure du Mono-Multi est constituée du média NC 1,5-2,5 mm qui est léger et de porosité très élevée. Quant à la couche du bas, elle est composée du média HC 0,8-1,6 mm qui est plus lourd et moins poreux comparativement à la couche du haut. Le Tableau 3.1 présente quelques exemples du média Filtralite® Pure utilisés pour le traitement de l'eau potable.

Média	Taille (mm)	Densité apparente (kg/m ³)	Masse volumique des particules (kg/m ³)	Vides (%)
Filtralite® HC 0,5-1	0,25-1,4	875	1800	~55
Filtralite® NC 0,8-1,6	0,8-1,6	530	1260	~60

Tableau 3.2 :Quelques exemples de Filtralite® Pure [17] (suite).

Média	Taille (mm)	Densité apparente (kg/m ³)	Masse volumique des particules (kg/m ³)	Vides (%)
Filtralite® HC 0,8-1,6	0,8-1,6	850	1700	~55
Filtralite® NC 1,5-2,5	1,4-2,5	500	1050	~60
Filtralite® MC 1,5-2,5	1,4-2,5	600	1300	~55

Tableau 3.3 : Quelques exemples de Filtralite® Pure [17] (fin).

N : densité normale; H : densité élevée; M : densité moyenne; C : concassé

Depuis plus de deux décennies, la Filtralite® fait l'objet de différentes études pilotes pour évaluer son application en traitement de l'eau potable comme média alternatif au filtre à sable/anthracite (S/A).

Eikebrokk, Bjørnar et Saltnes (2001) ont été les premiers à étudier les performances de la Filtralite® en filtration physique granulaire en ligne pour l'enlèvement de la matière organique. La configuration des deux filtres était basée sur des diamètres effectifs et des profondeurs équivalentes des couches respectives [18]. Les auteurs ont recommandé l'utilisation de la Filtralite® pour remplacer l'anthracite dans la couche du haut d'un média bicouche conventionnel, car elle a réduit le taux de progression des pertes de charges, augmenté les durées de cycles et les capacités de rétention des particules et ce, indépendamment du coagulant testé. La Filtralite® a pu conserver une même qualité du filtrat à l'égard de la turbidité, la couleur et la matière organique [18].

Des études pilotes connexes en coagulation/filtration en ligne ont investigué les performances d'un média bicouche à S/A par rapport à un bicouche de Filtralite® (F/F) pour l'enlèvement des substances humiques [19]. Les résultats obtenus ont démontré que la coagulation à base d'alun a produit une percée de turbidité pour la Filtralite® par rapport au filtre témoin ainsi qu'une concentration de métal (Al) résiduel élevée. Toutefois, elle a produit une qualité de filtrat acceptable en utilisant un coagulant préhydrolysé à base de polychlorure d'aluminium (PAX, 9,02 wt %Al) pour un pH optimal de 6,5 pour une eau brute avec une couleur de 15 uc qui a nécessité une dose de 0,8 mg/L et un pH de 6 pour une eau brute avec une couleur de 50 uc, avec un dosage de 2,5 mg/L [19]. De plus, la Filtralite® a réduit significativement les pertes de charges initiales et les taux de développement des pertes de charge [19].

Une comparaison similaire en filtration grossière sans ajout de coagulant a révélé que le filtre bicouche Filtralite® Mono-Multi par rapport au filtre témoin à sable/anthracite (S/A) a augmenté les durées de cycles de filtration tout en produisant une qualité d'eau filtrée similaire en termes de turbidité et de compte de particules, de carbone organique particulaire et de chlorophylle-a [20]. Les performances hydrauliques élevées de la Filtralite® seraient potentiellement dues à sa forme irrégulière, sa porosité élevée et à la disposition des grains de média dans le lit filtrant, ce qui lui procure une capacité de stockage des particules élevée sans colmatage de surface significatif des vides [20].

Mitrouli et al. (2008) ont comparé le remplacement de l'anthracite par la Filtralite® dans la couche supérieure d'un média bicouche dont la couche du bas était constituée de sable, ceci comme application en pré-traitement au dessalement de l'eau de mer par osmose inverse et ce, pour des vitesses de filtration de 5, 10 et 15 m/h, durant l'été et l'hiver. Les résultats obtenus ont démontré que le filtre à S/F a obtenu des performances semblables au filtre témoin S/A en ce qui concerne la turbidité à l'eau filtrée, l'indice de colmatage SDI (Silt Density Index) et le carbone organique total (COT) pour les deux saisons pour différentes vitesses de filtration. Néanmoins, le

filtre à S/F a mieux performé lorsque testé à 5 m/h durant l'hiver. De plus le filtre à S/F a produit les plus faibles pertes de charge par rapport au filtre S/A.

Une autre étude connexe réalisée par les mêmes auteurs a comparé un filtre Mono-Multi Filtralite® à un filtre à sable/anthracite selon les critères de préfiltration en amont d'une osmose inverse[21]. Globalement, la Filtralite® a obtenu les meilleures performances pour la qualité de l'eau produite et pour le taux de développement des pertes de charge. Les bonnes performances de la Filtralite® sont attribuables à la rugosité de la surface des grains très poreuse qui favorise une meilleure capacité de rétention des microparticules et des agrégats [22].

Une seule étude a documenté l'utilisation d'un filtre monocouche de Filtralite® en comparaison à un filtre monocouche de sable pour une vitesse de filtration de 7,4 m/h [23]. C'est une application en filtration conventionnelle où les filtres reçoivent une eau décantée de très faible turbidité (0,15-0,20 UTN). Il s'est avéré que la Filtralite® a réduit les pertes de charge en raison de sa porosité élevée, augmenté les durées de cycle jusqu'à 3,5 fois comparativement au sable tout en respectant l'objectif de turbidité à l'eau filtrée inférieure à 0,10 UTN. Toutefois, la turbidité à l'eau filtrée produite par la Filtralite® était légèrement inférieure à celle du filtre à sable en raison de sa grande taille des grains qui procure au lit filtrant une structure de pores plus ouverte. Conséquemment, les distances à parcourir par les particules en suspension sont augmentées pour être transportées vers la surface des grains pour s'y déposer [23].

D'autres configurations de filtres ont été comparées en remplaçant la couche supérieure de l'anthracite dans un média conventionnel bicouche par la Filtralite® pour une application en filtration directe. Les résultats obtenus sont en accord avec les études précédentes affirmant que la Filtralite® a comme principal avantage de réduire le taux de développement des pertes de charge tout en présentant une turbidité à l'eau filtrée similaire sans être affectée (P value < 0,05) par le changement du taux de filtration [24].

Finalement, Cescon, Jiang, Haffey, Moore et Callaghan (2016) ont investigué les performances de filtres bicouches à base de verre recyclé (V) et de Filtralite® en comparaison avec un filtre témoin à sable/anthracite, avec une coagulation optimisée pour une filtration conventionnelle lente à 2,3 m/h. Il a été démontré que les deux filtres ont produit une eau de qualité similaire en termes de COD et de compte de particules, mais que le filtre à V/F a réduit de 50% les pertes de charge totales par rapport au filtre à S/A. Malgré les faibles comptes de particules obtenus globalement sur toute la durée de cycle pour les filtres comportant la Filtralite®, les comptes de particules initiaux après les rétrolavages des filtres étaient significativement élevés suggérant ainsi l'augmentation de la période de maturation [25]. Comme la durée de cycle de filtration est courte en filtration directe, une maturation peu efficace peut peser lourdement sur l'atteinte des critères de turbidité basés sur des 95e centile.

