

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA

RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE 20 AOÛT 1955 SKIKDA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DÉPARTEMENT DE GÉNIE DES PROCÉDÉS



Laboratoire d'anticorrosion- Matériaux, Environnement et Structures « LAMES »

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Génie des procédés

Spécialité : Ingénierie & Gestion de l'Eau

*UN PROJET POUR OBTENIR LE CERTIFICAT D'UNE INSTITUTION EMERGENTE DANS LE CADRE DE
LA RESOLUTION MINISTERIELLE 1275*

INTITULÉ

*ETUDE DE L'EFFICACITÉ SYNERGÉTIQUE D'UNE MATRICE D'EAU A
POTABILISATION UTILISANT UN BIO-FILTRE (ALGFILT)*

Soutenu le /11/2023

Réalisé par : Lahlou Belkis

Encadré par : Pr. Chiha Mahdi

Morsada Wiam

Dr. Ahmed Chekkat

Année Universitaire 2022- 2023

REMERCAIMENT

En premier lieu, nous tenons à remercier le bon DIEU, tout puissant, de nous avoir donné la force pour survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Nos très chers parents

*Nous adressons aussi nos remerciements : A notre encadrant , Pr: M. **CHILHA** Professeur à l'université de Skikda pour la qualité de son encadrement exceptionnel. Et A Mme. **F. AHMED CHEKKAT** Ainsi que Tous les enseignants de l'université 20 AOÛT 1955 SKIKDA durant le cycle d'étude.*

*Nous remercions aussi toutes les personnes du laboratoire LAMES : madame **AMINA BOUCIREB** ingénieur de laboratoire au niveau de hall technologique, madame **KAHOUK KHADIDJA** et Nesrine **BOUGOUZI** doctorantes au niveau de laboratoire du groupe de recherche LAMES.*

Nos vifs remerciement vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'elles ont portées à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leur proposition.

Afin de n'oublier personne, nos vifs remerciements s'adressent à tous ceux qui nous ont aidées à la réalisation de ce modeste mémoire.

Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail :

- ✧ *A Ma mère, **Melloul Farida**, pour tous ses sacrifices, son amour et ses prières tout au long de mes études. Que Dieu le Tout-Puissant vous préserve et vous garde près de moi.*
- ✧ *À la mémoire de mon cher père, **Mohamed Sallah**, dont je suis fière d'être sa fille.*
- ✧ *À mon très cher frère, **Mohamed Sofiane**, qui a toujours été présent pour moi, ainsi qu'à ma petite sœur, la prune de mes yeux, **Assia**.*
- ✧ *À ma meilleure roommate, **Aya**, merci d'être entrée dans ma vie, sans toi ça aurait été différent.*
- ✧ *À mes chères cousines, **Sara, Rania, Nadine et Hadil**.*
- ✧ *A mes chères copines avec lesquelles j'ai partagé des beaux moments : **Amina, Nounou, Dalia, Maya, Rayenne, Nina et Doudou**. Merci pour toutes ces années d'amitié solide qui ont apporté tant de joie à ma vie quotidienne.*
- ✧ *À mon binôme, **Wiam**, merci d'être à la hauteur et pour ton soutien.*
- ✧ *À tous mes camarades en génie des procédés de Constantine et de Skikda, un par un, en particulier : **Wiam, Ghozlane, Maissa, Rayenne, Yasmine, Lotfi, Anouar, Abd el Djallil et Hani**.*
- ✧ *À Mme. **Ghannem Khadoudja**, ma deuxième mère, pour tout son soutien et sa présence.*
- ✧ *À toute ma famille, en particulier ma tante **Ilhem**, et mes oncles **Fouad et Shérif**.*
- ✧ *À nos futures docteurs rencontrées au laboratoire Lames, en particulier **Khadija Kehoul, Amina Bousireb, Nesrine BOUGOUIZI et Nour el houda Souames**.*
- ✧ *Enfin, A toutes les personnes que j'aime.*

BELKIS

Dédicace

Je dédie cet humble et modeste travail avec grand amour, sincérité et fierté :

❖ *À l'homme mon précieux offre du Dieu, à mon support dans ma vie, qui m'a appris, m'a supporté et ma dirigé, mon cher père,*

❖ *A l'être le plus chère de ma vie, à la source d'amour incessible qui ma bénie avec ses prières, ma mère qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs,*

❖ *A mes chers frères et sœurs, et à toutes les personnes de ma famille,*

❖ *A mon binôme,*

❖ *A tous ceux que j'aime.*

WIAM

Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

INTRODUCTIONS GENERALE..... 1

CHAPITRE I : L'EAU ET L'ENVIRONNEMENT

I.1.Introduction.....3

I.2. L'eau potable.....3

I.3. Les ressource de l'eau.....4

I.3.1. Les eaux souterraines4

I.3.2. Les eaux superficielles5

I.3.3. Eaux de surface5

I.3.4. Les eaux de mer6

I.4. Normalisation de la matrice d'eau à potabilisation8

I.5. Les indicateurs d'évaluation de la matrice d'eau9

I.5.1. Paramètres organoleptiques9

I.5.1. A. La couleur9

I.5.1.B. L'odeur10

I.5.2.Paramètres physiques10

I.5.2. A. Température10

I.5.2.B. Potentiel hydrogène (pH)10

I.5.2.C. Matières en suspension (M.E.S)11

I.5.2.D. Turbidité11

I.5.2.E. La conductivité et la minéralisation	11
I.5.3. Les paramètre chimique.....	11
I.5.3.A.Demande chimique en oxygène(D.C.O)	11-12
I.5.3.B. Demande Biochimique en Oxygène (DBO)	12
I.5.3.C. Carbone organique total (COT)	12
I.5.3.D.Oxygène dissous.....	12
I.5.3.E. Azote total (NT)	12-13
I.5.3.F. Nitrates	13
I.5.3.G. Phosphor total (PT)	13
I.5.4. Autres paramètre	13
I.5.4.A.Hydrocarbures.....	13-14
I.5.4.B.Micropolluant	14
I.6. La pollution	14
I.6.1. Définition de la pollution.....	14
I.6.2. Les types de pollution.....	15
I.6.2.A.Pollution de l'air	15
I.6.2.B.Pollution des sols.....	16
I.6.2.C.Pollution de l'eau	17
I.6.3.l'origine de la pollution de l'eau à potabilisation.....	17
I.6.3.A. La pollution domestique	18
I.6.3.B. La pollution industrielle	18
I.6.3.C. L'agriculture.....	19
I.6.4.Les types de pollution de l'eau à potabilisation.....	19

