

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE BLIDA 01**

**FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES**



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de master en génie des procédés spécialité génie
d'environnement

**Utilisation d'un média filtrant à base d'argile expansée pour la
filtration des eaux potables.**

Présenté et soutenu publiquement le 12 juillet 2022 par :

- Belkacemi Djillali Ouassim
- Mebarki Brahim
- Guesseb Boualem

Encadrées par :

Mr. Aouabed Ali

Professeur

Promoteur

Devant le jury composé de :

Mr. Bouras Omar

Professeur

Président

Mme. Mahmoudi Meriem

Docteur

Examinatrice

J'espère que ce message vous trouve en bonne santé. Je tiens à vous informer que j'ai terminé la rédaction de ma mémoire de projet de fin d'études intitulée "[titre de votre mémoire]". Je suis ravi de vous envoyer ma version finale pour que vous puissiez la corriger.

Année universitaire 2022/ 2023

Remerciements

A notre président de jury : Mr. Bouras Omar

Nous sommes très reconnaissants de l'acceptation de votre nomination en tant que président de notre jury de thèse. Votre investissement envers les étudiants et votre engagement à leur offrir une formation de qualité sont très appréciés. Nous tenons à vous exprimer notre profonde gratitude et notre respect sincère.

A notre examinatrice : Mme.Mahmoudi Meriem

Nous tenions à exprimer notre profonde gratitude pour l'honneur que vous nous avez fait en acceptant de juger notre travail. Nous sommes conscients de la valeur de votre expertise et de l'importance de vos remarques critiques pour nous permettre de perfectionner notre travail.

Nous espérons que ce travail témoigne de notre considération et de notre reconnaissance pour votre contribution à notre formation académique. Nous sommes convaincus que votre évaluation nous aidera à progresser dans nos compétences académiques et à atteindre de nouveaux sommets dans notre carrière.

A notre cher promoteur :

Mr. Aouabed Ali

Nous tenions à vous exprimer notre plus profonde gratitude pour votre soutien inconditionnel tout au long de notre travail de recherche. Votre engagement, votre expertise et votre encadrement ont été d'une aide inestimable pour nous permettre de mener à bien notre projet.

Nous sommes conscients que vous avez investi beaucoup de temps et d'énergie pour nous aider à atteindre nos objectifs. Vos conseils, vos remarques et vos encouragements nous ont permis de surmonter les obstacles et de progresser dans

notre travail. Nous avons grandement apprécié votre disponibilité, votre ouverture d'esprit et votre bienveillance à notre égard.

Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait pour nous. Nous ne pourrions être plus reconnaissantes pour votre soutien et nous espérons que vous continuerez à guider et à inspirer d'autres étudiants comme vous l'avez fait pour nous.

Avec toute notre affection et notre respect,

A nos très chers parents :

Nous tenions à vous exprimer notre profonde gratitude pour tout ce que vous avez fait pour nous tout au long de notre parcours académique. Votre amour, votre soutien et vos encouragements ont été des éléments clés de notre réussite et nous ne pourrions jamais vous remercier assez.

Vous avez été une source constante d'inspiration pour nous, nous montrant l'exemple à suivre en matière de travail acharné, de persévérance et de détermination. Votre confiance en nos capacités et votre soutien indéfectible nous ont permis de croire en nous-mêmes et de poursuivre nos rêves, même dans les moments les plus difficiles.

Nous sommes conscients que vous avez souvent sacrifié votre temps, votre énergie et vos ressources pour nous aider à réaliser nos objectifs. Nous ne pourrions jamais vous exprimer suffisamment notre gratitude pour tout ce que vous avez fait pour nous. Votre amour inconditionnel est notre plus grande source de force et de motivation.

Nous espérons que notre réussite académique vous remplit de fierté et de satisfaction. Nous sommes convaincus que nous ne serions pas où nous en sommes aujourd'hui sans votre amour et votre soutien inconditionnels.

Encore une fois, merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait pour nous. Nous vous aimons et nous vous sommes infiniment reconnaissants.

Avec tout notre amour

ملخص :

في عملنا سنستخدم وسيط ترشيح مبتكر في معالجة المياه ، لا سيما في عملية الترشيح أثناء إنتاج مياه الشرب. يتم الحصول على وسيط الترشيح هذا من الطين الممدد لإظهار أن وسيط الترشيح المبتكر المنتج محلياً له نفس خصائص الرمل المستورد ويمكن أن يحل محله في النهاية ومعرفة مزايا وقيود استخدام وسائط الترشيح القائمة على الطين الممتد مقارنة بالطين التقليدي طرق الترشيح لمعالجة مياه الشرب. أظهر وسيط الفلتر هذا العديد من المزايا مقارنة بالرمال التقليدية المستخدمة في الترشيح مثل المسامية العالية التي تسمح بزيادة دورة الترشيح بكفاءة عالية وتقليل فقدان للضغط وتقليل استهلاك المياه للغسيل بسبب دورة الترشيح أبطأ و كثافة أقل لوسط المرشح تقليل استهلاك الطاقة (غسيل أقل) وتكاليف الإنتاج.

الكلمات الرئيسية: وسيط ترشيح، معالجة المياه، الترشيح، مياه الشرب، الطين الممدد، وسط تصفية، مسامية، دورة الترشيح، كفاءة، فقدان للضغط ، استهلاك المياه، غسل، الكثافة الظاهرية، استهلاك الطاقة، تكاليف الإنتاج، الاستدامة، حلول، بديل، كفاءة الترشيح، أفاق.

ABSTRACT:

In our work we will use an innovative filter medium in the treatment of water, particularly in the filtration operation during the production of drinking water. This filtering medium is obtained from expanded clay in order to show that the innovative filtering medium produced locally has the same characteristics as imported sand and could eventually replace it and to know the advantages and limitations of using a filter media based on expanded clay compared to traditional filtration methods for the treatment of drinking water.

this filter medium has shown several advantages compared to conventional sands used in filtration such as a higher porosity allowing the filtration cycle to be increased with high efficiencies and a reduction in pressure drop and a reduction in water consumption of washes due to a slower filtration cycle and a lower density of the filter medium Reduction of energy consumption (less washing) and production costs.

Keywords: Filtration medium, water treatment, filtration, drinking water, expanded clay, filter media, porosity, filtration cycle, efficiency, pressure drop, water consumption, washing, bulk density, energy consumption, production costs, sustainability, solutions, alternative, filtration efficiency, perspectives.

Résumé :

Dans notre travail nous allons utiliser un milieu filtrant innovant dans le traitement des eaux notamment dans l'opération de filtration lors de la production d'eau potable. Ce milieu filtrant est obtenu à partir d'argile expansée au but de montrer que le milieu filtrant innovant produit localement présente les mêmes caractéristiques que le sable importé et pourrait le remplacer éventuellement et de connaître les avantages et les limitations de l'utilisation d'un média filtrant à base d'argile expansée par rapport aux méthodes de filtration traditionnelles pour le traitement des eaux potables.

ce média filtrant présente a montré plusieurs avantages par rapport aux sables classiques utilisés en filtration tel que une Porosité plus élevée permettant d'augmenter le cycle de filtration avec des efficacités élevées et une réduction de la perte de charge et une réduction de la consommation des eaux de lavages de par le faite d'un cycle de filtration plus lent et d'une masse volumique plus faible du média filtrant Réduction de la consommation énergétique (moins de lavage) et des couts de production.

Mots clés : Milieu filtrant, traitement des eaux, filtration, eau potable, argile expansée, média filtrant, porosité, cycle de filtration, efficacité, perte de charge, consommation d'eau, lavage, masse volumique, consommation énergétique, coûts de production, durabilité, solutions, alternative, efficacité de filtration, perspectives.

TABLE DES MATIÈRES

Introduction générale.....	1
Chapitre I Bibliographie de littérature	3
I.1. L'eau potable.....	3
I.1.1. Propriétés de l'eau	3
I.1.1.1. Physique :	3
I.1.1.2. Chimiques :	3
I.1.2. Normes de qualité de l'eau potable :	4
I.1.3. Sources d'eau potable	4
I.2. Différents types de contaminants de l'eau	5
I.2.1. Bactéries et les virus :	5
I.2.2. Produits chimiques :	6
I.2.3. Métaux lourds :	6
I.3. Traitement de l'eau potable.....	6
I.3.1. Prétraitement.....	6
I.3.2. Coagulation.....	7
I.3.2.1. Nature des particules colloïdales	8
I.3.2.2. Coagulants	8
I.3.2.3. Mécanismes de coagulation	9
I.3.3 Floculation	10
I.3.4 Clarification.....	10
I.3.5. Filtration	11
I.3.6. Désinfection.....	11
I.4. Contrôle de la qualité de l'eau	12
I.5. Filtration	14
I.5.1. Evolution des techniques de filtration	14
I.5.1.1. Filtration dans la masse :	14
I.5.1.2. Filtration lente sur la masse :	14

I.5.1.3. Filtration rapide sur la masse :	14
I.5.1.4. Filtration directe :	14
I.5.1.5. Techniques avancées :	15
I.5.2. L'efficacité de la filtration	16
I.5.3. Mécanismes de filtration	16
I.5.4. Efficacité du procédé de filtration	16
I.6. Granulométrie	16
I.7. Fluidisation	17
I.7.1. Historique et applications industrielles	18
I.7.2. Phénomène de fluidisation	19
I.7.2.1. Régimes d'écoulement	19
I.7.3. Diagramme de perte de charge :	20
I.7.4. Vitesse minimale de fluidisation	20
I.7.5. Porosité et expansion du lit	21
I.8. L'argile expansée	22
I.8.1. Généralité sur l'argile expansée :	22
I.8.2. L'argile expansée et les filtres granulaires :	23
I.9. Analyse microscopique	24
I.10. Objectifs et hypothèses de recherche	25
I.10.1. Objectifs de recherche	25
I.10.2. Hypothèses de recherche	25
Chapitre II Matériels et méthodes	26
II.2. Préparation de sable	26
II.3 Analyse granulométrique	26
II.4. Analyse microscopique	27
II.4.1. Microscope optique	27
II.4.2. Microscopie électronique à balayage (MEB)	27
II.4.2.1. X-Ray Fluorescence (XRF)	27
II.5. Détermination des masses volumiques	28
II.5.1. Masse volumique apparente (ρ_{ap}) :	28
II.5.2. Masse volumique absolue (ρ_{ab}) :	28

II.6. Attaque à l'acide chlorhydrique (HCl) :.....	29
II.7. Etude de la porosité (ϵ)	29
II.8. Partie hydrodynamique fluidisation	30
II.8.3. Le mode opératoire	31
II.8.4. Matériel nécessaire :	32
Chapitre III : Résultats et discussions	33
III.1. Caractérisation du sable	33
III.1.1. Analyse granulométrique	33
a) ALGEXPAN 0,8-1,6 Haute densité	33
III.1.2. Analyse microscopique.....	35
III.1.2.1. Microscope optique	35
III.1.2.2. Microscope électronique à balayage	37
III.1.2.2.1. Analyse de fluorescence X (XRF)	38
III.1.2.3. La composition chimique entre sable ALGEXPAN et FILTRALITE :	40
III.1.3. Détermination des masses volumiques	41
III.1.3.1. Masses volumique apparente	41
III.1.3.1.1. ALGEXPAN 0,8-1,6 Haute densité.....	41
III.1.3.1.2. ALGEXPAN 1.6-2.5 normal densité	41
III.1.3.2. Masses volumique absolue	42
III.1.3.2.1. ALGEXPAN 0.8-1.6 Haute densité	
III.1.3.2.2. ALGEXPAN 1.6-2.5 normal densité.....	42
III.1.3.3. L'analyse des résultats des masses volumique :	43
III.1.4. Dégradation en HCl (l'attaque à l'acide)	44
III.1.4.1. Fraction 0.8-1.6	44
III.1.4.2. Fraction 1.6-2.5 normal densité	45
III.1.5. La porosité.....	46
III.1.5.1. Fraction 0,8-1,6 Haute densité.....	46
III.1.5.2. Fraction 1.6-2.5 normal densité	46
III.1.5.2. Analyse des résultats de porosité :	47
III.1.6 ALGEXPAN et FILTRALITE.....	48
III.2. Hydrodynamique fluidisation	49

III.2.1. Analyse des caractéristiques hydrodynamiques du lit.....	49
III.2.1.1. variation de la hauteur en fonction de débit normal densité (1,6-2,5)	49
III.2.1.2. Vitesses minimales de fluidisation (U_{mf}) :	55
III.2.1.3. Evolution de la porosité du média filtrant	59
IV. Conclusion générale	64

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : les processus de bases qui se produisent durant la coagulation.....	7
Figure I.1 : Représentation schématique du phénomène de Coagulation-Floculation.....	10
Figure I.3 : Les différentes étapes du traitement de l'eau.....	12
Figure I.4 : schéma représente le dispositif expérimentale de la fluidisation solide liquide .	18
Figure I.5: les phase de la fluidisation solide liquide	19
Figure I.6: Spectre de fluidisation et diagramme de pertes de charge	20
Figure I.7 : Photo du site et logo de l'usine de l'argile expansée« ALGEXPAN ».....	22
Figure II.1 la tamiseuse utilisée dans l'opération de l'étude granulométrique.	27
Figure II.2 : Schéma général de l'installation	31
Figure III.1 : Distribution granulométrique du sable utilisé.....	34
Figure III.2 : Distribution granulométrique du sable utilisé.....	34
Figure III.3 : Photo microscopique 100x de sable ALGEXPAN.....	35
Figure III.4 : Photo microscopique 500x de sable ALGEXPAN	35
Figure III.5 : Observation par microscopie électronique à balayage d'un échantillon d'argile prélevé à ALGEXPAN.....	37
Figure III.6 : Cartes des éléments Na, Mg, Al, Si, K et O d'un échantillon d'argile prélevé à ALGEXPAN	37
Figure III.7 : Profils d'éléments Na, Mg, Al, Si, K et O d'un échantillon d'argile prélevé à ALGEXPAN	38
Figure III.8 : Spectre global X d'échantillons d'argile prélevés à ALGEXPAN (EDX	38
Figure III.9 : La variation de la hauteur de lit normal densité (1,6_2,5) en fonction de débit	49
Figure III.10: La variation de la hauteur de lit Haute densité (0,8_1,6) en fonction de débit..	50
Figure III.11: La variation de la hauteur de lit (sable classique 0,85) en fonction de débit.....	51
Figure III.12 : La variation de la hauteur de lit en fonction de débit	52
Figure III.13 : La variation de la hauteur de lit bicouche Haute densité (0,8-1,6) normal densité (1,6-2,5) en fonction de débit.....	54
Figure III.14 : Variation des pertes de charges en fonction de la vitesse d'écoulement (Haute densité (0,8-1,6))	55
Figure III.15 : Variation des pertes de charges en fonction de la vitesse d'écoulement (normal densité (1,6-2,5))	55
Figure III.16 : Variation des pertes de charges en fonction de la vitesse d'écoulement (sable classique 0,85).....	56
Figure III.17 : Variation des pertes de charges en fonction de la vitesse d'écoulement Bicouche.....	58
Figure III.18: Variation de la porosité du lit en fonction de la vitesse d'écoulement(normal densité (1,6-2,5))	59
Figure III.19 : Variation de la porosité du lit en fonction de la vitesse d'écoulement(Haute densité (0,8-1,6))	60
Figure III.20 : Variation de la porosité du lit en fonction de la vitesse d'écoulement (sable classique 0,85).....	61

Liste des tableaux

Tableau I.1 : les limites de qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (sauf l'eau en bouteilles). D'après l'annexe I de l'arrêté du 11 janvier 2007.	13
Tableau I.2 : Terminologie utilisée pour désigner les variantes du procédé de filtration	15
Tableau III.1 : les concentrations des éléments détectés dans l'argile étudié	39
Tableau III.2 : La composition chimique de sable ALGEXPAN et FILTRALITE	40
Tableau III.3 : Les masses volumique apparente de la fraction 0.8-1.6 ALGEXPAN	41
Tableau III.4 : la masse volumique apparente de la fraction 1.6-2.5 ALGEXPAN	41
Tableau III.5: les masses volumiques absolue de la fraction 0.8-1.6 ALGEXPAN	42
Tableau III.6: la masse volumique absolue de la fraction 1.6-2.5 ALGEXPAN	42
Tableau III.7: Les masses volumiques (1.6-2.5 normal densité ALGEXPAN)0,8-1,6 Haute densité ALGEXPAN, Le sable classique 0.85)	43
Tableau III.8 : le pourcentage de solubilité à l'acide de la fraction 0.8-1.6	44
Tableau III.9 : la dégradation du sable dans la fraction 1,6-2,5	45
Tableau III.10 : le pourcentage de solubilité à l'acide de la fraction 1.6-2.5	45
Tableau III.11 : la porosité de la fraction 0.8-1.6	46
Tableau III.12 : la porosité de la fraction 1.6-2.5	46
Tableau III.13 : la porosité de (1.6-2.5 normal densité ALGEXPAN, 0,8-1,6 Haute densité ALGEXPAN, Le sable classique 0.85)	47
Tableau III.14 : les caractéristiques de ALGEXPAN 0,8-1,6 ET Filtralite Pure	48
Tableau III.15 : les caractéristiques de ALGEXPAN 1,6-2,5 ET Filtralite Pure normal densité 1,6-2,5	48
Tableau III.16 vitesse minimale de fluidisation des sable normal densité 1.6-2.5 Haute densité 0.8-1.6 et sable classique 0.85	56
Tableau III.17: Hydrodynamique fluidisation des sables (Sable classique 0.85, ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6, ALGEXPAN normal densité 1,6-2,5)	62

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AFNOR	Association Française de Normalisation.
AND	Acide DésoxyriboNucléique
C	Concassée/Broyée
EDX	Microanalyse a rayons X
EPA	environmental Protection Agency
HCl	Acide chlorhydrique
H	Densité élevée
M	Densité moyenne
MEB	Microscopie électronique à balayage
N	Densité normale
NTU	Nephelometric Turbidity Units
OMS	L'Organisation mondiale de la santé
pH	Potentiel d'hydrogène
S/A	Sable/anthracite
SEM	Scanning electron micrpscope
Umf	Vitesse minimale de fluidisation
XRF	La fluorescence X
ϵ_{mf}	porosité minimale de fluidisation
ΔP	Perte de charge

Introduction générale

L'eau est une ressource indispensable à la vie humaine et elle couvre plus de 70% de la surface de la Terre. Cependant, malgré cette abondance, l'eau douce potable est rare, car seulement 2% de l'eau disponible sur notre planète est considérée comme telle. Les sources d'eau douce comprennent les nappes souterraines, les glaciers, les sources et les eaux de surface telles que les rivières et les lacs, mais toutes ces sources sont vulnérables à la surexploitation et peuvent s'assécher si elles ne sont pas gérées correctement.

Pour rendre l'eau douce potable, elle doit subir un traitement rigoureux pour éliminer toutes les impuretés, les bactéries et les minéraux nocifs pour la santé. Les normes de potabilité garantissent la qualité de l'eau traitée et la plupart des pays riches disposent de systèmes de traitement et de distribution d'eau collectifs. Les traitements peuvent être de nature physico-chimique, biologique ou une combinaison des deux et sont effectués dans des centres de traitement de l'eau. Cependant, peu de personnes connaissent le processus de traitement de l'eau et il serait utile de savoir comment purifier l'eau à petite échelle, notamment pour les personnes vivant dans des régions où l'eau potable n'est pas disponible ou pour celles qui cherchent à être autonomes.

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

La filtration sur sable est un processus essentiel dans le traitement de l'eau potable, car elle permet de clarifier et de purifier l'eau en éliminant les matières solides en suspension. Dans notre étude, nous nous intéressons à utilisation un nouveau média filtrant à base d'argile expansée. Ce sable produit localement présente plusieurs avantages par rapport au sable classique de filtration. Actuellement, ce sable importé par l'Algérie est très utilisé par les stations de dessalement de l'eau de mer en prétraitement.

Dans ce projet, nous allons utiliser un milieu filtrant innovant dans le traitement des eaux notamment dans l'opération de filtration lors de la production d'eau potable. Ce milieu filtrant est obtenu à partir d'argile expansée de fabrication Algérienne. Ce matériau est actuellement importé en Algérie par les stations de dessalement et les usines d'eau potable utilisant la filtration.

Le but essentiel de notre travail est de montrer que le milieu filtrant innovant produit localement présente les mêmes caractéristiques que le sable importé et pourrait le remplacer éventuellement.

Introduction générale

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

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

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

Dans la partie expérimentale, nous présentons les différents résultats obtenus lors de la réalisation de nos essais, l'étude de la granulométrie du lit filtrant a été étudié dans ce chapitre, ainsi que la partie hydrodynamique avec des essais de fluidisation afin de prédire les lavages du filtre à sable.

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

Chapitre I : Bibliographie de littérature

I.1. L'eau potable

L'eau potable est de l'eau qui est suffisamment propre et sûre pour être consommée sans risque pour la santé humaine. Elle doit être claire, sans odeur ni goûts désagréables et exempte de contaminants qui pourraient causer des maladies.

L'eau potable est de l'eau qui a été traitée pour éliminer les contaminants et les substances potentiellement dangereuses pour la santé humaine, et qui répond aux normes de qualité de l'eau potable établies par les organismes régulateurs. Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'eau potable est « de l'eau salubre pour la consommation humaine, qui ne présente aucun danger pour la santé et qui a une apparence, une odeur et un goût acceptables » (OMS, 2011).

