

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**UNIVERSITE de BLIDA1**

**Faculté de Technologie**

**Département de Génie des Procédés**



**Mémoire**

En vue de l'obtention du diplôme de

**MASTER EN GENIE DES PROCEDES**

**Spécialité : Génie de l'Environnement**

Intitulé du Mémoire

**Essais de filtration sur un média filtrant à base d'argile  
expansée lors de dessalement de l'eau de mer**

**Présenté par :**

OUCIF Ikram

AMROUCHE Sara

**Encadré par :**

Pr. AOUABED Ali

Année Universitaire 2023/2024

## **Remerciements**

Nous remercions **ALLAH**, le Tout-Puissant, de nous avoir donné la santé et la volonté nécessaires pour entamer et achever ce mémoire.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à toutes les personnes qui ont eu la bonté et la patience de satisfaire notre curiosité et de nous aider dans notre travail par leurs précieux conseils, réponses et recommandations.

Ce travail n'aurait pas été aussi riche et n'aurait pu voir le jour sans l'aide de notre promoteur, Mr. AOUABED Ali, Professeur à l'Université Blida 1.

Nous le remercions pour son encadrement exceptionnel, sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire.

Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à Mr. BOURAS Omar pour son soutien précieux, ses conseils avisés, et l'intérêt qu'il a manifesté à notre égard tout au long de ce travail.

Nous exprimons notre gratitude à tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer notre modeste travail.

Nos remerciements vont également à tous nos enseignants du département de Génie des Procédés pour leur générosité et la grande patience dont ils ont fait preuve au cours de ces cinq années d'études, malgré leurs lourdes charges académiques et professionnelles.

Enfin, nous tenons à exprimer notre gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, au bon déroulement de ce travail.

Qu'elles trouvent dans ces mots l'expression de notre reconnaissance pour leur présence, leur dévouement et l'aide inestimable qu'elles ont apportée tout au long de ce parcours. Ce fut un petit bout de chemin certes, mais un grand enrichissement.

## **DEDICACES**

Je dédie mon travail à **Ma très chère mère** : Affable, honorable, aimable, qui représente 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. Sa prière et sa bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

**Mon très cher père** : Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour lui. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de ses sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et ma formation

**Mon adorable et unique sœur Khaoula** : Ma chère présente dans tous mes moments par son soutien moral et ses belles surprises sucrées. Je lui souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je t'aime beaucoup.

Mon adorable frère Youcef Adel : Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Je lui souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Que je t'aime beaucoup.

**Mes chères amis(es)** : et groupe master 2 Génie de l'environnement, sans oublier le groupe de filtration

"À Sara, compagnon de travail précieux et inspirant, dont le soutien et la collaboration ont été indispensables à la réussite de ce mémoire. Merci pour ton engagement sans faille."

Ma chère amie Ikram sans ton soutien et tes encouragements ce travail n'aurait pas pu vu aujourd'hui.

**Ikram**

## **Dédicaces**

Je dédie ce mémoire à : Ma très chère mère : Ta gentillesse, ton dévouement et ton amour inconditionnel m'ont soutenu à chaque étape de ma vie.

Tu es la source de ma force et de mon inspiration. Que Dieu te bénisse avec santé, longue vie et bonheur.

Mon très cher père : Ton amour, ton soutien et tes efforts inlassables pour mon bien-être et mon éducation sont inestimables. Ce mémoire est le fruit de tes sacrifices et de ton dévouement.

Ma sœur adorée : Toujours présente pour m'encourager et m'apporter de la joie.

Je te souhaite un avenir rempli de bonheur, de réussite et de sérénité. Je t'aime énormément.

Mes chers amis : Pour votre soutien constant, vos encouragements et votre amitié précieuse tout au long de ce parcours, Je suis reconnaissant pour chacun de vous.

Ma binôme Ikram : Sans ton soutien, ta collaboration et tes encouragements, ce mémoire n'aurait pas vu le jour. Merci pour ton dévouement et ton amitié.

**Sara**

## ملخص

تحلية مياه البحر هي حل أساسي لتلبية الطلب المتزايد على مياه الشرب، خاصة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. ومع ذلك، فإن عملية التحلية تواجه العديد من التحديات، من بينها المعالجة الأولية لمياه البحر لإزالة الشوائب والجسيمات الصلبة العالقة قبل وصولها إلى أغشية التحلية. تدرس هذه الأطروحة فعالية وسائط الترشيح المختلفة في المعالجة الأولية لمياه البحر المخصصة للتحلية.

تم إجراء تجارب الترشيح باستخدام مواد ترشيح متنوعة، مثل FILTREXPAN HC 0.8-1.6 و FILTREXPAN NC 1.6-2.5 والرمل العادي والسريير المزدوج الطبقة (FILTREXPAN HC 0.8-1.6) و FILTREXPAN NC 1.6-2.5). تم تقييم أداء كل مادة من حيث تقليل العكارة وتركيز المواد الصلبة العالقة ومعايير جودة المياه الأخرى. تظهر النتائج أن الطين الموسع، على وجه الخصوص، يقدم فعالية ملحوظة في تقليل العكارة والجسيمات العالقة.

يسلط هذا العمل الضوء على أهمية اختيار وسيط الترشيح لتحسين المعالجة الأولية لمياه البحر وإطالة عمر أغشية التحلية. قد تساهم استنتاجات هذه الدراسة في تحسين أنظمة التحلية الحالية وتطوير حلول أكثر استدامة وفعالية لإنتاج مياه الشرب. الكلمات الرئيسية: الترشيح، مادة الترشيح، المعالجة المسبقة FILTREXPAN ،

## Abstract

Desalination of seawater is an essential solution to meet the increasing demand for drinking water, particularly in arid and semi-arid regions. However, the desalination process presents several challenges, including the pretreatment of seawater to remove impurities and suspended solid particles before it reaches the desalination membranes. This thesis studies the effectiveness of different filter media in the pretreatment of seawater intended for desalination.

Filtration tests were conducted using various filter materials, such as FILTREXPAN HC 0.8-1.6, FILTREXPAN NC 1.6-2.5, normal sand, and a dual-media bed (FILTREXPAN HC 0.8-1.6 and FILTREXPAN NC 1.6-2.5). The performance of each material was evaluated in terms of turbidity reduction, concentration of suspended solids, and other water quality parameters. The results show that expanded clay, in particular, offers notable efficiency in reducing turbidity and suspended particles. This work highlights the importance of selecting the appropriate filter media to optimize seawater pretreatment and extend the lifespan of desalination membranes. The conclusions of this study could help improve existing desalination systems and develop more sustainable and effective solutions for potable water production.

The keywords: filtration filtering material, FILTREXPAN, pretreatment.

## Résumé

Le dessalement de l'eau de mer est une solution essentielle pour répondre à la demande croissante en eau potable, notamment dans les régions arides et semi-arides. Cependant, le processus de dessalement présente plusieurs défis, parmi lesquels le prétraitement de l'eau de mer pour éliminer les impuretés et les particules solides en suspension avant qu'elle n'atteigne les membranes de dessalement. Ce mémoire étudie l'efficacité de différents médias filtrants dans le prétraitement de l'eau de mer destinée au dessalement.

Des essais de filtration ont été réalisés en utilisant divers matériaux filtrants, tels que FILTREXPAN HC 0.8-1.6, FILTREXPAN NC 1.6-2.5, sable normal et le lit bicouche (FILTREXPAN HC 0.8-1.6 ET FILTREXPAN NC 1.6-2.5). Les performances de chaque matériau ont été évaluées en termes de réduction de la turbidité, de la concentration en solides en suspension et d'autres paramètres de qualité de l'eau. Les résultats montrent que l'argile expansée, en particulier, offre une efficacité notable dans la réduction de la turbidité et des particules en suspension.

Ce travail met en lumière l'importance du choix du média filtrant pour optimiser le prétraitement de l'eau de mer et prolonger la durée de vie des membranes de dessalement. Les conclusions de cette étude pourraient contribuer à améliorer les systèmes de dessalement existants et à développer des solutions plus durables et efficaces pour la production d'eau potable.

Les mots clés : filtration matériau filtrant, FILTREXPAN, prétraitement.

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS**

NTU : Nephelometric Turbidity Units

pH : Potentiel d'hydrogène

NC : Densité normale

HC : Densité élevée

C : Concassée/Broyée

HCl : Acide chlorhydrique

$\Delta h$  : Perte de charge

Umf : Vitesse minimale de fluidisation

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I 1</b> : Schéma général d'une installation de dessalement .....	5
<b>Figure I 2</b> : Prétraitements conventionnels à l'osmose inverse .....	12
<b>Figure II 3</b> : mécanisme de capture .....	23
<b>Figure II 4</b> : Mécanisme de fixation .....	24
<b>Figure II 5</b> : Spectre de fluidisation et diagramme de pertes de charge.....	26
<b>Figure II 6</b> : Les phases de la fluidisation solide liquide régimes d'écoulement.....	29
<b>Figure II 7</b> : Photo du site et logo de l'usine de l'argile expansée « LGEXPAN ».....	31
<b>Figure II 8</b> : Les différentes fractions d'argile expansée.....	31
<b>Figure III 9</b> : Photo microscopique de sable FILTREXPAN.....	38
<b>Figure III 10</b> : Schéma général de l'installation .....	39
<b>Figure III 11</b> : schéma de montage de pilote expérimental .....	41
<b>Figure IV 12</b> : Distribution granulométrique du sable utilisé.....	
<b>Figure IV 13</b> : Distribution granulométrique du sable utilisé. ....	44
<b>Figure IV 14</b> : Diffraction des rayons X (DRX) .....	45
<b>Figure IV 15</b> : Variation de la hauteur de lit NC (1.6_2.5) en fonction de débit .....	52
<b>Figure IV 16</b> : Variation de la hauteur de lit Filtralite en fonction de débit .....	53
<b>Figure IV 17</b> : Variation de la hauteur de lit (sable normal) en fonction de débit .....	54
<b>Figure IV 18</b> : Variation de la hauteur du lit en fonction du débit (lit bicouche) .....	55
<b>Figure IV 19</b> : Variation de la hauteur du lit en fonction du débit.....	56
<b>Figure IV 20</b> : Variation de la porosité du lit en fonction de la vitesse d'écoulement .....	57
<b>Figure IV 21</b> : Variation de la perte de charge en fonction du temps (sable normal).....	58
<b>Figure IV 22</b> : Variation de la turbidité en fonction du temps (sable normal).....	61
<b>Figure IV 23</b> : Variation de la perte de charge en fonction du temps (HC).....	62

<b>Figure IV 24</b> : Variation de la turbidité en fonction du temps.....	63
<b>Figure IV 25</b> : Variation de la perte de charge en fonction du temps (bicouche).....	63
<b>Figure IV 26</b> : Variation de la perte de charge en fonction du temps.....	64
<b>Figure IV 27</b> : Variation de la perte de charge en fonction du temps (HC).....	65
<b>Figure IV 28</b> : Variation de la turbidité en fonction du temps (FILTREXPAN 0.8-1.6).....	66
<b>Figure IV 29</b> : Variation de la perte de charge en fonction de temps bicouche.....	66
<b>Figure IV 30</b> : Variation de la perte de charge en fonction du temps.....	67
<b>Figure IV 31</b> : Variation de la perte de charge en fonction du temps.....	68

## Liste des tableaux

<b>Tableau II 1</b> : Composition ionique des eaux de mer .....	6
<b>Tableau II 2</b> : Concentrations moyennes des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer .....	7
<b>Tableau II 3</b> : Eléments nutritifs rencontrés dans l'eau de mer .....	7
<b>Tableau II 4</b> : Terminologie utilisée pour désigner les variantes du procédé de filtration directe (Ndiongue, 1999).....	21
<b>Tableau IV 5</b> : Masses volumique apparente de la fraction 0.8-1.6 FILREXPAN .....	46
<b>Tableau IV 6</b> : Masses volumiques absolue de la fraction 0.8-1.6 FILREXPAN.....	47
<b>Tableau IV 7</b> : Masses volumiques (1.6-2.5 NC FILTRXPAN, 0.8-1.6 HC FILTREXPAN, Le sable normal) .....	48
<b>Tableau IV 8</b> : Pourcentage de solubilité à l'acide.....	49
<b>Tableau IV 9</b> : Porosité ( $\epsilon$ ) de FILTREXPAN HC, NC et sable normal .....	49
<b>Tableau IV 10</b> : Caractéristiques de FILTREXPAN 0.8-1.6 ET Filtralite Pure HC 0,8-1,6 .....	51
<b>Tableau IV 11</b> : Caractéristiques de FILTREXPAN NC1.6-2.5 Filtralite Pure NC 1,5-2,5 ...	51
<b>Tableau IV 12</b> : Variation de débit de lavage de matériau filtrant .....	59

## Table de matière

**Remerciement**

**Dédicace**

**ملخص**

**Abstract**

**Résumé**

**Liste des abréviations**

**Liste des figures**

**Liste des tableaux**

**Introduction générale .....1**

**Chapitre I : Utilisation de la filtration comme prétraitement au dessalement**

I.1. Introduction .....4

I.2 Définition du processus de dessalement ..... 4

I.3 Etapes de dessalement .....4

I.4 Composition de l'eau de mer .....5

I.4.1 Composition inorganique .....6

I.4.2 Autres éléments minéraux présents dans l'eau de mer .....6

I.5 Procédés de prétraitement des eaux de mer .....8

I.5.1 Prétraitement conventionnel .....8

I.5.2 Prétraitement par membranes .....13

I.6 Importance du Prétraitement par Filtration .....13

I.7 Avantages et limites de la filtration comme prétraitement .....14

**Chapitre II : Principes de filtration sur media filtrants**

II.1 Synthèse bibliographique .....16

II.2 Filtration .....18

II.3 Rôle de la filtration .....18

II.4 Types de filtres granulaires .....	19
II.5 Vitesse de filtration et perte de charge .....	19
II.5.1 Filtration lente .....	19
II.5.2 Filtration rapide .....	20
II.5.3 Filtration d'une eau coagulée et décantée .....	22
II.6 Granulométrie .....	23
II.7 Mécanisme de filtration .....	23
II.7.1 Mécanisme de capture .....	23
II.7.2 Mécanisme de fixation .....	24
II.7.3 Mécanisme de détachement .....	24
II.8 Mécanisme de rétention .....	25
II.8.1 Diagramme de perte de charge.....	26
I.9 Filtration sur média .....	26
II.10 Matériaux filtrants .....	27
II.11 Paramètres influençant l'efficacité de la filtration .....	27
II.12 Fluidisation .....	28
II.12.1 Phénomène de fluidisation .....	28
II.13 L'argile expansée .....	30
II.13.1 Présentation de l'usine .....	30
II.13.2 L'argile expansée et les filtres granulaires .....	32
 <b>Chapitre III : Matériel et méthodes</b>	
III.1 Introduction .....	34
III.2 Préparation de sable .....	35

III.2.1 Analyse granulométrique .....	35
III.2.2 Détermination des masses volumiques .....	36
III.2.2.1 Masse volumique apparente ( $\rho_{ap}$ ) .....	36
III.2.2.2 Masse volumique absolue ( $\rho_{ab}$ ) .....	36
III.2.3 Attaque à l'acide chlorhydrique (HCl) .....	37
III.2.4 Porosité ( $\epsilon$ ).....	37
III.2.5 Analyse microscopique .....	37
III.2.6 Microscopie optique .....	38
III.3 Partie hydrodynamique : Fluidisation .....	39
III.3.1 Dispositif expérimental .....	39
III.3.2 Méthodologie .....	40
III.4 Filtration .....	41
III.4.1 Dispositif de filtration .....	41
III.4.2 Méthodologie .....	42
 <b>Chapitre IV : Résultats et discussions</b>	
IV.1 Caractérisation du sable .....	44
IV.1.1 Analyse granulométrique .....	44
IV.1.2 Diffraction des rayons X (DRX) .....	45
IV.1.3 Détermination des masses volumiques .....	45
IV.1.4 Attaque à l'acide .....	48
IV.1.5 Porosité .....	48
IV.2 Hydrodynamique fluidisation .....	51
IV.2.1 Analyse des caractéristiques hydrodynamiques du lit .....	51

IV.2.2	Variation de la hauteur en fonction de débit (NC (1.6-2.5))	51
IV.2.3	Variation de la hauteur en fonction de débit (Filtralite)	52
IV.2.4	Variation de la hauteur en fonction de débit (sable normal)	53
IV.2.5	Variation de la hauteur en fonction de débit (lit bicouche)	55
IV.2.6	Comparaison des résultats	56
IV.3	Variation de la porosité du lit en fonction de la vitesse d'écoulement (HC)	57
IV.4	Débit de lavages	58
IV.5	Filtration	59
IV.5.1	Filtration de l'eau synthétique	60
IV.5.1.1	Filtration sur sable normal	60
IV.5.1.2	Filtration sur FILTREXPAN HC 0.8-1.6	61
IV.5.1.3	Filtration sur bicouche (FILTREXPAN HC (0.8-1.6) et (FILTREXPAN NC (1.6- 2.5))	63
IV.5.2	Filtration de l'eau de mer	64
IV.5.2.1	Filtration sur FILTRXPAN HC (0.8-1.6)	65
IV.5.2.2	Filtration sur le lit bicouche (FILTREXPAN HC 0.8-1.6) et (FILTREXPAN NC 1.6-2.5)	66
IV.5.2.3	Comparaison des résultats entre bicouche et HC	67
	Conclusion générale	68
	Références bibliographiques	

# **Introduction général**



## Introduction générale

L'augmentation de la demande mondiale en eau douce, conjuguée à la rareté croissante des ressources en eau, a conduit à une exploration intensive des technologies de dessalement. Actuellement, environ 40% de la population mondiale vit dans des régions souffrant de pénurie d'eau, et cette proportion pourrait augmenter en raison des changements climatiques et de la croissance démographique.

Le dessalement, qui consiste à extraire le sel et d'autres minéraux de l'eau de mer ou des eaux saumâtres, est devenu une solution incontournable pour répondre aux besoins en eau potable dans les régions arides et semi-arides.

Parmi les diverses technologies de dessalement, l'osmose inverse, la distillation multi-étages, et la distillation par effet de vapeur sont les plus couramment utilisées.

Cependant, ces technologies ne peuvent fonctionner efficacement sans un prétraitement adéquat de l'eau, destiné à éliminer les matières en suspension et les colloïdes.

Le prétraitement est crucial pour protéger les membranes de dessalement et les autres équipements de l'encrassement et de l'usure prématurée.

Dans ce contexte, la filtration sur média filtrant joue un rôle fondamental. La filtration sur média filtrant est une technique de séparation solide-liquide qui utilise un lit de matériau granulaire pour éliminer les particules et les impuretés présentes dans l'eau.

Ce processus repose sur plusieurs mécanismes, notamment la sédimentation, l'interception, la diffusion et la capture par tamisage.

Les médias filtrants couramment utilisés incluent le sable, l'anthracite, et les graviers, mais des matériaux avancés comme les zéolithes et les matériaux synthétiques peuvent également être employés pour améliorer les performances de filtration.

La première partie de ce mémoire est consacrée à l'étude bibliographique sur le processus de dessalement et l'importance du prétraitement, avec des généralités sur les principales propriétés de l'eau de mer.

Le procédé de filtration sur sable est aussi abordé, incluant les mécanismes, les aspects hydrauliques de la filtration et les caractéristiques physiques du lit filtrant (sable).

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

Dans la partie expérimentale, nous présentons les différents résultats obtenus lors de la réalisation de nos essais, la caractérisation du média filtrant, ainsi que la partie hydrodynamique avec des essais de filtration de l'eau synthétique et de l'eau de mer.

En conclusion, la filtration sur média filtrant est un élément clé dans le prétraitement de l'eau pour le dessalement.

En approfondissant les mécanismes et les optimisations possibles avec FILTREXPAN, cette recherche apporte une contribution significative à la gestion durable des ressources en eau et au développement des technologies de dessalement.

# **Chapitre I**

## **Utilisation de la filtration comme prétraitement au dessalement**

# **Chapitre I : Utilisation de la filtration comme prétraitement au dessalement**

## **I.1. Introduction**

La pénurie d'eau potable est une problématique mondiale croissante, exacerbée par l'urbanisation rapide, le changement climatique et l'augmentation de la population.

Le dessalement de l'eau de mer est devenu une solution vitale pour de nombreuses régions côtières et arides, offrant ainsi une source d'eau douce fiable et renouvelable.

Cependant, le dessalement est un processus complexe qui nécessite une préparation minutieuse de l'eau brute pour assurer son efficacité et sa durabilité.

L'une des étapes critiques dans le processus de dessalement est le prétraitement de l'eau de mer, où la filtration joue un rôle prépondérant.