I.6.4. A. Pollution physique	19
I.6.4.B. Pollution chimique.....	19-20
I.6.4.C. Pollution microbiologique	20
I.6.5. Impact de la pollution de l'eau.....	20
I.6.5.A. Sur environnement	20-21
I.6.5.B. Sur la santé humaine	21
I.6.5.C. Sur l'économie	22
I.7.Conclusion	22
Référence	23-24

Chapitre II : Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

II.1. Introduction	25
II.2. Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux	25
II.2.1. Les procédés non conventionnels	25
II.2.1.A Les procédés d'oxydation avancée.....	25-26
II.2.1.B Les procédés membranaires assisté	26
II.2.1.C Electro-coagulation	29-30
II.2.2. Les procédés conventionnels de traitement des eaux.....	31
II.2.2.A. coagulation-floculation.....	32
II.2.2.B. Flotation.....	32
II.2.2.C. Sedimentation-decantation	33-34
II.2.2.D. désinfection.....	34
II.2.2.E. Filtration.....	35
II.2.2.E.1. Définition	35
II.2.2.E.2. Principe de fonctionnement	35-36
II.2.2.E.3. Utilisation de la filtration	36

II.2.2.E.4.Mécanisme de filtration	36
II.2.2.E.5. Caractéristiques des matériaux filtrants	37
II.2.2.E.6. Les technologie de filtration.....	39
II.2.2.E.7. Les types de filtration (Les modes de filtration)	41
II.3 L'argile.....	49
II.3.A. Définition.....	49
II.3.B. Structure	49
II.3.C. Classification des argiles	52
II.3.D.Les différentes familles d'argiles	54
A. kaolin.....	54
A.1. Propriétés physico-chimique du kaolin	55
A.2. Utilisation du kaolin	55
B. Smectites.....	56
C. Illites	60
D. Vermiculites	61
E. Chlorites	62
II.3.E. Les propriétés des argiles	62
II.4. L'adsorption	68
II.4.2. Classification des phénomènes d'adsorption (type)	68
II.4.3. Mécanisme de l'adsorption.....	70
II.4.4. Les Facteurs influençant d'adsorption	71
II.4.5. Les différents types d'adsorbants.....	72
II.5. Conclusion	73
Reference	74-79
III.1 Matériaux de l'étude	81
III.2. Méthode	82
III.2.1.préparation de l'argile	82

III.2.2.Préparation de la pâte	84
III.2.3. La cuisson	86-87
III.2.4.Les protocoles d'analyse des procédés physico-chimique de traitement des eaux	88
III.2.5.Protocole expérimental de la filtration	95
III.3.Le filtre final	97
IV. Résultat et discussion	99
IV.1.Résultat de lavage de l'argile dans le prétraitement	99
IV.2 .Les filtres après cuisson.....	100
IV.3.Les résultat de turbidité des filtres	101
Conclusion générale.....	107
Référence bibliographique	108
BMC	111

Liste des figures

CHAPITRE I :

Figure I.1. Les eaux souterraines	5
Figure I.2. Eaux de surface	6
Figure I.3. Les eaux de mer	6
Figure I.4. Pollution de l'air	16
Figure I.5. Pollution des sols.....	17
Figure I.6. La pollution domestique	18
Figure I.7. La pollution industrielle.....	18
Figure I.8. Pollution microbiologique	20

CHAPITRE II :

Figure II.1 : les différents procédés d'oxydation avancé.....	26
Figure II.2 : Principe de l'osmose inverse	27
Figure II.3 : principe de l'électrodialyse	29
Figure II.4 : Principe de l'électrocoagulation.....	30
Figure II.5 : le principe de precedes conventionnel de traitement des eaux	31
Figure II.6 : le principe de la coagulation-floculation	32
Figure II.7 : le principe du processus de flotation	33
Figure II.8 : la différence entre la sédimentation et la décantation.....	34
Figure. II.9 : Désinfection de l'eau de citernes	35
Figure. II.10 : Unité de nanofiltration	39
Figure. II.11 : Traitement de l'eau par ultra-filtration	40
Figure. II.12 : principe de microfiltration	41
Figure II.13 : filtration sur support	42

Figure. II.14 : Schéma de La filtration sur lit filtrant.....	43
Figure. II.15 : Filtration lente.....	44
Figure II. 16 : Filtres sous pression	46
Figure. II.17 : Filtration sur charbon actif.....	47
Figure. II.18 : Filtration sur charbon actif.....	48
Figure. II.19 : Structure générale des phyllosilicates.....	50
Figure. II.20 : Constituants élémentaires du feuillet d'argile	51
Figure. II.21 : Agencement des tétraèdres et des octaèdres en feuillets 1/1 (Kaolinite) .	52
Figure. II.22 : Classification des minéraux argileux	53
Figure. II.23. Kaolin	54
Figure II.24. Structure de la Kaolinite	55
Figure II.25. la kolin dans la poterie.....	56
Figure II.26. Structure des Smectites.	56
Figure II.27. Smectites.....	57
Figure II.28. Montmorillonite	58
Figure II.29. Labentonite	59
Figure II.30. Structure des Illites.	60
Figure II.31. Illites	61
Figure II.32. Vermiculites.....	61
Figure II.33. Structure des Chlorites.....	62
Figure II.34. Chlorites.....	62
Figure II.35. Schéma sur l'adsorption	68
Figure II.36. Schéma sur l'adsorption physique.....	69