I.1.1. Propriétés de l'eau

Les propriétés physiques - Chimique de l'eau potable

I.1.1.1. Physique :

- Température

La température de l'eau potable est généralement comprise entre 4 et 15°C. Toutefois, elle peut varier selon la source d'eau et les conditions climatiques. [1]

- Couleur

L'eau potable doit être claire et transparente, bien qu'elle puisse avoir une légère coloration due à la présence de matières organiques dissoutes ou en suspension. [2]

- Goût et odeur

L'eau potable doit être insipide, inodore et sans arrière-goût. Toutefois, elle peut avoir un goût et une odeur désagréables en raison de la présence de certains contaminants tels que les algues, les bactéries et les produits chimiques. [1]

- Turbidité

L'eau potable doit être claire et exempte de particules en suspension, ce qui est mesuré par la turbidité. La turbidité de l'eau potable ne doit pas dépasser 1 NTU (Nephelometric Turbidity Units) pour éviter la prolifération de micro-organismes et la formation de biofilms [2]

I.1.1.2. Chimiques :

- pH

Le pH de l'eau potable doit être compris entre 6,5 et 8,5 pour éviter les effets corrosifs ou incrustants sur les canalisations et les équipements. [1]

- Dureté

La dureté de l'eau potable mesure la concentration de calcium et de magnésium dissous, qui peuvent former des dépôts calcaires dans les canalisations et les équipements. Elle est exprimée

Chapitre I : Bibliographie de littérature

en milligrammes de carbonate de calcium par litre (mg/L). La dureté de l'eau potable ne doit pas dépasser 500 mg/L. [2]

- Conductivité

La conductivité de l'eau potable mesure sa capacité à conduire l'électricité en raison de la présence de sels dissous. Elle est exprimée en micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). La conductivité de l'eau potable ne doit pas dépasser 1,5 ms/cm pour éviter la corrosion des canalisations et des équipements. [3]

I.1.2. Normes de qualité de l'eau potable :

Les normes de qualité de l'eau potable varient selon les pays et les organismes régulateurs. En général, les normes définissent les niveaux maximaux de contaminants permis dans l'eau potable, tels que les bactéries, les virus, les métaux lourds et les produits chimiques.

Voici quelques exemples de normes de qualité de l'eau potable :

- L'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande que l'eau potable ne contienne pas plus de 10 microgrammes de plomb par litre.
- Aux États-Unis, l'Environmental Protection Agency (EPA) limite la quantité de nitrate dans l'eau potable à 10 mg/L et la quantité de fluorure à 4 mg/L.
- Au Canada, Santé Canada recommande que l'eau potable ne contienne pas plus de 5 microgrammes d'arsenic par litre.
- En Europe, la directive européenne sur l'eau potable fixe des normes pour plus de 50 contaminants différents, notamment les pesticides, les nitrates, les métaux lourds et les bactéries.

Il convient de noter que les normes de qualité de l'eau potable peuvent varier en fonction de l'utilisation prévue de l'eau. Par exemple, l'eau destinée à la consommation humaine peut être soumise à des normes plus strictes que l'eau utilisée pour l'irrigation des cultures.

En fin de compte, les normes de qualité de l'eau potable sont conçues pour garantir que l'eau est sûre à boire et ne présente pas de risques pour la santé humaine. Les organismes régulateurs travaillent constamment pour améliorer ces normes et garantir que l'eau potable est de la meilleure qualité possible

I.1.3. Sources d'eau potable

Les sources d'eau potable sont variées et incluent les lacs, les rivières, les aquifères souterrains et les eaux de pluie. Chaque source d'eau potable a ses avantages et ses inconvénients, et doit être soigneusement évaluée pour déterminer si elle peut être utilisée comme source d'eau potable pour une communauté donnée. Dans cette partie, nous allons examiner de plus près les différentes sources d'eau potable et les avantages et les inconvénients de chacune d'elles.

1. Les lacs et les rivières : Les lacs et les rivières sont des sources naturelles d'eau douce. Ils sont souvent utilisés comme source d'eau potable pour les communautés locales. L'avantage de cette source d'eau est qu'elle est facilement accessible et peut fournir une grande quantité d'eau. Cependant, les lacs et les rivières peuvent être contaminés par des activités humaines, telles que les rejets de produits chimiques industriels, les déversements d'eaux usées et les débris. [4]
2. Les aquifères souterrains : Les aquifères souterrains sont des réservoirs d'eau naturels qui se trouvent sous la surface de la terre. Ils sont souvent utilisés comme source d'eau potable pour les communautés locales. L'avantage de cette source d'eau est qu'elle est protégée contre la contamination par les couches de sol et de roche qui la recouvrent. Cependant, l'aquifère peut être contaminé si les pratiques d'utilisation des sols et les activités humaines environnantes sont inappropriées. [5]
3. Les eaux de pluie : Les eaux de pluie sont une source d'eau potable alternative pour les communautés locales. L'eau de pluie peut être collectée à partir des toits et stockée pour une utilisation ultérieure. L'avantage de cette source d'eau est qu'elle est gratuite et renouvelable. Cependant, l'eau de pluie peut être contaminée par les polluants atmosphériques et doit être traitée avant d'être utilisée comme eau potable. [6]

En résumé, chaque source d'eau potable a ses avantages et ses inconvénients. Les lacs et les rivières sont facilement accessibles mais peuvent être contaminés, les aquifères souterrains sont protégés contre la contamination mais peuvent être affectés par les activités humaines environnantes, et les eaux de pluie sont gratuites et renouvelables mais doivent être traitées avant d'être utilisées comme eau potable.

I.2. Différents types de contaminants de l'eau

L'eau est une ressource vitale pour la vie humaine, c'est pourquoi l'accès à de l'eau potable est essentiel pour la santé et le bien-être de la population. Cependant, l'eau peut être contaminée par différents types de contaminants, tels que les bactéries, les virus, les produits chimiques et les métaux lourds.

Ces contaminants peuvent avoir des effets négatifs sur la santé humaine, allant de maladies mineures à des effets à long terme sur la santé, y compris le cancer et les troubles neurologiques.

Dans cette partie de notre mémoire, nous allons explorer les différents types de contaminants de l'eau, leur origine et leur impact sur la santé humaine.

Il existe plusieurs types de contaminants qui peuvent être présents dans l'eau, notamment :

I.2.1. Bactéries et les virus :

Les bactéries et les virus sont des micro-organismes qui peuvent se propager rapidement dans l'eau et provoquer des maladies chez les êtres humains. Les bactéries les plus courantes présentes dans l'eau sont E. coli, Salmonella et Campylobacter, tandis que les virus incluent l'hépatite A et le norovirus. [7]

I.2.2. Produits chimiques :

Les produits chimiques peuvent être présents dans l'eau en raison de l'activité humaine, telle que l'agriculture, l'industrie et l'élimination des déchets. Les exemples de produits chimiques couramment trouvés dans l'eau sont les pesticides, les herbicides, les produits pharmaceutiques et les produits chimiques industriels. [8]

I.2.3. Métaux lourds :

Les métaux lourds sont des éléments tels que le plomb, le mercure et le cadmium qui peuvent être toxiques pour les êtres humains. Ils peuvent être présents dans l'eau en raison de l'activité humaine, comme l'industrie minière et la pollution atmosphérique. [9]

Les effets négatifs de ces contaminants sur la santé humaine dépendent de nombreux facteurs, notamment le type de contaminant, la quantité présente dans l'eau et la durée de l'exposition. Les maladies causées par les bactéries et les virus peuvent aller d'infections gastro-intestinales légères à des maladies plus graves comme la fièvre typhoïde. Les produits chimiques peuvent provoquer des maladies chroniques telles que le cancer, les troubles hormonaux et les malformations congénitales. Les métaux lourds peuvent causer des problèmes de santé tels que des dommages au cerveau et au système nerveux, des troubles rénaux et des cancers.

I.3. Traitement de l'eau potable

Le traitement de l'eau est un processus complexe qui vise à éliminer les contaminants et à fournir une eau potable sûre pour la consommation humaine. Le processus de traitement de l'eau implique généralement plusieurs étapes, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients.

I.3.1. Prétraitement

Le prétraitement est la première étape du traitement de l'eau potable et vise à éliminer les particules et les matières en suspension de l'eau brute avant de procéder aux étapes de traitement ultérieures. Cette étape est essentielle car elle permet de protéger les équipements de traitement, d'améliorer l'efficacité des processus de traitement et de prévenir l'encrassement des filtres.

les principales techniques utilisées dans le prétraitement de l'eau potable :

1-Tamissage : Le tamissage consiste à passer l'eau brute à travers des grilles ou des tamis pour éliminer les grosses particules, telles que les feuilles, les branches et les débris flottants. Cette étape est souvent la première ligne de défense contre les matériaux solides indésirables.

2-Préchloration : La préchloration implique l'ajout de chlore ou de dérivés de chlore à l'eau brute. Cette pratique vise à prévenir la croissance de bactéries et d'algues dans les conduites d'eau et à réduire les odeurs désagréables. Cependant, la préchloration peut former des sous-produits chlorés potentiellement nocifs.

I.3.2. Coagulation

La première étape du traitement de l'eau est généralement la coagulation. Cette étape consiste à ajouter un produit chimique, tel que du sulfate d'aluminium, pour agglomérer les particules en suspension dans l'eau. Ensuite, l'eau passe à travers un processus de floculation, où les particules sont rassemblées pour former des floccs plus gros qui sont plus faciles à éliminer par la suite.

La coagulation est une étape importante du traitement de l'eau potable pour éliminer les particules en suspension. Cette étape permet d'agglomérer ces particules pour former des floccs qui peuvent ensuite être éliminés par filtration. Le processus de coagulation repose sur l'ajout d'un coagulant dans l'eau brute pour créer des réactions chimiques qui provoquent l'agglomération des particules en suspension.

Les coagulants les plus couramment utilisés sont l'alun (sulfate d'aluminium), le sulfate ferrique et le chlorure ferrique. Ces produits chimiques réagissent avec les ions présents dans l'eau brute, provoquant la formation de floccs. Le choix du coagulant dépend du type de particules en suspension présentes dans l'eau brute, de la turbidité de l'eau et des caractéristiques de l'eau à traiter.

La coagulation est souvent suivie d'une étape de floculation, qui consiste à mélanger lentement l'eau pour permettre aux floccs de grossir. Cette étape facilite leur élimination lors de la filtration ultérieure.

L'efficacité de la coagulation dépend de nombreux facteurs tels que le pH, la température de l'eau, la concentration de coagulant, la présence d'autres ions dans l'eau et la durée de la réaction chimique.

Il est important de noter que l'utilisation excessive de coagulant peut entraîner des problèmes tels qu'une augmentation de la teneur en aluminium ou en fer dans l'eau potable, ce qui peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine. C'est pourquoi le dosage et la qualité des coagulants doivent être surveillés en permanence pour garantir une efficacité optimale tout en respectant les normes de qualité de l'eau potable.

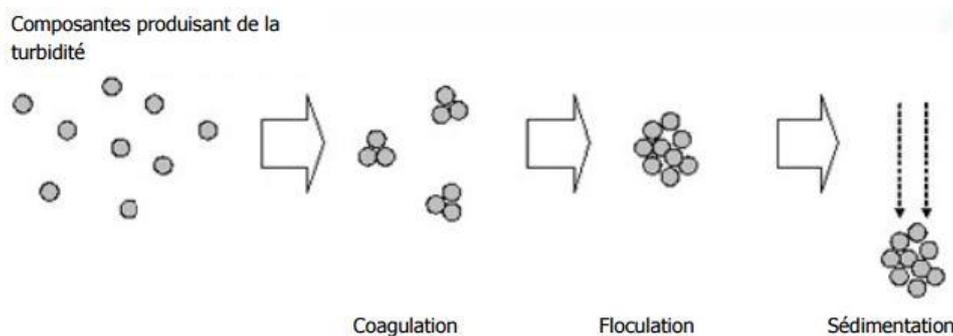


Figure I.1 : les processus de bases qui se produisent durant la coagulation.

I.3.2.1. Nature des particules colloïdales

L'eau contient des impuretés qui affectent la qualité, elles sont difficiles à déstabiliser et donc à éliminer. Ces impuretés sont généralement regroupées, selon leurs tailles, en trois catégories [10] :

-Matières en suspension d'origine organique ou minérale dans la gamme granulométrique (1 à 1000 μm), ces matières solides peuvent se déposer naturellement.

-Les matières colloïdales (ou colloïdes) sont des matières en suspension (organiques ou minérales) mais de taille inférieure à 1 μm . Ils sont responsables de la turbidité et de la couleur de l'eau. Ces particules sont chargées électriquement, ce qui rend leur sédimentation naturelle impossible

-Les substances dissoutes, qu'elles soient d'origine minérale ou organique, ont un diamètre de quelques nanomètres (0,5 à 100 nm) pour les organiques et de (0,1 à 1 nm) pour les minéraux.

-Les colloïdes peuvent être divisés en deux catégories en fonction de leur comportement en milieu aqueux : les colloïdes hydrophiles et les colloïdes hydrophobes.

Cependant, la plupart des particules qui provoquent la turbidité sont de nature hydrophobe et ont des dimensions de (0,2 à 10 μm). Il est plus facile de les éliminer par la coagulation-floculation. En revanche, les particules responsables de la coloration sont des colloïdes hydrophiles d'origine organique, de très petite taille (de 3 à 10 nm) [11].

I.3.2.2. Coagulants

L'efficacité du traitement dépend du coagulant utilisé, elle est directement liée à la valence des cations. Les coagulants sont classés comme suit :

-coagulants inorganiques : ceux sont des sels comme le chlorure ferrique, le sulfate d'Aluminium, le sulfate ferreux et le chlorure d'Aluminium, [12] .

-coagulants organiques : polymères et polyélectrolytes synthétiques avec des groupes fonctionnels anioniques ou cationiques [13].

-coagulants naturels comme le sagou, la chitine, la paparine, le moringa oleifera, [14]

L'ajout de coagulants métalliques dans l'eau a les effets suivants :

- réduction de la charge électrostatique par leur adsorption à la surface des particules (réduction du potentiel répulsif).

- compression de la couche diffuse.

- hydrolyse des cations trivalents avec la formation des espèces poly-hydroxylées chargées solubles et de précipités d'hydroxydes.

I.3.2.3. Mécanismes de coagulation

a) Compression de la double couche

Lorsque la force ionique de l'eau augmente, cela entraîne une diminution du volume et de l'épaisseur de la couche diffuse. Les forces de répulsion entre les particules sont significativement réduites, tandis que les forces d'attraction de Van der Waals ne sont pas affectées.

b) Adsorption et neutralisation des charges

Ce mécanisme repose sur l'ajout d'une quantité adéquate de coagulant pour neutraliser les charges négatives des particules stables par l'adsorption des cations à leur surface. Au-delà de cette quantité (surdosage), l'adsorption de cations devient excessive, ce qui permet aux charges anioniques de se fixer sur les particules, les rendant ainsi stables à nouveau. C'est pourquoi il est essentiel d'optimiser la quantité de coagulant ajoutée afin d'obtenir les meilleurs résultats.

c) Emprisonnement des particules dans un précipité

Lorsque des quantités adéquates de coagulant sont ajoutées, un précipité se forme généralement avec une charge positive. Le pH de l'eau doit être maintenu dans une plage où la solubilité des sels est minimale. Ce précipité entre en contact avec les particules qui ont une charge négative et les piège. Les particules sont ensuite entraînées lors du processus de décantation.

d) Adsorption et pontage entre les particules

Ce mécanisme repose sur l'utilisation de polymères. En présence de colloïdes, un polymère peut s'adsorber à une extrémité en utilisant l'un de ses groupements fonctionnels, tandis que les autres extrémités restent libres et peuvent adsorber d'autres colloïdes. Ce processus permet l'agglomération des particules grâce au pontage des polymères. Cependant, une concentration très élevée de polymères peut entraîner une restabilisation des colloïdes.

En résumé, la coagulation est une étape essentielle du traitement de l'eau potable pour éliminer les particules en suspension. Elle repose sur l'utilisation de coagulants chimiques qui provoquent l'agglomération des particules en suspension pour former des floccs, qui peuvent

Ensuite être éliminés par filtration.

La coagulation doit être réalisée avec soin pour garantir l'efficacité du processus tout en évitant les risques pour la santé humaine.

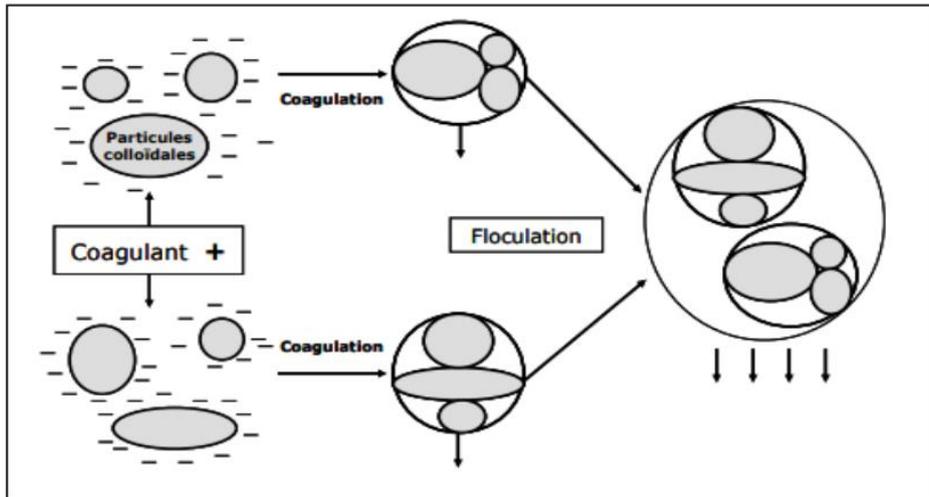


Figure I.2 : Représentation schématique du phénomène de Coagulation-Floculation

I.3.3 Floculation

La floculation est un processus par lequel les particules colloïdales, qui ont été déstabilisées lors de la coagulation, se regroupent en entrant en contact les unes avec les autres. Ce processus peut être expliqué par deux mécanismes de transport : la floculation péricinétique et la floculation orthocinétique [17]. Le premier mécanisme est lié au mouvement brownien des particules, tandis que le second est caractérisé par l'agitation mécanique du liquide.

Pour favoriser l'agglomération des particules en formant des ponts et en favorisant l'adsorption entre les flocs, on peut utiliser des polymères cationiques, anioniques ou non-ioniques ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale [18]. L'efficacité de la floculation est influencée par plusieurs facteurs tels que la température, la concentration totale des particules, l'efficacité de la coagulation, le diamètre des particules, le gradient de vitesse (G) et le temps de rétention hydraulique dans le flocculateur [19].

I.3.4 Clarification

La deuxième étape du traitement de l'eau est la clarification, qui permet de séparer les matières en suspension et les particules qui n'ont pas été éliminées lors de la coagulation. Cette étape est généralement réalisée en utilisant des processus de décantation ou de flottation, ou une combinaison des deux.

La décantation implique la mise en contact de l'eau traitée avec une zone de sédimentation qui permet aux particules en suspension de se déposer au fond. Les eaux clarifiées sont ensuite retirées de la surface ou de la partie supérieure de la couche d'eau, tandis que les matières en suspension qui se sont accumulées au fond sont retirées par des mécanismes de raclage ou d'aspiration.

La flottation, quant à elle, implique l'ajout de produits chimiques qui font flotter les particules en suspension jusqu'à la surface de l'eau. Une fois que les particules sont en surface, elles peuvent être éliminées à l'aide de mécanismes de raclage ou de skimming.

Il est important de noter que la clarification peut également éliminer une partie des contaminants dissous tels que les pesticides, les herbicides, les produits chimiques et les métaux lourds. Cependant, la clarification ne peut pas éliminer tous les contaminants dissous. Pour éliminer les contaminants dissous, il est nécessaire d'utiliser d'autres processus de traitement tels que l'osmose inverse ou la filtration sur charbon actif.

En résumé, la clarification est une étape essentielle du traitement de l'eau qui permet d'éliminer les matières en suspension et les particules restantes après la coagulation. Cette étape peut être réalisée en utilisant des processus de décantation ou de flottation, ou une combinaison des deux.

I.3.5. Filtration

La filtration sur sable est une méthode de traitement de l'eau qui consiste à faire passer l'eau à travers un lit de sable pour éliminer les matières en suspension, telles que les particules, les sédiments et les impuretés. Le sable agit comme un filtre qui retient les particules indésirables et permet à l'eau propre de s'écouler à travers. Le processus de filtration sur sable peut être réalisé de manière manuelle ou automatisée, et est souvent utilisé dans les installations de traitement de l'eau potable à grande échelle, ainsi que dans les systèmes de filtration d'eau pour les maisons individuelles., [15]

I.3.6. Désinfection

La désinfection est la troisième étape du traitement de l'eau potable et elle vise à éliminer ou à inactiver les micro-organismes et les agents pathogènes qui peuvent se trouver dans l'eau traitée. Cette étape est cruciale car elle permet de rendre l'eau sûre à la consommation et de prévenir la propagation de maladies d'origine hydrique.

Il existe plusieurs méthodes de désinfection de l'eau potable, notamment la chloration, l'ozone, l'ultraviolet et les rayons gamma. La méthode la plus courante est la chloration, qui consiste à ajouter du chlore ou de ses dérivés (comme le dioxyde de chlore ou l'hypochlorite de calcium) à l'eau. Le chlore est un oxydant puissant qui agit en détruisant les parois cellulaires des micro-organismes, ce qui les rend inactifs. Cependant, la chloration peut également produire des sous-produits nocifs, tels que les trihalométhanes, qui peuvent être cancérigènes à long terme.

L'ozone est une méthode de désinfection alternative qui implique l'utilisation de gaz d'ozone pour tuer les micro-organismes. L'ozone est un oxydant très puissant qui agit rapidement et efficacement, mais il est plus coûteux que la chloration. L'ultraviolet est une méthode de désinfection qui utilise des rayons ultraviolets pour tuer les micro-organismes en détruisant leur ADN. Cette méthode est efficace mais elle nécessite une source d'énergie constante et ne permet pas de protéger contre la réinfection.