Référence	Type filtration	Vitesse (m/h)	Colonne	Couche	Média	L (mm)	d ₁₀ (mm)	Cu	L/d ₁₀
(Eikebrokk, Bjørnar & Saltnes, 2001)	En ligne	5 à 12	Filtre 1 témoin	Haut	Anthracite 0,8-1,6 mm	600	0,82	1,32	1432
				Bas	Sable 0,4-0,8 mm	350	0,5	-	
			Filtre 2	Haut	Filtralite® NC 0,8-1,6 mm	600	0,81	1,31	1441
				Bas	Sable 0,4-0,8 mm	350	0,5	-	
(Saltnes, Torgeir et al., 2002)	En ligne	7,5	Filtre 1 témoin	Haut	Anthracite 0,8-1,6 mm	470	-	-	-
				Bas	Sable 0,4-0,8 mm	470	-	-	
			Filtre 2	Haut	Filtralite® NC 1,6-2,5 mm	470	1,65	1,29	844
				Bas	Filtralite® HC 0,8-1,6 mm	470	0,84	1,54	
(Eikebrokk, Bjørnar & Saltnes, 2002; Saltnes, T. et al., 2002)	En ligne	7,5 à 12,5	Filtre 1 témoin	Haut	Anthracite 0,8-1,6 mm	600	0,82	1,44	1432
				Bas	Sable 0,4-0,8 mm	350	0,5	1,32	
			Filtre 2	Haut	Filtralite® NC 1,6-2,5 mm	470	1,65	1,29	844
				Bas	Filtralite® HC 0,8-1,6 mm	470	0,84	1,54	

Tableau : Sommaire des configurations de filtres testés utilisant la Filtralite®

Tableau : Sommaire des configurations de filtres testés utilisant la Filtralite® (suite).

Référence	Type filtration	Vitesse (m/h)	Colonne	Couche	Média	L (mm)	d ₁₀ (mm)	Cu	L/d ₁₀
			Filtre 3	Haut	Filtralite® NC 1,6-2,5 mm	1180	1,65	1,29	1429
				Bas	Filtralite® HC 0,8-1,6 mm	600	0,84	1,54	
(Mikol et al., 2007)	Filtration grossière comme prétraitement à des membranes ou filtres lents	10	Filtre 1 témoin	Haut	Anthracite 1,7-2,5 mm	500	-	-	-
				Bas	Sable 0,6-1,18 mm	500	-	-	
			Filtre 2	Haut	Filtralite® NC 1,5-2,5 mm	500	-	-	-
				Bas	Filtralite® HC 0,8-1,6 mm	500	-	-	
(Mitrouli et al., 2008)	Prétraitement dessalement eau de mer	Hiver : 5 et 10 Été : 5, 10 et 15	Filtre 1 témoin	Haut	Anthracite 1,2-2,5 mm	700	1,55	<1,5	1007
				Bas	Sable 0,8-1,25 mm	500	0,9	<1,5	
			Filtre 2	Haut	Filtralite® MC 1,5-2,5 mm	700	1,7±0, 3	<1,5	967
				Bas	Sable 0,8-1,25 mm	500	-	-	
(Davies & Wheatley, 2012)	Conventionnelle	7,4	Filtre 1 témoin	-	Sable 0,5-1,0 mm (d ₁₀ =0,59)	600	0,59	1,27	1017
			Filtre 2	-	Filtralite® HC 0,8-1,6 d ₁₀ =0,77	600	0,77	1,82	779

Référence	Type filtration	Vitesse (m/h)	Colonne	Couche	Média	L (mm)	d ₁₀ (mm)	Cu	L/d ₁₀
			Filtre 2	Haut	Filtralite® d ₁₀ =2,14 mm	450	2,14	1	599
				Bas	Sable 0,8-1,25 mm	350	0,9	-	
(Badalians Gholikandi et al., 2012)	Directe	10, 15 et 20	Filtre 1 témoin	Haut	Anthracite d ₁₀ =2,14 mm	450	2,14	1	599
				Bas	Sable d ₁₀ = 0,9 mm	350	0,9	1,4	
(Cescon et al., 2016)	Lente conventionnelle	2,3	Filtre 1 témoin	Haut	Anthracite d ₁₀ =0,9 mm	600	0,9	≤1,5	1421
				Bas	Sable d ₁₀ = 0,53 mm	400	0,53	1,38	
			Filtre 2	Haut	Filtralite® HC 0,8-1,6 mm (d ₁₀ =0,9)	600	0,9	<1,5	1407-1620
				Bas	Verre*	400	0,51-0,6	1,37-1,5	

Tableau : Sommaire des configurations de filtres testés utilisant la Filtralite® (fin).

Chapitre IV : Matériel et Méthodes

4.1 Introduction

Le présent chapitre est consacré à la description de l'ensemble des expériences et études effectuées. Il comprend les méthodes des préparations des matériaux et les différentes solutions, les modes opératoires ainsi que les techniques de caractérisation utilisée pour la réalisation de ce travail.

4.2 Dispositif expérimental :

4.2.1 Pilote expérimental :

Le pilote expérimental est constitué d'une colonne en verre, alimentée de façon manuelle. La hauteur de cette colonne est de 180 cm, La phase de filtration se fait à partir de l'effluent issu d'eau de robinet, le pilot expérimental est représenté sur la figure 4.1 , ce dernier est constitué de:

- **Vanne** : Sert à régler le débit.
- **Conduite d'eau a filtré** : Sert à conduire l'eau a filtré vers la colonne de filtration. Elle contient des trous pour avoir le même débit de sortie.
- **Colonne en verre** : Elle contient une quantité de sable pour la filtration de l'eau.
- **Verre fritté** : C'est un tamis en verre qui contient des trous trop fins.
- **Robinet 1** : C'est un robinet de sortie de l'eau filtré.
- **Robinet 2** : C'est un robinet de passage d'air.
- **Support en aluminium** : Sert à déposer la colonne de filtration.
- **Rota mètre** :pour déterminer et mesurer le débit des fluides



Figure 4.1 : Montage de la colonne

4.2.2 Préparation de sable :

Le sable expansé utilisé pour réaliser cette étude est fourni par l'entreprise : ALGEXPAN

Ce sable est localement produit dans des conditions identiques à une entreprise française FILTRALITE qui fabrique un matériau identique au matériau local, où cette entreprise filtre l'eau à la station avec ce dernier, et on dit aussi qu'il a plus d'avantages que le sable ordinaire.

Ce sable expansé est destiné servir de filtre subit les opérations de dépoussiérage, lavage, séchage, et tamisage successifs

- **Dépoussiérage** : Cette opération est effectuée par voie manuelle dans un tamis, en évitant la poussière et les particules fines ;
- **Tamisage** : Le sable de filtration a été tamisé en le faisant passer à travers une série de tamis ;
- **Lavage** : On introduit 1kg de sable expansé dans un bassin en plastique de 5 L auquel on y ajoute de l'eau de robinet agité manuellement pendant 3 min, l'eau polluée chargée de quelque particule en suspension (limon.) est rejetée, cette opération répétée plusieurs fois jusqu'à l'obtention d'une eau claire, le sable est lavé dernièrement par l'eau distillée
- **Séchage** : Dans un cristalliseur, on verse une quantité de sable lequel est étalé au même niveau sur une surface, cette quantité est séchée à 125C° afin de pouvoir éliminer toute particule d'eau.