CHAPITRE III

Figure III.1. Schéma explicatif sur le protocole de prétraitement	82
Figure III.2 argile a l'état brute (avant lavage)	83
Figure III.3. le mélange après décantation	83
Figure III.4. l'état finale de l'argile après lavage	84

Figure III.5. schema explicatif sur les étapes de préparation de filtre	85
Figure III.6. les filtres de 3 ^{ème} vague.....	87
Figure III.7. les filtres de 4 ^{ème} vague.....	87
Figure III.8. les filtres mélangé avec le charbon	88
Figure III.9. le pH-mètre	88
Figure III.10. le thermomètre.....	89
Figure III.11. turbidimètre.....	90
Figure III.12. Conductimetre	91
Figure III.13. Schéma explicatif sur la filtration	96
Figure III.14. Schéma explicatif sur la filtration.....	97
Figure III.15. le filtre de l'intérieure	98
Figure III.16. le filtre de l'extérieure.....	98
Figure III.17. les billes	99
Figure IV.1. Diagramme qui présente la turbidité de D2 V3 en fonction de n de cycle de filtration	102
Figure IV.2. Diagramme qui présente la turbidité de D3 V3 en fonction de n de cycle de filtration	102
Figure IV.3. Diagramme qui présente la turbidité de D4 V3 en fonction de n de cycle de filtration	103
Figure IV.4. Diagramme qui présente la turbidité de D5 V3 en fonction de n de cycle de filtration	103
Figure IV.5. Diagramme qui présente la turbidité de D6 V3 en fonction de n de cycle de filtration	104
Figure IV.6. Diagramme qui présente la turbidité de D1 V4 en fonction de n de cycle de filtration	104
Figure IV.7. Diagramme qui présente la turbidité de D2 V4 en fonction de n de cycle de filtration	105
Figure IV.8. Diagramme qui présente la turbidité de D3 V4 en fonction de n de cycle de filtration	105

Listes des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1: Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines (Degremont, 2005).	7-8
Tableau I.2 : Norme de qualité de l'eau potable.	9

Chapitre II

Tableau II.1. Propriétés physico-chimiques de la montmorillonite.....	58
Tableau II.2. Classification des argiles selon leurs propriétés de gonflement	63-64
Tableau II.3. Capacité d'échange de cations (C.E.C) et surface spécifique totale.....	65
Tableau II.4. Surface spécifique des particules argileuses	67
Tableau II.5. Résumé des propriétés de la physisorption et de la chimisorption	70

Chapitre III

Tableau III.1. des informations sur le filtre finale	99
Tableau IV.1. Résultat de pH de lavage 1 de l'argile dans le prétraitement	100
Tableau IV.2. Résultat de pH de lavage 2 de l'argile dans le prétraitement	100
Tableau IV.3. Résultat de pH de lavage 3 de l'argile dans le prétraitement	100
Tableau IV.4. Les résultat de turbidité des filtres	101

Liste Des Abréviations

OMS : organisation mondiale de la santé.

MES : matières en suspension.

DCO : demande chimique en oxygène.

DBO : demande biologique en oxygène.

COT : carbone organique total.

T : température.

PH : potentiel d'hydrogène.

NT : azote total.

PT : phosphore total.

V : volume.

CMA : concentration maximale admissible.

CR : concentration de référence.

°C: Degrée Celsius.

POA : procédés d'oxydation avancée.

OI : osmose inverse.

P : Pression.

Résumé

Cette étude met en évidence la complexité de l'efficacité des bio filtres dans la purification de l'eau potable , soulignant la nécessité d'une surveillance continue et d'une adaptation locale, tout en offrant des perspectives pour améliorer la conception des systèmes de purification de l'eau à base de bio filtres.

Mot clés: bio filtres, purification, l'eau potable.

Abstract

This study highlights the complexity of the effectiveness of bio filters in water purification, highlighting the need for continuous monitoring and local adaptation, while providing perspectives for improving the design of water purification systems Water based on bio filters.

Keywords: bio filters, purification, water.

ملخص

تسلط هذه الدراسة الضوء على مدى تعقيد فعالية المرشحات الحيوية في تنقية مياه الشرب، مع تسليط الضوء على الحاجة إلى المراقبة المستمرة والتكيف المحلي، مع تقديم وجهات نظر لتحسين تصميم أنظمة مياه الشرب وتنقية المياه باستخدام المرشحات الحيوية.

كلمات البحث : المرشحات الحيوية، تنقية، مياه الشرب.

Introduction générale

L'eau est une ressource vitale pour notre planète et pour l'humanité. Sa disponibilité et sa qualité ont un impact direct sur notre santé, notre économie et notre environnement. Dans ce contexte, la gestion et le traitement des eaux sont devenus des enjeux majeurs. Les procédés de traitement des eaux jouent un rôle essentiel dans la préservation de la qualité de l'eau et dans la fourniture d'eau potable sûre à la population. [1] [2]

L'eau potable est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain, cette dernière peut contenir des substances polluantes, c'est pourquoi, elle a besoin d'être protégée, traitée et économisée. [3]

L'objectif de notre projet : développement du premier bio filtre à base d'un substrat naturel algérien locale (région de GUELMA). Compact et facile à installer qui purifie l'eau de robinet en peu de temps améliorant ainsi son goût et son odeur.

Ce travail est divisé en trois chapitres :

1. Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur la pollution, en particulier la pollution hydrique.
2. Le deuxième chapitre présente Les différents procédés de traitement des eaux à potabilisation
3. Le troisième chapitre présente les matériaux et équipements utilisés et les méthodes de fabrication des bio-filtres et les analyse physico-chimique et les processus de filtration associés et les Résultats et interprétations.