Les rayons gamma sont une autre méthode de désinfection qui utilise des rayonnements ionisants pour tuer les micro-organismes. Cette méthode est efficace mais elle est coûteuse et nécessite des équipements spécialisés [20].

En résumé, la désinfection est une étape cruciale du traitement de l'eau potable pour garantir la sécurité sanitaire de l'eau. Cependant, il est important de choisir la méthode de désinfection appropriée en fonction des conditions locales, des ressources disponibles et des coûts associés.

Enfin, l'eau est stockée dans des réservoirs avant d'être distribuée aux consommateurs.

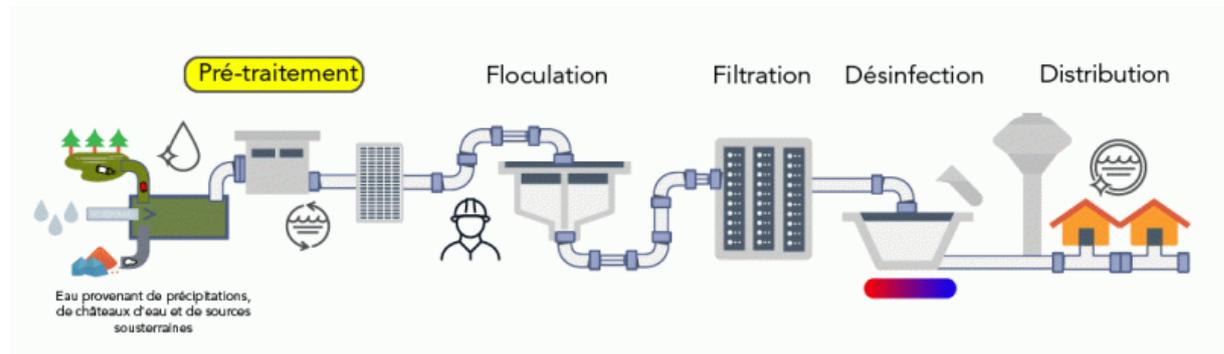


Figure I.3 : Les différentes étapes du traitement de l'eau

I.4. Contrôle de la qualité de l'eau

L'eau est un élément vital pour la vie humaine et la santé publique, c'est pourquoi il est essentiel de garantir la sécurité sanitaire de l'eau potable. Les contaminants présents dans l'eau peuvent provoquer des maladies et des infections chez les personnes qui la consomment. Des contrôles de qualité réguliers sont donc nécessaires pour s'assurer que l'eau potable est sûre pour la consommation humaine.

Le contrôle de qualité de l'eau potable consiste en des tests réguliers pour identifier les contaminants présents dans l'eau. Les organismes de réglementation de l'eau établissent des normes de qualité strictes pour différents contaminants (Tableau I.1), tels que les bactéries, les virus, les produits chimiques et les métaux lourds. Ces normes déterminent les niveaux maximaux de contaminants autorisés dans l'eau potable.

Les entreprises de traitement de l'eau potable utilisent des méthodes de traitement de l'eau pour éliminer les contaminants et garantir que l'eau est sûre à boire. Les gouvernements et les agences de réglementation peuvent également imposer des restrictions sur l'utilisation de l'eau dans les zones où l'eau est contaminée.

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

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

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

Limites de qualité – Critères de potabilité		
PARAMETRE	LIMITE	UNITE
Paramètres microbiologiques		
Escherichia coli (E. coli)	0	/100ml
Entérocoques	0	/100ml
Paramètres chimiques		
Acrylamide	0,1	µg/l
Antimoine	5	µg/l
Arsenic	10	µg/l
Baryum	0,7	mg/l
Benzène	1	µg/l
Benzo[a]pyrène	0,01	µg/l
Bore	1	mg/l
Bromates	25(10 à partir du 25/12/2008)	µg/l
Cadmium	5	µg/l
Chrome	50	µg/l
Chlorure de vinyle	0,5	µg/l
Cuivre	2	mg/l
Cyanures totaux	50	µg/l
1,2-dichloroéthane	3	µg/l
Epichlorhydrine	0,1	µg/l
Fluorures	1,5	mg/l
H.A.P.	0,1	µg/l
Mercure total	1	µg/l
Microcystine-LR	1	µg/l
Nickel	20	µg/l
Nitrates (1)	50	mg/l
Nitrites (1)	0,5	mg/l
Pesticides (2)	0,1	µg/l
Total pesticides	0,5	µg/l
Plomb	25(10 à partir du 25/12/2013)	µg/l
Sélénium	10	µg/l
Tétrachloroéthylène et Trichloroéthylène	10	µg/l
Total trihalométhanes (THM)	150(100 à partir du 25/12/2008)	µg/l
Turbidité (3)	1	NFU

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

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

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

I.5. Filtration

I.5.1. Evolution des techniques de filtration

L'évolution des techniques de filtration a connu de nombreux développements au fil du temps, permettant une amélioration continue de l'efficacité et de la performance des systèmes de filtration.

I.5.1.1. Filtration dans la masse :

Historiquement, la filtration gravitaire était utilisée, où l'eau était filtrée en passant à travers des couches de sable, de gravier et de charbon. Cette méthode était basée sur la gravité pour permettre le passage de l'eau à travers le lit filtrant et la rétention des particules. Cependant, cette technique présentait des limites en termes d'efficacité de filtration et de débit d'eau traitée.

I.5.1.2. Filtration lente sur la masse :

La filtration sur sable lent a été introduite comme une amélioration de la filtration gravitaire. Cette technique utilisait des lits de sable plus épais pour améliorer la rétention des particules et obtenir une meilleure qualité de l'eau filtrée. Des prétraitements tels que la coagulation et la floculation ont été ajoutés pour faciliter la filtration et améliorer la performance.

I.5.1.3. Filtration rapide sur la masse :

La filtration sur sable rapide a été développée pour augmenter le débit d'eau traitée par rapport à la filtration sur sable lent. Cette technique utilisait des couches de sable plus minces et un système de lavage à contre-courant pour éliminer les particules capturées et réactiver le média filtrant. La filtration sur sable rapide est encore utilisée aujourd'hui dans de nombreuses installations de traitement de l'eau potable.

I.5.1.4. 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 floculateur. Il existe donc deux schémas qui correspondent à la filtration directe :

- 1) Coagulation + Floculation + Filtration
- 2) Coagulation + Filtration

Différentes terminologies sont utilisées par les auteurs pour désigner les différentes variantes de la filtration directe, comme indiqué dans le Tableau I.2.

Tableau I.2 : Terminologie utilisée pour désigner les variantes du procédé de filtration directe (Ndiongue, 1999)

Chaîne de traitement	Terminologie	Référence
Coagulation + floculation + filtration	Filtration directe	(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	Filtration directe	(Culp. 1977)
Coagulation + filtration	Filtration en ligne « in line » Filtration directe Coagulation sur filtre	(Al-Ani et al.. 1986) (Crozes et al.. 1994) (Culp. 1977) (Coccagna. 1989) (Degrémont. 1989b)

I.5.1.5. Techniques avancées :

De nouvelles techniques de filtration sont constamment développées pour répondre aux besoins spécifiques et aux défis de l'industrie du traitement de l'eau. Cela inclut l'utilisation de techniques avancées telles que la filtration par électrodialyse, la filtration par lit fluidisé, la filtration par adsorption avancée et d'autres technologies émergentes.

L'évolution des techniques de filtration a permis d'améliorer la qualité de l'eau potable en augmentant l'efficacité de la filtration, en réduisant les contaminants et en améliorant la capacité des systèmes de traitement. Cela a contribué à assurer l'accès à une eau potable sûre et de haute qualité pour les populations du monde entier [22].

I.5.2. L'efficacité de la filtration

L'efficacité de la filtration sur sable dépend de plusieurs facteurs, notamment :

- La granulométrie du sable : le choix de la taille des grains de sable est crucial pour garantir une filtration efficace. Les grains de sable doivent être suffisamment gros pour permettre une bonne circulation de l'eau, mais suffisamment petits pour retenir les particules indésirables.
- La profondeur du lit de sable : une couche de sable plus épaisse permet une filtration plus efficace en offrant plus de surface de filtration et en permettant une meilleure rétention des particules.
- La vitesse de filtration : la vitesse à laquelle l'eau traverse le lit de sable est un facteur important. Si la vitesse est trop élevée, les particules peuvent passer à travers le sable sans être filtrées, tandis qu'une vitesse trop lente peut réduire l'efficacité de la filtration.
- La qualité de l'eau d'entrée : la qualité de l'eau d'entrée, notamment la quantité et la nature des particules en suspension, peut affecter l'efficacité de la filtration sur sable.
- L'entretien du filtre : le maintien d'un lit de sable propre et en bon état est essentiel pour garantir une filtration efficace et prévenir l'accumulation de particules qui pourraient obstruer le filtre.

I.5.3. Mécanismes de filtration

Les mécanismes de filtration sont les processus physiques et chimiques par lesquels les particules et les impuretés sont capturées et retenues lors du passage de l'eau à travers un média filtrant.

I.5.4. Efficacité du procédé de filtration

L'efficacité du procédé de la filtration dépend de plusieurs paramètres à savoir [23].

- les caractéristiques du matériau filtrant (la porosité, le diamètre des pores, la taille et la forme des grains).
- la qualité de l'eau à traiter (la concentration, la taille, la forme et la densité des particules).
- les caractéristiques du fluide (viscosité et densité).
- les caractéristiques de l'écoulement (débit).

I.6. Granulométrie

Trois types de filtration sont disponibles, chacun correspondant à une sélection de granulométries différentes :

- La filtration sur couche de matériau homogène implique l'utilisation d'un matériau filtrant avec une granulométrie uniforme sur toute la hauteur de la couche filtrante.

Chapitre I : Bibliographie de littérature

- La filtration sur couche de matériau hétérogène implique l'utilisation d'un matériau filtrant avec une granulométrie variable, les grains les plus gros étant situés à la base du filtre tandis que les grains les plus fins se trouvent en surface.

- La filtration sur plusieurs couches filtrantes, également appelée filtre multicouche, consiste à superposer plusieurs couches de matériaux filtrants ayant des granulométries différentes.

Ces différents types de filtration offrent des options variées en fonction des besoins spécifiques en termes d'efficacité de filtration, de capacité de rétention des particules et d'autres paramètres de traitement de l'eau.

I.7. 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.

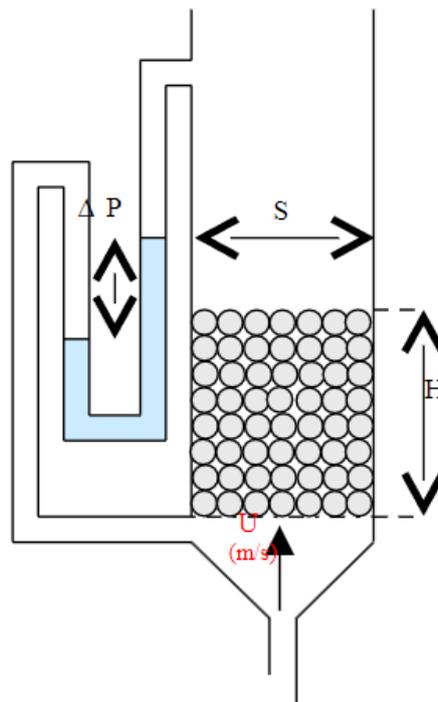


Figure I.4 : schéma représente le dispositif expérimentale de la fluidisation solide liquide

I.7.1. Historique et applications industrielles

La technique des lits fluidisés a été utilisée pour la purification des minerais dès le Moyen Âge. Il s'agissait de mettre en suspension de petits grains de minerai dans une cuve d'eau fortement agitée, ce qui permettait de séparer la gangue du minerai métallique plus lourd. Cependant, cette technique était purement artisanale et complètement discontinuée.

Au XIX^e siècle, la fluidisation a été utilisée pour la purification des eaux résiduaires en passant l'eau usée à travers une couche de sable. Une fois que le filtre est saturé d'impuretés, la couche filtrante est rendue à nouveau perméable par inversion de l'écoulement : la couche de sable est dilatée et agitée, formant un lit fluidisé et les impuretés sont entraînées.

L'ancêtre des craquages catalytiques en lit fluidisé, un réacteur à lit fluidisé avec circulation continue de solide, a été le premier à obtenir un brevet de fluidisation en 1910 par Philips et Bulteel. WINCLER a contribué à la première application industrielle de la fluidisation en 1922 dans la gazéification du charbon, mais cette méthode avait un faible rendement. Après cela, dans les années quarante, l'explosion des hydrocarbures en phase gazeuse aux États-Unis a marqué le grand démarrage de l'industrie des lits fluidisés. Le domaine d'application des lits fluidisés s'est élargi depuis.

En 1910, les inventeurs PHILIPS et BULTEEL ont déposé le premier brevet concernant la fluidisation. Ils ont développé un réacteur à lit fluidisé avec circulation continue de solide, qui est considéré comme l'ancêtre des craquages catalytiques en lit fluidisé. Par la suite, grâce à WINCLER, la première application industrielle de la fluidisation a été réalisée en 1922 dans le domaine de la gazéification du charbon. Cependant, cette méthode avait un rendement relativement faible à l'époque. Ce n'est que dans les années quarante, aux États-Unis, que le craquage d'hydrocarbures en phase gazeuse a marqué le véritable essor industriel des lits fluidisés.

Depuis lors, le champ d'application des lits fluidisés s'est considérablement élargi. Ils sont utilisés dans diverses industries et processus, offrant des avantages tels qu'une meilleure efficacité de transfert de chaleur, une meilleure homogénéité des réactions et une grande flexibilité d'opération. Les lits fluidisés ont donc joué un rôle crucial dans le développement industriel et continuent d'être étudiés et améliorés pour répondre aux besoins variés des applications modernes.

De nos jours, les lits fluidisés sont largement utilisés dans des applications liées à la préservation de l'environnement. Ils sont employés dans les installations d'incinération des déchets ménagers et dans le traitement des eaux usées [24,25]. Par ailleurs, ils sont également utilisés dans l'industrie pharmaceutique pour la mise en forme des principes actifs [26].

La technique de la fluidisation est de plus en plus adoptée dans divers domaines tels que le pétrole et la pétrochimie, la chimie organique et minérale, l'agroalimentaire, la métallurgie, les matériaux de construction, ainsi que de nombreux autres secteurs. Sa polyvalence et son efficacité en font une méthode privilégiée pour de nombreuses applications industrielles. Les lits fluidisés continuent de se développer et de trouver de nouvelles utilisations dans des domaines variés, témoignant de leur importance croissante dans l'industrie moderne.

I.7.2. 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 [27, 28]. 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 [29]. 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 [33].

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

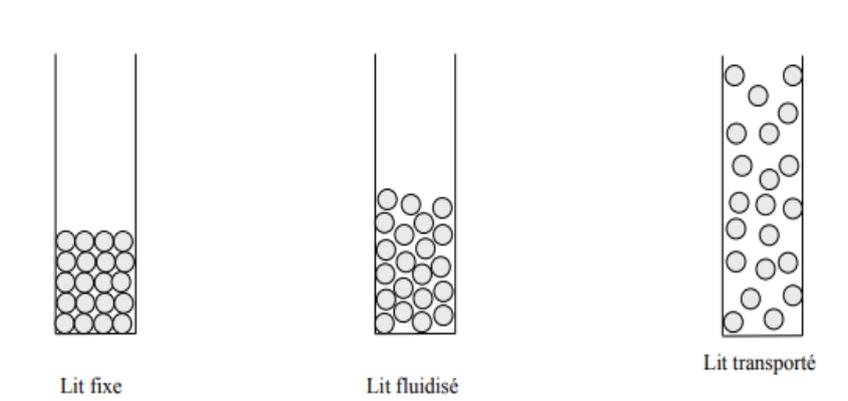


Figure I.5: les phase de la fluidisation solide liquide

I.7.2.1. Régimes d'écoulement

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

1-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.

2-apparition de fentes par lesquelles le fluide passe de façon privilégiée.

3-formation de bulles au niveau du distributeur qui viennent éclater en surface :

bullage. La surface du solide, bien qu'un peu tourmentée, est à peu près définie.

4-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.

5-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.

I.7.3. 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 :

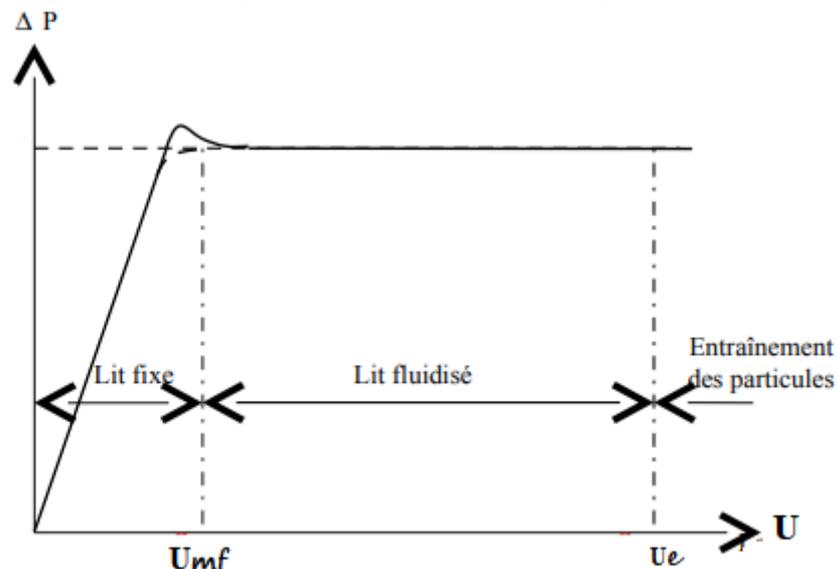


Figure I.6: Spectre de fluidisation et diagramme de pertes de charge

I.7.4. Vitesse minimale de fluidisation

La vitesse minimale de fluidisation est un paramètre essentiel pour caractériser le Phénomène de fluidisation, elle est généralement déterminée expérimentalement à partir de la Courbe de variation de la chute de pression subie par le fluide à travers la couche de particules En fonction de sa vitesse superficielle. Lorsque le lit est fixe, la perte de charge augmente avec La vitesse du fluide jusqu'à ce qu'elle atteigne une vitesse appelée : vitesse minimale de Fluidisation.

De nombreuses corrélations ont été proposées dans la littérature. Elles permettent D'estimer la vitesse minimale de fluidisation U_{mf} selon les conditions opératoires, la Corrélation semi-empirique d'Ergun constitue la base de toutes les autres corrélations Proposées par la suite. Cette corrélation permet de calculer la perte de charge subie par un Fluide à travers un lit fixe de particules identiques. La vitesse minimale de fluidisation est

Chapitre I : Bibliographie de littérature

Alors définie comme celle à partir de laquelle cette perte de charge est égale au poids du lit par Unité de section droite de la colonne [27]. Elle est basée sur des données expérimentales Couvrant des gammes de taille et de forme très larges. En appliquant cette corrélation aux Conditions minimales de fluidisation, nous obtenons, [32].

$$\frac{\Delta P_{mf}}{H_{mf}} = 150 \frac{(1-\epsilon_{mf})^2}{\epsilon_{mf}^3} \frac{\mu_f U_{mf}}{\phi_s^2 d_p^2} + 1,75 \frac{(1-\epsilon_{mf})}{\epsilon_{mf}^3} \frac{\rho_f U_{mf}^2}{\phi_s d_p}$$

H_{mf} (m) est la hauteur d'un lit fixe de particules.

d_p (m) est le diamètre des particules.

μ_f (Pa.s) est la viscosité du fluide.

ϵ_{mf} est la porosité du lit au minimum de la fluidisation.

ρ_f (kg/m³) est la masse volumique du fluide.

ϕ_s facteur de sphéricité, elle est définie par :

$$\phi_s = \left(\frac{S_{sphère}}{S_{particule}} \right) \text{ de même volume}$$

Pour des poudres bien fluidisables, le phénomène de fluidisation se traduit par une égalité des Forces de pesanteur et des forces de traînées. L'expression de la relation fondamentale de Mise en fluidisation est de la forme suivante [29] :

$$\frac{\Delta P_{mf}}{H_{mf}} = (1 - \epsilon_{mf})(\rho_p - \rho_f)g$$

ρ_p (kg/m³) est la masse volumique des particules.

ρ_f (kg/m³) est la masse volumique de fluide .

g (m/s²) est l'accélération due à la pesanteur.

ΔP (cm H₂O) perte de charge.

ϵ_{mf} La porosité minimale de fluidisation.

H_{mf} (m) La hauteur minimale de fluidisation.

I.7.5. Porosité et expansion du lit

Le phénomène d'expansion est réalisé lors de l'augmentation de la vitesse qui entraîne une croissance de la hauteur du lit, ce phénomène est caractérisé par le taux de vide ou la porosité, cette dernière représente le rapport entre le volume de vide et le volume total du lit L'une des méthodes utilisables pour la détermination de la porosité ou le degré de vide est basée sur la mesure de H citée par [34]:

$$\epsilon = 1 - \frac{m_p}{H A \rho_p}$$

Où m_p est la masse totale des particules.

A est la section de l'enceinte.

H hauteur du lit, ρ_p masse volumique particule.

I.8. L'argile expansée

I.8.1. Généralité sur l'argile expansée :

Des médias alternatifs au média conventionnel à sable/anthracite (S/A) ont été évalués dans le but de maximiser l'efficacité énergétique afin d'améliorer les performances de filtration en termes d'abattement de turbidité et de réduction des pertes de charges. À cette fin, le média à base d'argile expansée ALGEXPAN a une particularité de structure poreuse, favorisant une surface spécifique élevée et une texture rugueuse. Une capacité de rétention des particules élevée, des pertes de charge initiales et progressives faibles sont quelques-uns des avantages qui en découlent. Cela prolonge les durées des cycles, réduit les pertes d'eau liées à la détérioration des filtres et, par conséquent, réduit les coûts énergétiques.