Figure 4.2 : lavage de sable après le tamisage

4.3 Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et le pourcentage Pondéraux de grains constituant les échantillons du sable.

L'essai de tamisage d'un échantillon se fait à l'aide d'une série de tamis normalisés empilés les uns sur les autres. La dimension des ouvertures est décroissante du haut en bas. Chaque tamis donne deux produits : un produit passant à travers le tamis appelé le passant et un produit restant sur la surface du tamis appelé le refus.

L'ensemble des poids des fractions restantes sur chaque tamis constitue l'analyse granulométrique.

➤ Mode opératoire :

Les différentes tailles des grains de sable exposés d'un échantillon se déterminent en faisant passer un certain poids de sable à travers des tamis gradués (AFNOR) à mailles de plus en plus petites, et en pesant ensuite les fractions de l'échantillon qui sont passées à travers chacun des tamis. On utilise à cet effet des séries de tamis spéciaux dont la forme permet de les poser les uns au-dessus des autres, de façon à constituer un unique récipient clos. L'échantillon de sable exposé est placé dans le compartiment supérieur sur le tamis à plus grandes mailles, ensuite le tout est secoué mécaniquement pendant un temps de 30 min jusqu'à ce que les grains de sable aient traversé tous les tamis de maille supérieure à leur taille. Le poids de chaque fraction de l'échantillon traversant un tamis donné est calculé en pourcentage du poids total de l'échantillon utilisé. La figure 4.3 représente la machine de tamisage.



Figure 4.3 : Machine de tamisage

Après tamisage, chaque tamis possède son propre refus :

- **Pourcentages refus cumulés % R :** Les poids des refus sont cumulés, c'est-à-dire qu'au poids p_1 du premier refus on rajoute le poids du refus 2, le calcul est donné par la relation suivante :

$$R (\%) = (100 \cdot R) / M$$

R : La masse de Refus cumulés (g)

M : La masse totale de l'échantillon exprimée en kg

- **Pourcentage de tamisât Ts(%)** : est donné par la relation suivante : $Ts (\%) = 100 - R (\%)$

CHAITRE V : Résultats et Discussion

Introduction

Ce chapitre a pour un objectif de montrer et interpréter les résultats expérimentaux liés à la caractérisation de l'argile expansé.

Nous avons étudié le traitement de l'eau potable par filtration sur argile expansé, dans cette partie du notre travail, nous représentons les différents analyses chimique et physique du lit filtrant (l'analyse granulométrique, coefficient d'uniformité, la densité et la porosité).

5.1 Matériau filtrant (argile expansé) :

L'utilisation d'un matériau filtrant permet de retenir les particules du mélange hétérogène qui sont plus grosses que les trous du filtre (porosité). Le liquide ayant subi la filtration est nommé filtrat ou perméat.

Notre matériau est un média filtrant de haute qualité, fabriqué à partir d'un matériau unique à base d'argile expansée, utilisé pour la production d'eau potable et pour les filtres de piscines. [12]

5.2 Résultats d'analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon de granulats, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, ...). [8]

Cela consiste à mesurer la dispersion des grains d'un sol suivant leur dimension. Puis reporter sur une courbe granulométrique les résultats ainsi obtenus.

On prend un volume d'échantillon adapté aux tamis utilisés. Tamiser ce matériau successivement sur les tamis normalisés (tableaux suivants) et noter la masse retenue sur chaque tamis.

Calculer, à partir de ces résultats, la masse de matériau qui a traversé chaque tamis (total du matériau retenu ou non sur tous les tamis de dimension inférieure à celui considéré) et l'exprimer en pourcentage de la masse de matériau utilisé pour l'analyse.

Les résultats obtenus par l'analyse granulométrique sont portés sur un graphe spécial et la courbe ainsi tracée fournit des renseignements précis sur l'échantillon. Ces renseignements sont exprimés sous forme de paramètres granulométriques, on distingue :

➤ **Taille effective (TE) :**

C'est la taille correspondant à 10 % de poids passant.

➤ **Coefficient d'uniformité (CU)**

Lire sur le graphique la taille correspondant à 60 % de poids passant.

$$CU = d_{60} / d_{10}$$

➤ **La porosité :**

La porosité d'une couche de matière granulaire, encoure appelée la fraction de vide, est la proportion de vide existant entre les grains de matériau empilé. La porosité, notée ε , est désignée par un nombre sans dimension.

$$\varepsilon = 1 - (\text{volume réel du matériau} / \text{volume apparent du matériau})$$

Tableau 5.1 : poids et ouverture des tamis utilisés

Ouverture de la maille (mm)	Poids de tamis vide (g)
3.15	498,6
2.5	463,5
1.6	460,2
0.8	285,7
0.63	273,9

Tableau 5.2 : analyse granulométrique de Grains de fraction (0.8_1.6) avec une masse de 975 g Après 30 min de tamisage

Ouverture de la maille (mm)	Masse de tamis (g)	Masse de grain dans tamis (g)	Pourcentage refus cumulés R (%)	Pourcentage de tamis Ts (%)
3.15	498,6	0	0	100
2.5	463,5	0	0	100
1.6	461,2	1	0,10	99.90
0.8	1253,9	968,2	99,30	0.70
0.63	277	5.8	0,60	99.40

Tableau 5.3 : analyse granulométrique de Grains de fraction (1.6_2.5) avec une masse de 502.7g Après 30 min de tamisage

Ouverture de la maille (mm)	Masse de tamis (g)	Masse de grain dans tamis (g)	Pourcentage refus cumulés R (%)	Pourcentage de tamis Ts (%)
-----------------------------	--------------------	-------------------------------	---------------------------------	-----------------------------

3.15	498,6	0	0	100
2.5	463,5	0.6	0.12	99.88
1.6	885,9	424,7	84,48	15.52
0.8	361,8	76,1	15,14	84.86
0.63	274,5	1.3	0,26	99.88

Tableau 5.4 : analyse granulométrique de Grains de fraction (1.6_2) avec une masse de 953.4g Après 30 min de tamisage

Ouverture de la maille (mm)	Masse de tamis (g)	Masse de grain dans tamis (g)	Pourcentage de refus cumulés R (%)	Pourcentage de tamis Ts(%)
3.15	498,6	0	0	100
2.5	463,5	0.95	0.10	99.90
1.6	1309,8	849,6	89,11	10.89
0.8	387,9	102,2	10,72	89.28
0.63	275,5	1,6	0,17	99.83

Tableau 5.5 : analyse granulométrique de Grains de fraction inconnue avec une masse de 1037.1 g Après 30 min de tamisage

Ouverture de la maille (mm)	Masse de tamis (g)	Masse de grain dans tamis (g)	Pourcentage de refus cumulés R (%)	Pourcentage de tamis Ts(%)
3.15	498,6	0	0	100
2.5	463,5	0	0	100
1.6	462	1,8	0.17	99.83
0.8	1320	1034,3	99.73	0.37
0.63	274,9	1	0.1	99.90

La densité :

Pour savoir la densité de ces grains on doit savoir la masse volumique de chaque produit et faire nos calculs

On a besoin d'une éprouvette de 50ml et une balance.