[1] : A.Musy, M.Soutter, A.Mermoud, 2007, « Ingénierie des eaux et du sol, processus et aménagements », 1^{er} édition, presses polytechnique et universitaire romandes.

[2] : A. Lounnas, (2009), « amélioration des procédés de Clarification des eaux de la station hamadi-kroma de skikda », mémoire de magister, présenté à l'université du 20 août 1955 Skikda, faculté des sciences, département des sciences fondamentales, spécialité : chimie, http://www.univskikda.dz/theses_Memoires/Fac_sciences/Chimie/Opt_Pollu_Chim_Environement/M.lounnas.pdf , consulté le (21/12/2012).

[3] :**T. BRAHIMI**. Qualité physico-chimiques et bactériologiques des eaux de consommation de la ville de Tizi-Ouzou, mémoire de Master en Agronomie, université de Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou, 2015.



Chapitre I
L'eau et l'environnement

I.1.Introduction

L'eau constitue une ressource vitale cruciale pour la subsistance de la vie humaine et la conservation des écosystèmes aquatiques. Toutefois, la disponibilité et la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine sont de plus en plus menacées par diverses formes de pollution, notamment celles résultant des rejets industriels, agricoles et domestiques.

Ce chapitre se consacrera à l'exploration des diverses formes de pollution affectant l'eau potable, en mettant particulièrement l'accent sur les substances nocives et les agents pathogènes susceptibles de compromettre la sécurité sanitaire. Par ailleurs, nous aborderons les normes et les réglementations qui encadrent la potabilisation de l'eau, définissant ainsi les critères de qualité et les limites tolérables en matière de contaminants.

De surcroît, nous analyserons les paramètres physico-chimiques et biologiques qui exercent une influence sur la pollution de l'eau, tels que la température, le pH, la turbidité, les métaux lourds, les pesticides, les bactéries et les virus. Une compréhension approfondie de ces paramètres se révèle cruciale pour évaluer la qualité de l'eau, mettre en place des mesures de prévention et de traitement adéquates, et ainsi garantir un approvisionnement en eau potable sûr et fiable.

Pour résumer, ce chapitre offrira un aperçu des défis associés à la pollution de l'eau destinée à la consommation, des normes régissant sa potabilisation, ainsi que des paramètres exerçant une influence sur ce phénomène. Il soulignera l'importance de protéger les ressources en eau et de mettre en œuvre des mesures efficaces en vue de préserver la santé publique et l'environnement.

I.2. L'eau potable

Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque; les normes fixent les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives pour la santé.

Selon ces normes, une eau potable doit être :

- Exempte de germes pathogènes (bactéries, virus).
- Exempte des produits toxiques (nitrates, phosphates...).
- Exempte des métaux lourds..

Une eau potable doit aussi être: Claire, avoir une bonne odeur et avoir un bon goût[1].

I.3. Les ressources en eau

I.3.1. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont présentes sous la plupart des surfaces émergées de la planète. Leur formation résulte de l'accumulation des précipitations qui s'infiltrent dans le sol, un processus influencé par la porosité du sol et sa structure géologique. Les eaux souterraines, en général, affichent une qualité physique, chimique et bactériologique remarquable. Jusqu'à présent, elles demeurent les sources d'eau potable les plus fiables.[2].

De point de vue hydrogéologique, les couches aquifères se divisent en :

- **Nappes phréatiques ou alluviales** : elles sont peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.
- **Nappes captives** : elles sont plus profondes que le premier et séparées de la surface par une couche imperméable, alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leur bordure. La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux est un déterminant de leurs compositions chimiques, cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car ils répondent en générale aux normes de potabilité. Pourtant ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants (Salghi, 2000 ; Abda, 2014).

Les eaux souterraines peuvent également renfermer des éléments à des concentrations nettement supérieures aux seuils établis pour l'eau potable. Cette situation découle de la composition du réservoir souterrain. En conséquence, il est nécessaire de les soumettre à un processus de traitement avant leur distribution, chaque fois que la concentration d'un ou de plusieurs éléments dépasse les limites prescrites par la réglementation en vigueur. (Monod, 1989, Kettab, 1992, Abda, 2014).

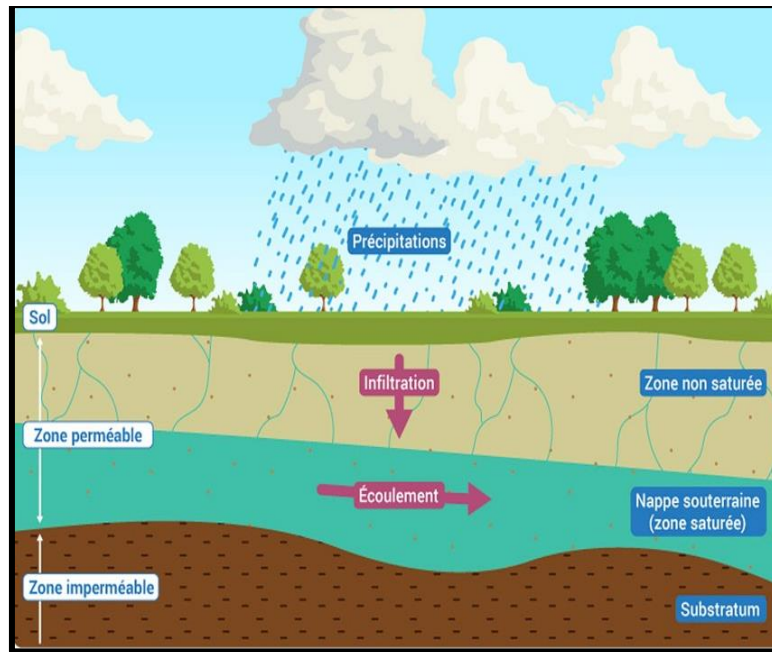


Figure I.1. Les eaux souterraines

I.3.2. Les eaux superficielles

Englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. ces eaux abritent un développement significatif de la vie microbienne en raison des déchets qui y sont déversés et de leur large exposition à l'environnement extérieur. C'est précisément pour cette raison que ces eaux sont rarement aptes à la consommation sans préalablement subir un traitement. (Degremont, 1989).