ALGEXPAN est le seul fabricant de granulats d'argile expansée en ALGERIE et détenteur de l'unique gisement d'argile à propriétés d'expansion sur le territoire. L'usine est implantée à Bouinan (Blida) (Figure I.7). Le granulat est une harmonie de résistance et de légèreté. ALGEXPAN transforme l'argile en pierre poreuse et résistante par un traitement thermique sans additifs. ALGEXPAN extrait 1 m³ d'argile de la nature pour fabriquer 2 à 3 m³ de matériaux de construction. Le produit est à 100 % Algérien. La capacité de production est de 600 m³ par jour.

Pour produire le SABLE ALGEXPAN, l'argile est chauffée à 1200 °C, broyée et concassée puis tamisée pour obtenir les granulométries et les densités souhaitées. Une surface importante est exposée lorsque SABLE ALGEXPAN est concassée. C'est un média inerte en céramique à base d'aluminosilicate qui est peu soluble dans l'acide.



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

« ALGEXPAN ».

Les médias ALGEXPAN peuvent être utilisés dans la filtration granulaire comme médias monocouche ou bicouche, comme suggéré par le filtre Mono-Multi pour l'élimination des particules. Le média normal densité 1,6-2,5 mm léger et à porosité élevée constitue la couche supérieure du Mono-Multi. La couche inférieure est constituée du média Haute densité 0,8-1,6 mm, qui est 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. Il est fabriqué à partir d'argile naturelle qui est

chauffée à des températures élevées, ce qui provoque l'expansion de l'argile et la formation de petites billes légères.

-Surface spécifique élevée : L'argile expansée a une structure poreuse avec une surface spécifique élevée, ce qui lui permet de retenir les particules, les matières organiques et les contaminants présents dans l'eau. La surface spécifique élevée permet une adsorption efficace des impuretés et contribue à améliorer la qualité de l'eau traitée.

-Taille de grain uniforme : Les billes d'argile expansée sont disponibles dans différentes tailles de grains, ce qui permet de choisir le média filtrant adapté aux besoins spécifiques du système de traitement de l'eau. La taille uniforme des grains assure une distribution cohérente du flux d'eau à travers le lit filtrant, optimisant ainsi l'efficacité de filtration.

-Résistance chimique : L'argile expansée est résistante à de nombreux produits chimiques, ce qui en fait un choix approprié pour le traitement de l'eau contenant des substances chimiques indésirables. Elle peut également résister à des conditions de pH variées, assurant ainsi une performance stable du média filtrant.

-Durabilité et faible densité : L'argile expansée est un matériau durable qui conserve ses propriétés filtrantes pendant une longue durée de vie. De plus, sa faible densité facilite la manipulation et le remplacement du média filtrant lorsqu'il est nécessaire.

-Compatible avec différents processus de filtration : L'argile expansée peut être utilisée dans différents processus de filtration tels que la filtration sur lit en profondeur, la filtration à contre-courant et la filtration sur support granulaire. Elle peut être utilisée seule ou en combinaison avec d'autres médias filtrants pour obtenir des performances de filtration optimales.

L'utilisation de l'argile expansée comme média filtrant dans les systèmes de traitement de l'eau offre plusieurs avantages, notamment une excellente capacité d'adsorption, une performance stable et une durabilité. Cependant, il est important de noter que le choix du média filtrant dépendra des caractéristiques de l'eau à traiter et des exigences spécifiques du système de traitement de l'eau [36].

I.8.2. L'argile expansée et les filtres granulaires :

La filtration de l'eau est le procédé le plus couramment utilisé 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.

Comparés aux médias filtrants traditionnels, offre plusieurs avantages significatifs :

- Une perte de charge initiale réduite : L'argile expansée permet un écoulement plus fluide de l'eau à travers le média filtrant, ce qui se traduit par une perte de charge initiale plus faible. Cela permet une meilleure efficacité du système de filtration dès le départ.

- Une augmentation de la perte de charge plus lente : Les médias à base d'argile expansée ont une capacité supérieure à accumuler les particules et les impuretés, ce qui retarde l'obstruction du filtre et ralentit l'augmentation de la perte de charge au fil du temps. Cela se traduit par des durées de fonctionnement plus longues avant le nettoyage du filtre.

- Une porosité supérieure :

Les produits à base d'argile expansée présentent une porosité nettement supérieure, ce qui indique une plus grande capacité à permettre le passage des fluides à travers les interstices du matériau. Cette porosité accrue peut être bénéfique dans le contexte de la filtration des eaux potables, car elle permet une meilleure circulation de l'eau à travers le média filtrant, favorisant ainsi une filtration plus efficace.

- **Une plus grande capacité de rétention des particules :** Grâce à leur structure poreuse, les produits d'argile expansée peuvent retenir efficacement les particules et les impuretés présentes dans l'eau. Cela permet d'obtenir une eau filtrée de haute qualité, avec une réduction significative des contaminants.

- **Des débits d'eau plus faibles 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 plus longues entre les opérations de nettoyage, ce qui réduit 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 [37].

I.9. Analyse microscopique

Les argiles occupent une place prépondérante dans les roches sédimentaires. Les roches argileuses sont constituées de mélanges de minéraux argileux. Auxquels sont associés des minéraux allogènes (Quartz, feldspath, micas, minéraux lourds) ou autochtones (anatase, sulfates, etc.). Le comportement des argiles dans le contexte de l'interaction argile / polluant explique les nombreuses études concernant les réactions d'échange dans le système argile-eau [38].

Les argiles jouent alors différents rôles par leurs propriétés physico-chimiques particulières. Ils fixent les cations sous forme échangeable avec de la matière organique, ils contribuent à une organisation structurale favorable à la circulation de l'eau et de l'air. Ces propriétés font de l'argile un matériau d'une qualité exceptionnelle [39]. Plusieurs travaux antérieurs dans le monde ont montré que les minéraux argileux de la smectite ; de la montmorillonite, de la bentonite, de l'illite, de la vermiculite, de la kaolinite ou de la sépiolite possèdent des capacités d'adsorption des métaux lourds dans les eaux et les zones contaminées. Récemment, des études sur des mélanges d'argiles naturelles se sont révélées efficaces pour éliminer certains ions dans des solutions aqueuses synthétiques. D'après la littérature, le paramètre le plus important contrôlant l'adsorption des métaux lourds est le pH [40]

I.10. Objectifs et hypothèses de recherche

I.10.1. Objectifs de recherche

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'efficacité de l'argile expansée en tant que média filtrant pour la purification des eaux potables. Nous chercherons à déterminer si l'argile expansée peut constituer une alternative efficace aux médias filtrants traditionnels tels que le sable ou le charbon actif. Nous nous intéresserons également à l'optimisation des paramètres de fonctionnement tels que la vitesse de filtration et la hauteur de lit, nous chercherons à améliorer encore l'efficacité de la filtration avec l'argile expansée, afin d'évaluer la sécurité et la fiabilité de ce média filtrant. L'ensemble de ces objectifs vise à fournir des informations précieuses sur l'utilisation de l'argile expansée pour la filtration des eaux potables et à contribuer à l'amélioration des techniques de purification de l'eau.

I.10.2. Hypothèses de recherche

Nous formulons plusieurs hypothèses pour guider notre recherche. Tout d'abord, nous supposons que l'utilisation d'un média filtrant à base d'argile expansée améliorera la qualité de l'eau potable en éliminant efficacement les contaminants. Nous anticipons que les propriétés spécifiques de l'argile expansée, telles que la taille des particules et la surface spécifique, joueront un rôle clé dans son efficacité de filtration. De plus, nous prévoyons que l'argile expansée présentera des performances de filtration comparables voire supérieures à celles des médias filtrants traditionnels tels que le sable ou le charbon actif.

Une autre hypothèse que nous formulons est que l'optimisation des paramètres de fonctionnement, tels que la vitesse de filtration et la hauteur de lit, permettra d'améliorer encore l'efficacité de la filtration avec l'argile expansée. Nous supposons que des valeurs spécifiques de ces paramètres peuvent être déterminées pour maximiser la capacité de l'argile expansée à éliminer les contaminants de l'eau potable.

Ces hypothèses nous fournissent des orientations pour notre recherche et nous permettent de formuler des attentes quant aux résultats que nous pouvons obtenir. Tout au long de l'étude, nous collecterons des données et analyserons les résultats pour confirmer ou infirmer ces hypothèses et apporter des réponses aux questions soulevées par notre recherche.

Chapitre II : Matériels et méthodes

II.1. Introduction

Ce chapitre est dédié à la description exhaustive des expériences et études réalisées. Il englobe les méthodes de préparation des matériaux et des solutions, les protocoles expérimentaux ainsi que les techniques de caractérisation utilisées dans le cadre de cette recherche.

II.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 : Cette étape est réalisée manuellement en utilisant un tamis pour éviter les poussières et les particules fines.

2- Tamisage : Le sable de filtration est tamisé en le passant à travers une série de tamis.

3- Lavage : Une quantité de 1 kg de sable expansé est placée dans un récipient en plastique de 5 L, auquel de l'eau du robinet est ajoutée. L'eau et le sable sont mélangés manuellement pendant 3 minutes, puis l'eau chargée de particules en suspension (limon) est rejetée. Cette opération est répétée plusieurs fois jusqu'à ce que l'eau devienne claire. Finalement, le sable est lavé avec de l'eau distillée.

4- Séchage : Le sable est étalé au même niveau sur une surface dans un cristalliseur, puis il est séché à une température de 125°C afin d'éliminer toute trace d'humidité.

II.3 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.

Les différentes tailles des grains de sable expansé d'un échantillon sont déterminées en passant un poids spécifique de sable à travers des tamis gradués (norme AFNOR) avec des mailles de plus en plus petites.

Ensuite, les fractions de l'échantillon qui passent à travers chaque tamis sont pesées. Pour réaliser cette opération, des séries de tamis spéciaux sont utilisées, qui peuvent être empilés les uns au-dessus des autres pour former un récipient clos. L'échantillon de sable expansé est placé dans le compartiment supérieur, sur le tamis à mailles les plus larges.

L'ensemble est secoué mécaniquement pendant 30 minutes, jusqu'à ce que les grains de sable aient traversé tous les tamis dont la maille est supérieure à leur taille Figure II.1.

Le poids de chaque fraction de l'échantillon qui traverse un tamis donné est calculé en pourcentage du poids total de l'échantillon utilisé.



Figure II.1 la tamiseuse utilisée dans l'opération de l'étude granulométrique.

II.4. Analyse microscopique

II.4.1. Microscope optique

L'utilisation d'un microscope permet d'observer les détails et les caractéristiques subtils du sable qui ne sont pas visibles à l'œil nu. Grâce à une analyse microscopique approfondie, nous pouvons examiner la taille, la forme et la distribution des grains de sable.

Cette observation directe et détaillée nous permettra d'obtenir des informations précises sur la structure granulaire du sable et d'identifier d'éventuelles variations dans sa composition

II.4.2. Microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (FEI Quanta 650) présente l'avantage de nous permettre de visualiser les surfaces et de révéler des détails d'un grand grossissement à l'échelle de micro et de nano, en particulier pour caractériser les espaces inter et intra granulaires.

L'observation MEB a été réalisée avec les détecteurs Everhart-Thomley (BTD) et Large Field (LFD).

II.4.2.1. X-Ray Fluorescence (XRF)

Les concentrations des éléments de l'argile prélevé de Bouinan ont été réalisées à l'aide de la fluorescence X (XRF) avec un détecteur de silicium (SDD à effet Peltier, résolution 132,6 keV pour $K\alpha$ - Mn X) et par excitation de rayons X (PANalytical, Ag cible primaire, 50 kV). Les raies X caractéristiques sont identifiées à l'aide du logiciel Epsilon 3XL [43].

Les concentrations des éléments sont déterminées par l'utilisation de l'étalonnage de la procédure Omnian avec plusieurs filtres.

La procédure d'assurance et contrôle de qualité (AQ/CO) a été appliquée pour valider des résultats obtenus. Les paramètres statistiques [44]: Zscore, Uscore et relatif biais (RB,%) calculés était satisfaisant par rapport au exigence de l'AQ / CQ.

II.5. Détermination des masses volumiques.

II.5.1. Masse volumique apparente (ρ_{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/m³). 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.

La masse volumique apparente (ρ_{ap}) est définie comme la masse du sable en vrac sec occupant une unité de volume. Elle est influencée par le tassement des grains. La mesure de la masse volumique apparente se fait en suivant un protocole précis à l'aide d'un récipient d'un volume de 1L. Le sable est versé lentement entre les deux mains, à une hauteur de 10 cm au-dessus du récipient, qui est ensuite nivelé à l'aide d'une règle. (EN 1097-3, 10 strokes)

Ensuite, le contenu du récipient est pesé pour obtenir la valeur de la masse volumique apparente.

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

m₁= masse de récipient plein

m₀= la masse de récipient vide

V = volume du récipient (L)

II.5.2. Masse volumique absolue (ρ_{ab}) :

La masse volumique absolue (ρ_{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/m³).

Nous avons suivi le mode opératoire suivant pour déterminer la masse volumique absolue : Nous avons commencé par prendre une éprouvette graduée. Ensuite, nous avons soigneusement rempli l'éprouvette avec de l'eau jusqu'à atteindre la moitié de sa hauteur, marquée comme V1. Par la suite, nous avons versé un échantillon sec de granulats pesant m= 300g dans l'éprouvette. Après avoir ajouté les granulats, nous avons noté le nouveau volume d'eau, indiqué comme V2. Cette procédure a été répétée 3 fois pour les différentes fractions. (EN 1097-6 : Annex E)

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

m= un échantillon sec

V₁=volume initial de l'eau

V₂=volume total d'échantillon et l'eau

Il est essentiel de souligner que cette méthode décrit une approche générale pour déterminer la masse volumique absolue à l'aide d'une éprouvette et en mesurant les variations de volume d'eau avant et après l'ajout des granulats. Cependant, d'autres méthodes spécifiques peuvent également être utilisées, en fonction des protocoles ou des normes spécifiques appliqués dans votre étude.

II.6. 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)

II.7. Etude de la porosité (ϵ)

La porosité d'un sable de filtration est une mesure du volume vide ou des pores présents dans le matériau. Elle représente la capacité du sable à permettre le passage de fluides, tels que l'eau, à travers ses interstices.

La détermination de la porosité d'un matériau se déroule en plusieurs étapes. Tout d'abord, un échantillon représentatif du matériau est préparé, en veillant à ce qu'il soit propre et sec. Ensuite, la masse de cet échantillon est pesé avec précision pour servir de référence dans les calculs ultérieurs.

Le volume initial d'eau est mesuré à l'aide d'un récipient gradué. Cette valeur est enregistrée pour être utilisée dans les calculs ultérieurs. Ensuite, l'échantillon est immergé dans de l'eau pendant un certain temps afin de permettre à l'eau de pénétrer dans les pores du matériau, ce qui est appelé l'imprégnation de l'échantillon.

Une fois que l'échantillon a été retiré de l'eau, l'excès d'eau est délicatement éliminé de la surface extérieure du matériau en utilisant un papier absorbant ou un tissu propre. Ensuite, la masse de

Chapitre II : Matériels et méthodes

l'échantillon saturé d'eau est mesurée avec précision. Cette masse sera utilisée pour les calculs ultérieurs liés à la porosité.

L'une des méthodes utilisables pour la détermination de la porosité ou le degré de vide est Basée sur la mesure de H citée par (Powder technologie, 80, 55-72,1994) :

$$\varepsilon = 1 - \frac{m_p}{H A \rho_p}$$

Où m_p est la masse totale des particules.

A est la section de l'enceinte.

ρ_p est la masse volumique absolue de particule

H la hauteur de lit

Cette formule permet de déterminer le pourcentage de volume du matériau occupé par les vides ou les pores.

Une fois les calculs effectués, les résultats de la porosité peuvent être analysés et interprétés en fonction des caractéristiques spécifiques du matériau étudié et des objectifs de l'étude.

II.8. Partie hydrodynamique fluidisation

La fluidisation est un procédé de génie chimique de mise en contact entre un fluide et un solide. Ce contact peut se faire en lit fixe, mobile, fluidisé ou transporté.

Considérons une couche de particules de sable reposant sur une grille poreuse horizontale à l'intérieur d'une colonne. On fait circuler à contre-courant un fluide (en l'occurrence l'eau dans notre cas) à travers la couche dans le sens ascendant. On note alors la variation de la perte de charge (perte de charge due à la poussée exercée sur les particules) en fonction du débit de fluide.

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 II.2, ce dernier est constitué de :

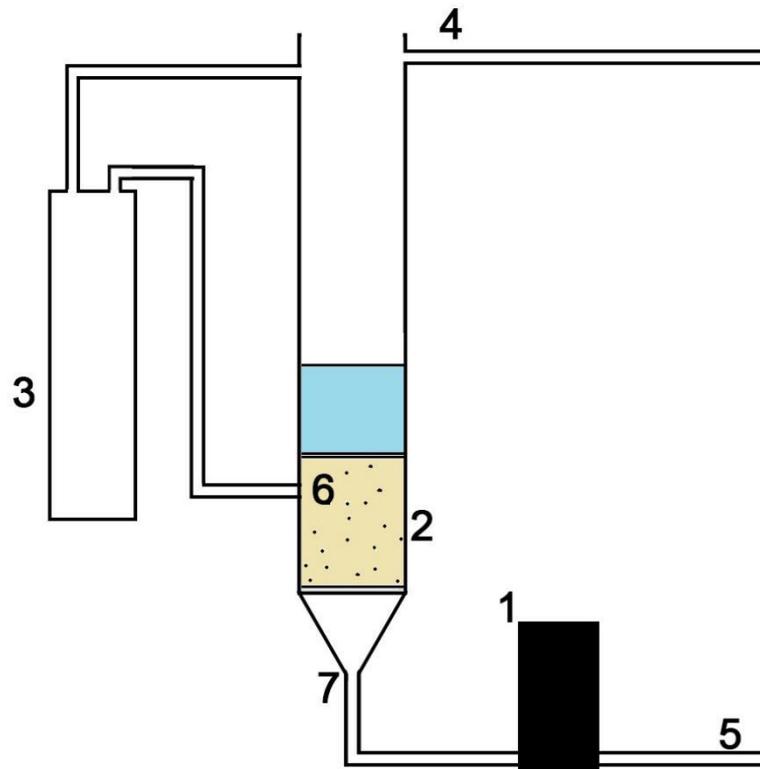


Figure II.2 : Schéma général de l'installation

1. débitmètre.
2. La colonne.
3. Système de mesure de pression (manomètre).
4. Sortie d'eau de lavage .
5. Entrée d'eau brute.
6. Matériau filtrant (sable expansée).
7. Entrée d'eau de lavage.

II.8.3. Le mode opératoire

Le mode opératoire de l'expérience de fluidisation d'un lit solide-liquide (sable-eau) consiste à préparer un lit de sable de granulométrie connue dans une colonne de fluidisation. La caractérisation du lit de sable est réalisée en mesurant sa granulométrie, sa densité apparente et sa porosité. Ensuite, le système de mesure de la pression est monté sur la colonne, et le débit de liquide est contrôlé. L'expérience débute en remplissant la colonne avec de l'eau jusqu'à une hauteur initiale prédéterminée, puis en augmentant progressivement le débit de 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 la fluidisation solide-liquide. En conclusion, cette expérience permet d'améliorer la compréhension des

phénomènes de fluidisation dans les lits solide-liquide et d'évaluer les performances de retro-lavage dans notre cas.

II.8.4. Matériel nécessaire :

- Une colonne de fluidisation équipée d'un dispositif de mesure de la perte de charge d'un système de contrôle du débit de liquide (débitmètre)

- Du sable de granulométrie 08-1.6/ normal densité 1.6-2.5/ haute densité

- Alimentation en eau

1. Préparation du lit de sable :

a. Mesurer la quantité de sable 200g pour remplir la colonne de fluidisation.

b. Remplir la colonne avec le sable en veillant à ce qu'il soit uniformément réparti.

2. Préparation du système de mesure :

a. Monter le dispositif de mesure de la pression sur la colonne, de manière à mesurer la perte de charge du liquide.

3. Mise en place de l'expérience :

a. Remplir la colonne avec de l'eau jusqu'à une hauteur initiale prédéterminée.

b. Mettre en marche le système de contrôle du débit de liquide.

c. Commencer par un débit de liquide faible et stable.

4. Mesure de la perte de charge et de la hauteur du lit :

a. Mesurer la perte de charge du liquide à différents débits en enregistrant les valeurs de pression.

b. Mesurer la hauteur du lit de sable à chaque débit de liquide.

Chapitre III : Résultats et discussions

Dans cette partie de notre travail, nous présentons les différentes caractéristiques chimiques et physiques du lit filtrant, telles que l'analyse granulométrique, la dégradation du sable par l'acide chlorhydrique, la densité et la porosité et la fluidisation.

Ces analyses nous permettent de mieux comprendre les propriétés de l'argile expansée utilisée comme média filtrant et d'évaluer son efficacité dans le processus de purification de l'eau potable.

III.1. Caractérisation du sable

III.1.1. Analyse granulométrique

a) ALGEXPAN 0,8-1,6 Haute densité

Les figures III.1, Figure III.2 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.