Ce chapitre explore en profondeur l'utilisation de la filtration comme prétraitement au dessalement, en mettant en lumière son importance, ses différentes techniques et ses avantages.

## **I.2 Définition du processus de dessalement**

Le dessalement de l'eau, appelé aussi dessalage est une technique de déminéralisation permettant de traiter l'eau salée afin de la rendre douce pour un usage domestique ou industriel. Ce procédé consiste à séparer les sels dissous dans l'eau et à éliminer les ions en solution responsables de sa minéralisation excessive [1].

## **I.3 Etapes de dessalement**

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent les quatre étapes suivantes :

- **Alimentation en eau de mer intake :**

Elle peut s'effectuer, soit par prise directe, soit par puits côtiers. Ce dernier système permet d'obtenir une eau non turbide, ce qui soulage les prétraitements.

- **Prétraitement :**

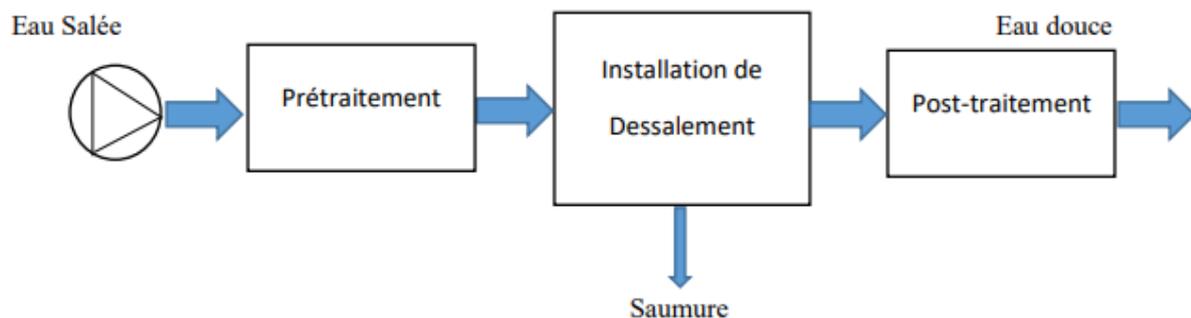
Les prétraitements ont pour rôle d'améliorer la qualité de l'eau d'alimentation avec une filtration plus fine.

- **Installation de dessalement :**

Elle a pour rôle la séparation du perméat et du concentrât.

- **Post-traitement :**

En sortie de l'unité de dessalement, l'eau n'est pas potable car elle est déminéralisée. Le post traitement avec une éventuelle reminéralisations de l'eau produite rend l'eau douce conforme aux normes selon les usages. A l'issue de ces quatre étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement. Elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre [1].



**Figure1 : Schéma général d'une installation de dessalement**

#### **I.4 Composition de l'eau de mer**

L'eau de mer est composée principalement d'eau et de sels, ainsi que de diverses substances présentes en faibles quantités. Bien que plus des deux tiers des 92 éléments chimiques naturels se retrouvent dans l'eau de mer, la majorité d'entre eux sont présents en quantités infimes et difficiles à détecter.

La salinité, qui désigne la concentration en sels dissous, est l'un des paramètres les plus importants de l'eau de mer. La salinité moyenne des océans est de 35 g/kg, généralement comprise entre 30 g/kg (Atlantique nord), 40 g/kg (mer rouge) et 39 g/kg (mer méditerranée)

En outre, l'eau de mer se caractérise par sa température et sa concentration en composés organiques [2].

### I.4.1 Composition inorganique

L'eau de mer est composée principalement de sels dissous, représentant plus de 99,9% de ses constituants.

La concentration en sels varie en fonction de la position géographique et de la saison.

**Tableau 1. Composition ionique des eaux de mer [3].**

	<b>Concentration en (ppm)</b>	<b>Eau de mer standard</b>	<b>Mer Méditerranée</b>	<b>Golfe Arabique</b>
	Concentration totale	35 000	39 000	45 000
<b>Cations</b>	Sodium (Na <sup>+</sup> )	10 760	11 973	13 830
	Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	1 294	1 443	1 660
	Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	412	468	530
	Potassium (K <sup>+</sup> )	387	429	497
<b>Anions</b>	Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	19 353	21 567	24 900
	Sulfates (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2 712	3 003	3 500
	Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	142	156	182
	Bromures (Br <sup>-</sup> )	67	78	86

Les eaux de mer sont caractérisées par une grande salinité ; c'est-à-dire une teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, calcium, sulfates et carbonates), et par un milieu légèrement basique avec un pH moyen variant entre 7,5 et 8,3 [3].

#### I.4.1.1 Autres éléments minéraux présents dans l'eau de mer

La présence de bore dans l'eau de mer peut poser des problèmes de santé à partir d'une certaine concentration. Dans l'eau de mer standard, cette concentration est d'environ 4,5 mg/L. Les éléments traces métalliques se trouvent dans l'eau de mer à des concentrations d'environ une partie par billion ( $10^{-3}$  mg/kg) en masse, voire moins.

Le Tableau 2 répertorie les principaux éléments traces métalliques présents dans l'eau de mer.

**Tableau 2. Concentrations moyennes des principaux éléments traces métalliques présents dans une eau de mer [3].**

Constituants	Concentrations (10 <sup>-3</sup> mg/kg)
Titane, (Ti)	1
Zinc, (Zn)	0,5
Nickel, (Ni)	0,48
Aluminium, (Al)	0,4
Cadmium, (Cd)	0,1
Cuivre, (Cu)	0,1
Fer, (Fe)	0,055
Manganèse, (Mn)	0,03
Plomb, (Pb)	0,002
Mercure, (Hg)	0,001

L'eau de mer contient également des éléments nutritifs, utilisés par les phytoplanctons pour produire de la matière organique par photosynthèse.

Outre le carbone, ces éléments incluent principalement le phosphore, l'azote inorganique et le silicium, dont les différentes formes sont répertoriées dans le Tableau 3

**Tableau 3. Eléments nutritifs rencontrés dans l'eau de mer de bou smail [3].**

Elément	Forme	Localisation ou proportion	Concentration (µmol/L)
Phosphore	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	90%	1
	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	10%	1
Azote Inorganique	N <sub>2</sub> (gaz dissous)	Majoritaire	---
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Zones oxygénées	Quelques
	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Zones anoxiques	dizaines
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		0,1 – 2

		Zones oxygénées et anoxiques	5 – 100
Silicium	Si(OH) <sub>4</sub>	Principalement régions Volcaniques et en surface (coquilles d'organismes)	25 – 550

## I.5 Procédés de prétraitement des eaux de mer

Avant l'opération d'osmose inverse, l'eau de mer doit subir plusieurs prétraitements visant à prolonger la durée de vie des membranes et à réduire le risque de colmatage.

En pratique, il existe deux types principaux de prétraitements, qui offrent une efficacité similaire mais diffèrent principalement par leur encombrement. Il s'agit de :

- Le prétraitement conventionnel
- Le prétraitement par membranes

Ces prétraitements sont essentiels pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité des systèmes d'osmose inverse. [4]

### I.5.1 Prétraitement conventionnel

Majoritairement utilisé dans les usines de dessalement, Cette filière comporte les éléments suivants :

- **Préfiltration grossière**

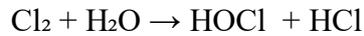
Elle sert à éliminer les gros matériaux susceptibles d'endommager les installations et de réduire l'efficacité du traitement. Cela peut être réalisé à l'aide d'appareils mécaniques comme les tamis rotatifs [4].

- **Chloration :**

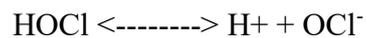
La chloration a pour objectif d'inactiver les microorganismes, principalement les bactéries, ainsi que les micro-algues et les champignons.

Ces organismes peuvent être pathogènes et provoquer un colmatage des membranes, connu sous le nom de biofouling toutes les réactions chimiques dans la surface

Le chlore est ajouté sous forme d'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou de dichlore gazeux (Cl<sub>2</sub>), qui se transforme en acide hypochloreux (HOCl) lors de l'hydrolyse :



Dans l'eau, l'acide hypochloreux (acide faible) est dissocié en ions hydrogène (H<sup>+</sup>) et hypochlorite (OCl<sup>-</sup>)



La somme des composés Cl<sub>2</sub>, NaOCl, HOCl et OCl<sup>-</sup> constitue le chlore résiduel libre. Pour empêcher le colmatage des membranes, une concentration de chlore résiduel libre de 0,5 à 1 mg/L doit être maintenue constante tout au long de la filière de prétraitement.

Cependant, l'expérience acquise dans plusieurs unités de dessalement par osmose inverse a montré qu'une chloration permanente à faible dose favorise plutôt le biofouling.

Cela s'explique par le fait que certaines bactéries résistantes au chlore développent une activité biologique intense dans le module d'osmose inverse, en raison de l'abondance de nourriture fournie par les composés organiques assimilables résultant de l'oxydation de la matière organique par le chlore (comme les acides humiques).

En tenant compte de cette expérience, il est recommandé de ne réaliser qu'un traitement choc, par exemple avec une concentration de chlore de 5 à 20 mg/L pendant une heure chaque semaine.[4].

- **Ajustement du pH**

De l'acide comme l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) est ajouté à l'eau pour empêcher l'entartrage des canalisations par le carbonate de calcium (CaCO<sub>3</sub>) [4].

- **Coagulation - floculation -décantation**

La turbidité et la couleur de l'eau sont principalement causées par de très petites particules, appelées particules colloïdales.

Ces particules peuvent rester en suspension dans l'eau pendant de longues périodes et peuvent même traverser des filtres très fins.

De plus, en raison de leur faible concentration, ces particules n'ont pas tendance à s'agglomérer. Pour les éliminer, on utilise des procédés de coagulation et de floculation [4].

#### **a. Coagulation**

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, chargées négativement le plus souvent, par des composées de deux métaux lourds  $Al^{3+}$  et  $Fe^{3+}$ .

Ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapides de produits chimiques appelés coagulants.

Ces derniers sont ajoutés pour permettre l'agglomération des particules colloïdales. Les sels les plus utilisés sont :

-Chlorure ferrique  $FeCl_3$

-Sulfate ferrique  $Fe(SO_4)_3$

-Sulfate d'aluminium  $Al_2(SO_4)_3$

En effet, la charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres et, par conséquent, à les stabiliser dans la solution [4].

#### **b. Floculation**

Après avoir été déstabilisé, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres.

Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers.

La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées.

La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquels sont provoqués par la différence de vitesse entre ces particules [4].

### **c. Décantation**

La décantation est un procédé qu'on utilise dans pratiquement toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux.

Elle a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau.

Ces particules sont généralement des particules de floc ou des particules résultant d'une précipitation chimique (adoucissement ou élimination de fer et de manganèse).

Des particules s'accumulent au fond du bassin de décantation qu'il faut les extraire périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'étape de filtration [4].

### **d. Filtration sur sable mono ou multicouche**

La filtration est un procédé physique conçu pour clarifier l'eau contenant des matières solides en suspension en la faisant passer à travers un milieu poreux.

Les solides en suspension sont retenus et s'accumulent dans le milieu poreux, nécessitant un nettoyage intermittent.

Habituellement précédée par des traitements de coagulation-floculation et de décantation, la filtration permet d'éliminer efficacement les bactéries, la couleur, la turbidité, ainsi que certains goûts et odeurs.

En dessalement de l'eau de mer, la filtration sur sable bicouche est suffisante pour atteindre une eau de qualité à l'alimentation des osmoseurs [4].

### **e. Déchloration et antitartre**

La déchloration peut être effectuée avant l'étape d'osmose inverse, car le chlore résiduel peut détériorer les membranes d'osmose inverse.

Les fournisseurs de membranes observent une dégradation des membranes composites après des temps de contact de 200 à 1000 heures avec une concentration en chlore résiduel libre de 1 mg/L.

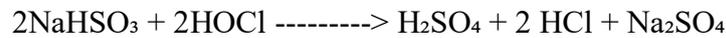
Cette dégradation est plus rapide dans des solutions alcalines et à des températures élevées.

Pour éliminer le chlore, on utilise généralement du métabisulfite de sodium ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) en raison de son efficacité et de son faible coût.

Le métabisulfite de sodium réagit avec l'eau pour former du bisulfite de sodium :



Le bisulfite de sodium réduit l'acide hypochloreux comme suit :



En théorie, il est nécessaire d'en utiliser 1,34 mg pour 1 mg de chlore résiduel. Cependant, en pratique il faut en ajouter 3mg [4].

#### f. Chloration à cartouche

C'est l'ultime étape du prétraitement conventionnel. Il va rester des particules d'un diamètre supérieur à 5  $\mu\text{m}$  qui présentent le risque d'endommager le module d'osmose inverse.

On doit donc réaliser une filtration plus fine dont la taille de maille choisie est de 5 à 10 microns. La Figure 2 illustre l'ensemble des étapes du prétraitement conventionnel utilisé dans les installations de dessalement de l'eau de mer [4].

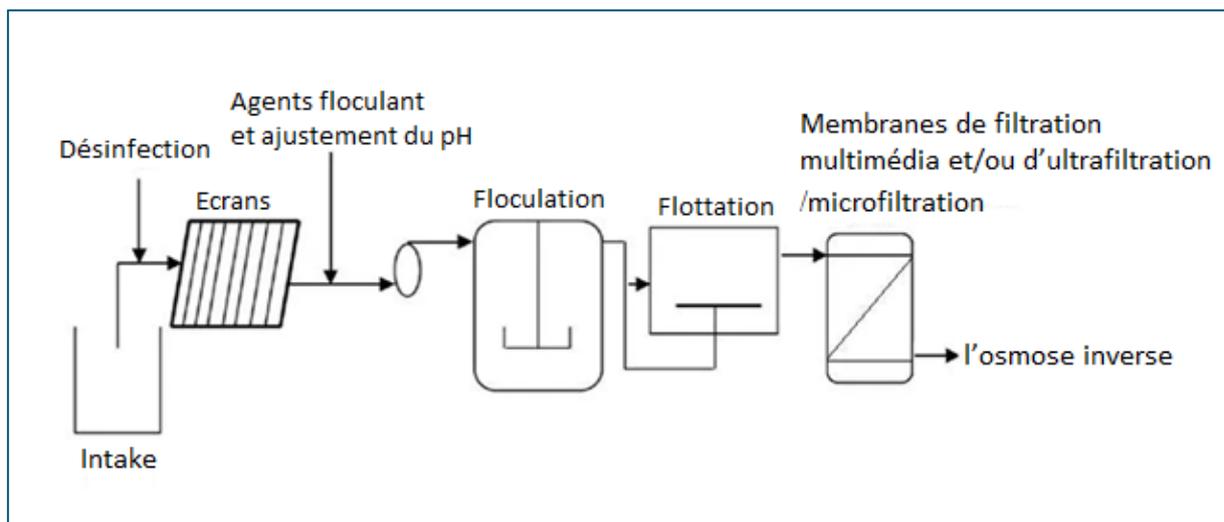


Figure 2 : Prétraitements conventionnels à l'osmose inverse

## **I.5.2 Prétraitement par membranes**

En raison des limitations du prétraitement conventionnel, on observe un intérêt croissant ces dernières années pour l'utilisation de procédés membranaires basse pression, telle que la microfiltration (MF) et l'ultrafiltration (UF).

### **a) Microfiltration**

La microfiltration est un processus de filtration qui se base sur la taille des pores des membranes filtrantes pour éliminer les solides dissous.

Les substances plus grosses que les pores sont complètement arrêtées, tandis que celles plus petites sont partiellement éliminées en fonction de la couche de détritiques qui se forme sur la membrane.

Cette couche agit comme un filtre supplémentaire avec le temps d'utilisation [4].

Les membranes de microfiltration ne modifient pas la composition de la suspension ou seuls les matériaux en suspension, les colloïdes et les bactéries sont rejetés.

### **b) Ultrafiltration**

L'ultrafiltration utilise des membranes avec des pores plus fins que celles de la microfiltration. Ces membranes peuvent séparer des molécules plus grosses telles que les protéines, ainsi que les bactéries et les virus.

Elles sont définies par leur point de coupure, qui correspond à la taille maximale de la molécule de protéine que la membrane peut séparer [4].

## **I.6 Importance du Prétraitement par Filtration**

La filtration, en tant que première ligne de défense, permet de retirer les impuretés solides, les matières organiques, et les micro-organismes présents dans l'eau de mer.

Ce processus de purification préalable est essentiel pour prévenir le colmatage et l'endommagement des membranes de dessalement, telles que celles utilisées dans l'osmose inverse, et pour optimiser le rendement des systèmes de distillation.

Le colmatage, qui est l'accumulation de particules sur les surfaces des membranes, peut considérablement réduire l'efficacité du dessalement en augmentant la résistance au flux d'eau en nécessitant des nettoyages fréquents et coûteux [4].

## I.1 Avantages et limites de la filtration comme prétraitement

- **Avantages :**

**\*Élimination efficace des particules en suspension :** La filtration permet de retirer les particules solides en suspension dans l'eau, améliorant ainsi sa clarté et sa qualité.

**\*Réduction de la turbidité :** Elle permet d'éliminer les particules en suspension, la filtration réduit la turbidité de l'eau, ce qui la rend plus agréable à utiliser et à consommer.

**\*Préservation des membranes de dessalement :** En retenant les particules solides, la filtration protège les membranes de dessalement en réduisant le risque de colmatage et en prolongeant leur durée de vie.

**\*Élimination des contaminants organiques et microbiens :** La filtration peut également éliminer certains contaminants organiques et microbiens présents dans l'eau, contribuant ainsi à sa purification.

Cependant, la filtration comme prétraitement présente également quelques limites :

- **Limites :**

**\*Coût élevé :** La mise en place et l'entretien des systèmes de filtration peuvent être coûteux, en particulier pour les installations de grande envergure.

**\*Nécessité d'un nettoyage régulier :** Les filtres doivent être nettoyés régulièrement pour éviter le colmatage et maintenir leur efficacité, ce qui peut nécessiter une surveillance et une maintenance fréquentes.

**\*Limitations de performance :** Bien que la filtration puisse éliminer de nombreuses impuretés, elle peut ne pas être efficace pour certains contaminants spécifiques, tels que les contaminants chimiques ou les virus de petites tailles.

**\*Consommation d'énergie :** Certains systèmes de filtration peuvent nécessiter une consommation d'énergie significative, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires et des émissions de gaz à effet de serre.

Malgré ces limitations, la filtration reste un prétraitement essentiel dans de nombreux processus de traitement de l'eau, contribuant à améliorer sa qualité et à garantir l'efficacité des étapes ultérieures, telles que le dessalement.

## **Chapitre II**

# **Principes de filtration sur médias filtrants**

## Chapitre II : Principes de filtration sur media filtrants

### II.1 Synthèse bibliographique

La filtration sur sable a une longue histoire qui commence dans l'Antiquité. Les Égyptiens et les Grecs anciens utilisaient déjà du sable et du gravier pour clarifier l'eau, posant ainsi les bases de la filtration naturelle.

Ces pratiques rudimentaires sont décrites dans *The Quest for Pure Water* de Baker, qui retrace l'histoire des méthodes de traitement de l'eau.

Au XVII<sup>ème</sup> siècle, Sir Francis Bacon a mené des expériences pour éliminer les impuretés de l'eau. Bien que ses méthodes n'aient pas été largement adoptées à l'époque, elles ont posé les premières bases scientifiques de la filtration de l'eau [5].

En 1804, John Gibb a construit le premier filtre à sable lent à Paisley, en Écosse. Ce filtre a démontré l'efficacité de cette méthode pour fournir de l'eau potable claire et propre, une avancée majeure pour l'époque [6].

James Simpson, en 1829, a amélioré les filtres à sable lents et a construit un système pour la Lambeth Waterworks Company à Londres. Son travail a permis de réduire significativement les maladies hydriques telles que le choléra, et la filtration sur sable lent a été adoptée dans les systèmes municipaux [7].

Au début du XX<sup>e</sup> siècle, George W. Fuller a introduit des filtres à sable rapides à la Station expérimentale de Lawrence, Massachusetts. En combinant ces filtres avec la désinfection par chlore, il a amélioré l'efficacité de l'élimination des bactéries pathogènes et influencé la conception des systèmes de traitement de l'eau modernes [8].

Allen Hazen a également joué un rôle crucial au début du XX<sup>e</sup> siècle. Il a standardisé la conception des filtres à sable lents et rapides et a optimisé la granulométrie du sable pour maximiser l'efficacité de la filtration. Ses travaux ont permis une meilleure compréhension et une amélioration des techniques de filtration sur sable [9].

Les travaux de John Snow au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle ont démontré que l'eau contaminée était une source de choléra.