Pour les grains (1.6_2.5)

Le poids de l'éprouvette vide $m_0 = 98.5$ g

La masse total l'éprouvette rempli par les grains

$$m_t = 123.5 \text{ g}$$

$$m_1 = m_t - m_0 \quad \Rightarrow \quad m_1 = 123.5 - 98.3 = 25 \text{ g}$$

$$\rho = \frac{m_t - m_0}{v} = 0.5 \text{ g/ml}$$

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{eau}}} \quad \text{sachant que } \rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/ml}$$

$$\mathbf{d = 0.5}$$

Pour les grains (08_1.6)

Le poids de l'éprouvette vide $m_0 = 98.5$ g

La masse total l'éprouvette rempli par les grains

$$m_t = 150.2 \text{ g}$$

$$m_1 = m_t - m_0 \quad \Rightarrow \quad m_1 = 150.2 - 98.3 = 51.7 \text{ g}$$

$$\rho = (m_t - m_0)/v = 1.034 \text{ g/ml}$$

$$d = \rho/\rho_{\text{eau}} \quad \text{sachant que } \rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/ml}$$

$$\mathbf{d = 1.034}$$

Pour les grains (1.6_2)

Le poids de l'éprouvette vide $m_0 = 98.5$ g

La masse total l'éprouvette rempli par les grains

$$m_t = 146.2 \text{ g}$$

$$m_1 = m_t - m_0 \quad \Rightarrow \quad m_1 = 146.2 - 98.3 = 47.7 \text{ g}$$

$$\rho = (m_t - m_0)/v = 0.954 \text{ g/ml}$$

$$d = \rho/\rho_{\text{eau}} \quad \text{sachant que } \rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/ml}$$

$$\mathbf{d = 0.954}$$

Pour les grains (inconnu)

Le poids de l'éprouvette vide $m_0 = 98.5 \text{ g}$

La masse total l'éprouvette rempli par les grains

$$m_t = 147.4 \text{ g}$$

$$m_1 = m_t - m_0 \quad \Rightarrow \quad m_1 = 147.4 - 98.3 = 48.9 \text{ g}$$

$$\rho = (m_t - m_0) / v = 0.978 \text{ g/ml}$$

$$d = \rho / \rho_{\text{eau}} \quad \text{sachant que } \rho_{\text{eau}} = 1 \text{ g/ml}$$

$$\mathbf{d = 0.978}$$

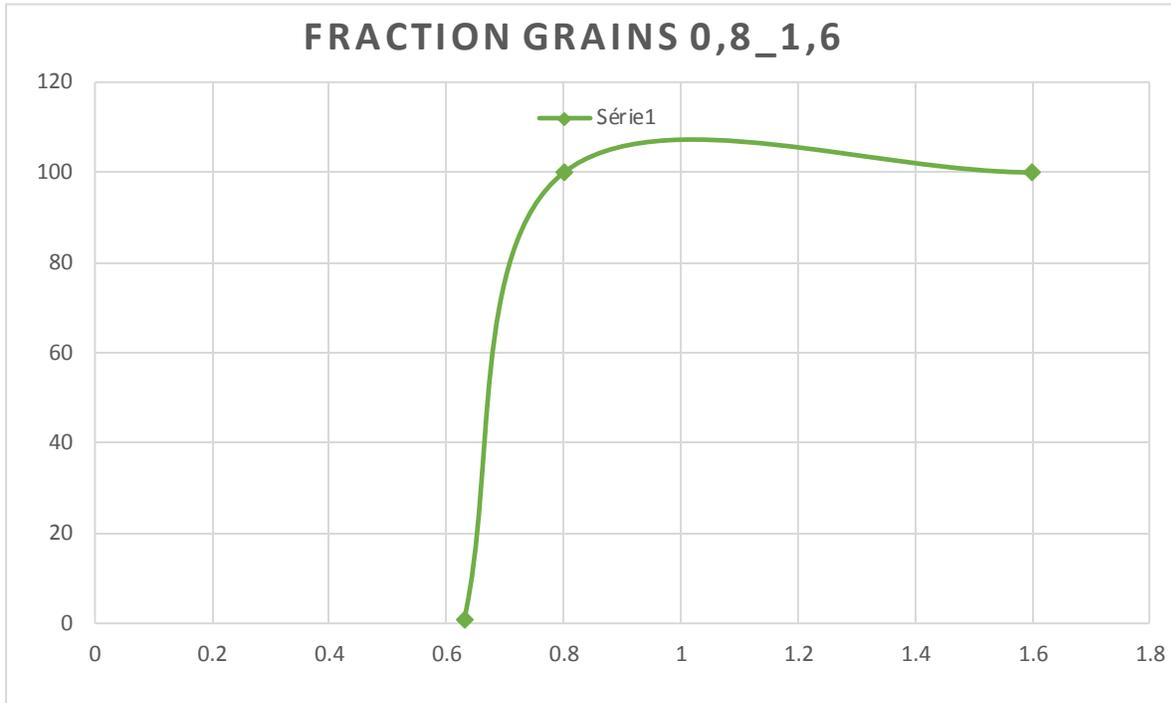


Figure 5.1 : Distribution granulométrique du sable utilisé.

Tableau 5.6 : Caractéristique physiques de lit filtrant

Diamètre Effectif d10 (mm)	0,63
d60 (mm)	0,67
Coefficient d'uniformité CU	1,06

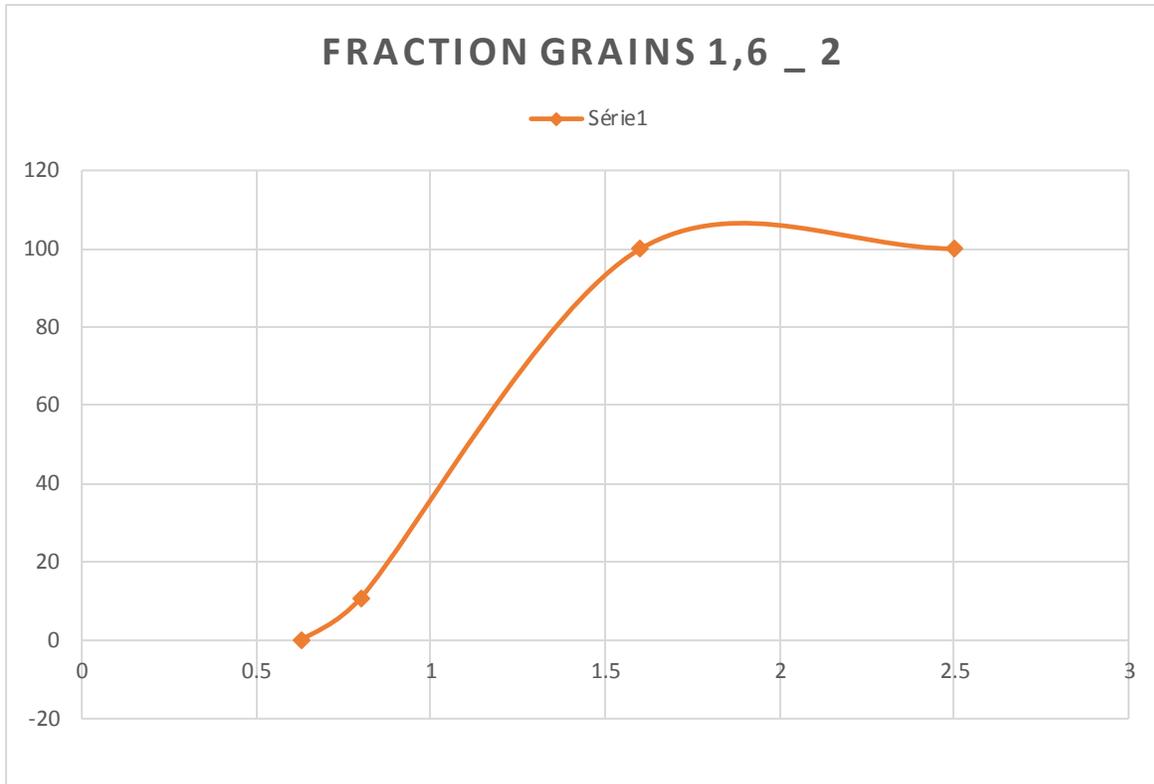


Figure 5.2 : Distribution granulométrique du sable utilisé.