I.3.3. Eaux de surface

Ce sont des eaux circulantes (courantes), ou des eaux stagnantes (dormeuses); comme les rivières et les fleuves, ou des eaux stationnaires, telles que les lacs ou les réservoirs de barrages. Dans les régions bénéficiant d'une abondance de lacs et de cours d'eau, la plupart des municipalités utilisent les eaux de surface comme source d'approvisionnement en eau[3].

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par l'eau durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants ou hydrologiques. Au cours de son cheminement, l'eau dissout et se charge des différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, l'eau va se charger en gaz dissous (oxygène, gaz carbonique, azote)[4].



Figure I.2. Eaux de surface

I.3.4. Les eaux de mer

La mer représente 70% de la surface du globe dit terrestre. Son volume est de 1300 millions de Km³ (Gaujous, 1995). Les eaux de mer sont une source d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Elles sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous appelées leur salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer est de 33 000 à 37 000 mg/l (Des jardins, 1997).



Figure I.3. Les eaux de mer

Tableau I.1: Principales différences entre les eaux de surface et les eaux souterraines
(Degremont, 2005).

Caractéristique	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	variable suivant saisons	relativement constant
Turbidité, MES (vraies ou colloïdales)	variable, parfois élevée	faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	liée surtout aux MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	liée surtout aux matières en solution (acides humiques) ou due à une précipitation (Fe-Mn)
Goûts et odeurs	Fréquents	rars (sauf H ₂ S)
Minéralisation globale (ou: salinité, TDS...)	variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	sensiblement constante ; en générale, nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation	généralement présents
CO ₂ agressif	généralement absent	souvent présent en grande quantité
O ₂ dissous	le plus souvent au voisinage de la saturation: absent dans le cas d'eaux très polluées	absent la plupart du temps

H ₂ S	généralement absent	souvent present
NH ₄	présent seulement dans les eaux polluées	présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	peu abondants en général	teneur parfois élevée
Silice	teneur en générale modérée	teneur souvent élevée
Micro polluants minéraux et organiques	présents dans les eaux de pays industrialisés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Solvants chlorés	rarement presents	peuvent être présents (pollution de la nappe)
Eléments vivants	bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)	Ferro bactéries et autorégulatrices fréquentes
Caractère eutrophe	possible: accentué par les températures élevées	Non

I.4. Normalisation de la matrice d'eau à potabilisation

L'eau est une ressource fondamentale pour la vie, en se référant à l'OMS. Afin de donner la définition d'une eau potable, des recommandations et des normes ont été établies pour fixer les teneurs limites pour un certain nombre de substances nuisibles et susceptibles d'être présentes dans l'eau [5].

Pour qualifier une eau d'être potable il faut vérifier certains paramètres physiques, chimiques et biologiques d'être comprises dans les normes pour ne pas affecter la santé des êtres vivants.

Certains pays appliquent leurs propres normes. D'autres adoptent celles conseillées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Tableau 1.2 : Norme de qualité de l'eau potable

Paramètre	unité	Norme Algérienne		Norme OMS	
		CR	CMA	CR	CMA
pH	-	6.5 / 8.5		7 / 8.5	6.5 / 9.2
Température	°C	20	25	-	-
Conductivité	µS/cm	-	2800	-	-
Résidu sec à 105 °C	mg/l	-	2000	500	1500
Turbidité	NTU	1	2	1	25
Dureté totale (TH)	mg/l	100	500	100	500
Calcium	mg/l	75	200	-	-
Magnésium	mg/l	-	150	-	150
Sodium	mg/l	-	200	-	-
Potassium	mg/l	-	20	-	-
Sulfate	mg/l	200	400	-	250
Chlorure	mg/l	200	500	200	250
Nitrate	mg/l	-	50	-	50
Nitrite	mg/l	-	0,1	-	0,1
Aluminium	mg/l	-	0,2	-	-
Ammonium	mg/l	0,05	0,5	-	1,5
Phosphate	mg/l	-	0,5	-	-
Matières Organiques	mg/l	-	3	-	-
Métaux lourds	mg/l	0,05	0,3	0,05	
Fer	mg/l	-	0,3	0,1	3
Manganèse	mg/l	-	0,5	0,05	0,1
Coliformes totaux	N 1ml	< 10		< 10	
E-Coli	N 1ml	< 10		< 10	

I.5. Les indicateurs d'évaluation de la matrice d'eau

I.5.1. Paramètres organoleptiques

Il convient de noter qu'au début du siècle dernier, les normes de qualité de l'eau étaient principalement évaluées en fonction des perceptions sensorielles : l'eau devait être claire, avoir un goût agréable et ne pas présenter d'odeurs désagréables[7].

A partir de là, on définit les paramètres de pollution organoleptiques étant :

I.5.1. A. La couleur

La coloration de l'eau est un indicateur de présence d'éléments organiques ou minéraux dissous ou de substances minérales telles que le fer ferrique précipité à l'état d'hydroxydes

colloïdaux ou le fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes. Il n'existe néanmoins aucun lien entre la couleur et la concentration en matières organiques. Ce paramètre est mesuré par comparaison à une solution de référence[8].

I.5.1.B. L'odeur

Il est connu que la décomposition de matières organiques conduit à l'émission d'une odeur désagréable. Les eaux usées se caractérisent par une odeur moisie.

I.5.2. Paramètres physiques

I.5.2. A. Température

L'élévation de la température dépend du mode d'utilisation de l'eau avant son rejet et surtout le parcours de l'eau avant l'exutoire ou la station d'épuration[9].