En utilisant cette information, il a souligné l'importance de la filtration et de la désinfection pour prévenir les maladies hydriques.

Robert Koch, en découvrant les bactéries responsables de nombreuses maladies hydriques, a renforcé la nécessité de méthodes de filtration et de désinfection efficaces. Ses découvertes ont promu des améliorations dans le traitement de l'eau, influençant directement les pratiques de filtration sur sable [10.]

Vers la fin du XXe siècle et au début du XXIe siècle, les technologies de membrane et de nano-filtration ont permis d'éliminer des contaminants de plus en plus petits, augmentant ainsi la capacité de purification de l'eau.

Dans ce contexte, David L. Sedlak a contribué à ces avancées en recherchant et en améliorant les technologies de filtration, notamment en utilisant des nanomatériaux pour augmenter l'efficacité des filtres à sable [11].

Les innovations récentes en biofiltration et en écotechnologies, comme le développement de systèmes de filtration naturelle et de zones humides artificielles, ont permis un traitement de l'eau durable et écologique. C'est ainsi que Jean-Philippe Croué a exploré l'utilisation de matériaux bio-inspirés pour la filtration de l'eau, démontrant leur efficacité pour éliminer une large gamme de contaminants tout en respectant l'environnement [12].

En conclusion, la filtration sur sable a évolué de manière significative grâce aux contributions de nombreux chercheurs. De ses origines rudimentaires aux technologies sophistiquées d'aujourd'hui, cette méthode a joué un rôle crucial dans la fourniture d'eau potable propre et sécurisée.

Les avancées technologiques et les recherches continues sur les matériaux filtrants permettent de répondre aux défis contemporains de la gestion de l'eau potable, assurant ainsi la protection de la santé publique et la durabilité environnementale.

## **II.2 Filtration**

La filtration est un processus de séparation qui permet de distinguer les constituants d'un mélange possédant à la fois une phase liquide et une phase solide à travers un milieu poreux. L'utilisation d'un filtre retient les particules du mélange hétérogène qui sont plus grandes que les ouvertures du filtre (porosité).

Le liquide résultant de la filtration est appelé filtrat, tandis que la fraction retenue par le filtre est désignée sous les termes de résidu, retentât ou gâteau.

La filtration peut également désigner le processus passif d'épuration naturelle ou de réduction de la turbidité qui se produit lorsque l'eau pénètre dans un lit de sable ou de sédiment pour rejoindre la nappe.

Ce procédé est largement utilisé dans divers domaines tels que l'agroalimentaire, la chimie, la pharmacie, ainsi que par de nombreuses espèces animales, principalement aquatiques.

Chez les animaux filtreurs tels que les éponges et les bivalves, la filtration est un mode actif d'alimentation. En outre, le rein assure également une fonction de filtration chez de nombreux organismes [13].

## **II.3 Rôle de la filtration**

Est essentiel dans le traitement de l'eau, offrant une mesure de sécurité indispensable et garantissant une clarification correcte de l'eau.

Dans la plupart des cas, la chaîne de traitement se termine par un filtre, voire une batterie de plusieurs filtres, permettant de maintenir le bon fonctionnement de l'installation même en cas d'anomalie sur l'un des filtres.

Les particules à éliminer peuvent être présentes naturellement dans les ressources en eau sous forme d'argiles, de limons, de sables, de plancton, de bactéries, de parasites ou de virus, ou bien être générées dans le processus de traitement de l'eau.

Par exemple, des floccs d'hydroxyde métallique produits lors de l'étape de coagulation/floculation, ou des précipités de carbonate insolubles résultant d'un traitement chimique pour adoucir l'eau.

En plus de sa fonction principale de séparation et de clarification, la filtration peut également avoir des effets bénéfiques d'ordre biologique [13].

## **II.4 Types de filtres granulaires**

Concernant les types de filtres granulaires, ils sont généralement composés de trois parties : un fond pour soutenir le matériau filtrant, du gravier pour retenir le matériau filtrant et améliorer la distribution de l'eau de lavage, et enfin le matériau filtrant proprement dit qui capture les contaminants

Dans le domaine du traitement de l'eau, les différents types de filtres à sable sont classés en fonction de leurs paramètres opérationnels [13].

## **II.5 Vitesse de filtration et perte de charge**

### **II.5.1 Filtration lente**

La filtration lente est une méthode utilisée pour purifier les eaux de surface sans recourir à des processus de coagulation ou de décantation préalables.

Dans ce processus, la coagulation des matières colloïdales est réalisée par les enzymes sécrétées par des algues et des micro-organismes qui se fixent sur le sable, formant ainsi une membrane biologique.

Pour obtenir des résultats efficaces, trois étages de filtration sont généralement nécessaires :

- Des dégrossisseurs, qui fonctionnent à un débit de 20 à 30 m<sup>3</sup>/24 h par mètre carré de filtre.
- Des préfiltres, qui travaillent à un débit de 3 à 7 mètres cubes par 24 heures par mètre carré de filtre.
- Des filtres, qui opèrent à un débit de 3 à 7 mètres cubes par 24 heures par mètre carré de filtre.

La faible vitesse de filtration permet une perte de charge relativement faible à chaque étage, et les filtres sont lavés en moyenne une fois par mois.

Les dégrossisseurs et les préfiltres sont lavés plus fréquemment, en fonction de la turbidité de l'eau brute.

Après le lavage, la qualité de l'eau filtrée peut ne pas être satisfaisante, et il est nécessaire de laisser l'eau filtrée s'écouler à la décharge en attendant que la membrane biologique se reforme, ce qui peut prendre quelques jours [14].

## II.5.2 Filtration rapide

Au cours de la filtration rapide, l'eau traverse le lit filtrant à des vitesses de 4 à 50 m/h. L'action biologique est pratiquement nulle ; on constate tout au plus une nitrification dans certains cas où la vitesse est limitée, la teneur en oxygène suffisante et où les bactéries nitrifiantes trouvent dans l'eau des conditions nutritives favorables, On distingue essentiellement :

- La filtration directe, où l'eau à filtrer ne subit aucun apport de réactif
- La filtration avec coagulation sur filtre d'une eau non décantée au préalable
- La filtration d'une eau coagulée et décantée [13].

### 1) Filtration directe

La filtration directe est définie par Culp (1977) comme étant une méthode de filtration qui ne nécessite pas d'étape de décantation.

Ainsi, dans un processus de traitement traditionnel où l'étape de décantation est supprimée, on parle de filtration directe.

Sans la décantation, l'eau coagulée peut être acheminée directement vers les filtres ou passer par le flocculateur.

Il existe donc deux schémas qui correspondent à la filtration directe :

- Coagulation + Flocculation + Filtration
- Coagulation + Filtration

Différentes terminologies sont utilisées par les auteurs pour désigner les différentes variantes de la filtration directe, comme indiqué dans le Tableau 4.

**Tableau 4 : Terminologie utilisée pour désigner les variantes du procédé de filtration directe (Ndiongue, 1999) [13].**

Chaîne de traitement	Terminologie	Référence
Coagulation + flocculation + filtration	<b>Filtration directe</b>	(Culp. 1977) (Al-Ani et al.. 1986) (Coccagna, 1989) (Crozes et al., 1994) (Nieminski et Ongerth. 1995) (Awwa Committee Report. 1980)

Coagulation + Bassin de contact + filtration	<b>Filtration directe</b>	(Culp. 1977)
Coagulation + filtration	<b>Filtration en ligne « in line »</b> <b>Filtration directe</b> <b>Coagulation sur filtre</b>	(Al-Ani et al.. 1986) (Crozes et al.. 1994) (Culp. 1977) (Coccagna. 1989) (Degrémont. 1989b)

## 2) La filtration en ligne

La filtration en ligne implique généralement une série d'étapes de traitement de l'eau, dont la filtration, intégrées dans une conduite d'eau existante.

Contrairement à la filtration directe, la filtration en ligne peut inclure des étapes de prétraitement avant la filtration proprement dite, comme la coagulation, la floculation ou la désinfection.

Les installations de filtration en ligne peuvent être intégrées dans le réseau de distribution d'eau pour améliorer la qualité de l'eau avant qu'elle n'atteigne les consommateurs.

La chaîne de traitement de la filtration en ligne : Coagulation + Filtration.

### 1.1 Filtration avec coagulation sur filtre

Les matériaux filtrants granuleux ne peuvent pas retenir les particules colloïdales, donc pour obtenir une eau filtrée parfaitement claire, il est nécessaire de procéder à une coagulation avant la filtration.

Cependant, l'utilisation de la dose de coagulant correspondant à la neutralisation totale de la charge électro-négative des particules entraînerait la production d'un volume important de boues, ce qui encrasserait rapidement les filtres.

Ainsi, lorsque la couleur, la teneur en matières en suspension et en matières organiques sont faibles, on peut ajouter une dose réduite de coagulant avec éventuellement un produit neutralisant pour corriger le pH et un adjuvant pour améliorer la cohésion des boues et prolonger le cycle de filtration.

L'utilisation de polyélectrolytes cationiques peut remplacer à la fois le coagulant et l'adjuvant, conduisant ainsi à la production d'un volume moindre de boues.

La vitesse de filtration admissible dépend de la charge de l'eau à filtrer et des objectifs de qualité recherchés, variant généralement entre 4 et 10 m/h.

Cependant, dans certains cas, comme pour le traitement de l'eau de piscine, des vitesses beaucoup plus élevées peuvent être utilisées, mais cette pratique doit être réservée aux eaux peu chargées et peu colorées pour éviter toute dégradation de la qualité de l'eau traitée.

En cas de variations de charge de l'eau, il est parfois possible de combiner un dégrossissage et une coagulation sur filtre, tandis que la présence d'un décanteur peut prévenir les problèmes liés à une augmentation soudaine de turbidité.

### **II.5.2 Filtration d'une eau coagulée et décantée**

Le floc résultant de la coagulation totale de l'eau est éliminé pour sa plus grande part au stade de la décantation ; l'eau à filtrer ne contient que des traces de floc dont la cohésion dépend des réactifs utilisés.

Avec une bonne décantation, les filtres se trouvent alors dans la situation idéale consistant à recevoir une eau de qualité pratiquement constante et faiblement chargée.

La filtration devient alors le traitement de finition et de sécurité nécessaire lorsque l'eau est destinée à la consommation publique, ou à des traitements industriels élaborés, ou à des fabrications industrielles de qualité.

Les vitesses de filtration sont liées à la qualité du filtrat désiré ; elles peuvent s'échelonner entre 5 et 20 m/h suivant la qualité de l'eau décantée et la nature des filtres utilisés [13].

## **II.6 Granulométrie**

**-Filtration sur couche de matériau homogène :** la granulométrie du matériau filtrant est uniforme de la base au sommet de la couche filtrante.

**-Filtration sur couche de matériau hétérogène :** la granulométrie du matériau filtrant est variée, avec les plus gros grains à la base et les plus fins en surface.

**-Filtration sur plusieurs couches filtrantes ou filtre multicouche [17].**

## **II.7 Mécanisme de filtration**

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

## II.7.1 Mécanisme de capture

Les mécanismes de capture selon la Figure 3 sont essentiellement caractérisés par deux natures de mécanismes :

- 1) **Tamissage 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 coincé 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) [15].

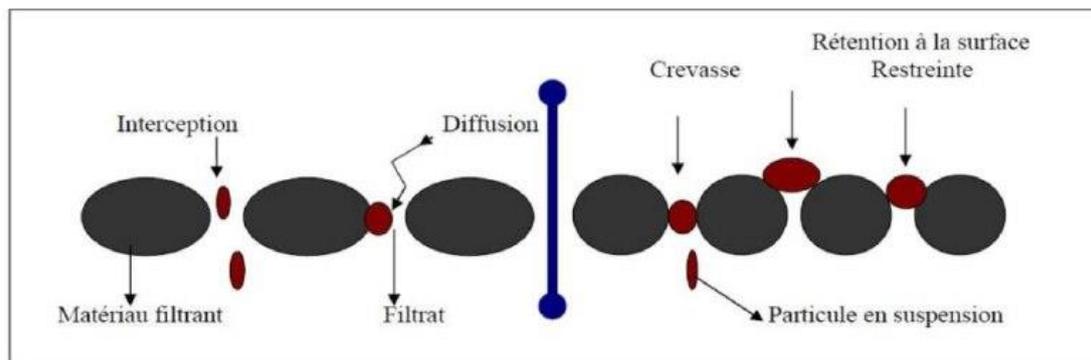


Figure 3 : mécanisme de capture des particules

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

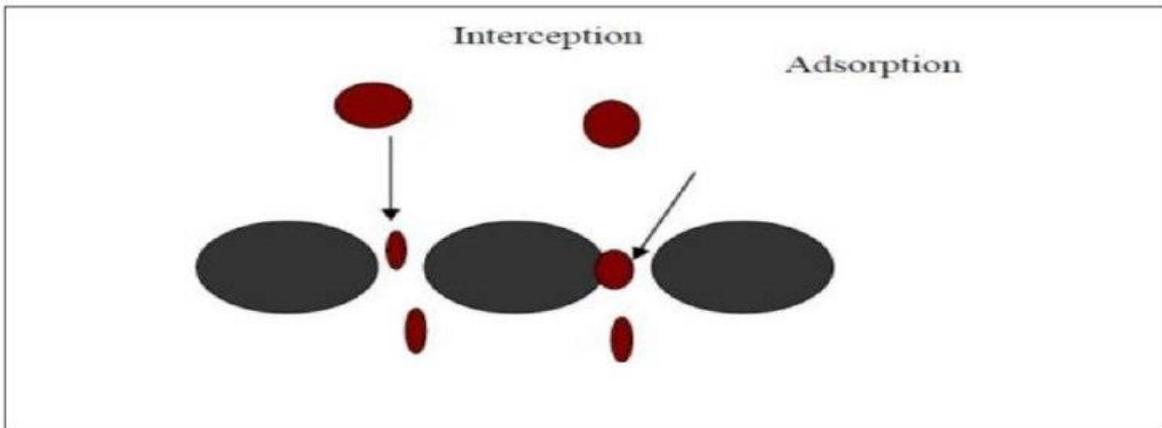
- 2) **Particule plus dense que l'eau** : sous l'influence de la pesanteur, suit dans l'eau une ligne de courant ; sa taille inférieure comparé à celle des pores, peut traverser le volume du vide sans être arrêté par le filtre ; lors de sa trajectoire, des contacts particule/matériau peuvent avoir lieu, 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 au mouvement brownien [15].

## II.7.2 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 Van Der Waals [15].

La Figure 4, explique la fixation des particules à la surface du matériau filtrant.



**Figure 4 : Mécanisme de fixation des particules**

### II.7.3 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 de à 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 en suspension, sous l'influence de la vitesse de l'eau lors du lavage [15].

- **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.

$$\frac{\Delta p_0}{\Delta z} = h_k \mu \frac{U}{\epsilon_0} \left(\frac{ac}{2}\right)^2 \quad \text{KOZENY-CARMAN}$$

### II.8 Mécanisme de rétention

L'arrêt des particules peut s'effectuer de différentes façons selon les caractéristiques du filtre mais également selon la taille et les propriétés de surface des particules en suspension.

Si le mécanisme général est une filtration en profondeur, il subsiste toujours une filtration de surface pour les particules dont la taille est supérieure aux capillaires inter-granulaires.

D'une manière générale une phase de maturation du filtre est observée correspondant à un chargement dans la masse et un colmatage progressif du filtre qui le rend de plus en plus efficace.

Ensuite il y a crevaison du filtre et la turbidité en sortie augmente régulièrement. Remarques :

- Un lit filtrant retient de cette façon des particules beaucoup plus fines que les capillaires eux-mêmes par des phénomènes de colmatage et d'adsorption.
- Les microorganismes sont partiellement retenus sur un filtre : on considère pour une filtration rapide classique que 70 à 75% des coliformes sont retenus.

La durée d'utilisation d'un filtre est fonction :

- De la concentration en entrée
- De la résistance du floc au cisaillement
- De la charge volumique sur le filtre (forces de cisaillement) De la granulométrie du matériau filtrant

Lors de l'encrassement du filtre la perméabilité décroît et n'est plus constante. Cette zone où la perte de charge n'est plus proportionnelle à l'épaisseur du lit est assimilée au front de filtration. Différents modèles sont proposés pour décrire la rétention dans un filtre : modèles macroscopiques et microscopiques [16].

### **II.8.1 Diagramme de perte de charge**

Lors du passage du fluide à travers une couche de particules, il subit une perte de son Énergie (perte de charge) causée essentiellement par la résistance à l'écoulement.

La courbe d'évolution de ces pertes de charge en fonction de la vitesse d'écoulement du fluide est appelée diagramme de pertes de charge qui est présentée sur la figure suivante

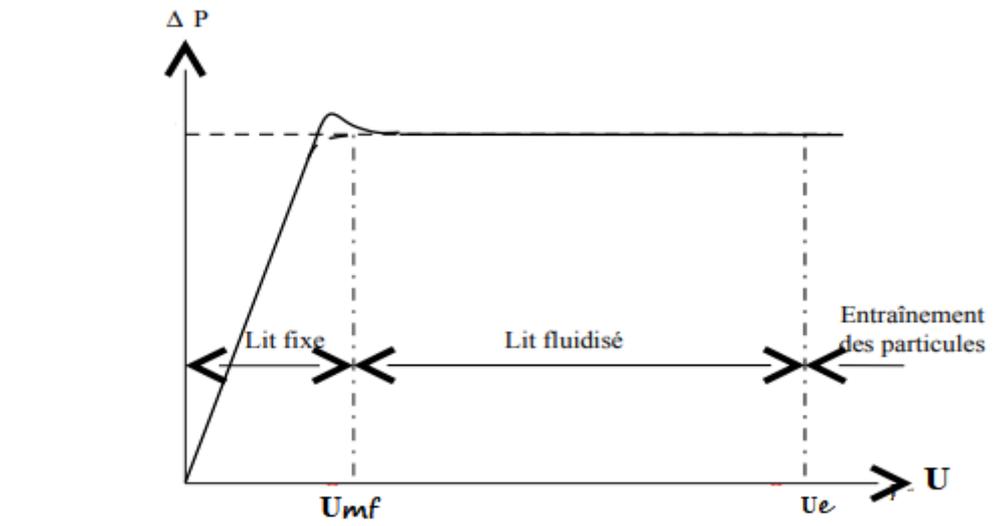


Figure 5 : Spectre de fluidisation et diagramme de pertes de charge

### I.10 Filtration sur média

La filtration sur média filtrant, comme la filtration sur sable, est une étape cruciale dans le processus de traitement de l'eau potable, en particulier dans les installations de dessalement par osmose inverse.

Lorsque l'eau traverse le lit filtrant, les particules sont capturées dans les pores des grains des médias filtrants. Les types de filtres couramment utilisés sont les filtres rapides ou lents, également connus sous le nom de filtres biologiques [17].

### II.9 Matériaux filtrants

Dans le processus de filtration traditionnelle, on fait usage de divers matériaux filtrants tels que gravier, sable, diatomée, éponge, coton, charbon actif et anthracite.

Il est impératif que ces matériaux soient insolubles, non friables, et qu'ils n'émettent aucune substance pouvant compromettre la qualité de l'eau

1. **Le sable**, composé naturellement de silice, peut être soit concassé, soit sous forme de sable roulé, avec une densité réelle comprise entre 2,5 et 2,7.
2. **L'anthracite**, matériau carboné résultant de la calcination de matériels végétaux, se manifeste sous la forme de grains durs et anguleux, avec une densité réelle variant de 1,45 à 1,75.
3. **Le charbon actif**, lui aussi constitué de carbone, est produit par la calcination et l'activation de bois, de houille ou de noix de coco.

En pratique, la méthode de filtration bicouche prédomine dans le traitement de l'eau potable. Elle implique le remplacement d'une portion de la fine couche supérieure de sable par un autre matériau filtrant de faible densité, ayant un diamètre effectif supérieur à celui du sable, tel que l'antracite.

Cette approche vise à prévenir le mélange des couches composées de grains fins avec celles des grains plus gros [17].

## II.10 Paramètres influençant l'efficacité de la filtration

- **Granulométrie du Média Filtrant** : La taille des particules du média filtrant est cruciale. Des particules trop fines peuvent obstruer le filtre, tandis que des particules trop grosses peuvent permettre le passage des contaminants, une granulométrie appropriée est nécessaire pour assurer une filtration efficace.
- **Profondeur du Lit de Filtration** : Une couche plus épaisse de média filtrant offre une plus grande surface de filtration et permet une meilleure rétention des particules, améliorant ainsi l'efficacité de la filtration.
- **Vitesse de Filtration** : La vitesse à laquelle l'eau traverse le média filtrant est un facteur crucial.  
Une vitesse trop élevée peut entraîner une résistance accrue et une inefficacité de la filtration, tandis qu'une vitesse trop faible peut favoriser le colmatage du filtre.
- **Qualité de l'Eau en Entrée** : La nature et la concentration des contaminants dans l'eau brute influent directement sur l'efficacité de la filtration.