Tableau 5.7: Caractéristique physiques de lit filtrant

Diamètre Effectif d10 (mm)	0,79
d60 (mm)	1,13
Coefficient d'uniformité CU	1,43

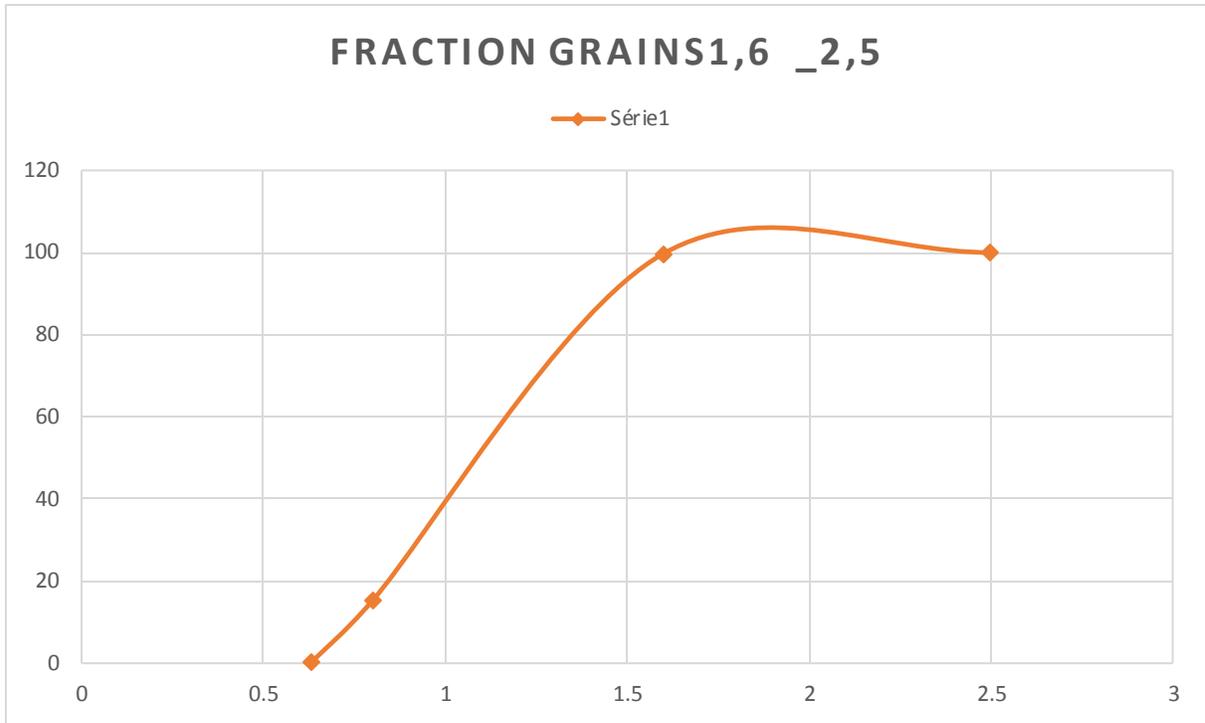


Figure 5.3 : Distribution granulométrique du sable utilisé.

Tableau 5.8 : Caractéristique physiques de lit filtrant

Diamètre Effectif d10 (mm)	0,75
d60 (mm)	1,17
Coefficient d'uniformité CU	1,56

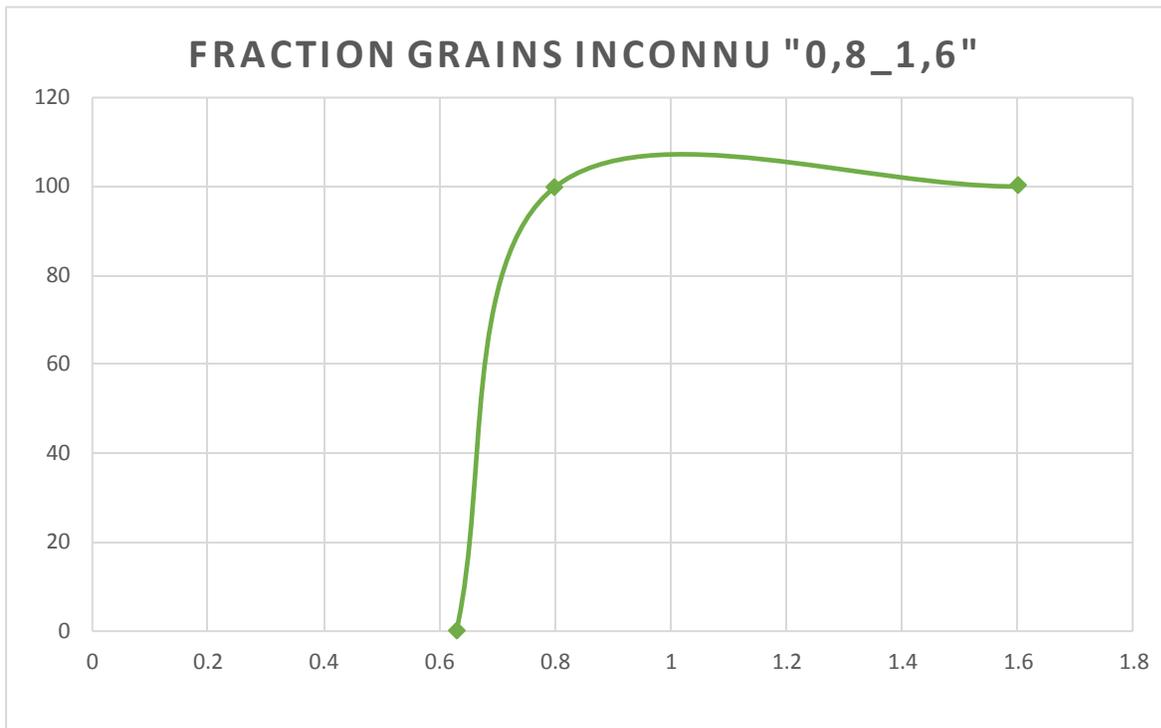


Figure 5.4 : Distribution granulométrique du sable utilisé.