Elle exerce une influence sur plusieurs propriétés de l'eau, notamment sa densité, sa viscosité, la capacité des gaz à se dissoudre dans l'eau, la dissociation des sels dissous, ainsi que sur les réactions chimiques et biochimiques. De plus, elle impacte le développement et la croissance des organismes vivants dans l'eau, en particulier les micro-organismes. Chaque espèce a en effet une préférence thermique spécifique. L'augmentation de la température peut favoriser la prolifération de certaines espèces tout en pouvant causer la mortalité d'autres. À l'inverse, des baisses de température ont tendance à ralentir ou à entraver la plupart des réactions chimiques.[9].

I.5.2.B. Potentiel hydrogène (pH)

Le pH représente un paramètre essentiel dans la description des propriétés des eaux usées. Il joue un rôle déterminant dans les équilibres entre les autres composés présents dans le milieu, tels que l'azote ammoniacal, le sulfure de sodium, l'acide cyanhydrique, et ainsi de suite. Cette influence découle du fait que leur toxicité varie en fonction de leur état ionisé ou non-ionisé.[9].

Des modifications du pH des eaux des milieux récepteurs peuvent être fatales. Il est défini qu'un PH compris entre 5 et 9 permet un développement quasi-normal de la faune et de la flore aquatique tandis que la reproduction des poissons nécessite un pH compris entre 6.5 et 8.5 [8].

I.5.2.C. Matières en suspension (M.E.S)

Les matières en suspension sont les particules minérales et organiques et matières volatiles contenues dans une eau responsables de sa turbidité. On distingue deux sortes de M.E.S selon leurs propriétés physiques :

- **Matières décantables** : Ce sont les M.E.S qui se remettent en repos dans un délai de 2 heures. Elles sont mesurées par lecture directe du volume occupé au fond d'un cône de décantation et ses valeurs sont données en Cm^3/L .
- **Matières colloïdales** : qui représentent la différence entre les M.E.S totales ou complète et la somme des deux matières l'une décantable ou sédimentable et l'autre flottable.

I.5.2.D. Turbidité

La turbidité fait référence à l'opacité d'un milieu trouble, ce qui signifie la diminution de la transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes. Dans le cas des eaux, elle est généralement causée par la présence de particules en suspension, telles que des argiles, des limons, des grains de silice et des micro-organismes. Une fraction moins importante de la turbidité peut également être attribuée à la présence de matières colloïdales, qu'elles soient d'origine organique ou minérale. (Mizier, 2005).

I.5.2.E. La conductivité et la minéralisation

La conductivité est un paramètre mesurant la capacité d'un matériau, en l'occurrence un liquide comme l'eau, à conduire l'électricité. Elle est généralement exprimée en unités de siemens par mètre (S/m) ou en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La mesure de la conductivité fournit rapidement une indication sur la concentration des sels dissous dans l'eau. Une conductivité élevée peut résulter de pH anormaux, mais le plus souvent, elle reflète une salinité élevée. De plus, une concentration élevée en ions de calcium peut entraîner un dépôt de tartre dans les canalisations[10].

I.5.3. Les paramètres chimiques

I.5.3.A. Demande chimique en oxygène (DCO)

La (DCO) est un paramètre de mesure en chimie de l'eau qui quantifie la quantité totale d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement l'ensemble des matières organiques et inorganiques oxydables présentes dans un échantillon d'eau. Cela inclut principalement les

composés organiques, mais également les sels minéraux oxydables tels que les sulfures et les chlorures, entre autres. Pour évaluer ce paramètre, on ajoute du bichromate de potassium dans un milieu acide sulfurique, puis on porte ce mélange à ébullition pendant deux heures en présence d'ions qui permettent de former des complexes avec les ions chlorures. En se basant sur la quantité de bichromate utilisée, on peut théoriquement déterminer la quantité d'oxygène nécessaire pour réaliser la même oxydation.[9].

I.5.3.B. Demande Biochimique en Oxygène (DBO)

La demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO₅) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les micro-organismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques (Berné et al, 1991).

I.5.3.C. Carbone organique total (COT)

Le (COT) est un mesure qui permettent de déterminer la quantité de carbone organique contenu dans un échantillon d'eau[21].

Sa mesure est réalisée par un analyseur de CO₂ à infrarouge après combustion catalytique à haute température de l'échantillon [11]. la valeur du carbone organique total s'exprime en milligramme de carbone par litre du milieu aqueux analysé: mg/l[22].

I.5.3.D.Oxygène dissous

L'oxygène dissous représente un élément fondamental dans l'eau, car il joue un rôle crucial dans la régulation des réactions biologiques au sein des écosystèmes aquatiques. La capacité de l'oxygène à se dissoudre dans l'eau dépend de plusieurs paramètres, notamment la température, la pression, et la force ionique du milieu. On exprime généralement la concentration en oxygène dissous en milligrammes par litre (mg/L) sous la forme mg(O₂.L⁻¹) (Tardat-Henry et al, 1992).

I.5.3.E. Azote total (NT)

L'azote contenu dans l'eau se divise en deux catégories distinctes : l'azote organique et l'azote minéral. L'azote organique est principalement composé de molécules telles que les protéines, les acides aminés et les polypeptides. En revanche, l'azote minéral, comprenant des composés tels que l'ammoniaque, les nitrates et les nitrites, constitue la plus grande part de

l'azote total. Ces substances ne se retrouvent généralement qu'en concentrations très faibles (Rodier et al, 2009).

I.5.3.F. Nitrates

Les nitrates, présents naturellement dans les eaux, résultent principalement de l'interaction entre l'écoulement des eaux et le sol qui compose le bassin versant. Leurs concentrations naturelles restent généralement en dessous de 3 mg/L dans les eaux de surface et atteignent quelques mg/L dans les eaux souterraines. La nature des zones de drainage joue donc un rôle crucial dans leur présence, tandis que l'activité humaine accélère le processus d'enrichissement des eaux en nitrates (Pétard, 1993). L'ammoniaque, quant à lui, fait partie intégrante du cycle de l'azote. À l'origine, l'ammoniac (NH_3) est un gaz soluble dans l'eau, mais son devenir dépend du pH, se transformant soit en une forme non combinée, soit sous forme ionisée (NH_4^+). Ces réactions réversibles avec l'eau sont sensibles à la température. (Rodier et al, 2009).