Des niveaux élevés de contaminants peuvent réduire la capacité du média filtrant à retenir les particules, nécessitant ainsi une maintenance accrue du système de filtration.

- **Température de l'Eau** : La température de l'eau peut affecter la viscosité et la solubilité des contaminants, ce qui peut à son tour influencer l'efficacité de la filtration.
- **pH de l'Eau** : Le pH de l'eau peut influencer la charge électrique des particules et des surfaces du média filtrant, ce qui peut affecter leur capacité à adsorber les contaminants.
- **Pression de Fonctionnement** : La pression exercée sur le système de filtration peut influencer la vitesse de filtration et la capacité du média filtrant à retenir les particules.
- **Entretien du Système de Filtration** : Un entretien régulier du système de filtration, y compris le nettoyage et le remplacement du média filtrant, est essentiel pour garantir une efficacité optimale de la filtration sur le long terme [17].

## **II.11 Fluidisation**

La fluidisation permet un contact intime entre une phase dispersée sous forme de grains et une phase fluide. Elle se produit entre les débits limites correspondant à la fin du lit fixe et au début de l'entraînement des particules

De nombreux travaux ont été menés pour mieux comprendre les phénomènes qui se produisent en raison de la complexité des mécanismes physiques en jeu, d'où on s'est inspiré pour mener une bonne analyse bibliographique simple et illustrative.

Afin d'introduire le lecteur à la problématique des lits fluidisés et de le familiariser avec les termes propres au processus, nous présenterons en premier lieu des généralités sur la fluidisation dans ce chapitre. Après cela, nous examinerons la complexité du comportement hydrodynamique des lits fluidisés [17].

### **II.11.1 Phénomène de fluidisation**

La fluidisation est un phénomène qui se produit lorsque des particules solides entrent en contact étroit avec un fluide ascendant, qu'il s'agisse d'un gaz ou d'un liquide.

Ce processus confère au système les propriétés d'un fluide.

En d'autres termes, il s'agit d'une technique consistant à faire circuler un fluide à travers une couche de particules solides, à une vitesse suffisante pour mettre en suspension chaque grain. L'objectif est d'améliorer le contact entre le fluide et les particules solides, favorisant ainsi la cinétique des réactions chimiques, ainsi que les transferts thermiques et massiques.

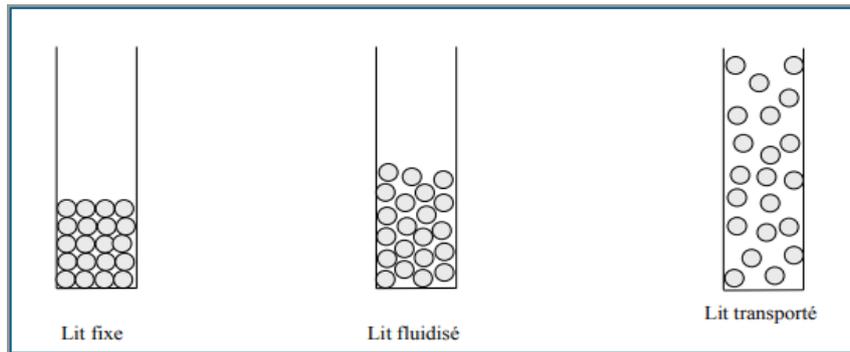
Cette caractéristique est à l'origine du succès des lits fluidisés dans de nombreux secteurs industriels.

Selon la nature du fluide utilisé, on distingue différents types de lits fluidisés, tels que les lits fluidisés gaz-solide, les lits fluidisés liquide-solide et les lits fluidisés gaz-liquide-solide.

Dans le cas spécifique des lits fluidisés liquide-solide, la fluidisation se produit de manière régulière et l'expansion se déroule de manière progressive.

On observe une faible instabilité dans l'écoulement et aucune hétérogénéité significative. Cependant, une étude approfondie du comportement hydrodynamique reste toujours intéressante pour mieux comprendre le milieu.

Cette compréhension plus poussée permettrait d'optimiser les performances des lits fluidisés liquide-solide et d'exploiter pleinement leur potentiel dans diverses applications industrielles.



**Figure 6 : Phases de la fluidisation solide liquide régimes d'écoulement**

L'état fluidisé est complexe à décrire. On distingue différents régimes d'écoulement suivant le débit de fluide :

- Expansion homogène du lit à partir de la vitesse minimale de fluidisation : Fluidisation homogène.  
La surface supérieure du lit est parfaitement définie et le mouvement du solide est faible et régulier.
- Apparition de fentes par lesquelles le fluide passe de façon privilégiée : renardage
- Formation de bulles au niveau du distributeur qui viennent éclater en surface : bullage.  
La surface du solide, bien qu'un peu tourmenté, est à peu près définie.
- Le diamètre des bulles atteint quasiment le diamètre de la colonne : pistonnage. Il y a alternance entre le passage de grosses bulles et le mouvement du solide (phase dense).  
Les fluctuations de pression au sein de la colonne sont très importantes.
- A forts débits d'eau et avant l'entraînement des solides, le lit est constitué de deux pseudo-phases (une phase liquide et une phase solide très dense) : fluidisation turbulente. Il est difficile de distinguer la limite supérieure du lit fluidisé [17].

## II.12 L'argile expansée

### II.12.1 Présentation de l'usine

Des médias alternatifs au média conventionnel sable/anthracite (S/A) ont été évalués pour maximiser l'efficacité énergétique et améliorer les performances de filtration en termes de réduction de la turbidité et de diminution des pertes de charge.

Le média FILTREXPAN, à base d'argile expansée, se distingue par sa structure poreuse, offrant une grande surface spécifique et une texture rugueuse.

Ses avantages incluent une capacité élevée de rétention des particules, des pertes de charge initiales et progressives faibles, prolongeant ainsi les cycles de filtration, réduisant les pertes d'eau dues à l'usure des filtres et abaissant les coûts énergétiques.

FILTREXPAN est le seul fabricant de granulats d'argile expansée en Algérie, possédant le seul gisement d'argile à propriétés d'expansion dans le pays.

Située à Bouinan (Blida) (Figure 7), l'usine produit des granulats combinant résistance et légèreté. FILTREXPAN transforme l'argile en une pierre poreuse et résistante par un traitement thermique sans additifs, extrayant 1 m<sup>3</sup> d'argile pour fabriquer 2 à 3 m<sup>3</sup> de matériaux de construction.

Le produit est entièrement algérien et la capacité de production atteint 600 m<sup>3</sup> par jour.

Pour produire le SABLE ALGEXPAN, l'argile est chauffée à 1200 °C, broyée ou concassée, puis tamisée pour obtenir les granulométries et densités souhaitées, offrant une grande surface exposée lorsqu'il est concassé.

C'est un média inerte en céramique à base d'aluminosilicate qui est peu soluble dans l'acide.



**Figure 7 : Photo du site et logo de l'usine de l'argile expansée**

**« FILTREXPAN ».**

Les médias FILTREXPAN peuvent être utilisés dans la filtration granulaire en tant que médias monocouche ou bicouche, comme proposé par le filtre Mono-Multi pour l'élimination des

particules. Le média NC 1,6-2,5 mm, léger et à porosité élevée, constitue la couche supérieure du Mono-Multi.

La couche inférieure est composée du média HC 0,8-1,6 mm, plus lourd et moins poreux que la couche supérieure.

L'argile expansée est un matériau utilisé comme média filtrant dans les systèmes de traitement de l'eau en raison de ses propriétés uniques.

Elle est fabriquée à partir d'argile naturelle chauffée à des températures élevées, ce qui provoque l'expansion de l'argile et la formation de petites billes légères.



**Figure 8 : Les différentes fractions d'argile expansée.**

L'argile expansée présente des avantages significatifs en tant que média filtrant pour le traitement de l'eau.

Sa structure poreuse et sa grande surface spécifique permettent une excellente adsorption des impuretés, tandis que sa taille de grain uniforme assure une filtration efficace.

Résistante aux produits chimiques et durable, elle s'adapte à divers processus de filtration. Toutefois, le choix du média filtrant dépend des caractéristiques de l'eau à traiter et des besoins spécifiques du système de traitement.

### **II.12.2 L'argile expansée et les filtres granulaires**

La filtration de l'eau demeure le procédé le plus répandu pour produire de l'eau potable. Les produits à base d'argile expansée sont particulièrement adaptés en tant que médias filtrants dans les filtres monocouches et bicouches, pour la filtration de l'eau brute ou coagulée. Comparativement aux médias filtrants traditionnels, ils offrent plusieurs avantages significatifs :

- Réduction de la perte de charge initiale :

L'argile expansée favorise un écoulement plus fluide de l'eau à travers le média filtrant, ce qui se traduit par une perte de charge initiale moindre. Cette caractéristique permet une meilleure efficacité du système de filtration dès le début.

- Ralentissement de l'augmentation de la perte de charge :

Les médias à base d'argile expansée ont une capacité accrue à accumuler les particules et les impuretés, retardant ainsi l'obstruction du filtre et ralentissant l'augmentation de la perte de charge au fil du temps.

Cela se traduit par des durées de fonctionnement prolongées avant le nettoyage du filtre.

- Porosité supérieure :

Les produits à base d'argile expansée présentent une porosité nettement supérieure, favorisant ainsi une meilleure circulation de l'eau à travers le média filtrant. Cette caractéristique est bénéfique pour une filtration plus efficace des eaux potables.

- Capacité de rétention des particules améliorée :

Grâce à leur structure poreuse, les produits d'argile expansée peuvent retenir efficacement les particules et les impuretés présentes dans l'eau, assurant ainsi une filtration de haute qualité avec une réduction significative des contaminants.

- Débits d'eau réduits pour les rétro-lavages :

L'argile expansée nécessite des débits d'eau moins élevés lors des opérations de rétro-lavage pour éliminer les accumulations de particules. Cela permet une utilisation plus efficace de l'eau et contribue à une consommation réduite.

Ces avantages offrent plusieurs bénéfices, notamment des durées de fonctionnement prolongées entre les opérations de nettoyage, réduisant ainsi la consommation d'énergie et d'eau. De plus, cela permet d'augmenter la capacité de production d'eau potable tout en réduisant les coûts associés [17].

# **Chapitre III**

## **Matériel et méthodes**

### **III. Matériel et méthodes**

#### **III.1 Introduction**

Ce travail contribue à la conception d'un système de prétraitement intégrant les procédés de coagulation-floculation et de filtration granulaire pour éliminer les particules colloïdales et les matières en suspension présentes dans l'eau de mer.

L'objectif est de produire une eau prétraitée adaptée à l'alimentation des membranes d'osmose inverse, minimisant ainsi le risque de colmatage.

Nous décrivons également les différents matériaux et réactifs utilisés, ainsi que la méthodologie suivie lors des expérimentations.

Ce projet a été réalisé au sein de deux laboratoires distincts de l'Université de Blida, des institutions clés dans la recherche appliquée qui offrent un environnement propice à l'innovation et à l'expérimentation.

- Laboratoire de Mécanique des Fluides :

Le premier laboratoire est celui de mécanique des fluides, un espace dédié à l'étude des comportements des fluides sous diverses conditions.

C'est dans ce cadre que nous avons conçu un montage expérimental pour notre étude. Cette recherche a permis d'examiner les interactions entre l'eau et le matériau filtrant, ainsi que de comprendre les processus de purification naturelle.

- Laboratoire d'Analyse Fonctionnelle des Procédés Chimiques :

Le second laboratoire est celui d'analyse fonctionnelle des procédés chimiques, où nous avons participé à diverses analyses et caractérisations.

Ce laboratoire est équipé pour mener des études approfondies sur la composition et les propriétés des substances, permettant ainsi d'explorer les réactions et les transformations physico-chimiques.

Ces deux laboratoires, grâce à leurs équipements spécialisés et à leur approche méthodique, ont joué un rôle crucial dans le développement des tests pratiques abordés dans ce mémoire

## **III.2 Préparation de sable**

Le sable expansé utilisé dans le cadre de cette étude est fourni par l'entreprise ALGEXPAN. Le sable expansé subit un processus comprenant des étapes de dépoussiérage, de lavage, de séchage et de tamisage afin d'être préparé en tant que filtre.

Le processus de préparation du sable expansé comprend les étapes suivantes :

### **1- Dépoussiérage**

Pour cette phase, on procède manuellement en utilisant un tamis afin de retirer les poussières et les particules fines.

### **2- Tamisage**

Le sable de filtration est soumis à un processus de tamisage en passant à travers une série de tamis.

### **3- Lavage**

Une quantité de 1 kg de sable expansé est introduite dans un récipient en plastique de 5 L, où de l'eau du robinet est ajoutée. Après un mélange manuel de l'eau et du sable pendant 3 minutes, l'eau chargée de particules en suspension (limon) est rejetée. Cette étape est répétée plusieurs fois jusqu'à ce que l'eau devienne claire. Enfin, le sable est rincé à l'eau distillée.

### **4- Séchage**

Le sable est disposé de manière uniforme sur une surface dans un cristalliseur, puis il est séché à une température de 125 °C pour éliminer toute trace d'humidité.

### **III.2.1 Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique est une méthode utilisée pour déterminer la taille et le pourcentage pondéral des grains constituant les échantillons de sable.

Pour effectuer cette analyse, un échantillon est soumis à un essai de tamisage en utilisant une série de tamis normalisés empilés les uns sur les autres.

Les ouvertures des tamis diminuent de taille de haut en bas.

Chaque tamis sépare l'échantillon en deux produits : le matériau qui passe à travers le tamis, appelé le passant, et le matériau qui reste sur la surface du tamis, appelé le refus. L'ensemble des poids des fractions retenues sur chaque tamis constitue l'analyse granulométrique

## III.2.2 Détermination des masses volumiques

### III.2.2.1 Masse volumique apparente ( $\rho_{ap}$ )

La masse volumique apparente d'un sable de filtration est une mesure de la densité Du sable lorsqu'il est utilisé comme milieu filtrant dans un système de filtration.

Elle est généralement exprimée en kilogrammes par mètre cube (kg/m<sup>3</sup>). Pour le sable de filtration La masse volumique est importante,

Il existe une relation étroite entre la masse volumique apparente et le rétro-lavage. Une masse volumique apparente élevée peut rendre le rétro-lavage plus difficile et moins efficace. Lorsque la masse volumique apparente est élevée, les particules et les impuretés ont tendance à s'accumuler plus étroitement entre les grains du média filtrant, ce qui rend plus difficile l'élimination complète de ces particules lors du rétro-lavage.

pour obtenir la valeur de la masse volumique apparente.

$$(\rho_{ap}) = (m_1 - m_0) / V$$

$m_0$  :masse de récipient vide.

$m_1$  :masse de récipient rempli.

### III.2.2.2 Masse volumique absolue ( $\rho_{ab}$ )

La masse volumique absolue ( $\rho_{ab}$ ) d'un sable de filtration est une mesure de la masse

Réelle des grains de sable par unité de volume, sans tenir compte des vides ou des

Espaces entre les grains.

Elle est généralement exprimée en kilogrammes par mètre

Cube (kg/m<sup>3</sup>).

$$\rho_{ab} = m / (V_2 - V_1)$$

$V_1$  : éprouvette graduée a été rempli avec un volume  $V_1$  d'eau.

$V_2$  : le nouveau volume lu a été noté  $V_2$ .

### III.2.3 Attaque à l'acide chlorhydrique (HCl)

Une solution d'acide chlorhydrique a été préparée en diluant de l'acide concentré à 38% dans l'eau à 20%, en suivant les précautions de sécurité nécessaires.

Ensuite, l'échantillon de sable a été préparé en veillant à ce qu'il soit propre et sec.

Une pesée précise de l'échantillon a été réalisée afin d'enregistrer sa masse initiale  $m=50$  g. Dans un récipient approprié, l'échantillon de sable a été placé et immergé dans la solution d'acide chlorhydrique préparée.

On a veillé à ce que le sable soit complètement en contact avec l'acide. Pour favoriser la réaction chimique, le récipient a été agité doucement.

Le sable a été soumis à une solution d'acide chlorhydrique (HCl) pendant 24 heures. Après la réaction, le mélange a été filtré pour séparer le sable dégradé de la solution acide. Ensuite, le sable a été soigneusement rincé avec de l'eau distillée afin d'éliminer tout résidu d'acide.

Une fois le rinçage terminé, le sable a été laissé à sécher complètement dans des conditions appropriées, telles qu'une étuve à une température de 105 °C (British standards BS-EN-12902-2004)

### III.2.4 Porosité ( $\epsilon$ )

C'est le volume des vides ou des pores dans un matériau par rapport à son volume total, exprimé en pourcentage.

$$\epsilon = \frac{Vv}{Vt}$$

### III.2.5 Analyse microscopique

Les sables à base d'argile expansée jouent divers rôles grâce à leurs propriétés physico-chimiques spécifiques. Ils ont la capacité de fixer des cations sous forme échangeable avec la matière organique et favorisent une organisation structurale propice à la circulation de l'eau et de l'air. Ces propriétés confèrent aux argiles une qualité exceptionnelle.

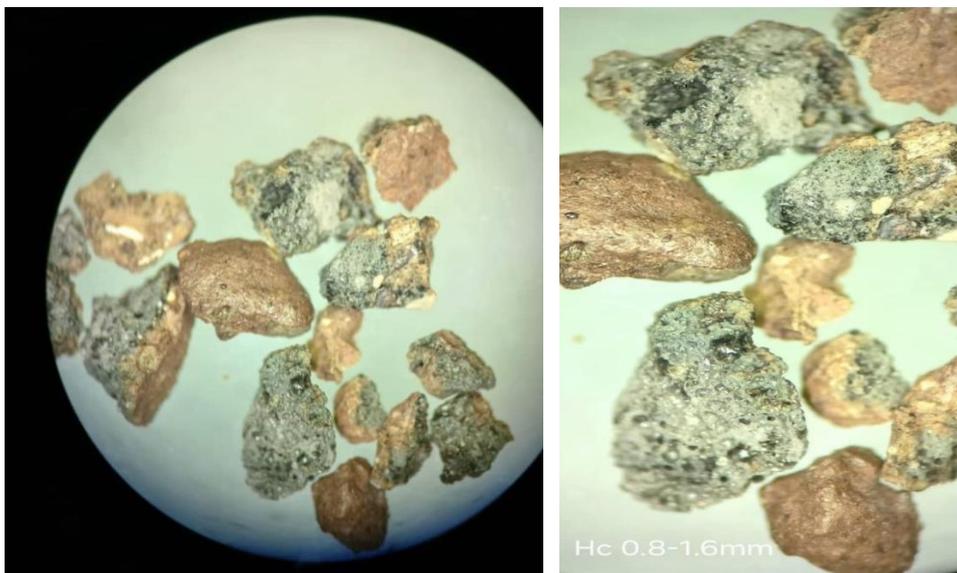
De nombreuses études antérieures, menées à travers le monde, ont démontré que les minéraux argileux tels que la smectite, la montmorillonite, la bentonite, l'illite, la vermiculite, la kaolinite ou la sépiolite possèdent une capacité d'adsorption des métaux lourds présents dans les eaux et les zones contaminées.

Plus récemment, des recherches ont montré que les mélanges d'argiles naturelles peuvent également être efficaces pour éliminer certains ions dans des solutions aqueuses synthétiques. Selon la littérature, le paramètre le plus crucial régissant l'adsorption des métaux lourds est le pH.

### III.2.6 Microscopie optique

L'analyse microscopique des matériaux constitue une approche indispensable pour appréhender leur structure et leurs caractéristiques à une échelle microscopique. Dans le cadre spécifique de notre étude, comprendre la composition et la structure du sable à un niveau microscopique peut fournir des informations cruciales sur ses propriétés physiques et chimiques.

L'utilisation d'un microscope optique permet de visualiser les détails et les caractéristiques subtiles du sable qui échappent à l'observation à l'œil nu. Grâce à une analyse microscopique approfondie, il nous est possible d'examiner la taille, la forme et la distribution des grains de sable.



**Figure 9 : Photo microscopique de sable FILTREXPAN (l'échelle loupe)**

### III.3 Partie hydrodynamique : Fluidisation

La fluidisation représente un procédé de génie chimique qui implique la mise en contact entre un fluide et un solide. Cette interaction peut se réaliser selon différents modes, tels que le lit fixe, le lit mobile, le lit fluidisé ou encore le lit transporté.