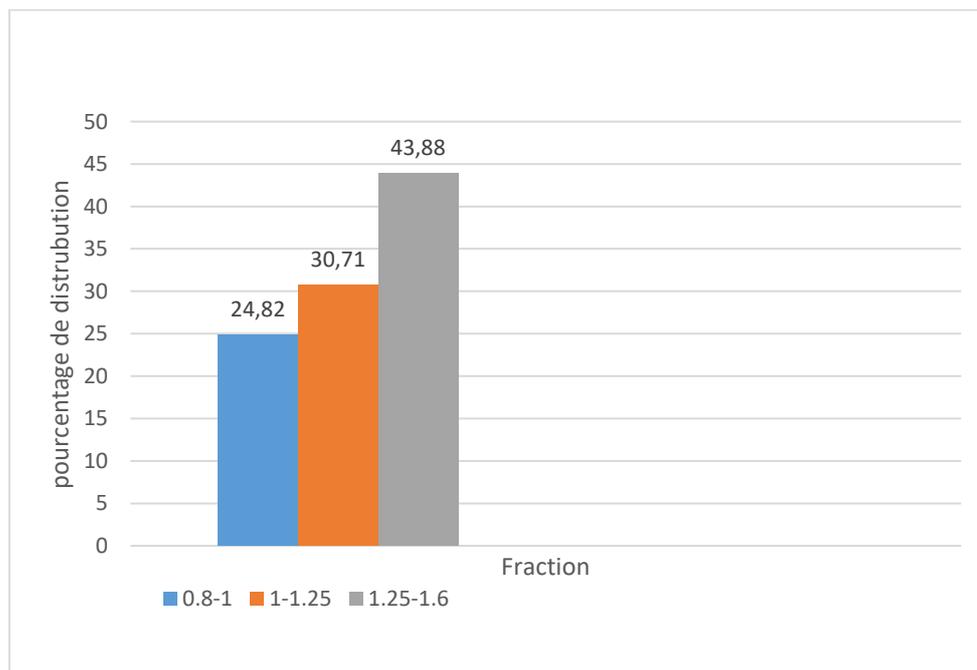


Figure III.1 : Distribution granulométrique du sable utilisé.

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 %

Les résultats représentés sur l'histogramme figure III.2, mettent en évidence que la fraction granulométrique la plus importante 2-2.5 mm représente 52,08% de l'échantillon, tandis que la fraction de 1.6-2 mm représente 47.91%.

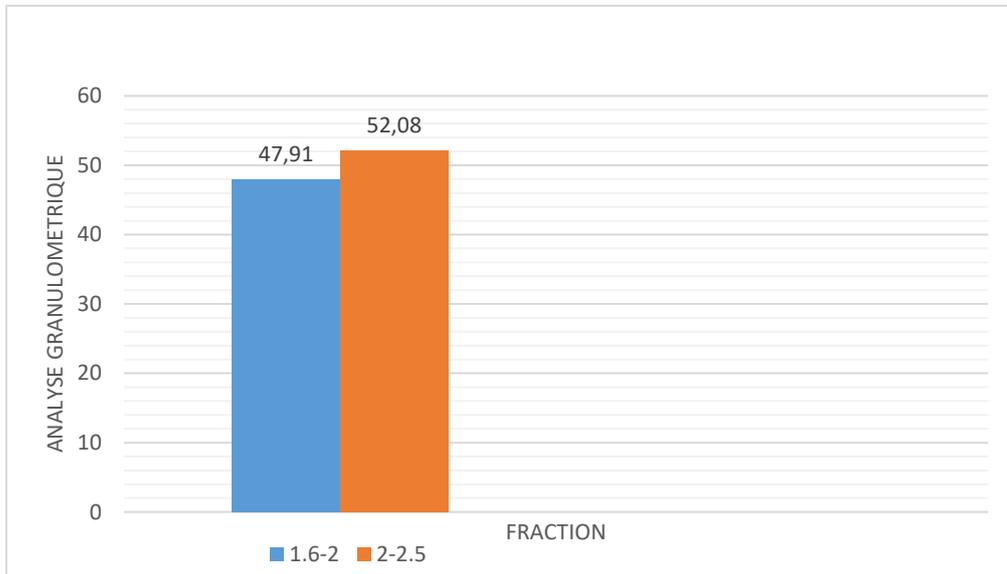


Figure III.2 : Distribution granulométrique du sable utilisé.

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.

III.1.2. Analyse microscopique

III.1.2.1. Microscope optique

Comprendre la composition et la structure du sable à un niveau microscopique peut fournir des informations précieuses sur ses propriétés physiques et chimiques.

L'utilisation d'un microscope optique permet d'observer les détails et les caractéristiques subtils du sable qui ne sont pas visibles à l'œil nu. Grâce à une analyse microscopique approfondie, nous pouvons examiner la taille, la forme et la distribution des grains de sable.

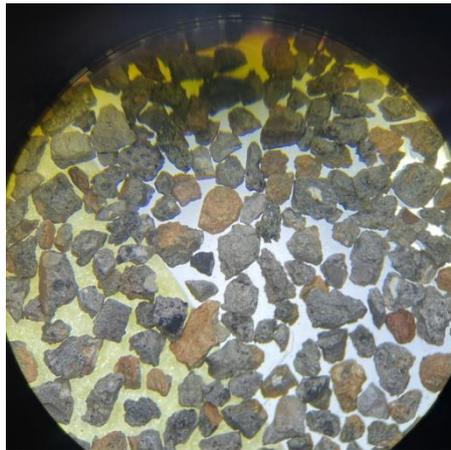


Figure III.3 : Photo microscopique 100x de sable ALGEXPAN

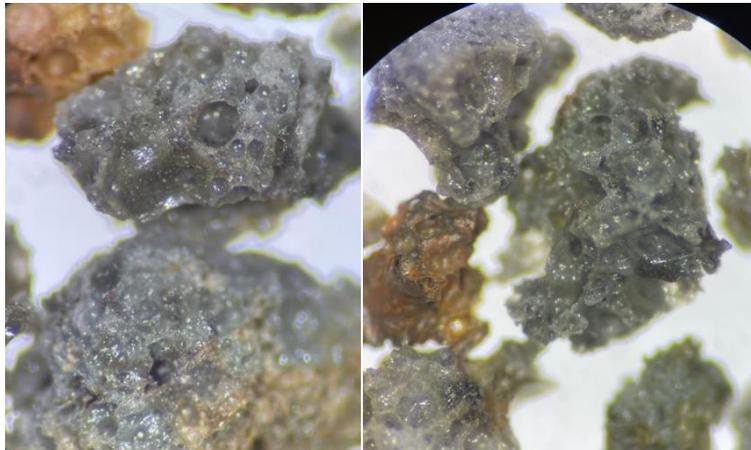


Figure III.4 : Photo microscopique 500x de sable ALGEXPAN

L'observation microscopique du sable à base d'argile expansée révèle plusieurs caractéristiques distinctives. Tout d'abord, la forme des grains de sable est irrégulière, ce qui signifie qu'ils ne sont pas uniformément arrondis ou sphériques. Au lieu de cela, les grains présentent des contours anguleux et des surfaces rugueuses.

Chapitre III : Résultats et discussions

De plus, la distribution des grains de sable est hétérogène, ce qui signifie que les grains ne sont pas répartis de manière uniforme dans l'échantillon, Cette distribution inégale peut être due à des variations dans les conditions de fabrication.

En examinant la structure du sable à un niveau microscopique, on observe également la présence de larges pores dans les grains. Ces pores sont visibles comme des espaces vides ou des interstices dans les particules de sable. Ces grands pores sont essentiels pour la filtration de l'eau, car ils permettent à l'eau de s'écouler à travers le lit de sable tout en retenant les particules indésirables. Cette caractéristique confère au sable à base d'argile expansée une capacité de rétention élevée et une efficacité de filtration accrue.

III.1.2.2. Microscopie électronique à balayage

Microscopie électronique à balayage couplée à un détecteur de rayons X (MEB / EDX), ces analyses ont été effectués au niveau du laboratoire de recherche FUNDAPL-Université de blida.

La microscopie Électronique à balayage permet d'observer la texture de l'échantillon d'argile et de caractériser les assemblages minéralogiques. Les images obtenues par microscopie électronique à balayage de l'échantillon d'argile avec différents agrandissements Figure III.5

Les cartes, les profils et le spectre global X des éléments Na, Mg, Al, Si, K et O sont représentées sur les Figure III.6 à Figure III.8 respectivement.

Les particules d'argile se présentent sous la forme d'agrégats de fins agrégats de différentes dimensions allant de 0,4 μm à 100 μm . Les carbonates (calcite) se présentent sous forme d'agrégats bien visibles et le quartz sous forme de petits grains .

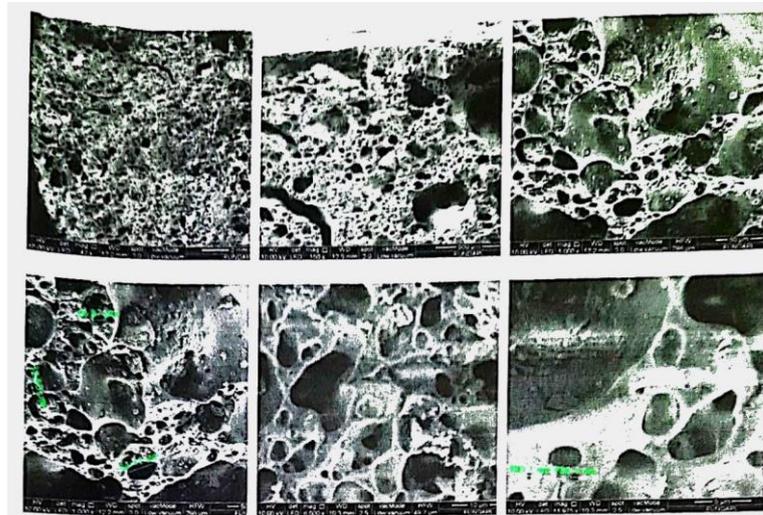


Figure III.5 : Observation par microscopie électronique à balayage d'un échantillon d'argile prélevé à ALGEXPAN

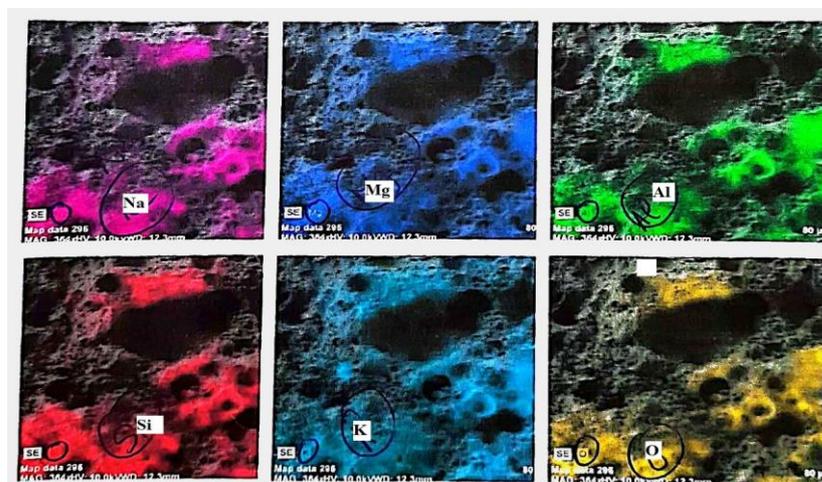


Figure III.6 : Cartes des éléments Na, Mg, Al, Si, K et O d'un échantillon d'argile prélevé à ALGEXPAN

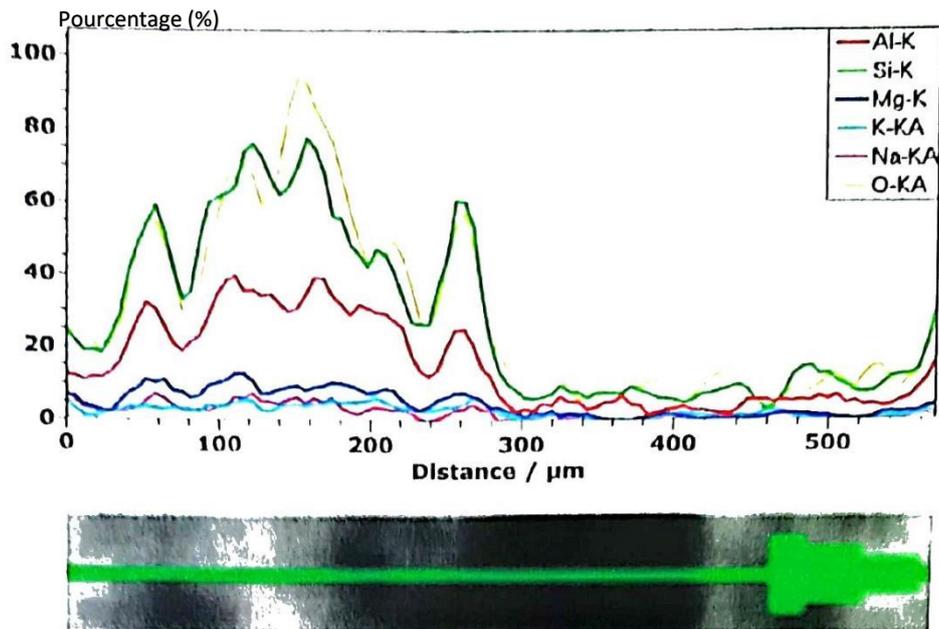


Figure III.7 : Profils d'éléments Na, Mg, Al, Si, K et O d'un échantillon d'argile prélevé à ALGEXPAN

III.1.2.2.1. Analyse de fluorescence X (XRF)

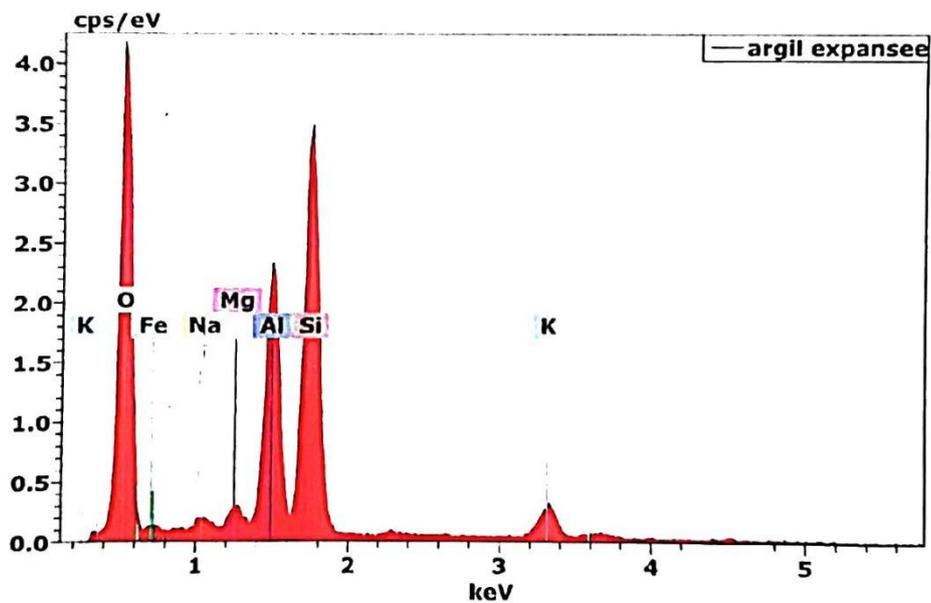


Figure III.8 : Spectre global X d'échantillons d'argile prélevés à ALGEXPAN (EDX)

Chapitre III : Résultats et discussions

Les résultats du tableau III.1 indiquent que les constituants prédominants sont la silice, l'Oxyde fer et l'Aluminium.

Le pourcentage de silice et d'aluminium est très élevé, indiquant la présence de $Al_2Si_2O_5(OH)_4$.

Le rapport alumine/silice, donne des informations sur la résistance du matériau vis-à-vis de l'humidité. Plus ce rapport est grand, plus la résistance est importante. Dans notre cas, ce rapport $Al_2O_3/SiO_2 = 0,32$ est petit.

Le rapport $SiO_2 / Al_2O_3 = 3,15$ (substitution maximale de Si^{4+} par Al^{3+}) est supérieur à celui de la Kaolinite conventionnelle qui est de 2,7. Cette différence indique la présence de silice (SiO_2) dans la fraction d'argile en grande proportion. La composition globale des autres éléments tels que le MgO , le K_2O et le CaO atteint un pourcentage de 14,43%, ce qui montre que notre matériau n'est pas pur. Le spectre des rayons X est représenté à la Figure III.8

Tableau III.1 : les concentrations des éléments détectés dans l'argile étudié

composés	Concentrations	pourscentage	Unit
Na ₂ O	6,6	0.890%	g/kg
Al ₂ O ₃	104,0	19.58%	g/kg
CaO	14,13	1.977%	g/kg
Fe ₂ O ₃	46,40	6.634%	g/kg
K ₂ O	32,63	3.931%	g/kg
MgO	11,40	1.890%	g/kg
MnO	1,50	0.194%	g/kg
SiO ₂	289,78	61.993%	g/kg
BaO	290,71	0.032%	mg/kg
CuO	57,96	0.007%	mg/kg
SO ₃	1991,32	0.497%	mg/kg
Ga ₂ O ₃	34,52	0.005%	mg/kg
Cr ₂ O ₃	199,02	0.029%	mg/kg
P ₂ O ₅	133,51	0.0031%	mg/kg
PbO	19,56	0.002%	mg/kg
Rb ₂ O	156,79	0.017%	mg/kg
SrO	150,26	0.018%	mg/kg
TiO ₂	4335,95	0.723%	mg/kg
V ₂ O ₅	140,68	0.025%	mg/kg
Y ₂ O ₃	120,33	0.004%	mg/kg
ZnO	12,75	0.002%	mg/kg
ZrO ₂	163,78	0.022%	mg/kg
	48,56		%

Chapitre III : Résultats et discussions

Les techniques expérimentales (SEM / EDX, XRF) utilisées ont permis de mettre en évidence les phases minérales et la composition chimique de l'argile analysée. Nous avons également établi que cette argile est essentiellement constituée de kaolinite, de quartz, de calcite et de vermiculite en tant que minéraux argileux associés.

Ces résultats ont également montré que l'argile de ALGEXPAN présente une forte proportion. De silice, quartz.

III.1.2.3. La composition chimique entre sable ALGEXPAN et FILTRALITE :

Le tableau III.2 suivant présente La composition chimique de sable ALGEXPAN et FILTRALITE

Tableau III.2 : La composition chimique de sable ALGEXPAN et FILTRALITE

Les composition chimique	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	Na ₂ O
ALGEXPAN	62%	19,65%	6,65%	3,93%	1,93%	0,89%
FILTRALITE	63%	17%	7%	4%	2%	2%

Lorsque nous examinons les compositions chimiques des deux sables, nous pouvons observer certaines différences significatives.

Tout d'abord, en ce qui concerne le principal constituant, le dioxyde de silicium (SiO₂), nous constatons que l'ALGEXPAN présente une teneur légèrement inférieure (62%) par rapport au FILTRALITE (63%). Cela indique que le FILTRALITE est légèrement plus riche en silice, ce qui peut avoir des implications sur les propriétés physiques et chimiques des deux matériaux.

En ce qui concerne l'alumine (Al₂O₃), nous observons une teneur de 19,65% dans l'ALGEXPAN, tandis que le FILTRALITE présente une teneur de 17%. Cela indique que l'ALGEXPAN contient une légèrement plus grande quantité d'alumine que le FILTRALITE. L'alumine est un composant important qui peut contribuer à la résistance mécanique et à la stabilité thermique des matériaux.

Pour le trioxyde de fer (Fe₂O₃), l'ALGEXPAN affiche une teneur de 6,65%, tandis que le FILTRALITE présente une teneur de 7%. Les deux sables présentent donc des teneurs similaires en fer. Le fer peut provenir de diverses sources et peut influencer les caractéristiques de couleur et de réactivité chimique des matériaux.

En ce qui concerne les autres éléments tels que le dioxyde de potassium (K₂O), l'oxyde de calcium (CaO) et le dioxyde de sodium (Na₂O), nous pouvons constater des différences. L'ALGEXPAN présente des pourcentages de K₂O, CaO et Na₂O inférieurs (3,93%, 1,93%, 0,89% respectivement) par rapport au FILTRALITE (4%, 2%, 2% respectivement). Ces éléments peuvent jouer un rôle dans les propriétés chimiques et réactives des sables, et les différences observées peuvent indiquer des variations dans leur comportement dans des environnements spécifiques.

III.1.3. Détermination des masses volumiques

III.1.3.1. Masses volumique apparente

III.1.3.1.1. ALGEXPAN 0,8-1,6

Le tableau III.3, donne les résultats des masses volumiques apparentes du sable à densité normale dans la plage de granulométrie de 0,8-1,6 mm et qui sont les suivants : 549,64 kg/m³ pour la densité normale, 618,88 kg/m³ pour la densité moyenne et 773,27 kg/m³ pour la haute densité.

Tableau III.3 : Les masses volumique apparente de la fraction 0.8-1.6 ALGEXPAN

0,8-1,6 ALGEXPAN	Masses volumique apparente (kg/m ³)
Noramal densité	549,64
Moyenne densité	618,88
Haute densité	773,27

En analysant les résultats, nous constatons que la densité du sable à densité normale est de 549,64 kg/m³. Cela indique que le sable à densité normale est relativement léger, ce qui peut faciliter les lavages du média filtrant.

Les densités moyenne et élevée, respectivement de 618,88 kg/m³ et 773,27 kg/m³, suggèrent une augmentation de la compacité du sable. Cela 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.

III.1.3.1.2. ALGEXPAN 1.6-2.5 normal densité

Tableau III.4 : la masse volumique apparente de la fraction 1.6-2.5 ALGEXPAN

1.6-2.5 ALGEXPAN	Masses volumique apparente (kg/m ³)
Noramal densité	567,60

En analysant le résultat Tableau III.4, nous constatons que la densité du sable à densité normale est de 567,60 kg/m³. Cela indique que le sable à densité normale présente une densité relativement modérée. Cette densité 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.