Tableau 5.9 : Caractéristique physiques de lit filtrant

Diamètre Effectif d10 (mm)	0,62
d60 (mm)	0,68
Coefficient d'uniformité CU	1,09

L'analyse de l'ensemble des courbes granulométriques fait ressortir les coefficients d'uniformité. Le C_u est le rapport entre deux diamètres apparents, définis de telle sorte que la taille de 60 %, et respectivement 10 % des particules soit inférieure. Le coefficient d'uniformité est un indice d'irrégularité de la distribution de la taille des particules. Il est obtenu selon la Formule suivante :

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 %. Par conséquent, la référence suivante permet de déterminer l'uniformité de la courbe.

On a trouvé que $1 < C_u < 2$ la granulométrie est uniforme.

5.3 Résultats de l'analyse granulométrique des trois sables A, B, C :

Nous avons apporté une quantité de sable brute de la carrière et l'avons mis sous le protocole expérimental que nous faisons auparavant afin de connaître ses propriétés. Après cela, nous avons obtenu les résultats suivants :

- On prend 1700 g de grains A
- 1^{er} essaie

Après 30 min de tamisage

Tableau 5.10: analyse granulométrique du sable expansé brute A

Ouverture de la maille (mm)	Masse de tamis (g)	Masse de grain dans tamis (g)
3.15	595	96,4
2.5	819,5	356
1.6	842,3	382,1
0.8	831,1	442,7
0.63	696,7	422,8

- 2^{ème} essaie

Après 30 min de tamisage

Tableau 5.11: analyse granulométrique du sable expansé brute A

Ouverture de la maille (mm)	Masse de tamis (g)	Masse de grain dans tamis (g)
3.15	693,6	195
2.5	821,2	357,7
1.6	847,9	387,7
0.8	812	423,6
0.63	609,9	336

- On prend 1700 g de grains B
- 1^{er} essaie

Après 30 min de tamisage

Tableau 5.12: analyse granulométrique du sable expansé brute B

Ouverture de la maille (mm)	Masse de tamis (g)	Masse de grain dans tamis (g)
3.15	498,6	0
2.5	507,8	44
1.6	957,9	497,5
0.8	982,7	594,5
0.63	837,9	564

- 2^{ème} essaie

Après 30 min de tamisage

Tableau 5.13: analyse granulométrique du sable expansé brute B

Ouverture de la maille (mm)	Masse de tamis (g)	Masse de grain dans tamis (g)
3.15	509	10,4
2.5	600,9	137,4
1.6	1086	625,8
0.8	792,6	404,4
0.63	795,9	522

- On prend 1700 g de grains C
- 1 er essaie

Après 30 min de tamisage

Tableau 5.14: analyse granulométrique du sable expansé brute C

Ouverture de la maille (mm)	Masse de tamis (g)	Masse de grain dans tamis (g)
3.15	518,6	20
2.5	651	187,5
1.6	771,3	311,1
0.8	879,6	491,2
0.63	964,1	690,2

- 2ème essaie

Après 30 min de tamisage

Tableau 5.15: analyse granulométrique du sable expansé brute C

Ouverture de la maille (mm)	Masse de tamis (g)	Masse de grain dans tamis (g)
-----------------------------	--------------------	-------------------------------

3.15	533,4	34,8
2.5	599,7	136,2
1.6	846,4	386,2
0.8	883,6	505,2
0.63	911,5	637,6

Pour savoir la quantité de sable brute qu'on peut l'extraire de cette matière première que nous avons ramené de la carrière pour une bonne filtration dans chaque 1700g on va calculer le pourcentage de l'extraction des matières A, B, C :

Quand on a tamisé $m_t = 1700$ g de la Matière brute de la carrière, on prend la fraction 0,8 pour la 1^{er} et la 2^{ème} essaie

Et on calcul m_{moy}

Matières A :

Pour la 1^{er} essaie $\rightarrow m_1 = m_{0,8} + m_{1,6}$

$$m_1 = 382,1 + 442,7$$

$$m_1 = 824,8 \text{ g}$$

Pour la 2^{er} essaie $\rightarrow m_2 = m_{0,8} + m_{1,6}$

$$m_2 = 423,6 + 387,7$$

$$m_2 = 811,3 \text{ g}$$

$$M_{\text{moy}} = (m_1 + m_2) / 2$$

$$M_{\text{moy}} = (824,8 + 811,3) / 2$$

$$M_{\text{moy}} = 818,05 \text{ g}$$

$$1700 \text{ g} \implies 818,05 \text{ g}$$

$$1 \text{ t} \implies X$$

$$X = 818,05 / 1700$$

$$X = 0.4814$$

$$X = 48,14\%$$

Matières B :

Pour la 1^{er} essaie → $m_1 = m_{0,8} + m_{1,6}$

$$m_1 = 594,5 + 497,5$$

$$m_1 = 1092 \text{ g}$$

Pour la 2^{er} essaie → $m_2 = m_{0,8} + m_{1,6}$

$$m_2 = 404,4 + 625,8$$

$$m_2 = 1030 \text{ g}$$

$$M_{\text{moy}} = (m_1 + m_2) / 2$$

$$M_{\text{moy}} = (1092 + 1030) / 2$$

$$\mathbf{M_{\text{moy}} = 1061 \text{ g}}$$

$$1700 \text{ g} \text{ ===} \rightarrow 1061 \text{ g}$$

$$1 \text{ t} \text{ ===} \rightarrow X$$

$$X = 1061 / 1700$$

$$X = 0.6241$$

$$\mathbf{X = 62,41\%}$$

Matières C :