Prenons comme exemple une couche de particules de sable déposée sur une grille poreuse horizontale à l'intérieur d'une colonne, on fait alors circuler un fluide en sens contraire (typiquement de l'eau) à travers cette couche, dans une direction ascendante.

Nous observons ainsi une variation de la perte de charge, résultant de la force exercée sur les particules, en fonction du débit du fluide.

#### III.3.1 Dispositif 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 10, ce dernier est constitué de

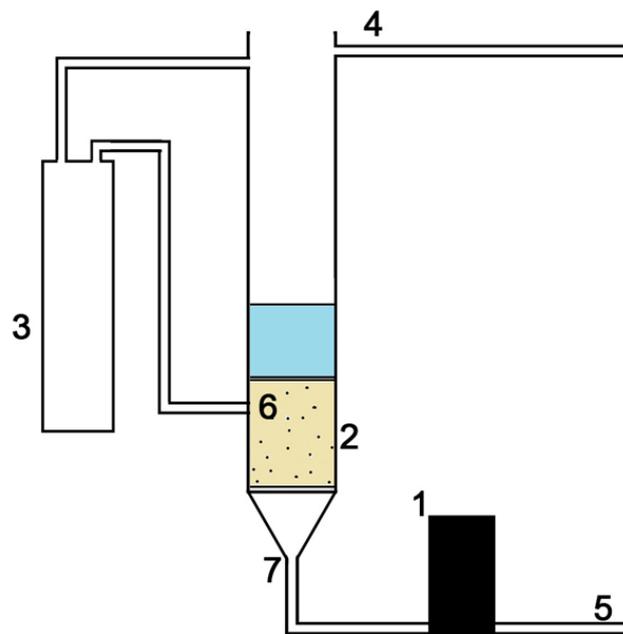


Figure 10 : Schéma général de l'installation

1.débitmètre.

2.colonne en verre.

3. Système de mesure de pression (manomètre).

4. Sortie d'eau de lavage.

5. Entrée d'eau brute.

### **III.3.2 Méthodologie**

Le procédé de l'expérience de fluidisation d'un lit solide-liquide (sable-eau) consiste à préparer un lit de sable de granulométrie définie dans une colonne de fluidisation. La caractérisation du lit de sable inclut la mesure de sa granulométrie, de sa densité apparente et de sa porosité.

Ensuite, un système de mesure de la pression est installé sur la colonne et le débit du liquide est contrôlé. L'expérience commence en remplissant la colonne d'eau jusqu'à une hauteur initiale prédéterminée, puis en augmentant progressivement le débit du liquide. Pendant l'expérience, la perte de charge du liquide et la hauteur du lit de sable sont mesurées à différents débits. L'objectif est d'observer les phénomènes de fluidisation, tels que la diminution de la perte de charge et l'augmentation de la hauteur du lit, et de déterminer le seuil de fluidisation. Les résultats obtenus sont analysés pour comprendre les relations entre la perte de charge, la hauteur du lit et le débit de liquide, permettant ainsi d'étudier les mécanismes de fluidisation solide-liquide.

En conclusion, cette expérience améliore la compréhension des phénomènes de fluidisation dans les lits solide-liquide et évalue les performances du rétro-lavage dans ce contexte.

Dans notre étude, nous commençons par la préparation du lit de sable.

Tout d'abord, nous remplissons la colonne de fluidisation avec du sable jusqu'à une hauteur initiale prédéterminée (70cm), en veillant à ce qu'il soit uniformément réparti.

Ensuite, nous commençons avec un débit de liquide faible et stable, en mesurant la perte de charge du liquide à différents débits et en enregistrant les valeurs de pression et la hauteur du lit de sable à chaque débit de liquide.

## III.4 Filtration

### III.4.1 Dispositif de filtration

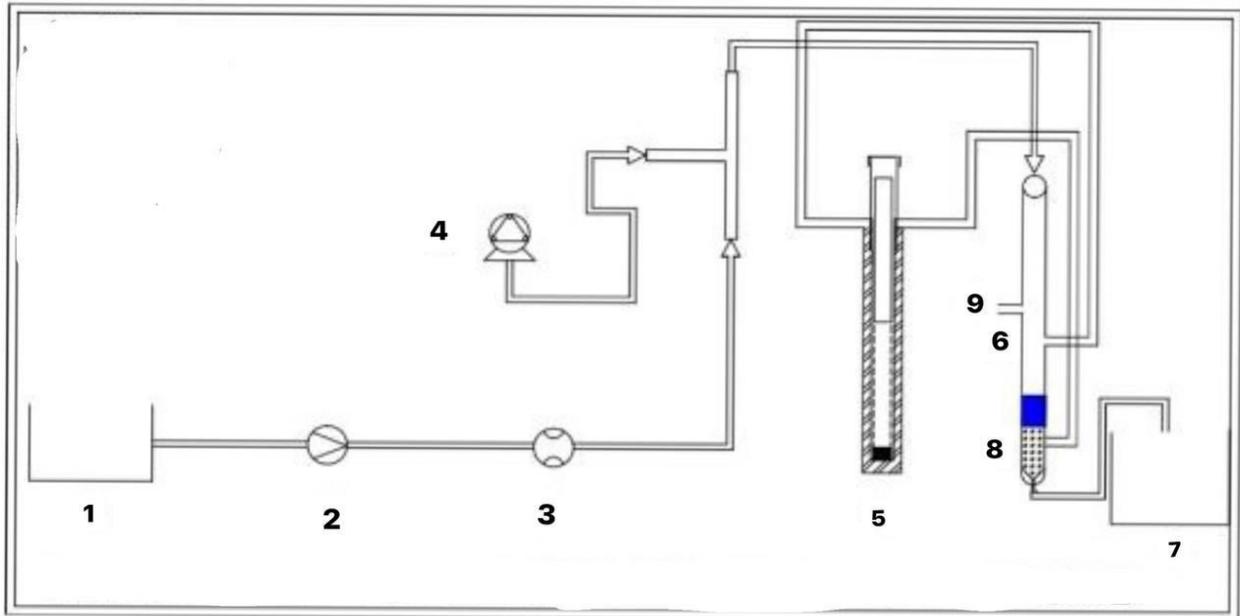


Figure 11 : schéma de montage de pilote expérimental

1. Réservoir d'alimentation (60L)
2. Pompe d'alimentation
3. Débitmètre
4. Pompe péristaltique
5. Tube piézométrique
6. Colonne en verre
7. Resrevoire
8. Matériau filtrant (filtre-expand)
9. La sortie de lavage

### III.4.2 Méthodologie

Nous avons rempli la colonne jusqu'à une hauteur  $h_0 = 70$  cm (comme dans l'étude hydrodynamique) avec du matériau filtrant.

Ensuite, elle a été alimentée avec de l'eau propre pendant un certain temps pour mesurer  $\Delta h_0$  après de l'eau synthétique pour les trois premiers essais et avec de l'eau de mer pour les deux derniers essais par une pompe d'alimentation.

L'eau passe par un débitmètre où le débit est réglé à 7 L/h, puis, avant qu'elle n'entre dans la colonne, elle a été injectée avec un coagulant à l'aide d'une pompe péristaltique.

Un prélèvement était pris chaque heure pour la mesure de la turbidité et du pH, où la perte de charge  $\Delta h$  était également mesurée.

# **Chapitre IV**

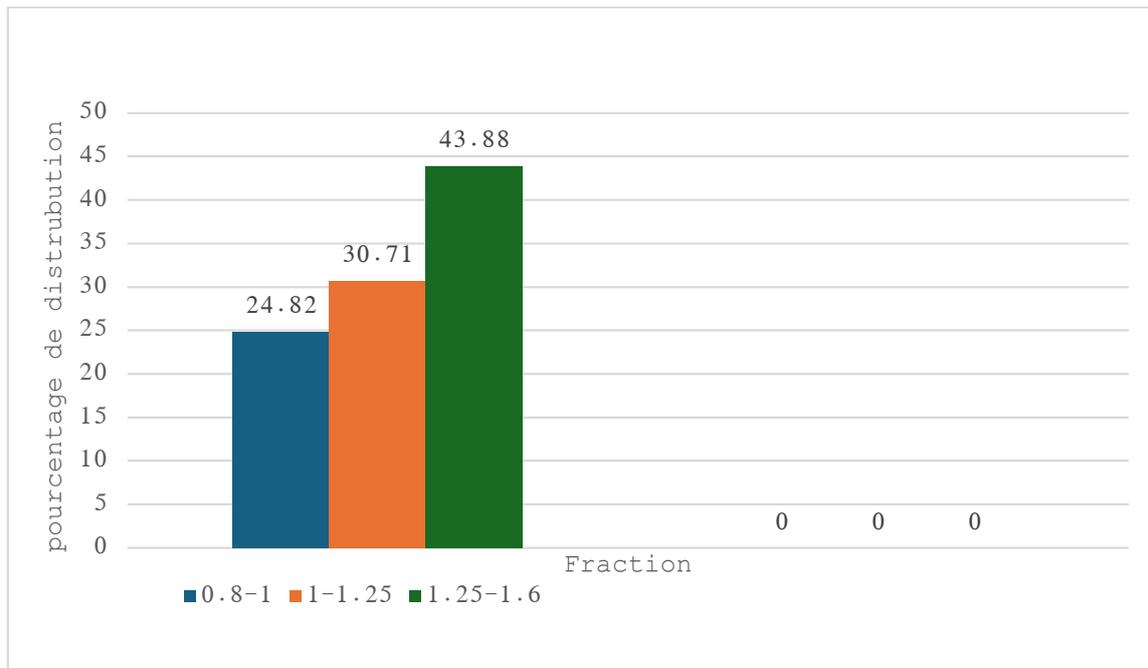
## **Résultats et discussions**

## IV. Résultats et discussions

### IV.1 Caractérisation du sable

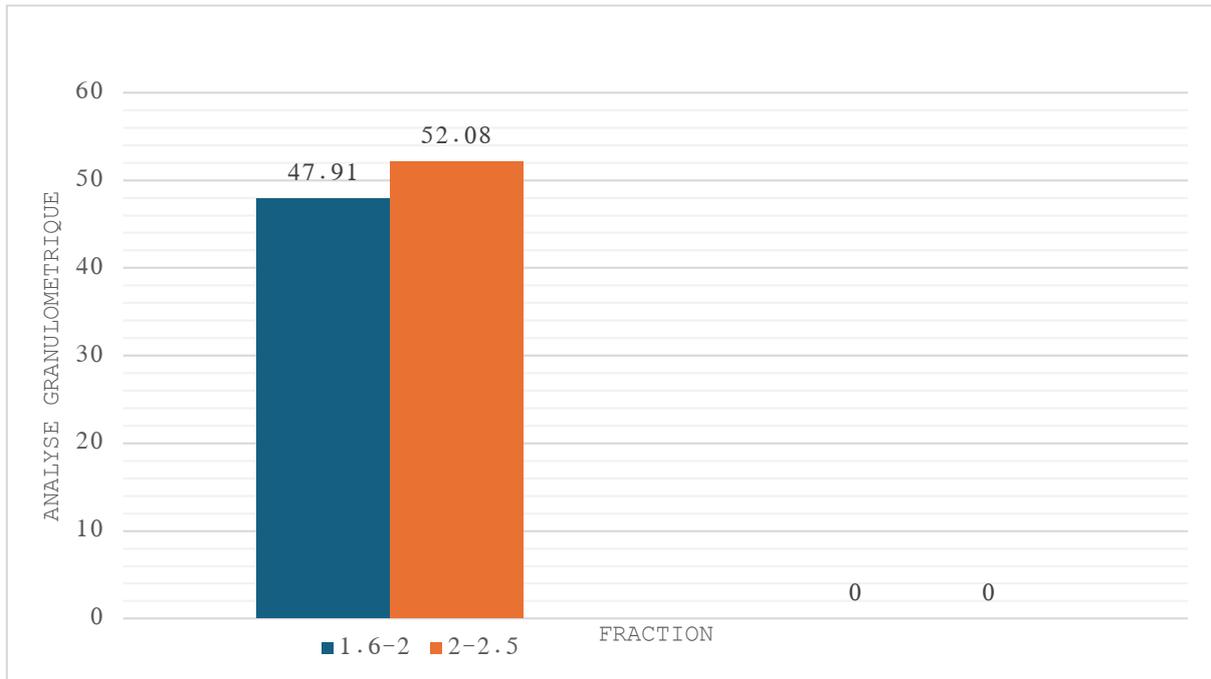
#### IV.1.1 Analyse granulométrique

Les figures 12 représente les résultats de la distribution granulométrique du sable utilisé dans notre étude, et montrent les proportions des différentes fractions granulométriques présentes dans l'échantillon.



**Figure 12 : Distribution granulométrique du sable utilisé.**

Ces résultats mettent en évidence que la fraction granulométrique (1.25-1.6mm), est la plus importante et représente 43.88%, la fraction intermédiaire 1-1.25 représente 30.71%, en fin la fraction la plus fine représente 24.82 %.



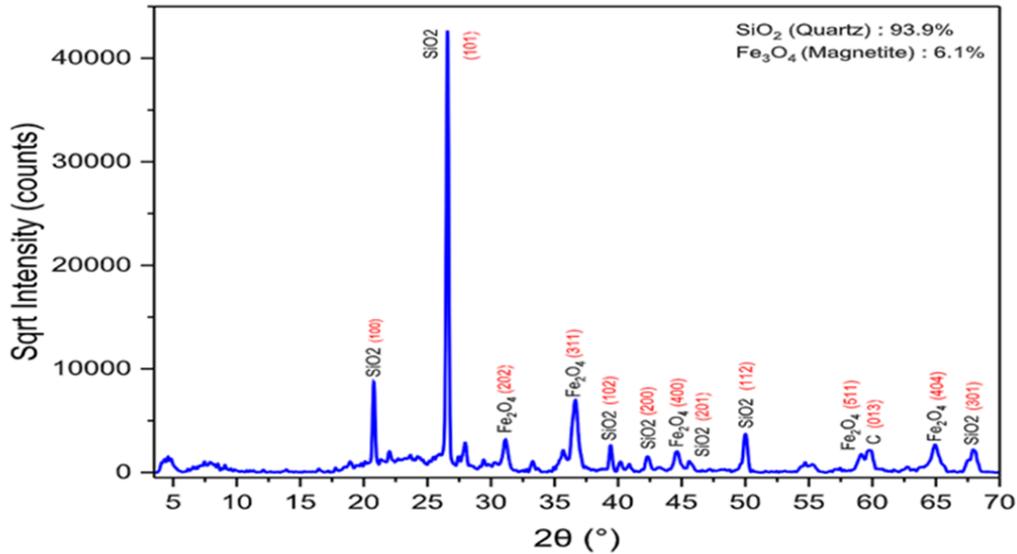
**Figure 13 : Distribution granulométrique du sable utilisé.**

Dans notre étude, les fractions granulométriques prédominantes du sable utilisé sont situées dans la plage de 1,25-1,6 mm et 2-2,5 mm. Cette observation suggère que le sable utilisé présente des caractéristiques potentiellement adaptées à la filtration des eaux potables, en raison de sa capacité à retenir les particules indésirables et à permettre un fonctionnement optimal du système.

En conclusion, les résultats de la distribution granulométrique du sable utilisé fournissent des indications préliminaires sur la composition du média filtrant.

#### **IV.2.6 Diffraction des rayons X (DRX)**

Afin de visualiser la distribution des contraintes à l'intérieur d'un matériau, ainsi que de fournir des valeurs de tension résiduelle et de déformation nous avons effectué une analyse DRX. Les résultats obtenus sont présentés sur la Figure 14.



**Figure 14 : Diffractogramme du matériau filtrant « filtre-expan ».**

D'après l'examen du diffractogramme on remarque l'apparition des raies suivantes :

- Raies relatives à l'oxyde de silice  $\text{SiO}_2$ , sous forme de quartz à différents angles  $2\theta$ .
- Raies relatives à l'oxyde  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , sous forme de magnétite à différents angles  $2\theta$

#### IV.1.3 Détermination des masses volumiques

- **Masses volumiques apparentes**

Le Tableau 5 donne les résultats des masses volumiques apparentes du sable à densité normale et haute dans la plage de granulométrie de 0,8-1,6 mm et 1,6-2,5, et du sable normal, qui sont les suivants :

**Tableau 5 : Les masses volumique apparente de la fraction 0.8-1.6 FILREXPAN**

<b>Diamètre des particules (mm)</b>	<b>Masse volumique apparente (kg/m3)</b>
HC 0.8-1.6	750 ± 60
NC 1.6-2.5	590 ± 60

En analysant les résultats, nous constatons que la densité du sable à densité normale est de 590 ± 60 cela indique que le sable à densité normale est relativement léger, ce qui peut faciliter les

lavages du média filtrant et peut permettre un bon équilibre entre le débit de l'eau à travers le média filtrant et la capacité de rétention des particules.

Une densité modérée du sable peut favoriser une filtration efficace en permettant la rétention des particules plus grosses tout en permettant un débit d'eau suffisant.

Le sable à densité élevée est de  $750 \pm 60$ , cela suggère une augmentation de la compacité du sable, qui peut être bénéfique pour la rétention de particules plus fines et une filtration plus efficace des contaminants.

Dans le contexte de notre étude, la masse volumique apparente du sable est un paramètre important à prendre en compte. La masse volumique apparente permet d'évaluer la densité du matériau filtrant, ce qui peut avoir un impact sur l'efficacité de la filtration.

- **Masses volumiques absolues**

#### **FILTREXPAN 0.8-1.6 HC et 1.6-2.5 NC**

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

**Tableau 6 : les masses volumiques absolue de la fraction 0.8-1.6 FILREXPAN**

<b>Diamètre des particules (mm)</b>	<b>Masse volumique absolues (kg/m<sup>3</sup>)</b>
HC 0.8-1.6	$1650 \pm 120$
NC 1.6-2.5	$1200 \pm 120$

Les résultats du tableau 6 de la masse volumique absolue du sable à densité normale dans la fraction granulométrique de 1,6-2,5 mm ont est de  $1200 \text{ kg/m}^3$ .

Cette valeur indique une densité relativement modérée pour le sable utilisé.

- **Analyse des résultats des masses volumiques**

L'analyse des résultats de masse volumique apparente et de masse volumique absolue pour les différents types de sable (NC FILTREXPAN, HC FILTREXPAN, sable classique)

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

**Tableau 7 : Les masses volumiques (1.6-2.5 NC FILTRXPAN, 0.8-1.6 HC FILTREXPAN, Le sable normal)**

Type de sable	Masses volumique apparente (kg/m <sup>3</sup> )	La masse volumique absolue(kg/m <sup>3</sup> )
<b>FILTREXPAN NC 1.6-2.5</b>	590 ± 60	1200 ± 120
<b>FILTREXPAN HC 0.8-1.6</b>	750 ± 60	1650 ± 120
<b>Le sable normal</b>	1500 ± 75	2450 ± 75

En comparaison, le sable normal a une masse volumique apparente de  $1500 \pm 75$  kg/m<sup>3</sup> ce qui est considérablement plus élevé que les deux autres types de sable.

Cela indique une plus grande compaction des particules et une densité plus élevée du matériau. La masse volumique absolue du sable normal est de  $2450 \pm 75$  kg/m<sup>3</sup> ce qui confirme sa densité plus élevée.

Un matériau filtrant moins dense peut permettre un meilleur écoulement de l'eau à travers le lit de filtration. Le rétro-lavage, quant à lui, est un processus essentiel pour maintenir la performance d'un lit de filtration.

Lors du rétro-lavage, de l'eau est utilisée pour inverser le flux à travers le lit filtrant, afin de déloger les particules accumulées et les évacuer. La densité du matériau filtrant peut affecter le rétro-lavage de différentes manières.

Un matériau filtrant moins dense peut être plus facilement fluidisé et agité par l'eau de rétro-lavage, facilitant ainsi l'élimination des particules. En revanche, un matériau filtrant plus dense peut nécessiter un débit d'eau plus élevé ou une pression accrue pour un rétro-lavage efficace.

#### IV.1.4 Attaque à l'acide

**Tableau 8 : Pourcentage de solubilité à l'acide**

<b>Diamètre des particules (mm)</b>	<b>Attaque Acide (%)</b>
HC 0.8-1.6	< 6
NC 1.6-2.5	< 4
Sable normal	< 0.76

Ces résultats sont importants car ils permettent d'évaluer la résistance du sable à l'acidité et à la dégradation chimique par rapport de perte de masse.

Ces résultats sont significatifs dans l'évaluation de la résistance du sable à l'acidité et à la dégradation chimique dans la fraction de 1,6-2,5 avec une densité normale. Ils indiquent que le sable subit une dégradation relativement faible, avec seulement < 4 % de perte de masse après l'attaque d'acide chlorhydrique.