III.1.3.2. Masses volumique absolue

III.1.3.2.1. ALGEXPAN 0.8-1.6 Haute densité

Tableau III.5: les masses volumiques absolue de la fraction 0.8-1.6 ALGEXPAN

0.8-1.6 ALGEXPAN	Masses volumique absolue (kg/m ³)
Normal densité	1000
Moyenne densité	1250
haute densité	1660

En examinant les résultats Tableau III.5, nous constatons que la masse volumique absolue du sable à densité normale est de 1000 kg/m³. Cette valeur indique une densité relativement modérée pour le sable utilisé. La densité moyenne est de 1250 kg/m³, tandis que la haute densité atteint 1660 kg/m³.

III.1.3.2.2. ALGEXPAN 1.6-2.5 normal densité

Tableau III.6: la masse volumique absolue de la fraction 1.6-2.5 ALGEXPAN

1.6-2.5 ALGEXPAN	Masses volumique absolue (kg/m ³)
Normal densité	1110

Les résultats (Tableau III.6) de la masse volumique absolue du sable à densité normale dans la fraction granulométrique de 1,6-2,5 mm ont été obtenus. La masse volumique absolue du sable à densité normale est de 1110 kg/m³.

III.1.3.3. L'analyse des résultats des masses volumique :

L'analyse des résultats de masse volumique apparente et de masse volumique absolue pour les différents types de sable normal densité ALGEXPAN, Haute densité ALGEXPAN, sable classique)

Tableau III.7, révèle des différences significatives entre les matériaux.

Tableau III.7: Les masses volumiques (1.6-2.5 normal densité ALGEXPAN)0,8-1,6 Haute densité ALGEXPAN, Le sable classique 0.85)

Type de sable	Masses volumique apparente (kg/m ³)	La masse volumique absolue (kg/m ³)
1,6-2,5 normal densité ALGEXPAN	567,60	1110
0,8-1,6 Haute densité ALGEXPAN	773,27	1660
Le sable classique 0,85	1650	2650

En comparaison, le sable classique a une masse volumique apparente de 1650 kg/m³, 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 classique est de 2650 kg/m³, 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.

III.1.4. Dégradation en HCl (l'attaque à l'acide)

III.1.4.1. Fraction 0,8-1,6

Les résultats obtenus pour la dégradation du sable dans la fraction 0,8-1,6 en fonction de la densité (normale, moyenne et haute) sont les suivants :

Pour la densité normale, les masses après l'attaque acide sont de 48,90 g, 48,85 g et 48,76 g pour les trois essais respectivement. La moyenne des masses est de 48,83 g.

Pour la densité moyenne, les masses après l'attaque acide sont de 48,7 g, 48,13 g et 48,30 g pour les trois essais respectivement. La moyenne des masses est de 48,26 g.

Pour la haute densité, les masses après l'attaque acide sont de 47,40 g, 47,12 g et 46,90 g pour les trois essais respectivement. La moyenne des masses est de 47,14 g.

En ce qui concerne le pourcentage de dégradation, on observe une dégradation de 2,4% pour la densité normale, 3,48% pour la densité moyenne et 5,72% pour la haute densité.

Le tableau III.8 représente le pourcentage de dégradation :

Tableau III.8 : le pourcentage de solubilité à l'acide de la fraction 0.8-1.6

Fraction 0.8-1.6	Dégradation en HCl
Normal densité	2,4%
Moyenne densité	3,48%
Haute densité	5,72%

Ces résultats sont importants car ils permettent d'évaluer la résistance du sable à l'acidité et à la dégradation chimique. Ils indiquent que plus la densité du sable est élevée, plus la dégradation est significative. Cela peut avoir des implications sur l'efficacité du sable en tant que média filtrant.

III.1.4.2. Fraction 1,6-2,5 normal densité

Les résultats obtenus dans le tableau III.9 pour la dégradation du sable dans la fraction 1,6-2,5 avec une densité normale sont les suivants :

Pour la densité normale après l'attaque :

Tableau III.9 : la dégradation du sable dans la fraction 1,6-2,5

Les Essais	Essai 1	Essai 2	Essai 3	La moyenne
la masse du sable (g)	48,75	49,06	48,97	48,92

Le pourcentage de dégradation pour la densité normale est de 2,16%. Le tableau III.10 représente le pourcentage de dégradation :

Tableau III.10 : le pourcentage de solubilité à l'acide de la fraction 1.6-2.5

Fraction 1.6-2.5	Dégradation en HCl
Normal densité	2,16%

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 2,16% 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.

III.1.5. La porosité

III.1.5.1. Fraction 0,8-1,6 Haute densité

Les résultats obtenus dans le Tableau III.11 pour la porosité de la fraction 0,8-1,6 sont les suivants :

Tableau III.11 : la porosité de la fraction 0.8-1.6

Fraction 0.8-1.6	la porosité (%)
Normal densité	54%
Moyenne densité	61%
haute densité	58%

En examinant les résultats, on peut observer que la porosité varie en fonction de la densité du sable. Dans le cas de la densité normale, la porosité est de 54%. Cela indique qu'environ 54% du volume du matériau est occupé par des vides ou des pores, laissant un espace pour le passage des fluides. Cette porosité peut être considérée comme modérée.

Pour la densité moyenne, la porosité est de 61%. Cela suggère que ce sable présente une porosité plus élevée, ce qui peut favoriser un meilleur écoulement des fluides à travers le matériau. Une porosité plus élevée peut être bénéfique dans le cas de la filtration des eaux potables, car elle permet une meilleure circulation de l'eau à travers le média filtrant, augmentant ainsi l'efficacité de la filtration.

En ce qui concerne la densité haute, la porosité est de 58%. Bien que légèrement inférieure à celle de la densité moyenne, elle reste relativement élevée, ce qui indique une bonne capacité du sable à permettre le passage des fluides.

III.1.5.2. Fraction 1,6-2,5 NC

Tableau III.12 : la porosité de la fraction 1.6-2.5

Fraction 1,6-2,5	La porosité(%)
Normal densité	60%

Le résultat de Tableau III.12 indique 60% 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 60% 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.

III.1.5.2. Analyse des résultats de porosité :

En comparant les résultats de porosité des différents types de sable Tableau III.13, nous pouvons observer des différences significatives.

Tableau III.13 : la porosité de (1.6-2.5 normal densité ALGEXPAN, 0,8-1,6 Haute densité ALGEXPAN, Le sable classique 0.85)

Type de sable	La porosité(%)
Le sable classique 0,85	40%
Haute densité 0,8-1,6	58%
normal densité 1,6 -2,5	60%

Le sable classique présente une porosité de 40%, 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 normal densité et Haute densité ALGEXPAN, présentent des porosités plus élevées (60% et 58% 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.

III.1.6 ALGEXPAN et FILTRALITE

À la lumière des résultats obtenus pour les différents paramètres étudiés Tableau III.14 et Tableau III.15, 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 III.14 : les caractéristiques de ALGEXPAN 0,8-1,6 ET Filtralite Pure Haute densité 0,8-1,6

	ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6	Filtralite Pure Haute densité 0,8-1,6
Masses volumique apparente	773,27 kg/m ³	850 kg/m ³
Masses volumique absolue	1660 kg/m ³	1700 kg/m ³
Solubilité à l'acide	5,72%	7 %
La porosité	58 %	55 %

Tableau III.15 : les caractéristiques de ALGEXPAN 1,6-2,5 ET Filtralite Pure normal densité 1,6-2,5

	ALGEXPAN normal densité 1,6-2,5	Filtralite® Pure normal densité 1,5-2,5
Masses volumique apparente	567,60 kg/m ³	475 kg/m ³
Masses volumique absolue	1110 kg/m ³	1050 kg/m ³
Solubilité à l'acide	2,16%	7 %
La porosité	60%	60 %

En conclusion, les résultats de l'étude mettent en évidence la qualité et l'efficacité des matériaux de filtration à base d'argile expansée ALGEXPAN, ainsi que des produits de FILTRALITE, pour le traitement des eaux potables. 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 matériaux.

Cela suggère que le matériau local ALGEXPAN 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 dans les stations de traitement de l'eau potable peut contribuer à réduire les impuretés et les contaminants, améliorant ainsi la qualité de l'eau potable fournie à la population.

En résumé, Le matériau local ALGEXPAN démontre son aptitude à être utilisé dans les systèmes de filtration d'eau potable, grâce à ses performances cohérentes et comparables en termes de caractéristiques clés. Ce matériau offre des avantages potentiels en termes de rétention des impuretés et de qualité de l'eau potable, contribuant ainsi à la fourniture d'une eau propre et sûre à la population.

III.2. Hydrodynamique fluidisation

III.2.1. Analyse des caractéristiques hydrodynamiques du lit

L'étude hydrodynamique a été menée sur quatre types de matériaux.

- ALGEXPAN normal densité 1,6-2,5
- ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6
- Bicouche (ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6, ALGEXPAN normal densité 1,6-2,5)
- Sable classique

III.2.1.1. variation de la hauteur en fonction de débit normal densité 1,6-2,5:

La figure III.9 montre la variation de la hauteur en fonction du débit pour la fraction normal densité (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 normal densité (1,6-2,5) est mesurée à 39,9 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 39,9 cm à 40,6 cm. 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 40 L/h et 50 L/h, la hauteur passe de 46 cm à 52 cm, indiquant une expansion notable du lit fluidisé.

Il est important de noter que la relation entre la hauteur et le débit peut ne pas être linéaire. Entre 55 L/h et 75 L/h, bien que le débit continue d'augmenter, la hauteur n'augmente que légèrement, passant de 55 cm à 73 cm. Cela suggère que le lit fluidisé atteint un certain point de saturation ou d'équilibre à ces niveaux de débit.

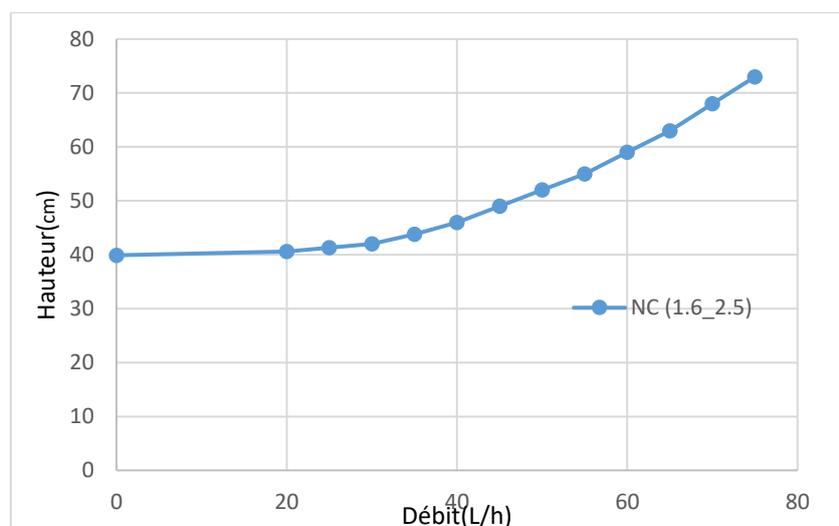


Figure III.9 : La variation de la hauteur de lit normal densité (1,6_2,5) en fonction de débit

Chapitre III : Résultats et discussions

La figure III.10 illustre la relation entre la hauteur et le débit pour la fraction normal densité (1,6-2,5) dans un lit fluidisé. Initialement, avec un débit de 0 L/h, la hauteur de la fraction est mesurée à 39,9 cm. À mesure que le débit augmente, la hauteur présente une augmentation progressive.

Entre 0 L/h et 20 L/h, la hauteur connaît une légère augmentation, passant de 39,9 cm à 40,6 cm. Cette augmentation initiale suggère une expansion modérée du lit fluidisé en réponse à l'augmentation du débit.

Cependant, une tendance plus significative se manifeste avec l'augmentation du débit. Entre 40 L/h et 75 L/h, la hauteur augmente considérablement, passant de 46 cm à 73 cm. Cela met en évidence une expansion notable du lit fluidisé à des débits plus élevés

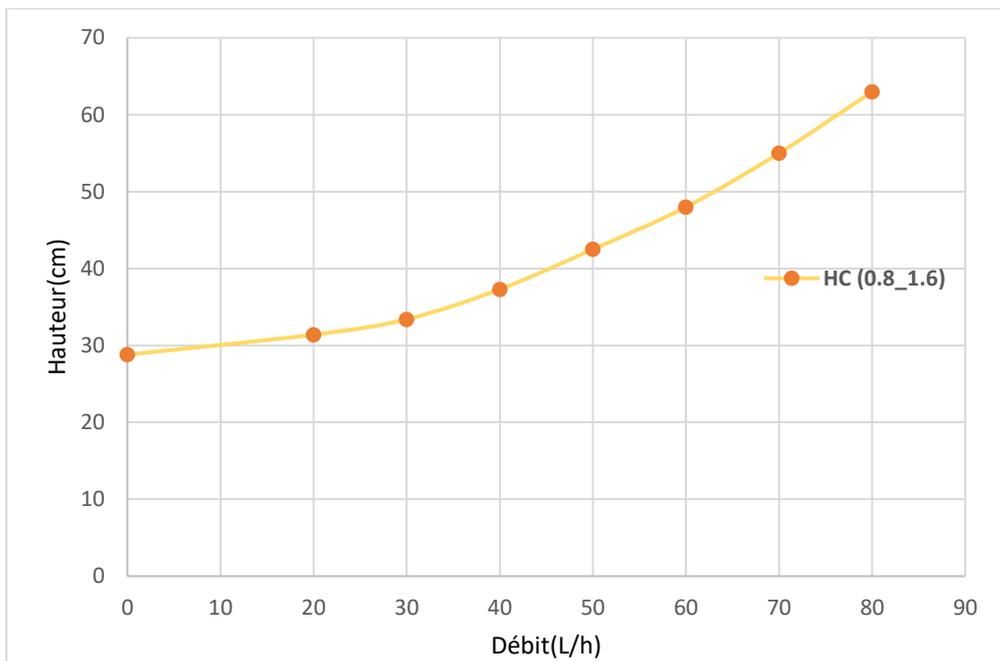


Figure III.10: La variation de la hauteur de lit Haute densité (0,8_1,6) en fonction de débit

Chapitre III : Résultats et discussions

La courbe présentée dans la figure III.11 illustre la variation de la hauteur en fonction du débit pour le sable classique 0,85 dans un lit fluidisé. L'analyse des données révèle plusieurs observations importantes.

Tout d'abord, lors qu'aucun débit n'est appliqué (0 L/h), la hauteur initiale (H_0) est mesurée à 13 cm. À mesure que le débit augmente progressivement, la hauteur du lit fluidisé présente une augmentation régulière. Cette relation suggère une tendance à l'expansion du lit avec l'augmentation du débit.

Entre 0 L/h et 30 L/h, la hauteur connaît une légère augmentation, passant de 13 cm à 13,8 cm. Cette augmentation initiale témoigne d'une expansion modérée du lit fluidisé en réponse à l'augmentation du débit.

Cependant, une augmentation plus significative de la hauteur est observée à mesure que le débit continue d'augmenter. Par exemple, entre 40 L/h et 60 L/h, la hauteur augmente de 14,2 cm à 16,2 cm, ce qui indique une expansion notable du lit fluidisé.

Il est important de noter que la relation entre la hauteur et le débit n'est pas linéaire. Par exemple, entre 60 L/h et 80 L/h, la hauteur augmente de 16,2 cm à 18,3 cm, puis de 18,3 cm à 19,3 cm entre 80 L/h et 90 L/h. Cette observation suggère que l'expansion du lit fluidisé peut atteindre un point d'entraînement à certains niveaux de débit.

Lorsque le débit atteint des valeurs plus élevées, telles que 110 L/h et 130 L/h, la hauteur continue d'augmenter, passant de 21,5 cm à 25 cm. Ces résultats confirment une expansion significative du lit fluidisé à des débits plus élevés.

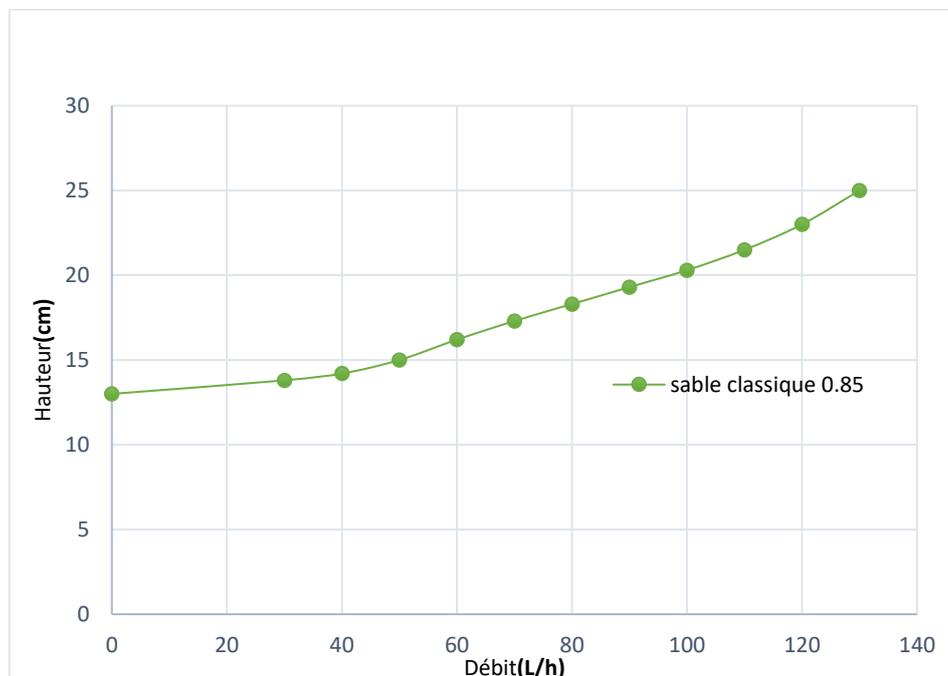


Figure III.11: La variation de la hauteur de lit (sable classique 0,85) en fonction de débit

Chapitre III : Résultats et discussions

La figure III.12 montre la variation de la hauteur en fonction du débit .

L'analyse des trois courbes représentant la variation de la hauteur du lit fluidisé en fonction du débit pour les fractions de sable normal densité (1,6-2,5), Haute densité (0,8-1,6) et le sable classique 0,85 permet de comprendre le comportement de l'expansion du lit en fonction du débit.

Dans la courbe de la fraction normal densité (1,6-2,5), nous observons une augmentation progressive de la hauteur à mesure que le débit augmente. Cela indique que l'expansion du lit fluidisé augmente avec le débit. Au départ, à un débit de 0 L/h, la hauteur est de 39,9 cm, mais elle atteint 73 cm à un débit de 75 L/h.

La courbe de la fraction Haute densité (0,8-1,6) présente également une augmentation de la hauteur avec le débit, bien que la variation puisse être moins prononcée que celle de la fraction normal densité. La hauteur initiale est de 28,8 cm à un débit de 0 L/h, et elle atteint 64 cm à un débit de 75 L/h.

En ce qui concerne le sable classique (0,85), la courbe montre une augmentation de la hauteur avec le débit, mais cette augmentation est plus limitée par rapport aux autres fractions de sable. La hauteur initiale est de 13 cm à un débit de 0 L/h, et elle atteint 25 cm à un débit de 130 L/h.

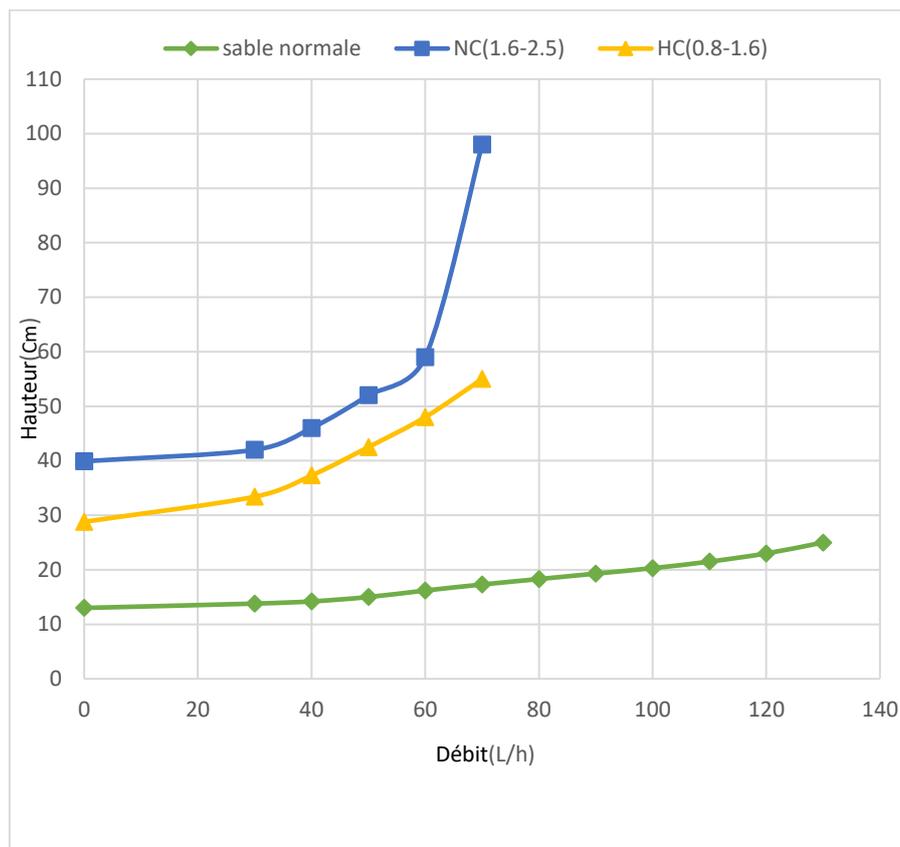


Figure III.12 : La variation de la hauteur de lit en fonction de débit

Ces résultats indiquent que l'expansion du lit fluidisé est influencée par le débit, mais la relation entre la hauteur et le débit peut varier en fonction de la fraction de sable utilisée. La fraction normal densité présente la plus grande expansion du lit, suivie de la fraction haute densité tandis que le sable classique 0,85 présente une expansion relativement limitée.