Pour la 1^{er} essaie → $m_1 = m_{0,8} + m_{1,6}$

$$m_1 = 311,1 + 491,2$$

$$m_1 = 802,3 \text{ g}$$

Pour la 2^{er} essaie → $m_2 = m_{0,8} + m_{1,6}$

$$m_2 = 386,2 + 505,2$$

$$m_2 = 891,4 \text{ g}$$

$$M_{\text{moy}} = (m_1 + m_2) / 2$$

$$M_{\text{moy}} = (802,3 + 891,4) / 2$$

$$\mathbf{M_{\text{moy}} = 846,85 \text{ g}}$$

$$1700 \text{ g} \text{ ===} \rightarrow 846,85 \text{ g}$$

$$1 \text{ t} \text{ ===} \rightarrow X$$

$$X = 846,85 / 1700$$

$$X = 0.4981$$

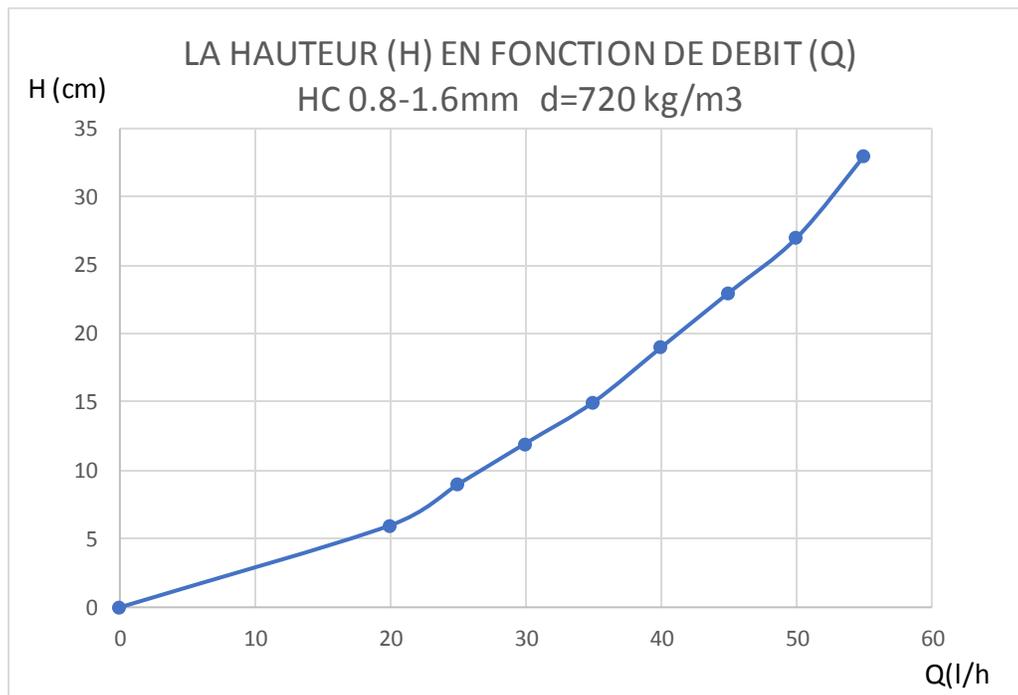
$$X = 49,81\%$$

Nous avons fait une série d'essais de trouver une hauteur pour chaque débit d'eau précis

Les résultats sont présentés dans les tableaux 1,2,3 et 4 :

1.

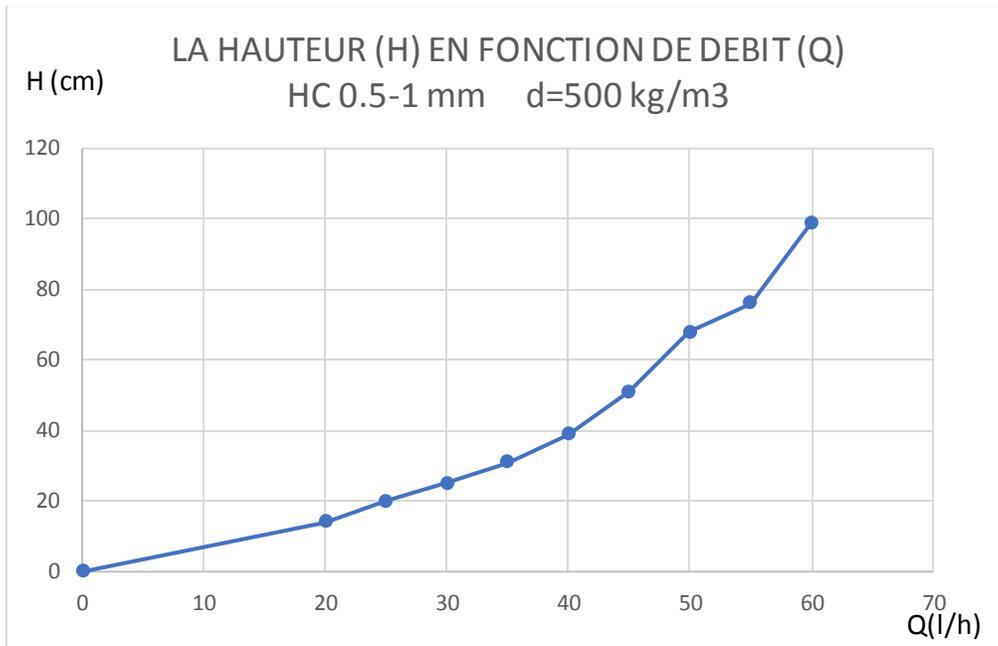
Q(l/h)	0	20	25	30	35	40	45	50	55
H(cm)	0	6.2	8.7	11.7	14.7	18.7	23.2	27.5	33.3



On a tracé un graphe qui nous présente l'augmentation de la hauteur de notre sable expansée en fonction d'un débit d'eau précis en chaque x temps. On remarque une lente augmentation d'hauteur avec un débit de 0 l/h à 20 l/h , à partir de point 20 l/h le graphe nous donne une forte augmentation s'arrive à un point d'hauteur de 33.3 cm avec un débit de 55 l/h .

2.

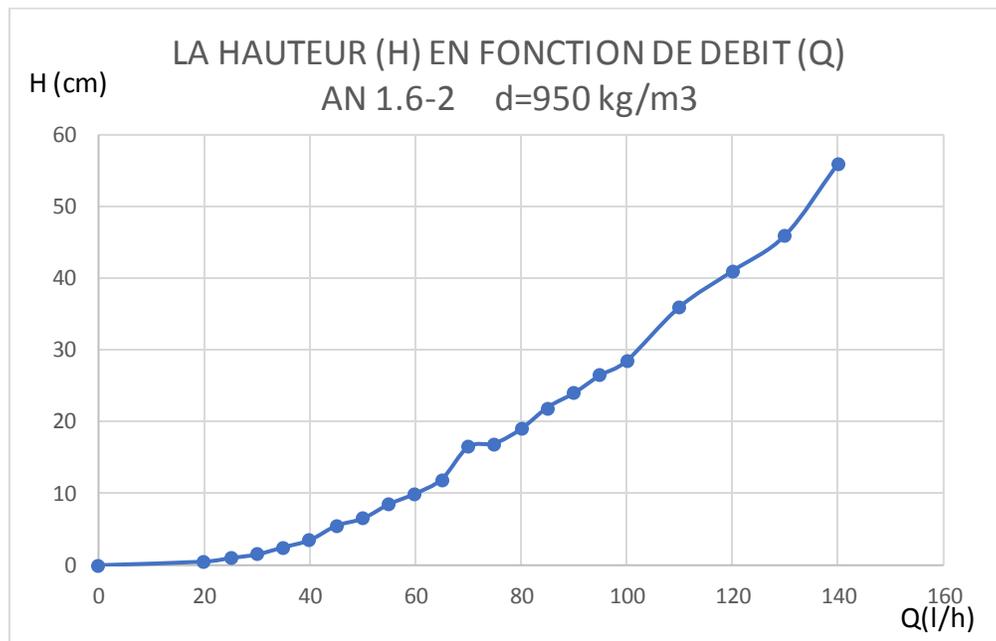
Q(l/h)	0	20	25	30	35	40	45	50	55	60
H(cm)	0	14.5	20	25.4	31.5	39	51	68	76	99



On a tracé un graphe qui nous présente l'augmentation de la hauteur de notre sable expansée en fonction d'un débit d'eau précis en chaque x temps. On remarque une petite augmentation d'hauteur avec un débit de 0 l/h à 20 l/h , à partir de point 20 l/h le graphe nous donne une augmentation significative s'arrive à un point d'hauteur de 99 cm avec un débit de 60 l/h .

3.