Cette faible dégradation suggère que le sable utilisé dans l'étude possède une bonne résistance à l'acidité, ce qui est favorable à son utilisation en tant que média filtrant dans le contexte de l'étude axée sur la filtration des eaux potables.

En conclusion, nos résultats préliminaires mettent en évidence une dégradation faible après l'attaque à l'acide chlorhydrique.

#### IV.1.5 Porosité ( $\epsilon$ )

**Tableau 9 : Porosité ( $\epsilon$ ) de FILTREXPAN HC, NC et sable normal**

<b>Diamètre des particules (mm)</b>	<b>Porosité (%)</b>
HC 0.8-1.6	0.52 $\pm$ 0.02
NC 1.6-2.5	0.54 $\pm$ 0.02
Sable normal	0.41 $\pm$ 0.1

Le résultat de 54-56% de porosité pour la fraction 1,6-2,5 avec une densité normale indique que ce sable présente une porosité relativement élevée, cela signifie qu'environ 54-56% du

volume du matériau est constitué d'espace vide ou de pores, ce qui permet une bonne circulation de l'eau à travers le média filtrant.

En ce qui concerne la densité haute, la porosité est de 52-54%., donc elle est relativement élevée, ce qui indique une bonne capacité du sable à permettre le passage des fluides.

Le sable normal présente une porosité de 40-41%, ce qui est inférieur aux autres types de sable étudiés, cela indique que le sable classique a une structure plus dense avec moins d'espace vide ou de pores pour permettre le passage des fluides. Une porosité plus faible peut entraîner une plus grande résistance au flux d'eau et une efficacité de filtration réduite.

En revanche, les autres types de sable, tels que le NC et HC FILTREXPAN, présentent des porosités plus élevées (55% et 52% respectivement). Cela signifie qu'il y a plus d'espace vide ou de pores dans ces sables, ce qui permet une meilleure circulation de l'eau à travers le média filtrant.

Une porosité élevée est souvent souhaitable dans le cas de la filtration des eaux potables, car elle favorise un meilleur écoulement de l'eau à travers le matériau filtrant.

Une plus grande porosité permet une plus grande surface de contact entre l'eau et le sable, ce qui améliore l'efficacité de la filtration en permettant une plus grande adsorption des impuretés et une meilleure rétention des particules indésirables.

Un sable avec une porosité plus élevée peut offrir une meilleure filtration, permettant de retenir efficacement les particules et les contaminants indésirables.

- **FILTREXPAN et FILTRALITE**

À la lumière des résultats obtenus pour les différents paramètres étudiés (Tableaux 10 et 11), à savoir la masse volumique apparente, la masse volumique absolue, la dégradation en HCl (acide chlorhydrique) et la porosité, ainsi que leur comparaison avec les paramètres des produits de FILTRALITE.

**Tableau 10 : les caractéristiques de FILTREXPAN 0.8-1.6 ET Filtralite Pure HC 0,8-1,6**

	<b>FILTREXPAN HC 0.8-1.6</b>	<b>Filtralite® Pure HC 0,8-1,6</b>
<b>Masses volumique apparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	750 ± 60	850
<b>Masses volumique absolue (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1650 ± 120	1700
<b>Solubilité à l'acide (%)</b>	< 6	< 7
<b>Porosité (%)</b>	52 ± 54	< 55

**Tableau 11 : les caractéristiques de FILTREXPAN NC1.6-2.5 Filtralite Pure NC 1,5-2,5**

	<b>FILTREXPAN NC 1.6-2.5</b>	<b>Filtralite® Pure NC 1,5-2,5</b>
<b>Masses volumique apparente (kg/m<sup>3</sup>)</b>	590 ± 60	850
<b>Masses volumique absolue (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1200 ± 120	1700
<b>Solubilité à l'acide ( %)</b>	< 4	<7
<b>Porosité <math>\epsilon</math> (%)</b>	54 ± 57	<55

En conclusion, les résultats de l'étude mettent en évidence la qualité et l'efficacité des matériaux de filtration à base d'argile expansée FILTREXPAN, ainsi que des produits de FILTRALITE. Les paramètres étudiés, tels que la granulométrie, la capacité de rétention des impuretés, la perméabilité, la porosité et la densité, ont démontré des performances similaires entre ces deux matériaux.

Cela suggère que le matériau local FILTREXPAN est une option prometteuse en matière de filtration de l'eau, offrant des caractéristiques et des performances comparables à celles des produits FILTRALITE plus largement reconnus.

L'utilisation de ces matériaux notamment FILTREXPAN pour la filtration des eaux peut contribuer à réduire les impuretés et les contaminants, améliorant ainsi la qualité de l'eau à partir d'un matériau local hautement efficace.

En résumé, Le matériau local FILTREXPAN démontre son aptitude à être utilisé dans les systèmes de filtration, grâce à ses performances cohérentes et comparables en termes de caractéristiques clés.

## IV.2 Hydrodynamique fluidisation

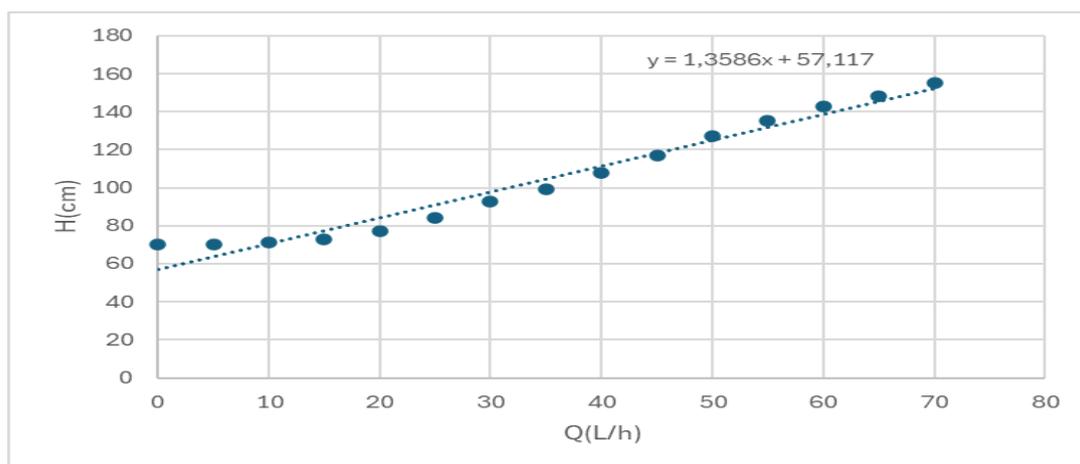
### IV.2.1 Analyse des caractéristiques hydrodynamiques du lit

L'étude hydrodynamique a été menée sur cinq types de matériaux : FILTREXPAN HC 0.8-1.6, Filtralite, FILTREXPAN NC 1.6-2.5, bicouche (FILTREXPAN HC 0.8-1.6, FILTREXPAN NC 1.6-2.5) et sable normal.

### IV.2.2 Variation de la hauteur en fonction de débit (NC (1.6-2.5))

Nous avons rempli la colonne avec du sable jusqu'à une hauteur  $H_0=70$  cm correspondant à une masse de  $m=308.78$ g de sable, porosité de 0.53

Les résultats obtenus sont consignés dans la figure suivante :



**Figure 15 : Variation de la hauteur de lit NC (1.6\_2.5) en fonction de débit**

La figure 15 montre la variation de la hauteur en fonction du débit pour la fraction NC (1.6-2.5) dans un lit fluidisé, les résultats obtenus nous permettent d'analyser le comportement de la hauteur du lit fluidisé en réponse à des débits croissants.

Initialement, lorsque le débit est de 0 L/h, la hauteur initiale ( $H_0$ ) de la fraction NC (1.6-2.5) est mesurée à 70 cm, à mesure que le débit augmente, nous constatons une augmentation progressive de la hauteur.

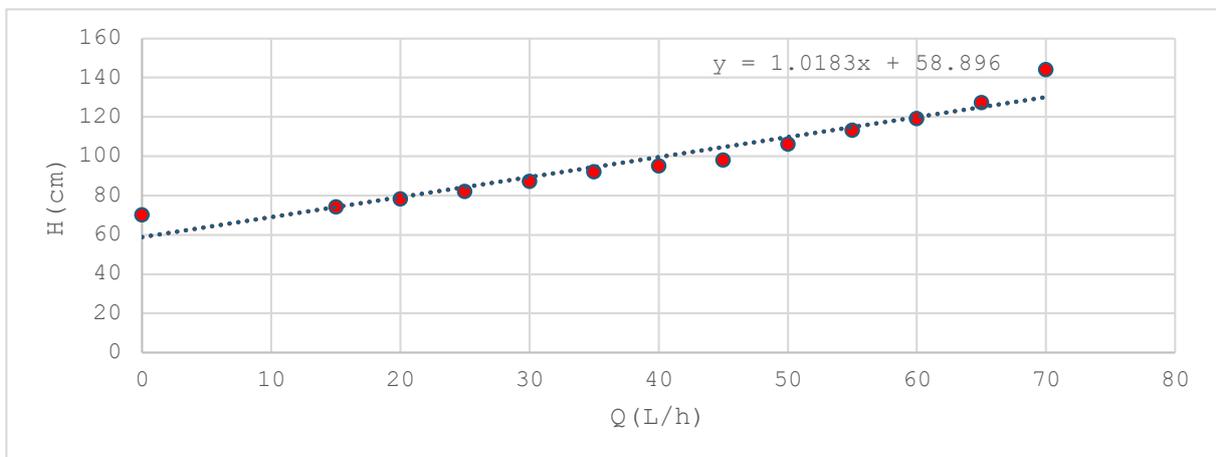
Entre 0 L/h et 20 L/h, la hauteur augmente légèrement de 70cm à 77cm., cette augmentation initiale suggère une légère expansion du lit fluidisé en réponse à l'augmentation du débit.

Au fur et à mesure que le débit continue d'augmenter, nous observons une augmentation plus significative de la hauteur. Par exemple, entre 30 L/h et 50 L/h, la hauteur passe de 95.5 cm à 127 cm, indiquant une expansion notable du lit fluidisé.

#### IV.2.3 Variation de la hauteur en fonction de débit (Filtralite)

Nous avons rempli la colonne avec du sable jusqu'à une hauteur  $H_0=70$  cm

$M=416$ g porosité de 0.50



**Figure 16 : Variation de la hauteur de lit Filtralite en fonction de débit**

1

6

Tout d'abord, lors qu'aucun débit n'est appliqué (0 L/h), la hauteur initiale ( $H_0$ ) est mesurée à 70 cm. À mesure que le débit augmente progressivement, la hauteur du lit fluidisé présente une augmentation significative.

1

Entre 0 L/h et 30 L/h, la hauteur connaît une légère augmentation, passant de 70 cm à 87cm., cette augmentation initiale témoigne d'une expansion modérée du lit fluidisé en réponse à l'augmentation du débit.

1

i

t

e

Au fur et à mesure que le débit continue d'augmenter, nous observons une augmentation plus significative de la hauteur. Par exemple, entre 30 L/h et 50 L/h, la hauteur passe de 87 cm à 106 cm, indiquant une expansion notable du lit fluidisé.

#### IV.2.4 Variation de la hauteur en fonction de débit (FILTREXPAN HC 0.8-1.6)

Nous avons rempli la colonne avec du sable jusqu'à une hauteur  $H_0=70$  cm

$M=371.23$ g et la porosité 52%

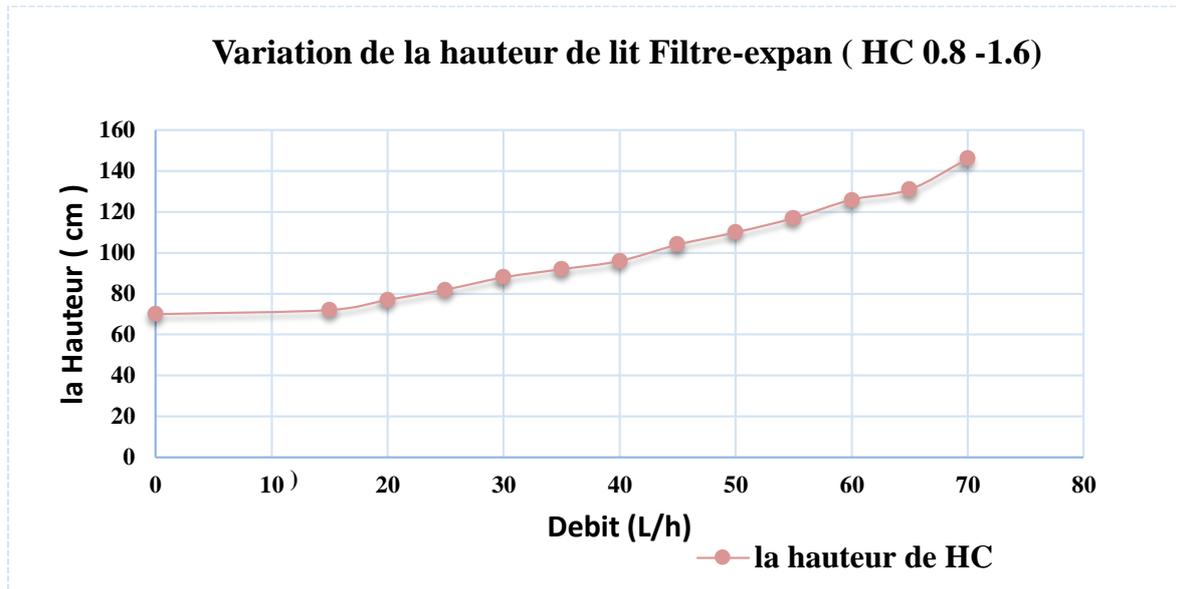


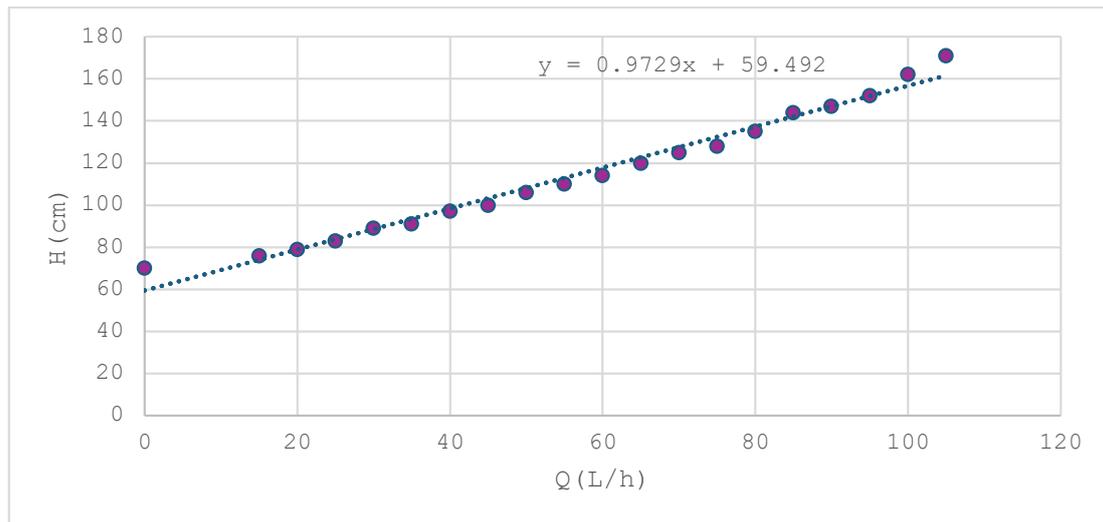
Figure 17 : Variation de la hauteur en fonction de débit (FILTREXPAN HC 0.8-1.6)

#### IV.2.5 Variation de la hauteur en fonction de débit (sable normal)

Nous avons rempli la colonne avec du sable jusqu'à une hauteur  $H_0=70$  cm

$m=759.28$ g, porosité de 0.40

Les résultats obtenus sont consignés dans la figure suivante :



**Figure 18 : Variation de la hauteur de lit (sable normal) en fonction de débit**

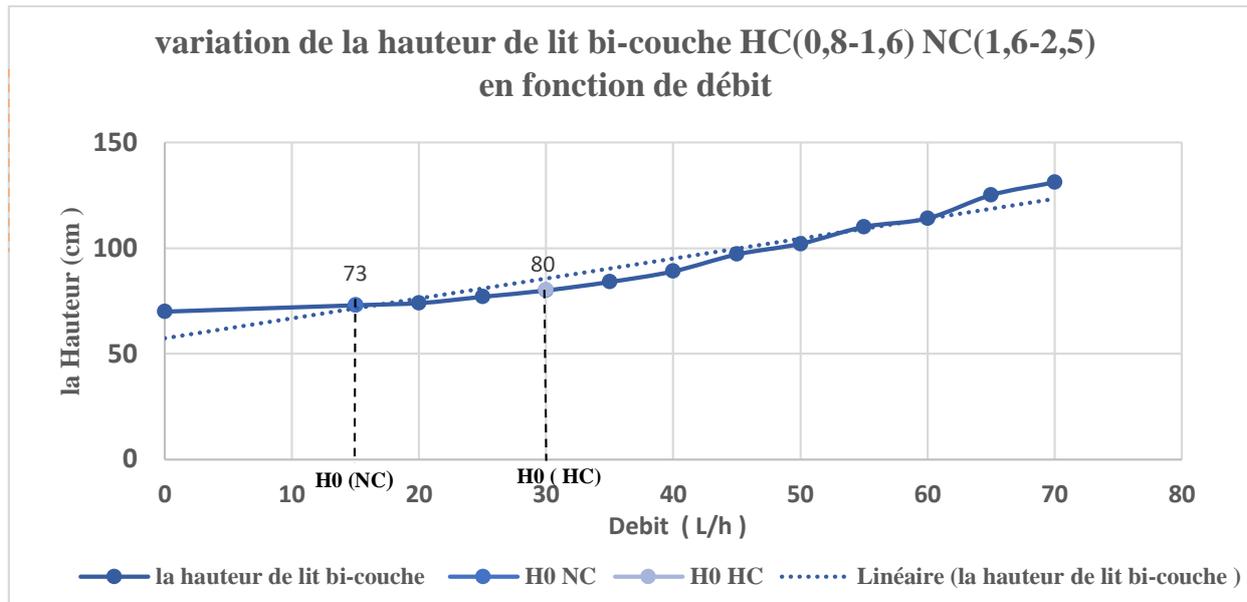
La courbe présentée dans la figure 18 illustre la variation de la hauteur en fonction du débit pour le sable normal dans un lit fluidisé, l'analyse des données révèle plusieurs observations importantes.

Tout d'abord, lorsque aucun débit n'est appliqué (0 L/h), la hauteur initiale ( $H_0$ ) est mesurée à 70 cm. À mesure que le débit augmente progressivement, la hauteur du lit fluidisé augmente de manière significative.

Entre 0 L/h et 30 L/h, la hauteur connaît une légère augmentation, passant de 70 cm à 89cm., cette augmentation initiale témoigne d'une légère expansion du lit fluidisé en réponse à l'augmentation du débit.

Au fur et à mesure que le débit continue d'augmenter, nous observons qu'il n'y a pas d'augmentation significative de la hauteur. Par exemple, entre 30 L/h et 50 L/h, la hauteur passe de 89 cm à 106 cm, et entre 50 L/h et 70 L/h, la hauteur passe de 106 cm à 125 cm. La hauteur augmente de manière lente jusqu'à atteindre 170 cm à un très grand débit de 105 L/h.

#### IV.2.6 Variation de la hauteur en fonction de débit (lit bicouche)



**Figure 19 : Variation de la hauteur du lit en fonction du débit (lit bicouche)**

Au départ, à un débit de 0 L/h, la hauteur initiale du lit fluidisé est de 70 cm. En augmentant progressivement le débit, nous observons une augmentation régulière de la hauteur, ce qui indique une certaine expansion du lit.

Lorsque le débit atteint 15 L/h, la hauteur du lit passe à 72.5 cm, montrant une légère augmentation. Cette augmentation initiale peut être attribuée à l'effet du débit sur l'expansion de la fraction HC (0,8-1,6) dans le lit fluidisé.

À mesure que le débit continue d'augmenter, nous observons une augmentation plus significative de la hauteur du lit. Par exemple, entre 30 L/h et 45 L/h, la hauteur passe de 80 cm à 97 cm, soit une augmentation notable. Cela suggère une expansion plus prononcée du lit fluidisé, probablement due à l'expansion de la fraction NC (1,6-2,5) avec l'augmentation du débit.

À des débits encore plus élevés, tels que 50 L/h et 65 L/h, nous constatons une augmentation significative de la hauteur du lit. La hauteur passe de 102 cm à 121 cm, indiquant une expansion notable des deux fractions HC et NC.