I.5.3.G. Phosphore total (PT)

Le phosphore peut exister dans les eaux en solution ou en suspension, à l'état minéral ou organique. Les composés phosphorés qui répondent au test spectrophotométrique sont considérés comme étant des orthophosphates. L'hydrolyse en milieu acide fait apparaître le phosphore hydrolysable et minéralisation (Tardat-Henry et al, 1992). Chaque fraction de phosphore en solution ou en suspension peut être séparée analytiquement en orthophosphates, phosphore hydrolysable et phosphore organique (Beneden, 1957). La teneur en phosphates peut être exprimée en mg/L de PO_4^{-3} ou de P_2O_5 où $1\text{mg/L } \text{PO}_4^{-3} = 0,747 \text{ mg/L } \text{P}_2\text{O}_5$.

I.5.4. Autres paramètre

I.5.4.A. Hydrocarbures

La présence d'hydrocarbures dans l'environnement résulte de diverses activités liées à l'industrie pétrolière, notamment l'extraction du pétrole, son transport, ainsi que l'utilisation finale des produits pétroliers tels que les carburants et les lubrifiants. En outre, la pollution par les hydrocarbures peut également découler des déversements accidentels provenant de navires, provoquant des marées noires[11].

La mesure des hydrocarbures dans les eaux est souvent une opération complexe. En effet, l'échantillonnage s'avère fréquemment délicat, surtout lorsque les eaux usées ne sont pas prélevées dans un système sous pression ou lorsque leur charge en huiles est très élevée.[9]

I.5.4.B.Micropolluant

Le terme micro-polluants désigne un composé minérale ou organique dont les effets sont toxiques à très faible concentration (les teneurs sont évaluées en micro g/litre). ces micro-polluants contaminent les cours d'eau soit :

- Par apport, par ruissellement, par érosion.
- Soit indirectement par la pluie [12].

on distingue généralement trois grands groupes de micro-polluants :

- le micropolluant organique, minéraux, organométalliques.
- les micro-polluants organiques : regroupent plusieurs types de composés contenant un ou plusieurs atomes de carbone.
- Micro-polluants minéraux : sont représentés essentiellement par les éléments traces métalliques (ETM). Les principaux ETM rencontrés dans les eaux sont le cadmium (Cd), l'arsenic (As), cuivre (Cu), le zinc (Zn) ...
- Micro-polluants organométallique : sont des molécules mixte dans lesquelles un ion métallique est lié à un groupement organique (méthyle de mercure)[13].

I.6. La pollution

I.6.1. Définition de la pollution

La pollution est définie comme l'introduction de substances dans un environnement naturel, entraînant sa détérioration. Dans le contexte des stations d'épuration, la pollution des ressources en eau provient de diverses sources, principalement liées aux activités humaines(Hadj, 1999).

Actuellement, la pollution des eaux est devenue un problème universel qui menace gravement l'environnement et qui nécessite une lutte soutenue, car de nombreux produits agricoles et industriels sont de plus en plus responsables de l'apparition de cette forme de pollution.

I.6.2. Les types de pollution

I.6.2.A. Pollution de l'air

La pollution de l'air altère l'atmosphère en raison de contaminants chimiques, physiques ou biologiques. Les sources courantes incluent les appareils domestiques à combustion, les véhicules, les installations industrielles et les incendies de forêt. Les polluants majeurs, tels que les particules, le monoxyde de carbone, l'ozone, le dioxyde d'azote et le dioxyde de soufre, ont un impact grave sur la santé, provoquant des maladies respiratoires et augmentant la morbidité et la mortalité.

Selon l'OMS, près de 99 % de la population mondiale respire un air qui dépasse les directives de l'OMS en matière de qualité et contient des niveaux élevés de polluants, avec une exposition plus élevée dans les pays à revenu faible et intermédiaire. La qualité de l'air est liée au climat et aux écosystèmes mondiaux, car de nombreux facteurs de pollution atmosphérique, comme la combustion de combustibles fossiles, contribuent également aux émissions de gaz à effet de serre.

Réduire la pollution de l'air grâce à des politiques offre une solution bénéfique pour le climat et la santé, en réduisant la charge de morbidité liée à la pollution de l'air tout en contribuant à l'atténuation du changement climatique à court et à long terme.(1)



Figure I.4. Pollution de l'air

I.6.2.B. Pollution des sols

La pollution des sols provient principalement de pratiques agricoles intensives, d'activités industrielles, d'exploitations minières et de carrières, ainsi que de la gestion inappropriée des déchets ménagers et industriels, et de la circulation routière. Elle se présente sous différentes formes, notamment la pollution chimique, la pollution organique et la pollution thermique.

Les conséquences de la pollution sur l'environnement peuvent être graves. Elle peut entraîner la mortalité des organismes vivants, perturber les écosystèmes, contaminer les sources d'eau potable et provoquer des maladies chez les êtres vivants qui consomment de l'eau ou de l'air contaminés. La lutte contre la pollution requiert la mise en place de mesures environnementales efficaces, telles que le traitement des eaux usées, la réduction des déchets aquatiques, la prévention de la pollution chimique et la diminution de l'utilisation de pesticides et d'engrais.

Il est essentiel de sensibiliser et d'éduquer le public sur les impacts de la pollution des sols, ainsi que de promouvoir des pratiques agricoles durables et une gestion responsable des déchets. La coopération entre les autorités, les industries, les agriculteurs et la société civile est

cruciale pour prévenir et réduire la pollution des sols, préservant ainsi la santé de l'environnement et des êtres vivants qui en dépendent.