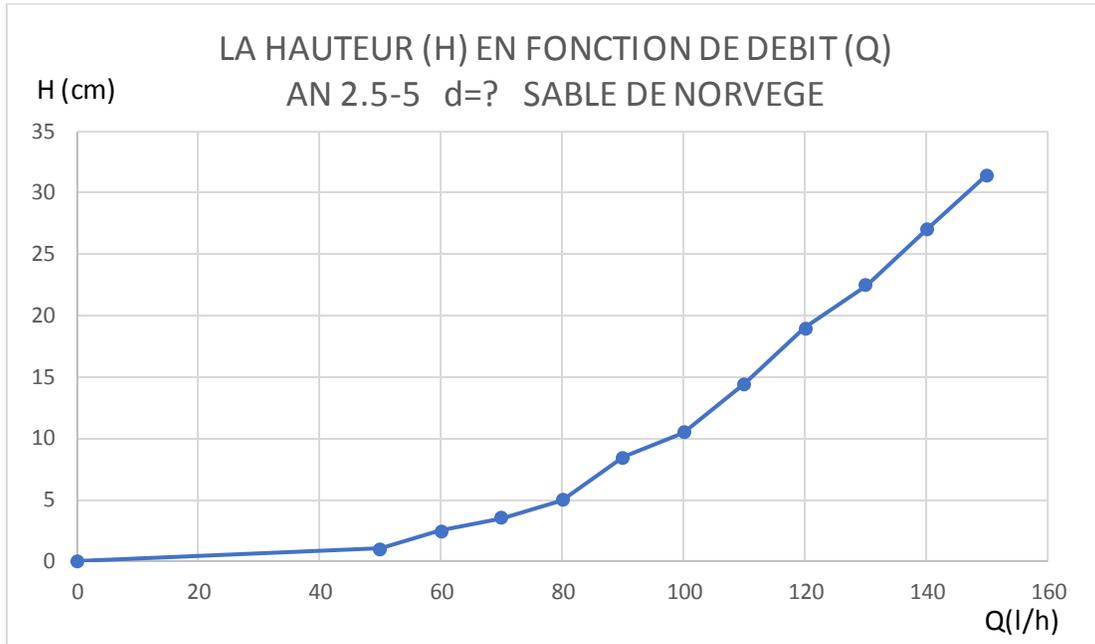
Q (l/h)	0	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	110	120	130	140	
H(cm)	0	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	8	10	12	16.5	17	19	22	24	26.5	28.5	36	41	46	56



On a tracé un graphe qui nous présente l'augmentation de la hauteur de notre sable expansée en fonction d'un débit d'eau précis en chaque x temps. On remarque une augmentation presque inexistante d'hauteur avec un débit de 0 l/h à 20 l/h , à partir de point 20 l/h le graphe nous donne une augmentation progressive s'arrive à un point d'hauteur de 46 cm avec un débit de 140 l/h .

4.

Q(l/h)	0	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
H(cm)	0	1	2.5	3.5	5	8.5	10.5	14.5	19	22.5	27	31.5



On a tracé un graphe qui nous présente l'augmentation de la hauteur de notre sable expansée en fonction d'un débit d'eau précis en chaque x temps. On remarque une très lente augmentation d'hauteur avec un débit de 0 l/h à 50 l/h , à partir de point 50 l/h le graphe nous donne une lente augmentation progressive s'arrive à un point d'hauteur de 31.5 cm avec un débit de 150 l/h .

La densité	Débit d'eau (l/h)	La hauteur (cm)	Nom de matériau
720	50	26	HC 0.8-1.6mm
500	50	70	HC 0.5-1mm
950	140	55	AN 1.6-2
?	140	28	AN 2.5-5

Tableau : résultat des graphes H(Q)

En effet pour une densité de 720 on a une hauteur 26cm avec un débit d'eau 50 l/h et pour une densité de 500 on a une hauteur 70cm avec un débit d'eau 50 l/h ,ce que veut dire plus le sable léger plus la hauteur augmente. Ainsi que pour un débit de 140 l/h on a marqué une hauteur de 55 cm avec une densité 950 et pour le sable de Norvège on conclure que la densité se varie entre 800 et 950 à partir des résultats qu'on a obtenu.

Conclusion générale :

L'objectif de ce projet de recherche est d'optimiser l'étape de la filtration par notre sable expansé fourni par la carrière ALGEXPAN en terme d'abattement de capacité de production.

Les conclusions principales qu'on peut tirer de cette étude se résument comme suit :

- L'argile expansée présente une porosité nettement supérieure, qui nous offre une perte de charge initiale moindre, une augmentation de perte de charge plus lente, Une plus grande capacité de rétention des particules, Des débits d'eau pour les rétro lavages plus faibles.
- L'analyse granulométrique permet de choisir les meilleurs échantillons pour une bonne filtration basant sur : la porosité, densité et le coefficient d'uniformité.
- Parmi une tonne de la matière première on peut extraire 48% jusqu'à 62% de sable brute pour une bonne filtration. De cela on voit que le sable B est le meilleur sable dans les trois A, B, C car il a le taux d'extraction le plus élevé 62.41%.
- D'après les résultats de coefficient d'uniformité on a trouvé $1 < CU < 2$ veux dire que tous les grains sont de la même taille, alors les grains sont homogènes.
- Ce nouveau média filtrant sable expansée utilisable dans différents traitements, tels que la production d'eau potable, le traitement des eaux usées, l'assainissement non collectif et la remédiation locale des eaux polluées.
- Ce matériau à l'avantage de réduit le temps de filtration et les débits d'eaux de rétro lavages.
- Plus la densité augmente, la hauteur diminue et le débit augmente. (d=500 Q=50 l/h ; d=950 Q=140 l/h).
- Un gain important en eau de lavage des filtres.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] www.cieau.com.
- [2] DSA technologies, université d'orleans.
- [3] Werner Siemens, inventeur allemand.
- [4] Rolf Sievert, physicien Suedois.
- [5] Jean Rodier.
- [6] Dictionnaire environnemen .
- [7] Water technologie and solutions.
- [9] Livre D.r Bessedik Madani Traitement de l'eau.
- [10] Lennetech Water Traitement.
- [11] Siges aquitaine.
- [12] www.filtralite.com
- [13] Hamouni, 2008.
- [14] Degremont, 1972.
- [15] Phillip D, 2012.
- [16] Mikel, Fitz Patrick, chipps, steels, et bayley, 2007.
- [17] <https://www.filtralite.com/fr2019>.
- [18] Eikebrokk, Bjornar et saltnes, 2001.
- [19] Eikebrokk, Bjornar et Saltnes, 2002, Saltnes, Torgeiretal 2002.
- [20] Mikol et al,2007.
- [21] Mitrouli, Karabelas, Yiantsios et Kjolseth,2006.
- [22] Mitrouli et Al 2009.
- [23] Davies et Wheatley,2012.
- [24] Badalians Gholikandi et Al, 2012
- [25] Cascon et Al, 2016.

Annexes

Matériels utilisés :

Figure1 : vibrotamis électrique.



Figure2 : balance 36kg.



Figure 3 : cristalliseur 1L.

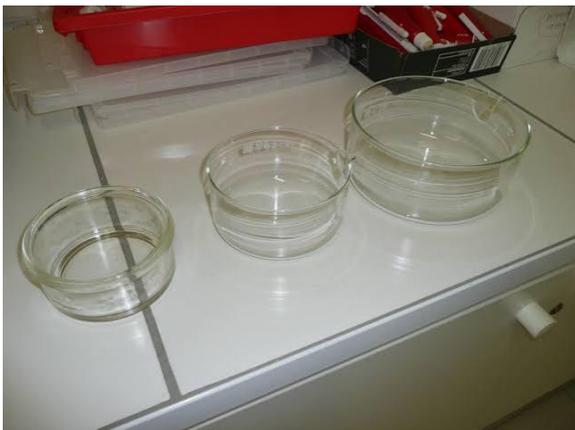




Figure 5 : Eprouvette 50 ml



Figure 4 : rotamètre