Enfin, à un débit de 70 L/h, la hauteur du lit atteint 131 cm, ce qui témoigne d'une expansion importante du lit fluidisé. Cela suggère que le lit atteint un certain point au delà duquel il y aura entraînement du sable

Nous avons rempli la colonne avec du sable jusqu'à une hauteur  $H_0=70$  cm

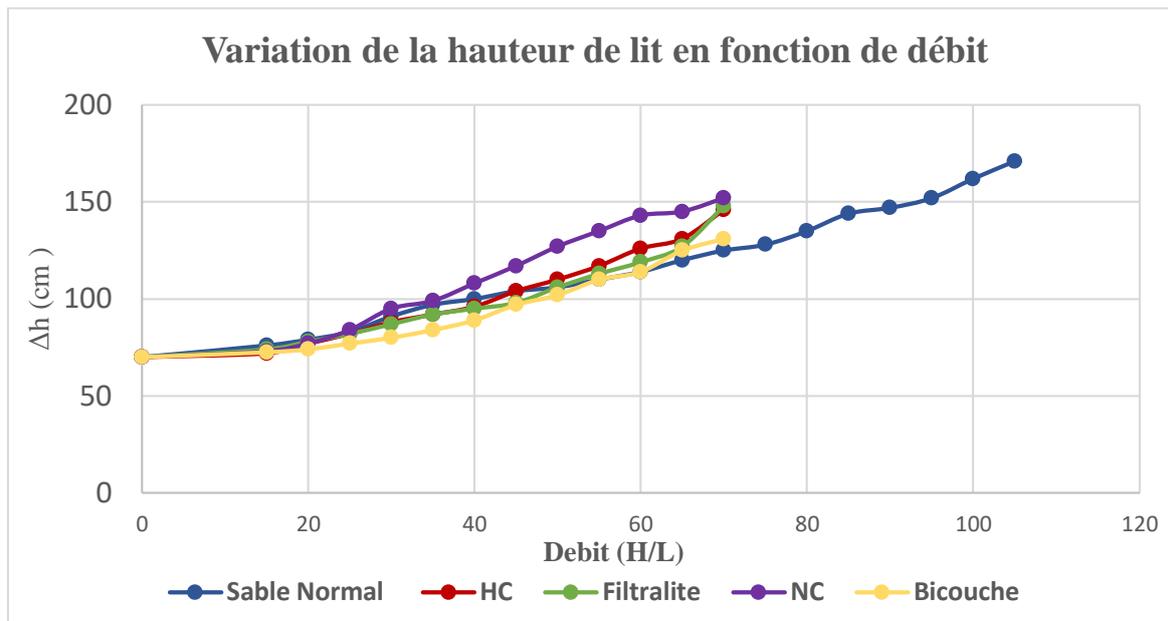


Figure 20 : Variation de la hauteur du lit en fonction du débit

#### IV.2.6 Comparaison des résultats

Comparons les résultats des différentes analyses hydrodynamiques des matériaux dans le lit fluidisé

**FILTREXPAN NC (1.6-2.5) :** Hauteur maximale atteinte : 127 cm à 50 L/h.

**Filtralite :** Hauteur maximale atteinte : 106 cm à 50 L/h.

**Sable normal :** Hauteur maximale atteinte : 170 cm à 105 L/h.

**Bicouche (FILTREXPAN HC 0.8-1.6, FILTREXPAN NC 1.6-2.5) :**

Hauteur maximale atteinte : 131 cm à 70 L/h.

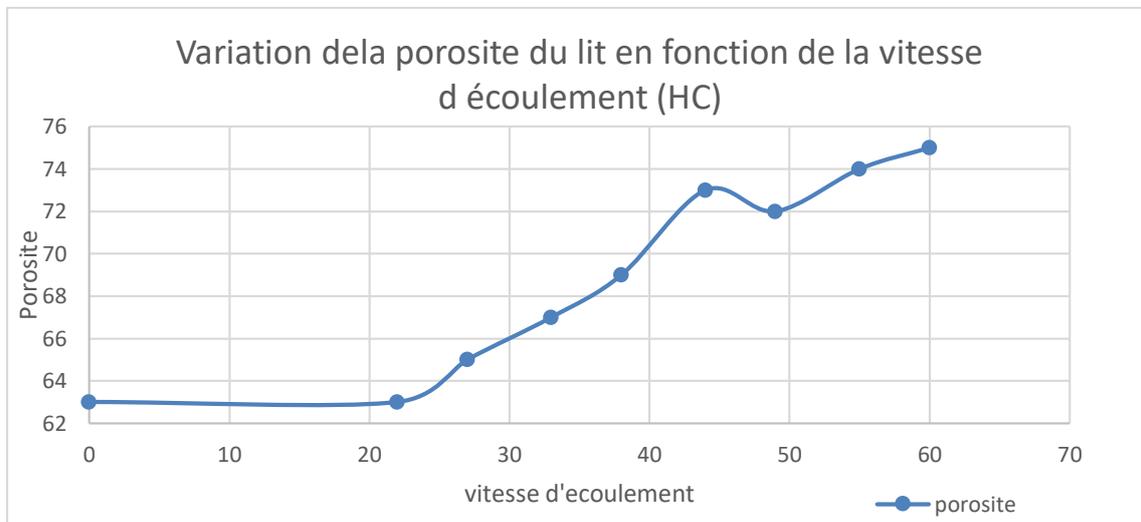
En comparant ces résultats, on peut tirer quelques conclusions : Le sable normal présente la plus grande expansion du lit fluidisé, atteignant une hauteur maximale de 170 cm à 105 L/h.

Le FILTREXPAN NC (1.6-2.5) et le Filtralite montrent des expansions moins importantes, avec des hauteurs maximales respectives de 127 cm et 106 cm, tous deux atteints à 50 L/h.

La bicouche présente une expansion intermédiaire avec une hauteur maximale de 131 cm à 70 L/h.

Ces comparaisons suggèrent que le matériau utilisé a un impact significatif sur le comportement hydrodynamique du lit fluidisé, avec des variations dans la manière dont chaque matériau réagit aux changements de débit.

### IV.3 Variation de la porosité du lit en fonction de la vitesse d'écoulement (HC)



**Figure 21 : Variation de la porosité du lit en fonction de la vitesse d'écoulement (HC)**

La courbe présentée dans la figure 21 représente la variation de la porosité en fonction de la vitesse de fluidisation pour le sable HC 0.8-1.6, l'analyse des données révèle plusieurs observations importantes.

-Augmentation Initiale de la Porosité Tout d'abord, les premières valeurs de vitesse de fluidisation (de 0 à 20 m/h) montrent une légère augmentation de la porosité.

Cependant, cette augmentation est relativement faible et progressive.

-Vitesse Minimale de Fluidisation Pour la vitesse minimale de fluidisation (25 m/h), la porosité atteint une valeur de 57.36% pour une expansion du lit de 13.77%.

-Augmentation Marquée de la Porosité Ensuite, à partir d'une vitesse de fluidisation de 35.4 m/h, nous observons une augmentation plus marquée de la porosité.

Les valeurs de porosité augmentent de manière significative, ce qui suggère une augmentation rapide des espaces vides ou des pores dans le matériau.

Enfin, il y a une augmentation notable de la porosité entre les valeurs de vitesse de fluidisation de 35 et 40 m/h, ainsi qu'entre 40 et 45 m/h. Cela peut indiquer une tendance à une augmentation accélérée de la porosité à mesure que la vitesse de fluidisation augmente davantage.

En résumé, l'analyse des données montre que la porosité du sable HC 0.8-1.6 augmente légèrement aux faibles vitesses de fluidisation, puis de manière plus marquée à partir de la vitesse minimale de fluidisation. Cette tendance s'accélère encore plus aux vitesses de fluidisation plus élevées.

#### **IV.4 Débit de lavages**

Le débit de lavage est un paramètre crucial dans le fonctionnement et l'efficacité des systèmes de filtration.

Il détermine la quantité d'eau nécessaire pour nettoyer les matériaux filtrants et assurer leur performance optimale, une compréhension approfondie de ce débit permet de sélectionner le matériau filtrant le plus approprié, en tenant compte des aspects économiques et environnementaux.

Cette étude se concentre sur l'analyse comparative des débits de lavage de différents matériaux filtrants, notamment le FILTREXPAN HC, le sable normal et le lit bicouche FILTREXPAN HC (0.8-1.6) et NC (1.6-2.5), afin de guider le choix des systèmes de filtration en fonction de leurs priorités spécifiques : efficacité de filtration, coûts de maintenance et consommation d'eau.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

**Tableau 12 : Variation de débit de lavage par apport de matériau filtrant**

<b>Matériau filtrant</b>	<b>Débit de lavages (L)</b>
<b>FILTREXPAN HC 0.8-1.6</b>	30.6
<b>Sable normal</b>	39.6
<b>Bicouche</b>	33.6

- **FILTREXPAN HC 0.8-1.6**

Le débit de lavage est 30.6 L, ce débit de lavage est le plus bas parmi les trois matériaux, ce qui peut indiquer une plus grande efficacité de filtration ou un besoin de moins d'eau pour le nettoyage du matériau.

- **Sable normal**

Le débit de lavage est 39.6 L, ce débit est le plus élevé parmi les trois, ce qui peut indiquer qu'il nécessite plus d'eau pour être lavé efficacement, probablement à cause de la plus grande accumulation de particules.

- **Bicouches**

Le débit de lavage est 33.6 L, ce débit est intermédiaire entre le sable normal et le FILTREXPAN HC, ce qui peut signifier une efficacité de filtration équilibrée et des besoins en eau de lavage modérés.

### **Conclusion**

Le choix du matériau filtrant dépendra des priorités spécifiques du système de filtration : efficacité de filtration, coûts de maintenance, consommation d'eau pour le lavage, et durabilité du matériau.

FILTREXPAN HC semble être le choix optimal pour minimiser l'eau de lavage, tandis que le sable normal peut être plus coûteux en termes d'eau de lavage.

Le lit bicouche offre un bon équilibre entre efficacité de filtration et consommation d'eau.

## **IV.5 Filtration**

L'étude de filtration était divisée en deux parties :

- **Filtration de l'eau synthétique**

Cette étude a été menée sur trois types de matériaux ; FILTREXPAN HC (0.8-1.6), Bicouche (FILTREXPAN HC (0.8-1.6), FILTREXPAN NC (1.6-2.5) et Sable normal.

- **Filtration de l'eau de mer**

Cette étude a été menée sur deux types de matériaux : Bicouche (FILTREXPAN HC (0.8-1.6) et FILTREXPAN NC (1.6-2.5)), FILTREXPAN HC (0.-1.6).

## IV.5.1 Filtration de l'eau synthétique

Comme cité dans le mode opératoire, nous avons rempli la colonne jusqu'à une hauteur  $h_0 = 70$  cm avec du matériau filtrant.

Ensuite, elle a été alimentée avec de l'eau synthétique préparée, par une pompe d'alimentation.

### IV.5.1.1 Filtration sur sable normal

Nous avons effectué un essai de filtration de l'eau synthétique par le sable normal (classique) et les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

#### Conditions initiales

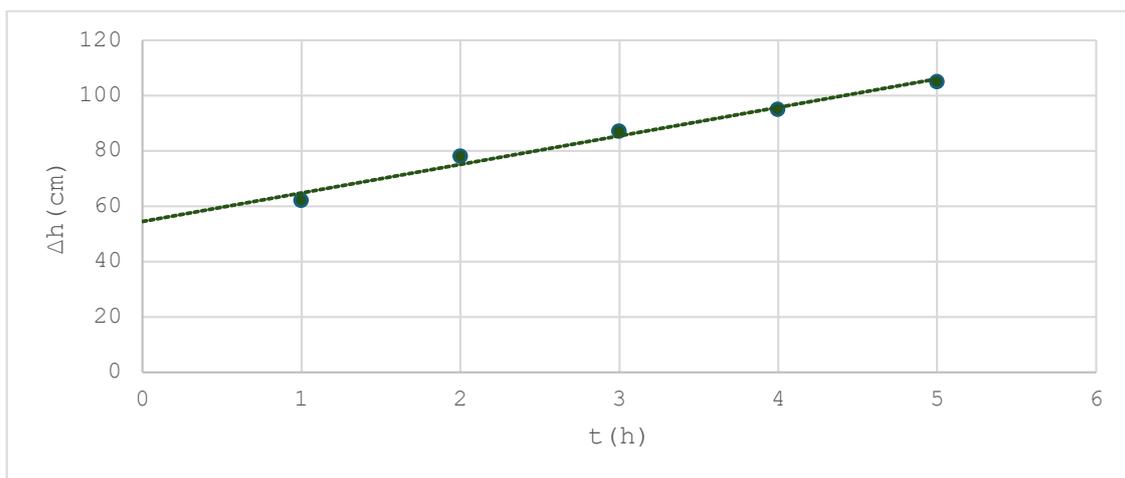
Turbidité = 10.50 NTU

pH = 7.10

Conductivité = 360  $\mu\text{s}/\text{cm}$

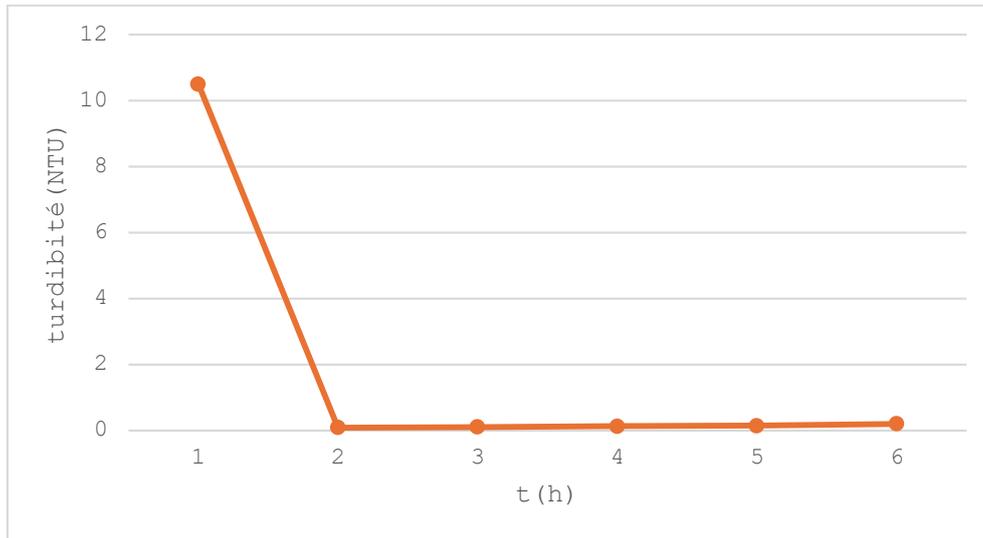
TDS = 231 mg/l

$\Delta h_0 = 55$  cm



**Figure 22 : Variation de la perte de charge en fonction du temps (sable normal)**

D'après les résultats obtenus, on remarque qu'en l'espace d'une heure, il y a eu une augmentation significative de la perte de charge, passant de 55 à 62 cm, et cela se poursuit pour les heures suivantes. Au bout de cinq heures, le sable a déjà atteint une hauteur de 105 cm, ce qui indique que le cycle de filtration est très court.



**Figure 23 : Variation de la turbidité en fonction du temps (sable normal)**

La turbidité était de 10,50 NTU à l'instant  $t=0h$ , puis a diminué pour atteindre 0,09 NTU après une heure, ce qu'on appelle la maturation du filtre.

La turbidité est restée inférieure à 0,2 NTU pendant 5 heures et il n'y a pas eu de remontée de la turbidité car nous n'avons pas atteint la saturation du lit.

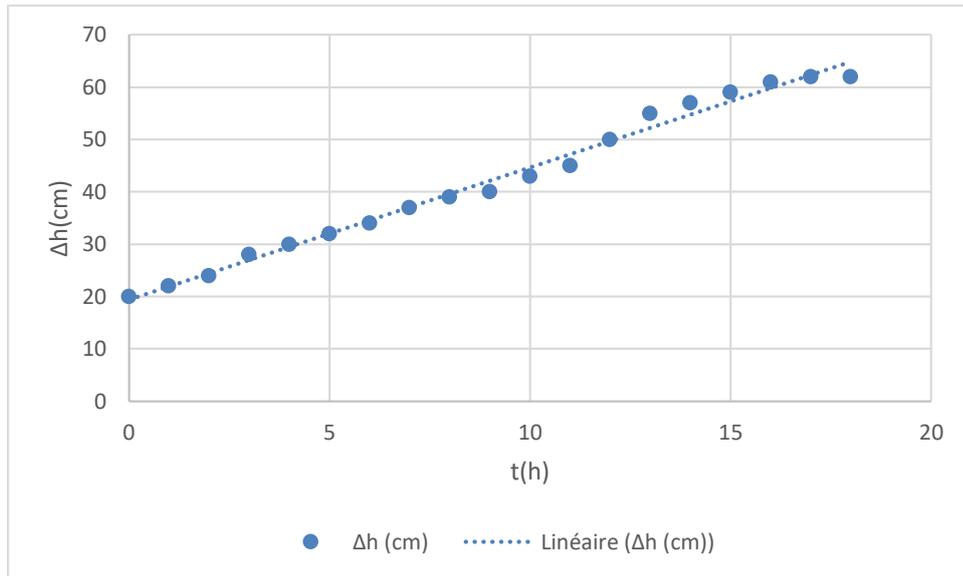
#### **IV.5.1.2 Filtration sur FILTREXPAN HC 0.8-1.6**

Nous avons effectué un essai de filtration de l'eau synthétique par le lit HC et les résultats obtenus sont consignés dans le figure suivant :

FILTRE EXPAND HC (0.8-1.6)

Turbidité =10,24 NTU  $\Phi=7,21$  Ms =405,71g Dh0=20 cm

Turbidité =10,23 NTU,  $\Phi=7,25$



**Figure 24 : Variation de la perte de charge en fonction du temps (HC)**

La courbe représente le sable HC (0.8-1.6) en fonction de temps

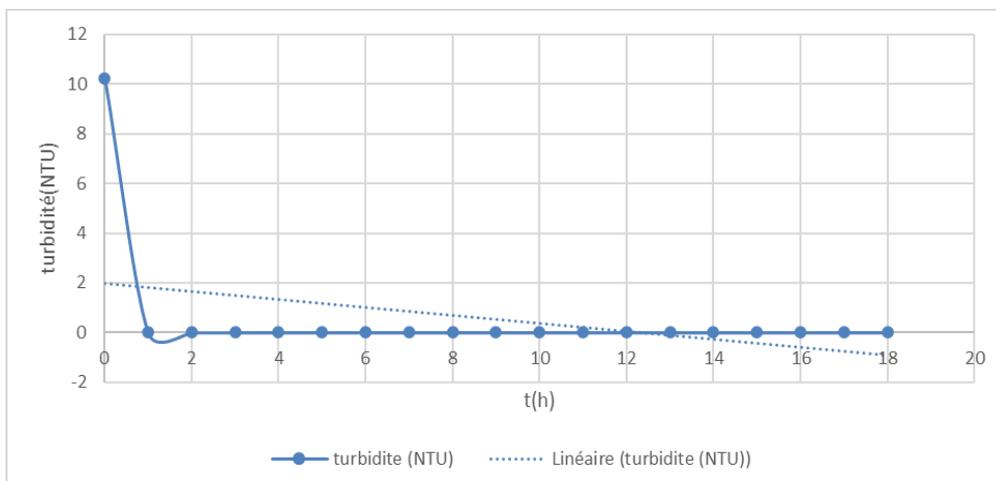
En observant cette courbe, On peut conclure que  $\Delta h_0$  est. 20cm et la turbidité diminue de 10.5 à 0 en cinq heures,

Une forte augmentation de 20 à 32 de la perte de charge entre T=0hr et T =5hr

Une augmentation légère entre T=5hr à T=14hr de 32 jusqu'à 47cm de perte de charge

Une augmentation continue entre T=14hr à T=17hr est évident que la perte de charge demeure élevée

Le graphe représente la turbidité en fonction de temps :



**Figure 25 : Variation de la turbidité en fonction du temps**

Il est observé que la turbidité débute à un niveau de 10 à  $t=0$ .

Rapidement, elle diminue pour atteindre après une heure, ce qui correspond à la maturation du filtre.