Il est important de souligner que les valeurs de débit spécifiques à partir desquelles l'expansion du lit devient significative au la hauteur commence à augmenter de manière plus marquée :

Pour la fraction normal densité (1,6-2,5) :

Débit de 45 L/h : la hauteur augmente de 46 cm à 49 cm, indiquant une augmentation significative de la hauteur.

Pour la fraction Haute densité (0,8-1,6) :

Débit de 60 L/h : la hauteur augmente de 48 cm à 54 cm, indiquant une augmentation notable de la hauteur.

Pour le sable classique (0,85) :

Débit de 100 L/h : la hauteur augmente de 20,3 cm à 23 cm, indiquant une augmentation plus marquée de la hauteur.

La courbe Figure III.13 représentant la variation de la hauteur en fonction du débit pour la configuration de sable bicouche, avec la fraction Haute densité (0,8-1,6) et la fraction normal densité (1,6-2,5), présente des tendances intéressantes.

Au départ, à un débit de 0 L/h, la hauteur initiale du lit fluidisé est de 43,2 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 20 L/h, la hauteur du lit passe à 44,2 cm, montrant une légère augmentation. Cette augmentation initiale peut être attribuée à l'effet du débit sur l'expansion de la fraction Haute densité (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 40 L/h, la hauteur passe de 46,7 cm à 51,5 cm, soit une augmentation notable. Cela suggère une expansion plus prononcée du lit fluidisé, probablement due à l'expansion de la fraction normal densité (1,6-2,5) avec l'augmentation du débit.

À des débits encore plus élevés, tels que 50 L/h et 60 L/h, nous constatons une augmentation significative de la hauteur du lit. La hauteur passe de 60,5 cm à 71 cm, indiquant une expansion notable des deux fractions Haute densité et NC.

Enfin, à un débit de 70 L/h, la hauteur du lit atteint 79 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 entraîné du sable.

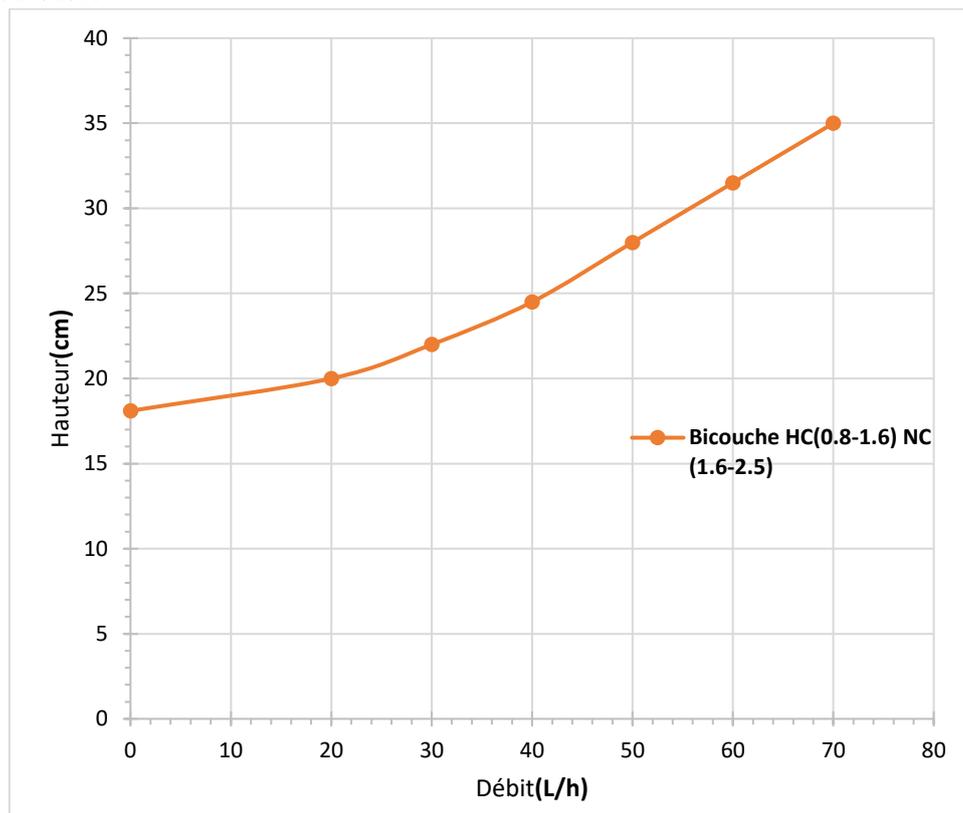


Figure III.13 : La variation de la hauteur de lit bicouche Haute densité (0,8-1,6) normal densité (1,6-2,5) en fonction de débit

III.2.1.2. Vitesses minimales de fluidisation (Umf) :

Détermination expérimentale de la vitesse minimale de fluidisation (Umf) La vitesse au minimum de fluidisation Umf est déterminée à partir de la courbe de **variation de $\Delta P=f(U)$** .

La méthode d'évaluation de Umf expérimentale consiste à déterminer l'intersection de la courbe qui correspond au lit fixe avec le palier correspondant au lit fluidisé ; c'est le point de transition entre l'état fixe et fluidisé.

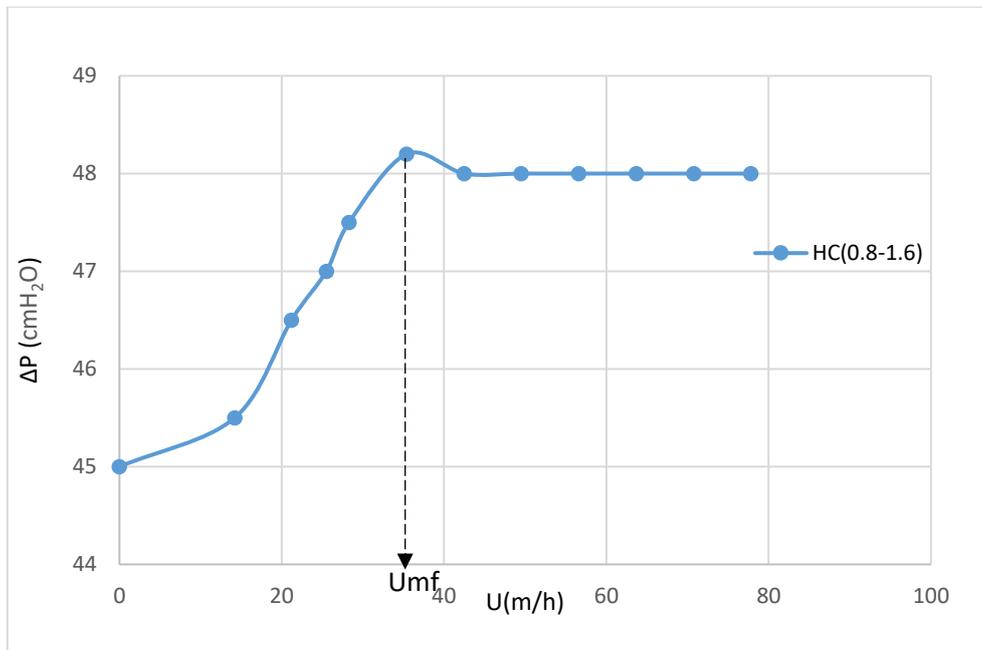


Figure III.14 : Variation des pertes de charges en fonction de la vitesse d'écoulement (Haute densité (0,8-1,6))

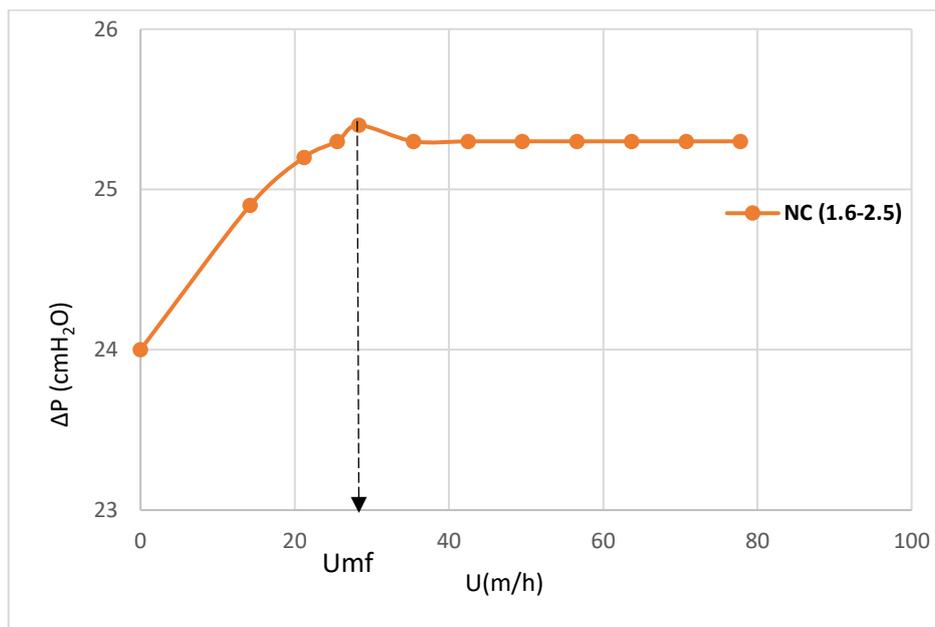


Figure III.15 : Variation des pertes de charges en fonction de la vitesse d'écoulement (normal densité (1,6-2,5))

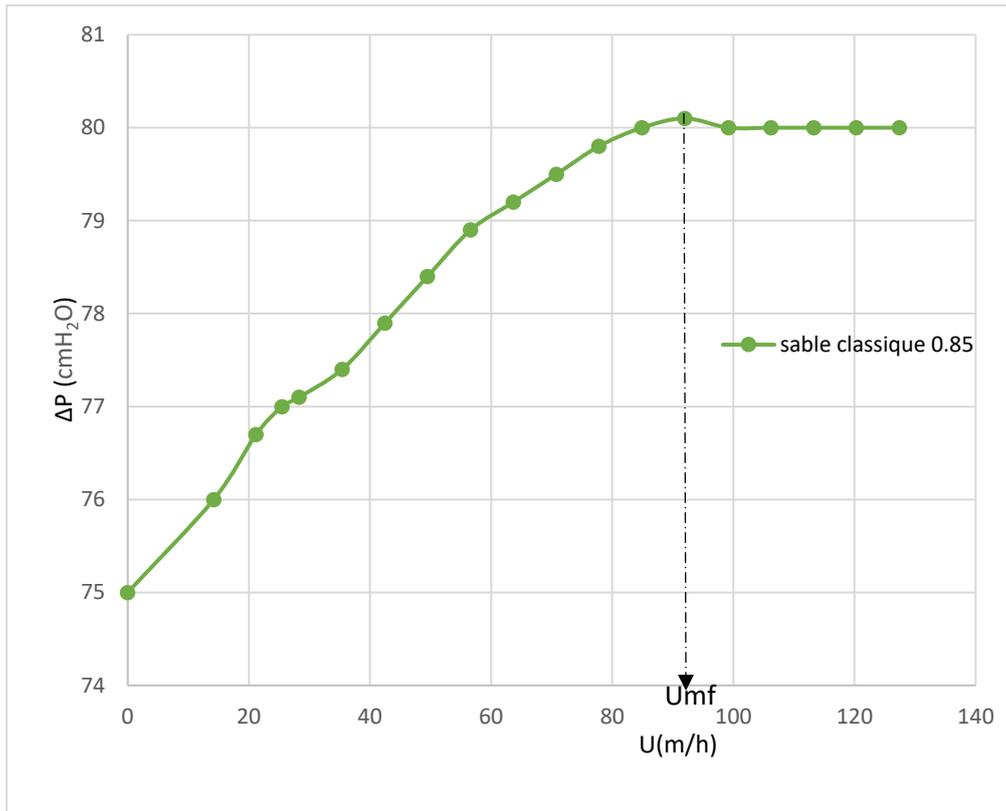


Figure III.16 : Variation des pertes de charges en fonction de la vitesse d'écoulement (sable classique 0,85)

Tout d'abord, observons les vitesses minimales de fluidisation pour chaque sable. Pour le sable classique 0,85 Figure III.16, la vitesse minimale de fluidisation semble être d'environ 92 m/h, tandis que pour le sable normal densité Figure III.15 et le sable Haute densité Figure III.14, la vitesse minimale de fluidisation reste constante à 25,5 m/h et 35,4 m/h respectivement. Ces vitesses minimales de fluidisation sont les vitesses en dessous desquelles le lit ne se fluidise pas de manière adéquate.

L'étude présente les résultats de la variation des pertes de charges en fonction de la vitesse d'écoulement dans un lit fluidisé, en comparant les performances du sable classique 0,85, du sable Haute densité (0,8-1,6) et du sable normal densité (1,6-2,5). Les pertes de charges sont exprimées en unité de pression (mm de colonne d'eau) et sont mesurées à différentes vitesses d'écoulement (U) en mètres par heure (m/h).

Le tableau III.16 suivant présente la vitesse minimale de fluidisation des sable normal densité 1,6-2,5

Haute densité 0,8-1,6 et sable classique 0,85.

Tableau III.16 : vitesse minimale de fluidisation des sable normal densité 1.6-2.5 Haute densité 0.8-1.6 et sable classique 0.85

Fraction	Normal densité 1,6-2,5	Haute densité 0,8-1,6	Sable classique 0,85
Umf	25,5 m/h	35,4 m/h	92 m/h

Les résultats montrent que les pertes de charges dans le sable classique 0,85 augmentent progressivement avec l'augmentation de la vitesse d'écoulement. Cela indique une résistance accrue à l'écoulement du fluide à travers le lit fluidisé, ce qui entraîne des pertes de charges plus élevées. Par contre, les courbes pour les sables Haute densité et normal densité montrent des pertes de charges relativement stables et constantes, indépendamment de la vitesse d'écoulement. Cela suggère une meilleure fluidisation du lit et une réduction significative des pertes de charges par rapport au sable classique 0,85.

L'écart entre les pertes de charges observées pour les différents sables est également notable. Le sable classique 0,85 présente les pertes de charges les plus élevées, suivies du sable Haute densité et du sable NC, qui affichent des pertes de charges considérablement plus faibles et comparables. Cela met en évidence l'efficacité supérieure des sables Haute densité et normal densité dans le maintien d'une circulation fluide et d'une résistance minimale à l'écoulement.

Ces résultats suggèrent que l'utilisation de sables Haute densité et normal densité dans un lit fluidisé peut permettre une meilleure gestion de l'écoulement des fluides, en minimisant les pertes de charges et en favorisant une circulation plus efficace. Cela peut avoir des avantages pratiques significatifs, tels qu'une réduction de la consommation d'énergie nécessaire pour surmonter les pertes de charges, une amélioration de la capacité de traitement et une diminution de l'usure du système.

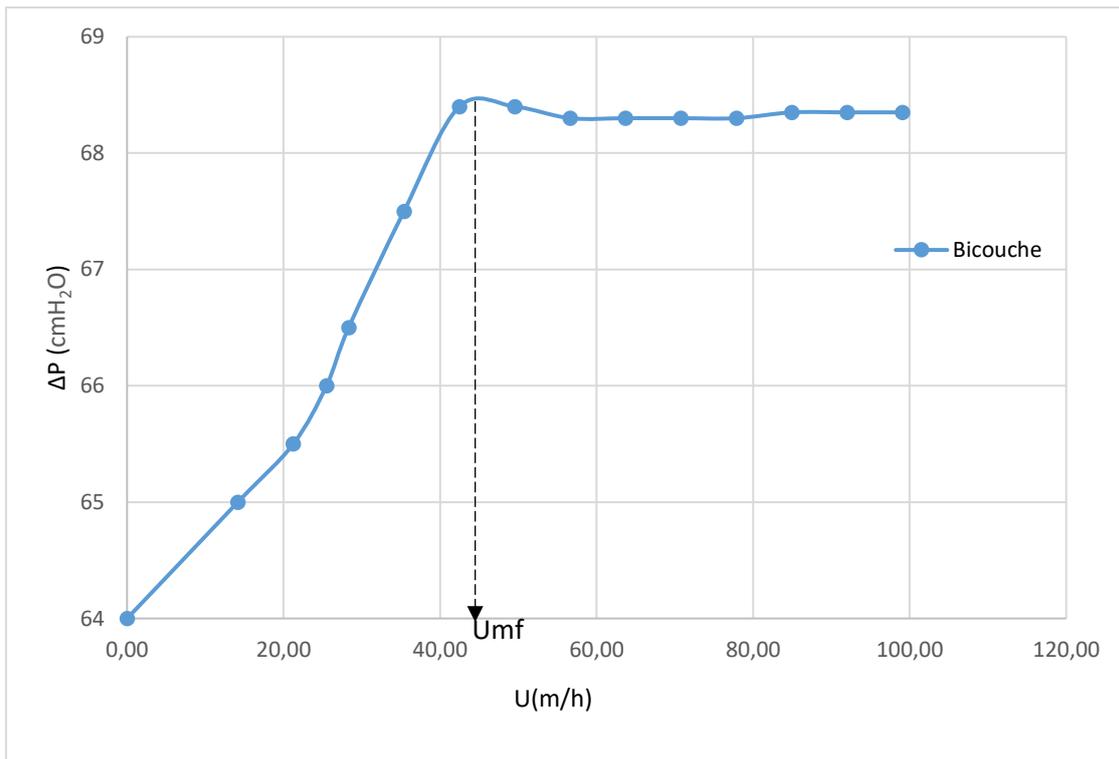


Figure III.17 : Variation des pertes de charges en fonction de la vitesse d'écoulement

Bicouche

En analysant les résultats Figure III.17 de la variation des pertes de charges en fonction de la vitesse d'écoulement pour la bicouche composée de sable Haute densité (0,8-1,6) et sable normal densité (1,6-2,5), il est important de prendre en considération les vitesses minimales de fluidisation.

Les données montrent que les pertes de charges augmentent de manière régulière avec l'augmentation de la vitesse d'écoulement. Cependant, il est intéressant de noter qu'à partir d'une vitesse de 42,46 m/h, les pertes de charges atteignent un plateau et restent relativement stables autour de 68,4 cmH₂O.

Les résultats de cette étude démontrent que l'utilisation des sables Haute densité (0,8-1,6) et normal densité (1,6-2,5) dans le rétro-lavage d'un filtre à sable peut réduire les pertes d'eau par rapport à l'utilisation du sable classique 0,85.

En observant la variation de la hauteur en fonction du débit et les vitesses minimales de fluidisation, nous constatons que les sables Haute densité et normal densité présentent une expansion plus progressive du lit fluidisé par rapport au sable classique 0,85. Cela indique une meilleure fluidisation et une répartition plus homogène de l'eau lors du rétro-lavage. En conséquence, moins d'eau est perdue pendant le processus de rétro-lavage.

Il convient de noter que la réutilisation des eaux de rétro-lavage n'est pas possible, mais en utilisant les sables normal densité et Haute densité, la quantité totale d'eau nécessaire pour le rétro-lavage est significativement réduite. Cela permet de minimiser les besoins en eau fraîche et de contribuer à une utilisation plus durable des ressources en eau.

ce qui représente un avantage important en termes d'efficacité et de durabilité. Ces résultats encouragent l'adoption de ces types de sables dans les systèmes de filtration pour réduire la consommation d'eau et promouvoir une gestion plus responsable des ressources hydriques.

III.2.1.3. Evolution de la porosité du média filtrant

La courbe présentée dans la figure III.18 illustre la variation de la porosité en fonction de la vitesse de fluidisation pour le sable normal densité 1,6-2,5. L'analyse des données révèle plusieurs observations importantes.

En analysant les premières valeurs, nous pouvons constater qu'à une vitesse de fluidisation nulle (0), la porosité est de 50,28. le matériau conserve une certaine porosité inhérente, en raison de sa structure ou de sa composition Lorsque la vitesse de fluidisation est de 25,5m/h , la porosité augmente légèrement à 50,67.

Pour la vitesse minimale de fluidisation (25.5m/h) la porosité atteint une valeur de 51,69% pour une expansion du lit de 1,72 %.

Cette légère augmentation peut suggérer que même de faibles vitesses de fluidisation peuvent avoir un léger effet sur l'ouverture des pores.

Ensuite nous observons une augmentation régulière de la porosité à mesure que la vitesse de fluidisation augmente. Les valeurs de porosité atteignent 65,53 à une vitesse de fluidisation de 70,8.