Ensuite, la turbidité reste constante pendant une période de 18 heures. On ne remarque pas de remontée de la turbidité, ce qui suggère que la saturation n'a pas été atteinte

#### IV.5.1.3 Filtration sur bicouche (FILTRESPAN HC (0.8-1.6) et (FILTRESPAN NC (1.6-2.5))

Nous avons effectué un essai de filtration de l'eau synthétique par le lit bicouche et les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

##### Conditions initiales

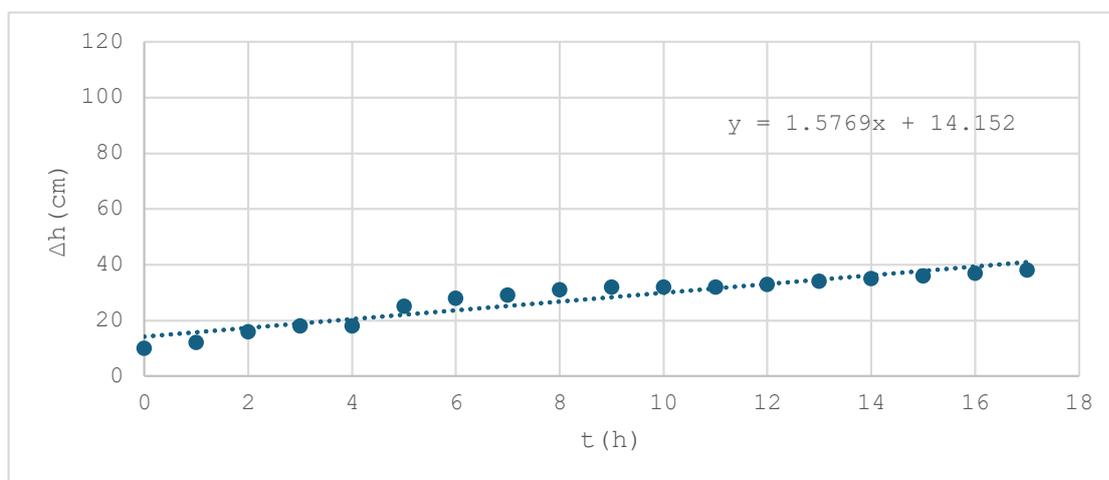
Turbidité = 10.21

pH= 7.14

Conductivité =344 $\mu$ s/cm

TDS=222mg/l

$\Delta h_0=10$  cm



**Figure 26 : Variation de la perte de charge en fonction du temps(bicouche)**

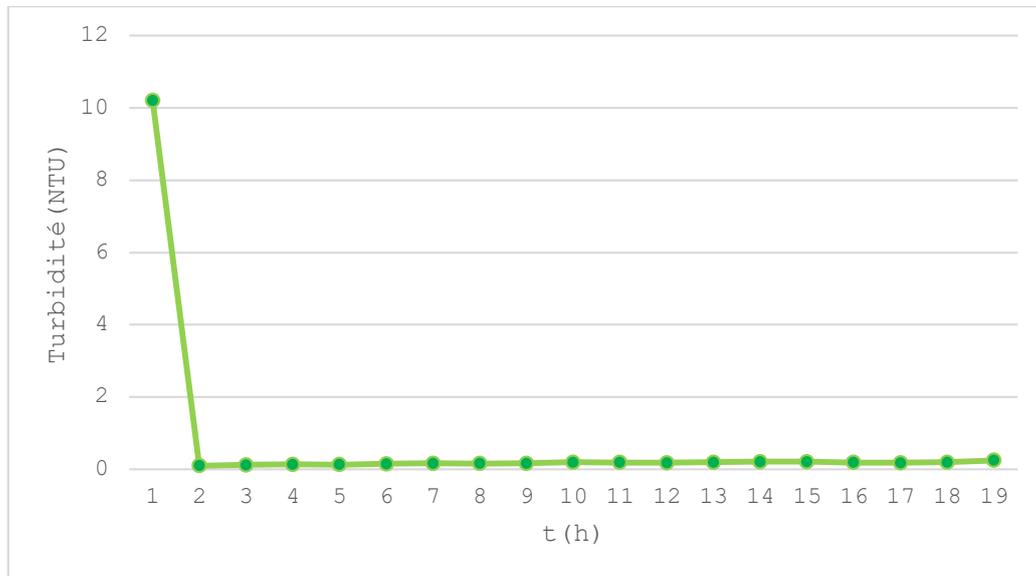
En observant ces résultats, on remarque que  $\Delta h_0$  est très petit, seulement de 10 cm.

Après 4 heures, il y a eu une légère augmentation de la perte de charge, passant de 10 à 18 cm.

La perte de charge passe de 18 cm à 32 cm, ce qui est relativement faible entre 4hr et=10hr

Une légère augmentation entre.

Entre  $t=10$  h et  $t=17$  h, elle passe de 32 cm à 38 cm, ce qui signifie que son cycle de filtration est long et que nous sommes encore loin de la saturation du lit vu de sable vu que la turbidité reste toujours inférieure à 0.2 NTU.



**Figure 27 : Variation de la perte de charge en fonction du temps**

La turbidité était de 10,21 NTU à l'instant  $t=0$ h, puis a diminué pour atteindre 0,1 NTU après une heure, ce qu'on appelle la maturation du filtre.

La turbidité est restée inférieure à 0,2 NTU pendant 17 heures et il n'y a pas eu de remontée de la turbidité car nous n'avons pas atteint la saturation du lit.

## IV.5.2 Filtration de l'eau de mer

Nous avons rempli la colonne jusqu'à une hauteur  $h_0=70$  cm avec du matériau filtrant.

Ensuite, elle a été alimentée avec de l'eau de mer, par une pompe d'alimentation.

### IV.5.2.1 Filtration sur FILTRXPAN HC (0.8-1.6)

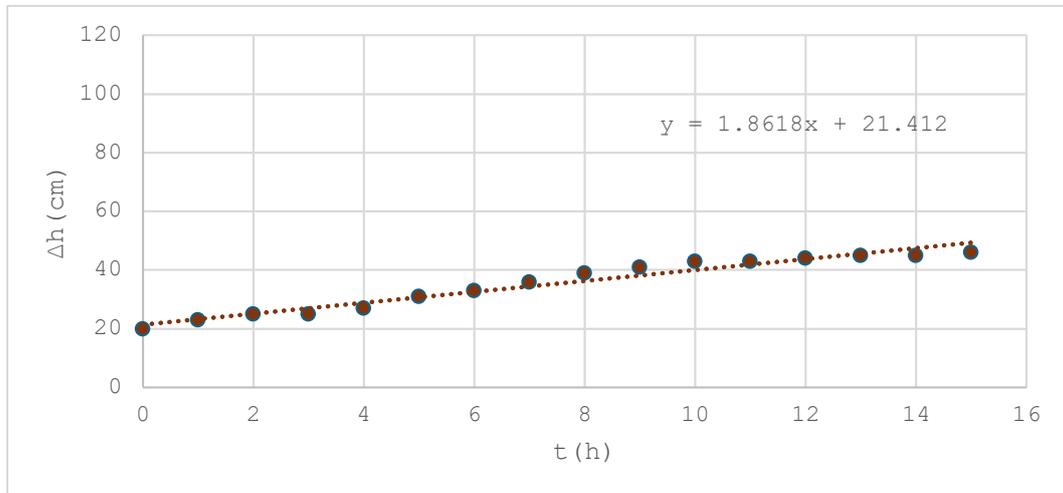
Nous avons effectué un essai de filtration de l'eau de mer par FILTRESPAN HC 0.8-1.6) et les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

### Conditions initiales

Turbidité= 3.85 NTU , pH=7.4

Conductivité =25.20 $\mu$ s/cm , TDS=16.16mg/l

$\Delta h_0=20$ cm



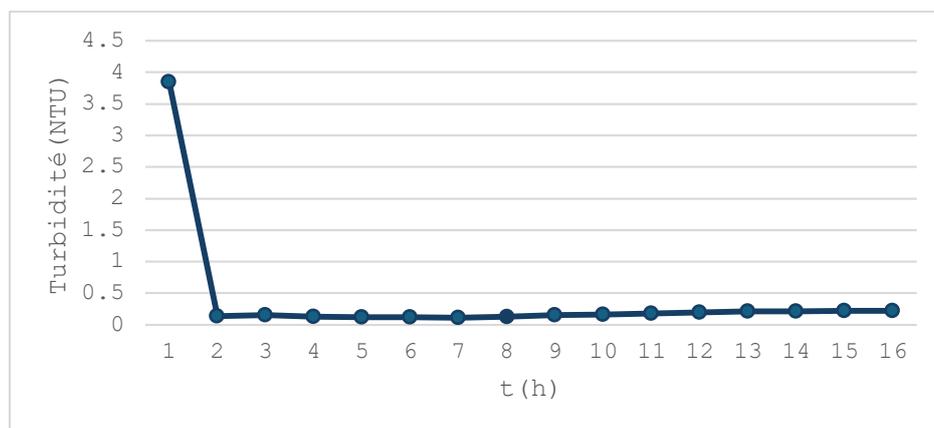
**Figure 28 : Variation de la perte de charge en fonction du temps (HC)**

On peut voir à partir de cette courbe que le  $\Delta h_0$  est petit (20cm).

De  $t = 0$ h à  $t = 4$ h, on remarque une légère augmentation de la perte de charge.

De  $t = 4$ h à  $t = 10$ h, il y a eu une augmentation significative de la perte de charge, mais de  $t = 10$ h à  $t = 15$ h, l'augmentation redevient faible.

On voit que la perte de charge reste toujours faible, ce qui signifie un cycle plus long que 15h. La turbidité diminue de 3.85 NTU à 0.22 NTU.



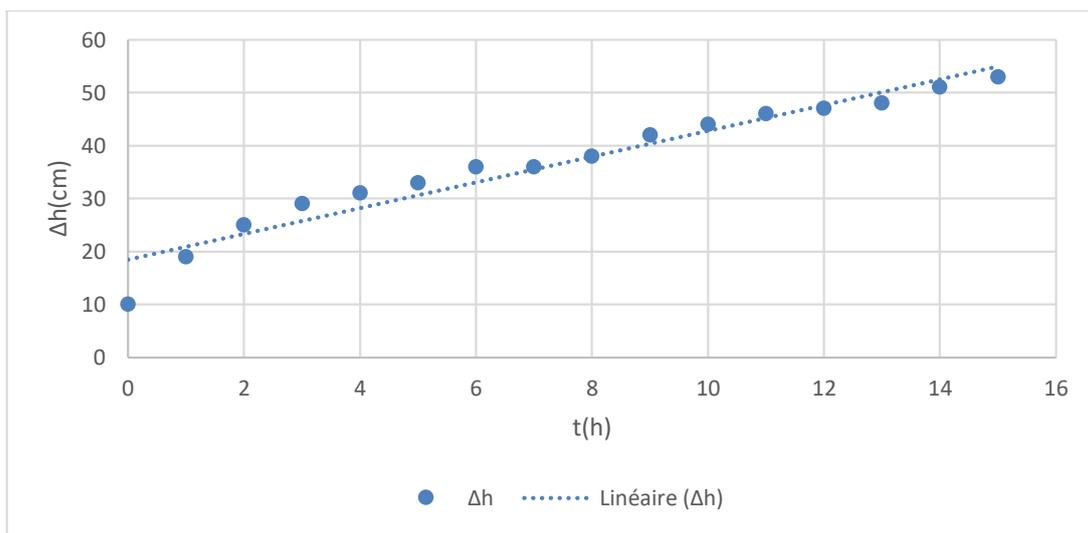
**Figure 29 : Variation de la turbidité en fonction du temps (FILTREXPAN 0.8-1.6)**

La turbidité était de 3.85 NTU à l'instant  $t=0h$ , puis a diminué pour atteindre 0,14 NTU après une heure, ce qu'on appelle la maturation du filtre.

La turbidité est restée inférieure à 0,2 NTU pendant 5 heures et il n'y a pas eu de remontée de la turbidité car nous n'avons pas atteint la saturation du lit.

#### IV.5.2.2 Filtration sur le lit bicouche (FILTREXPAN HC 0.8-1.6) et (FILTREXPAN NC 1.6-2.5) :

Nous avons effectué un essai de filtration de l'eau de mer par bicouche les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :



**Figure 30 : Variation de la perte de charge en fonction de temps bicouche**

L'examen de cette courbe fait appréhender les phénomènes suivants, on peut voir à partir de cette courbe que le  $\Delta h_0$  est plus petite par rapport aux sables HC et sable normal  $\Delta h_0=10$  cm

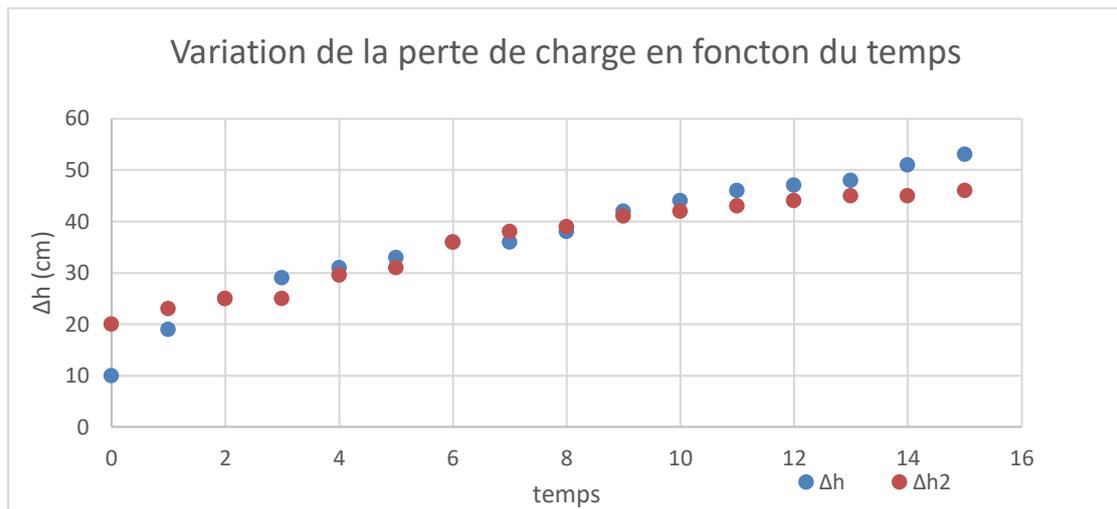
De  $t = 0$  h à  $t = 5$ h, Il est observé une augmentation significative de la perte de charge.

De  $t = 5$  à  $t = 12$  h il y a eu une hausse notable de la perte de charge.

12h à  $t = 15$ h, : il y a une augmentation continue.

Cela peut suggérer un cycle de filtration plus long.

### II.5.2.3 Comparaison des résultats entre bicouche et HC



**Figure 31 : Variation de la perte de charge en fonction du temps**

Dans les deux cas, la turbidité diminue après le démarrage du processus de filtration.

Les deux méthodes semblent avoir atteint un niveau stable de turbidité après un certain temps, indiquant une efficacité similaire en termes de clarification de l'eau.

Aucune saturation de filtre n'a été observée dans les deux cas, ce qui suggère que les filtres n'étaient pas saturés pendant la période d'observation.

Il y a une différence dans les valeurs de perte de charge initiale ( $\Delta h_0$ ), qui sont plus petites pour les matériaux de "sable HC" et "lit bicouche" par rapport aux autres matériaux.

Les deux méthodes montrent une augmentation de la perte de charge au fil du temps.

Cependant, les profils temporels de la perte de charge peuvent varier entre les deux méthodes. Par exemple, la hausse notable de la perte de charge peut survenir à des moments différents ou avec des intensités différentes pour chaque méthode.

## **Conclusion générale**

La présente étude offre une analyse approfondie de l'utilisation du média filtrant FILTRE EXPAN à base d'argile expansée pour la filtration de l'eau de mer et de l'eau synthétique. Les résultats révèlent des propriétés favorables de ce matériau, telles qu'une forme angulaire et irrégulière des grains, des masses volumiques plus faibles et des porosités élevées.

L'étude cristallographique a confirmé la présence d'oxyde de silice et d'oxyde de fer dans l'échantillon, soulignant sa composition chimique complexe.

Les expériences de filtration ont démontré une efficacité notable du système, avec une réduction significative de la turbidité au fil du temps. Par exemple, dans la filtration de l'eau de mer sur FILTRXPAN HC (0.8-1.6), la turbidité a diminué rapidement de 10 à 2 NTU en une heure seulement, avant de se stabiliser à ce niveau pendant 18 heures. De même, la perte de charge a été relativement faible, avec une augmentation initiale de seulement 8 cm après 4 heures, atteignant un maximum de 38 cm après 17 heures. En revanche, dans la filtration dans l'eau synthétique sur le même média filtrant, la turbidité a également diminué progressivement, bien que les chiffres spécifiques ne soient pas fournis dans le résumé.

Cependant, la perte de charge a montré une tendance à augmenter de manière significative au fil du temps, passant de 20 cm à 40 cm sur une période de 20 heures. Ces résultats mettent en évidence l'efficacité du système de filtration dans la réduction de la turbidité, tout en soulignant l'importance d'une surveillance continue pour maintenir des performances optimales, en particulier en ce qui concerne la gestion de la perte de charge.

En conclusion, cette étude fournit des données précieuses sur les performances du système de filtration avec Filtrexpan, et les chiffres spécifiques présentés soulignent l'efficacité de ce matériau dans la purification de l'eau de mer et de l'eau synthétique.

## **Références bibliographiques**

[1] Hamoudi, A., Tekli, M. S., & Bahloul, H. (2021-2022). Analyse multicritère des performances de la station de dessalement de la nouvelle centrale à cycle combiné Cap Djinet. (Mémoire de master, Université M'Hamed Bougara Boumerdès, Faculté de Technologie, Département Génie Mécanique).

[2] Maafa, A. (2020). Dessalement de l'eau de mer. Mémoire de master, Université 08 Mai 1945 de Guelma, Faculté des Sciences et de la Technologie, Département de Génie Civil & Hydraulique, Spécialité Hydraulique Urbaine, Option Hydraulique Urbaine & Technique des eaux.

[3] Hout, S. (2021). Conception et optimisation d'un système de filtration pour le prétraitement de l'eau de mer. Thèse de doctorat, Université M'Hamed Bougara Boumerdès, Faculté de Technologie, Département de Génie des Procédés. Soutenue publiquement le 19 juin 2021.

[4] Benallouda, M. A. (2013). Etude de l'influence de différents matériaux filtrants sur le prétraitement des eaux de mer : application sur les eaux de la station de dessalement de Honaine. Projet de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme de Master en Hydraulique, Faculté de Technologie, Département d'Hydraulique, Université Belkaid Tlemcen.

[5] ("Water Treatment: Principles and Design" de John C. Crittenden, R. Rhodes Trussell, David W. Hand, Kerry J. Howe, George Tchobanoglous.

"Environmental Engineering: Fundamentals, Sustainability, Design" de James R. Mihelcic, Julie Beth Zimmerman.

Articles de revues spécialisées telles que "Water Research", "Journal of Water Supply: Rese  
Références

[6]: Baker, M. N. (1949). The Quest for Pure Water: The History of Water Purification from the Earliest Records to the Twentieth Century. American Water Works Association.

[7]: Hazen, A. (1901). The Filtration of Public Water-Supplies. New York: John Wiley & Sons.

[8]: Fuller, G. W. (1903). Report on the Investigations into the Purification of the Ohio River Water at Louisville, Kentucky. Filtration Commission of Louisville.

[9] Snow, J. (1855). On the Mode of Communication of Cholera. London: John Churchill.

[10] Koch, R. (1881). Zur Untersuchung von pathogenen Organismen. Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten.

[11] Sedlak, D. L. (2014). *Water 4.0: The Past, Present, and Future of the World's Most Vital Resource*. Yale University Press.

[12] Croué, J.-P. (2006). Natural Organic Matter Removal Using Membrane Filtration: Principles and Applications. *Water Research Journal and Technology - AQUA*, et "Environmental Science & Technology".)

[13] Besbes, S. (2020). Performances du média Filtralite® appliqué à la filtration directe à la Ville de Montréal [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal].

PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/4150/>

[14] : 1950, *Mémento de Technique de l'Eau*, Paris.

[15] : Boubekour, H., & Chafai, O. (2021-2022). Utilisation d'un média filtrant à base d'argile expansée pour la filtration des eaux potables. Mémoire de master, Université de Blida 1, Faculté de Technologie, Département de Génie des Procédés.

[16] : Baudu, M. Cours de coagulation-floculation-décantation. Module "Mécanismes fondamentaux des procédés de traitement non dégradatifs", Master Chimie, Contrôle et Protection de l'Environnement, Université de Limoges.

[17]: Belkacemi, D. O., Mebarki, B., & Guessab, B. (2022). Utilisation d'un média filtrant à base d'argile expansée pour la filtration des eaux potable. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie d'Environnement, Université Saad Dahleb - Blida 01, Faculté de Technologie, Département de Génie des Procédés.