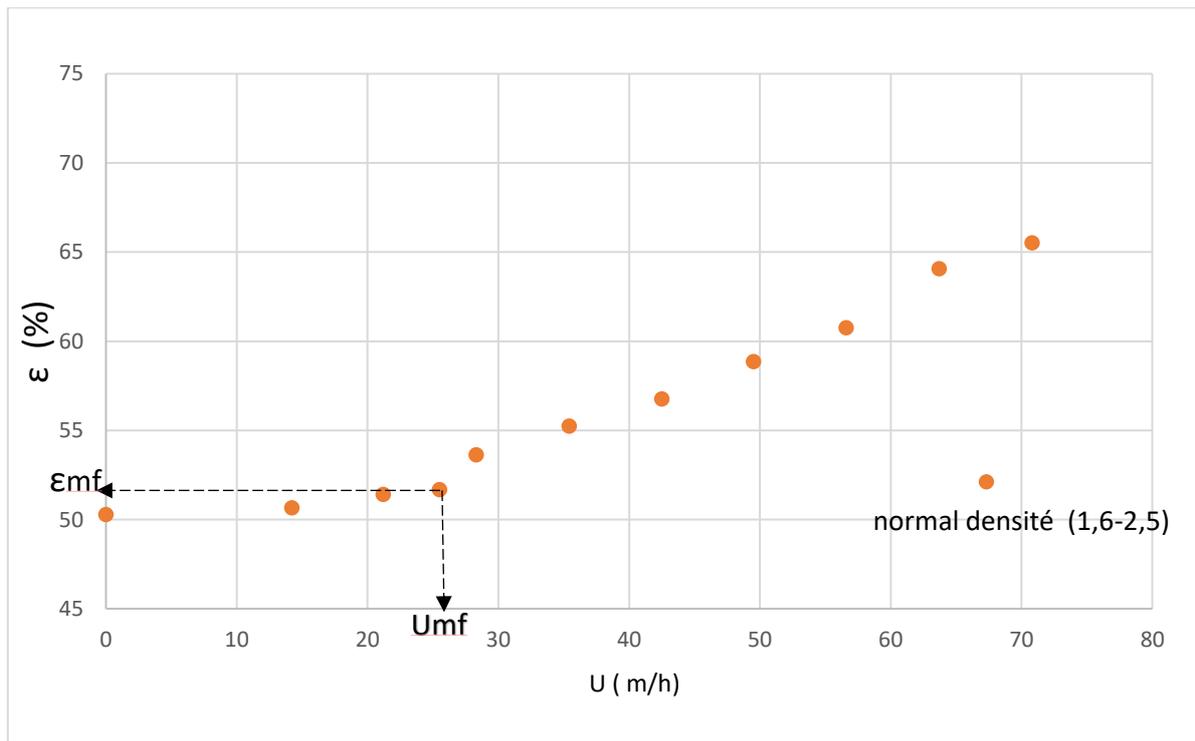


Figure III.18: Variation de la porosité du lit en fonction de la vitesse d'écoulement (normal densité (1,6-2,5))

Chapitre III : Résultats et discussions

La courbe présentée dans la figure III.19 illustre la variation de la porosité en fonction de la vitesse de fluidisation pour le sable Haute densité 0,8-1,6 . L'analyse des données révèle plusieurs observations importantes

Tout d'abord Les premières valeurs de vitesse de fluidisation (de 0 à 30) montrent une légère augmentation de la porosité. Cependant, cette augmentation est relativement faible et progressive.

Pour la vitesse minimale de fluidisation (35,4 m/h) la porosité atteint une valeur de 57,36% pour une expansion du lit de 13,77 %.

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.

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

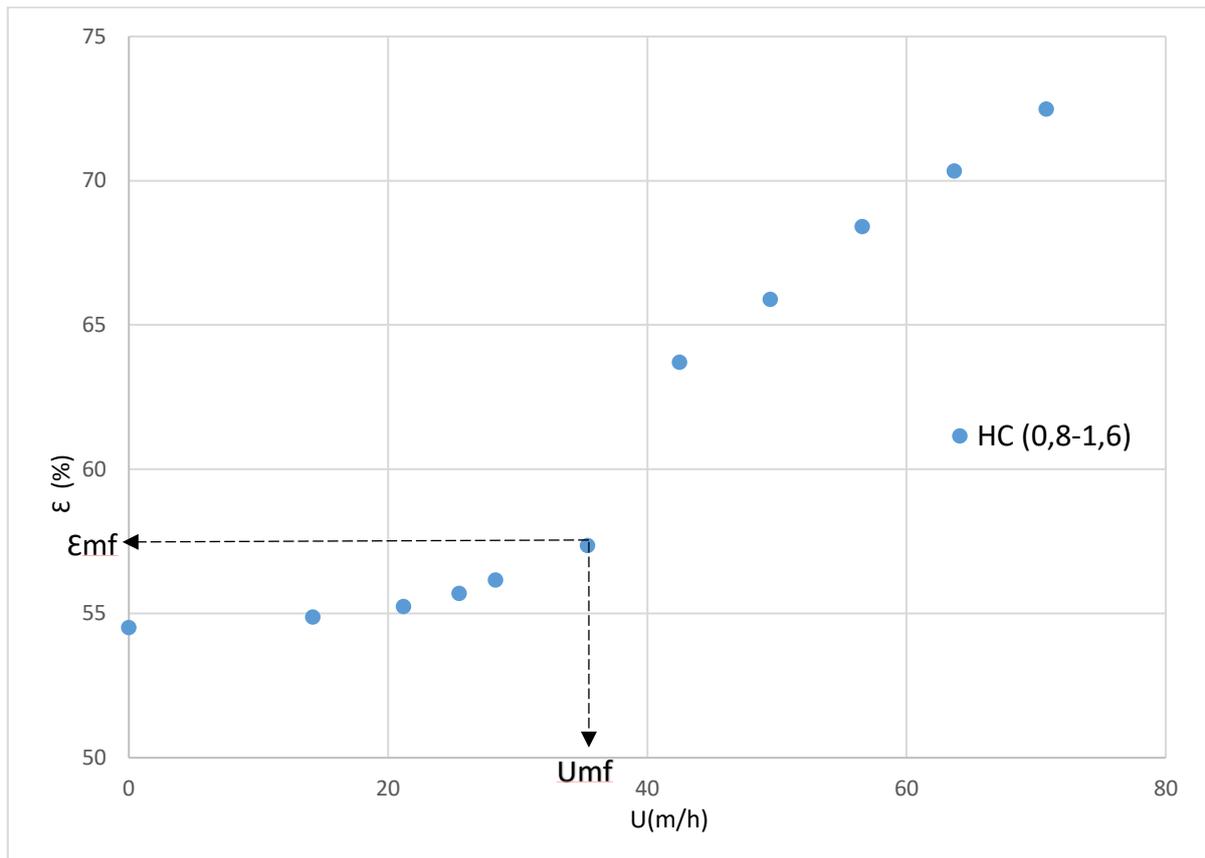


Figure III.19 : Variation de la porosité du lit en fonction de la vitesse d'écoulement (Haute densité (0,8-1,6))

Chapitre III : Résultats et discussions

La figure III.20 représente la courbe de variation de la porosité en fonction de la vitesse de fluidisation pour le sable classique 0.85.

En observant les données, nous constatons que la porosité initiale reste constante pour les premières valeurs de vitesse de fluidisation (de 0 à 20 m/h), avec une porosité de 39,65 %. Cela indique qu'il n'y a pas de variation significative de la porosité dans cette plage de vitesses de fluidisation.

À partir d'une vitesse de fluidisation de 35m/h, la porosité commence à augmenter légèrement et de manière progressive. Nous observons une augmentation régulière de la porosité à mesure que la vitesse de fluidisation augmente.

Pour la vitesse minimale de fluidisation (92 m/h) la porosité atteint une valeur de 45,50 % pour une expansion du lit de 24,85%.

Entre les vitesses de fluidisation de 70 et 85, nous observons une augmentation significative de la porosité. La porosité atteint son maximum à une vitesse de fluidisation de 85m/h, avec une valeur de 58,11 %. Cela indique une augmentation notable de la quantité d'espaces vides ou de pores dans le matériau à des vitesses de fluidisation élevées.

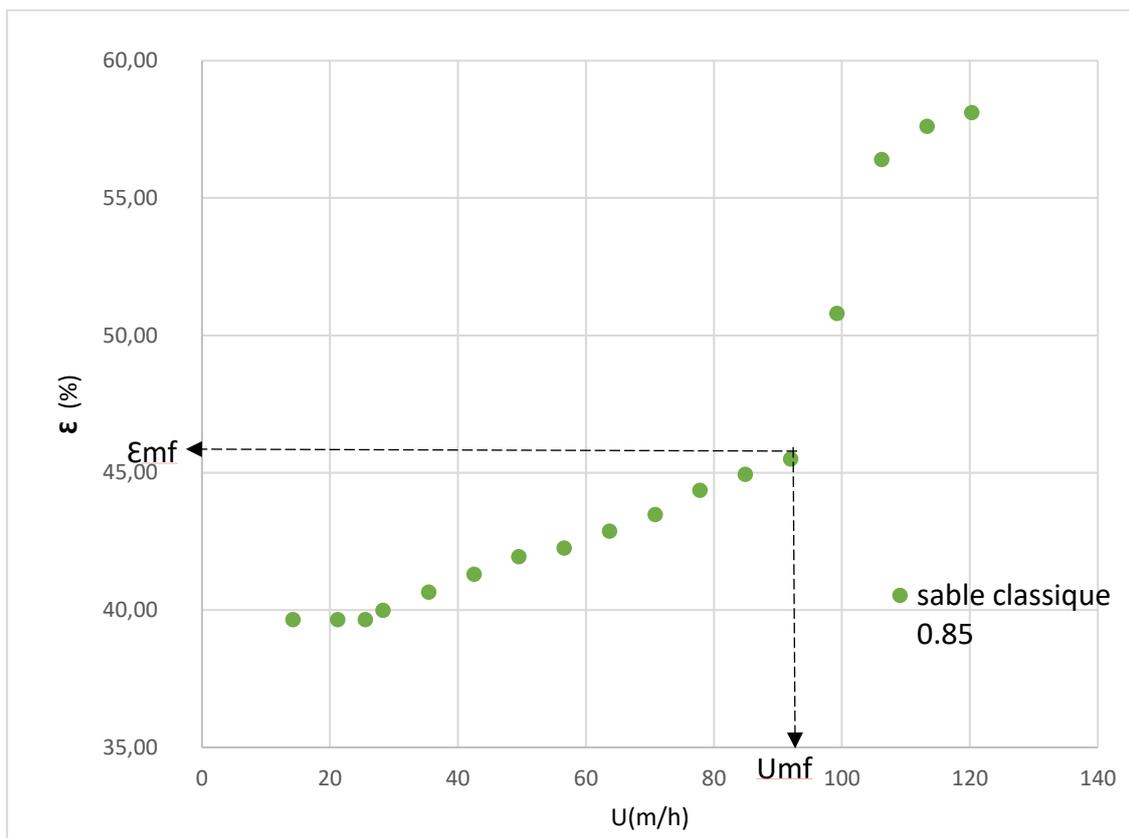


Figure III.20 : Variation de la porosité du lit en fonction de la vitesse d'écoulement (sable classique 0,85)

Chapitre III : Résultats et discussions

Le tableau III.17 présente Hydrodynamique fluidisation des sables (Sable classique 0,85, ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6, ALGEXPAN normal densité 1,6-2,5).

Les résultats montrent des différences significatives entre ces matériaux.

Tableau III.17: Hydrodynamique fluidisation des sables (Sable classique 0.85, ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6, ALGEXPAN normal densité 1,6-2,5)

Type de sable	La vitesse minimale de fluidisation Umf(m/h)	La porosité minimale de fluidisation ϵ_{mf} (%)	La perte de charges ΔP (cmH ₂ O)	Le débit (L/h)	Expansion du lit (%)
Sable classique 0,85	92	45,50	80,1	70	24,85
ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6	35,4	57,36	48,2	30	13,77
ALGEXPAN normal densité 1,6-2,5	25,5	51,69	25,4	20	1,72

Le sable classique 0,85 nécessite une vitesse élevée ($U_{mf} = 92$ m/h) pour se fluidiser, tandis que le sable expansés ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6 a une valeur d' U_{mf} plus faible (35,4 m/h) et le sable expansés ALGEXPAN normal densité 1,6-2,5 a la plus basse valeur d' U_{mf} (25,5 m/h). Ces résultats soulignent l'importance de choisir le sable approprié en fonction des exigences spécifiques du système de filtration. La vitesse minimale de fluidisation est un paramètre essentiel pour assurer une performance optimale du lit fluidisé lors du rétro lavage, garantissant ainsi une filtration efficace et une amélioration de la qualité de l'eau potable.

Les deux sables expansés ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6 et normal densité 1,6-2,5 est de porosité 57,36%, 51,69% respectivement, présente la plus haute porosité, ce qui suggère une meilleure capacité d'écoulement des fluides à travers le matériau. Cela peut contribuer à une filtration plus efficace en permettant une meilleure circulation de l'eau à travers le lit filtrant. Le sable classique 0,85 affiche une porosité légèrement inférieure 45,50%.

La porosité élevée du sable expansés ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6 et ALGEXPAN normal densité 1,6-2,5 peut être considérée comme un avantage, car elle favorise un meilleur écoulement et une meilleure performance de filtration.

Le sable classique 0,85 présente la plus haute perte de charge de 80,1(cmH₂O), ce qui suggère une plus grande résistance au passage de l'eau. Cela peut nécessiter une pression plus élevée pour maintenir un débit adéquat. En revanche, les sables expansés ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6 et normal densité 1,6-2,5 présentent des pertes de charge plus faibles de 48,2(cmH₂O) et 25,4 (cmH₂O) respectivement, indiquant une résistance réduite au passage des fluides. Cela peut être bénéfique car cela permet un débit d'eau plus élevé à travers le système de filtration.

Le sable classique 0,85 présente la plus grande expansion du lit de 24,85%, ce qui peut être attribué à sa granulométrie et à ses propriétés particulières. Cependant, une expansion excessive du lit peut entraîner des problèmes tels que la formation de canaux ou le colmatage du lit filtrant,

Chapitre III : Résultats et discussions

ce qui peut réduire l'efficacité de la filtration. En revanche, les sables expansés ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6 et normal densité 1,6-2,5 présentent des expansions de lit plus faibles de 13,77% et 1,72% respectivement, ce qui peut indiquer une meilleure stabilité et un risque réduit de colmatage.

IV. Conclusion générale

IV. Conclusion générale

Cette étude sur l'utilisation d'un média filtrant D'ALGEXPAN à base d'argile expansé pour la filtration des eaux potables a fourni des informations précieuses sur plusieurs paramètres clés liés aux performances et à la durabilité de ce matériau.

- L'étude granulométrique et morphologique a montré que la forme des grains est angulaire et irrégulière.

-L'observation microscopique a montré la présence de larges pores, ces interstices dans les particules de sable favorise la rétention de certaines particules par adsorption ainsi que le développement de micro-organismes qui vont améliorer les performances de la filtration.

-Les techniques expérimentales (SEM / EDX, XRF) utilisées ont mis en évidence les phases minérales et la composition chimique de l'argile analysée. L'argile utilisé dans la fabrication de notre sable expansé est essentiellement constituée de kaolinite, de quartz, de calcite et de vermiculite en tant que minéraux argileux associés.

-Les masses volumiques des sables normal densité 1,6-2,5 (1110 kg/m³) et celui de Haute densité 0,8-1,6 (1660 kg/m³) sont relativement plus faibles que celles trouvées pour le sable classique de 2650 kg/m³. Ce qui confère à notre sable une légèreté qui sera mise en évidence lors des retro avalages. Un autre point très important ces différences de masse volumique en le normal densité 1,6-2,5 et le Haute densité 0,8-1,6 nous permettra de les utiliser pour faire un filtre bicouche avec le même matériau.

- Les sables expansés ALGEXPAN NC1,6-2,5 et Haute densité 0,8-1,6, présentent des porosités élevées (60% et 58% 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 et une rétention plus importante.

Comparativement au sable classique qui présente une faible porosité de 40 %.

-Le sable classique 0,85 a une U_{mf} élevée de 92 m/h et la plus haute perte de charge de 80,1 (cmH₂O), ce qui suggère une plus grande résistance au passage de l'eau. En revanche, les sables expansés ALGEXPAN Haute densité 0,8-1,6 et normal densité 1,6-2,5 ont des U_{mf} plus faibles (35,4 m/h et 25,5 m/h respectivement) et des pertes de charge réduites (48,2 cmH₂O et 25,4 cmH₂O respectivement), indiquant une résistance réduite au passage des fluides. Cela permet un débit d'eau plus élevé à travers le système de filtration, ce qui contribue à une filtration efficace et à une amélioration de la qualité de l'eau potable.

ALGEXPAN est un milieu filtrant innovant dans le prétraitement dans les usines de dessalement et dans le traitement des eaux notamment dans l'opération de filtration lors de la production d'eau potable. Ce milieu filtrant est obtenu à partir d'argile expansée de fabrication Algérienne ALGEXPAN.

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

1. Porosité plus élevée permettant d'augmenter le cycle de filtration avec des efficacités élevées et une réduction de la perte de charge.

IV. Conclusion générale

2. Réduction de la consommation des eaux de lavages de par le fait d'un cycle de filtration plus lent et d'une masse volumique plus faible du média filtrant.
3. Réduction de la consommation énergétique (moins de lavage) et des coûts de production.
4. Formation d'un filtre bicouche avec le même matériau en modifiant les caractéristiques physiques du même média filtrant.

Ce nouveau matériau permettra d'améliorer les performances du prétraitement dans les usines de dessalement ainsi que dans les usines d'eau potables.

Ce matériau produit localement va remplacer des matériaux importés de l'étranger par nos usines de dessalement et de production d'eau potable. En termes de technologies, ce matériau sera utilisé dans les installations existantes sans changement en améliorant les performances du prétraitement en utilisant moins d'eau de lavage et moins d'énergie.

Références bibliographiques

- [1] Agence américaine de protection de l'environnement (EPA). (2021). Normes et règlements sur l'eau potable. Récupéré de <https://www.epa.gov/dwstandardsregulations>
- [2] Organisation mondiale de la santé (OMS). (2011). Recommandations pour la qualité de l'eau potable (Quatrième édition). Récupéré de <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548151>
- [3] Agence américaine de protection de l'environnement (EPA). (2020). (Note: L'année de publication manque dans la source originale).
- [4] Organisation mondiale de la santé. (2011). Eau potable : Normes de qualité et critères de santé. Récupéré de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/guidelines/fr/
- [5] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec. (2021). Sources d'eau potable. Récupéré de <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/sources.htm>
- [6] Agence de protection de l'environnement des États-Unis. (2020). Sources d'eau potable. Récupéré de <https://www.epa.gov/drinkingwatersources/drinking-water-sources>
- [7] Centers for Disease Control and Prevention. (2021). Water-related Diseases and Contaminants in Public Water Systems. Récupéré de https://www.cdc.gov/healthywater/drinking/public/water_diseases.html
- [8] Agence de protection de l'environnement des États-Unis. (2022). Drinking Water Contaminants. Récupéré de <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/drinking-water-contaminants>
- [9] Agence de protection de l'environnement des États-Unis. (2022). Lead in Drinking Water. Récupéré de <https://www.epa.gov/ground-water-and-drinking-water/basic-information-about-lead-drinking-water>
- [10] Cardot, H. (1999).
- [11] Desjardins, R. (1990).
- [12] Ukiwe, C., et al. (2013).
- [13] Nozaic, D., & Freese, L. E. (2004).

Références bibliographiques

- [14] Saritha, M., et al. (2017). Sarpong, A., & Richardson, D. (2010).
- [15] Water Environment Federation. (2013). Wastewater Treatment Fundamentals. Alexandria, VA: Water Environment Federation.
- [17] Harris, J. E., et al. (1966). Letterman, R. D., et al. (1999).
- [18] Amirtharajah, A., & O'Melia, C. R. (1990).
- [19] Dharmappa, H. B., et al. (1993).
- [20] Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec. (2021). Traitement de l'eau potable. Récupéré de <https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/potable/traitement.htm>
- [21] Ndiongue, S. (1999).
- [22] Parsons, S. J., Farmer, J. C., & Ainger, S. A.
- [23] Valavala, P. K., et al. (2011). Degremont, S. A. (1995).
- [24] Randrianarivelo, T. N. (2005). Étude numérique des interactions hydrodynamiques fluide/solide : application aux lits fluidisés. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux.
- [25] Delebarre, A. (2001). Archétypes et pratiques de l'innovation : le cas des lits fluidisés. *Gérer et comprendre*, N° 65, 19-30
- [26] Badens, E. (2013). Mise en forme de principes actifs pharmaceutiques en phase supercritique. *Technique de l'ingénieur*.
- [27] Azerradj, S. (1997). Contribution à l'étude expérimentale de la fluidisation liquide-solide en milieu polydispersé. Thèse Magister, Université de Bejaia.
- [28] Coulson and Richardson. (2002). *Particle Technology and Separation Processes* (2nd ed.). Pergamon.
- [29] Aiche, B. L. (2009). Modification des propriétés de surface de poudre en lit fluidisé assisté par une post décharge [Thèse de doctorat, Université de Toulouse].
- [31] Bounaceur, A. (2008). Interaction lit fluidisé de particules solides-rayonnement solaire concentré pour la mise au point d'un procédé de chauffage de gaz à plus de 1000 K [Thèse de doctorat, École Nationale Supérieure des Mines à Paris].
- [32] Tannous, K., et al. (1994). Caractéristiques au minimum de fluidisation et expansion des couches fluidisées de particules de la catégorie D de Geldart. *Powder Technology*.

Références bibliographiques

- [33] Trambouse, et al. (1984). Les réacteurs chimiques. Éditions Technip.
- [35] Azerradj, S. (1997). Contribution à l'étude expérimentale de la fluidisation liquide-solide en milieu polydispersé [Thèse Magister, Université de Bejaia].
- [36] Kjellström, E., Svantesson, M., & Elert, M. (2014). Filtralite®: High-Quality Expanded Clay as Filtration Media. *Filtration + Separation*, 51(6), 26-28.
- [37] Duan, Y., & Gregory, J. (2003). Coagulation by hydrolysing metal salts. *Advances in Colloid and Interface Science*, 100-102, 475-502.
- [38] Gourouza, M., Zanguina, A., Natatou, I., Boos, A., *Rev. CAMES - Sciences Struct. Mat.*, 1, Déc. (2013), 29.
- [39] Touhtouh, D., Effaleh, E.M., & Moujahid, Y. (2014). *J. Mater. Environ. Sci.*, 5 (S2), 2535.
- [40] Sorgho, B., Paré, S., Guel, B., Zerbo, L., Traoré, K., & Persson, I. (2011). *J.Soc. Ouest-ANfr. Chim.*, (031), 50.
- [43] (-Epsilon 3) XL software, version 1.3.A.(8.24) produced by PANALytical B.V., Netherlands.
- [44] Picco, S. J., Abba, M. C., Mastioli, G. A., Fazzio, L. E., Rosa, D., De Luca, J. C., & N. F.