Figure I.5. Pollution des sols

I.6.2.C.Pollution de l'eau

La pollution de l'eau peut revêtir diverses formes, telles que la pollution chimique, bactériologique ou thermique. Elle affecte différents types d'eaux, qu'elles soient douces, saumâtres ou salées, souterraines ou de surface. Les différentes formes de pollution de l'eau comprennent la pollution chimique, la pollution bactériologique, la pollution thermique, la pollution organique et la pollution par les déchets aquatiques.

I.6.3.l'origine de la pollution de l'eau à potabilisation

La pollution de l'eau est une altération dans un sens défavorable, d'une ou plusieurs caractéristiques physiques, chimiques ou biologiques de cette eau provoquée par le rejet de produits liquides ou gazeux [14].

Cette altération rend son utilisation douteuse et/ou perturbe l'écosystème; elle peut concerner les eaux superficielles et/ou les eaux souterraines ayant pour origine principale l'activité humaine[15].

l'origine de la pollution de l'eau à potabilisation est:

I.6.3.A. La pollution domestique

Elle regroupe les eaux vannes (WC), les eaux ménagères (eaux de cuisine et salle de bains) qui contiennent des graisses, du savon, des détergents... et les eaux usées rejetées par les installations collectives.



Figure I.6. La pollution domestique

I.6.3.B. La pollution industrielle

Elle est caractérisée par sa très grande diversité. Elle va dépendre de l'activité industrielle. On peut donc retrouver des matières organiques et des graisses, des hydrocarbures, des métaux, des acides, des produits chimiques divers, des matières radioactives (CARNEVALE et al., 2006).



Figure I.7. La pollution industrielle

I.6.3.C. L'agriculture

L'agriculture recourt de manière croissante à des produits chimiques et organiques, particulièrement dans les sols appauvris en éléments nutritifs. Elle représente la principale source de pollution diffuse des ressources en eau.

La pollution agricole peut se manifester selon deux modes :

- La pollution diffuse : celle-ci se traduit par une dégradation de la qualité de l'eau sur l'ensemble d'un territoire, due à des déversements agricoles qui ne proviennent pas d'un point spécifique de cette zone.
- La pollution ponctuelle : dans ce cas, il s'agit de rejets de polluants en petites quantités mais de manière régulière. Ce type de pollution est complexe à contrôler car il émane d'une multitude de sources. (BOULIER, 2011).

I.6.4. Les types de pollution de l'eau à potabilisation

Les eaux usées industrielles peuvent contenir différents polluants qui varient selon le type de l'industrie. En général, on distingue trois types de pollution :

I.6.4. A. Pollution physique

Cela englobe les particules en suspension, qu'elles soient inertes et issues de l'exploitation de minéraux ou de minerais, nécessitant un traitement physique, ou qu'elles soient fermentescibles, provenant des eaux usées domestiques, urbaines ou industrielles (comme les secteurs alimentaire ou textile), nécessitant un traitement biologique pour contrôler la croissance microbienne excessive. Ensuite, on trouve les eaux de refroidissement, qui ne sont pas contaminées mais transportent une charge thermique (ce qu'on appelle pollution thermique). Enfin, il y a les rejets susceptibles de provoquer une contamination radioactive, qui viennent en dernière position [14].

I.6.4.B. Pollution chimique

Il est impossible d'affirmer qu'une substance chimique est inoffensive puisque nous ignorons ses interactions avec d'autres corps et l'action de ses produits de dégradation [14].

La présence de toute substance chimique dans les eaux peut donc être à l'origine d'un déséquilibre de l'écosystème ou avoir des percussions sur la santé humaine. La pollution

chimique peut provenir de différentes sources. On distingue deux types de pollution : La pollution chimique minérale provenant de la dissolution des sels, des acides et des bases ainsi que la corrosion des métaux ; La pollution chimique organique qui peut prendre plusieurs formes telles que la forte concentration en hydrocarbures, huiles et graisses, pesticides, phénols et détergents.

I.6.4.C. Pollution microbiologique

Les déversements urbains et industriels ont tendance à encourager la croissance des micro-organismes. Bien qu'une partie de ces micro-organismes soit bénéfique dans le processus d'auto-épuration, la plupart d'entre eux sont pathogènes, notamment les virus, les bactéries, les protozoaires, les vers et les micro-champignons. Parmi ces micro-organismes, ce sont principalement les bactéries qui suscitent des inquiétudes en raison de leur capacité à provoquer plusieurs maladies transmises par l'eau, telles que le choléra, la fièvre typhoïde, et d'autres. [16].



Figure I.8. Pollution microbiologique

I.6.5. Impact de la pollution de l'eau

I.6.5.A. Sur environnement

Les conséquences des rejets sur notre environnement peuvent être évaluées en observant les changements de température, les altérations du pH, la consommation d'oxygène dans le

milieu, ainsi que les effets spécifiques associés à chaque polluant. Ces perturbations modifient l'équilibre des écosystèmes, se traduisant notamment par :

➤ **La réduction de la teneur en oxygène dissous**

Une diminution du taux d'oxygène dissous entraîne une accélération des mouvements respiratoires chez les poissons, ce qui favorise la pénétration de potentielles substances toxiques présentes dans l'eau. De plus, certains polluants perturbent significativement la respiration des poissons, pouvant même entraîner leur décès[17].

➤ **Prolifération d'algues**

Ce phénomène est provoqué par les émissions excessives de phosphate, d'azote, de carbone et d'autres éléments minéraux associés aux activités humaines dont se nourrissent les algues. Ces phénomènes s'observent dans les milieux aquatiques où les eaux sont peu renouvelées. La prolifération d'algues due à l'enrichissement en nutriments de l'eau réduit la quantité d'oxygène nécessaire à la survie d'autres espèces tout en menaçant leur survie[18].

➤ **Modification physiques du milieu récepteur**

La modification physique se traduit par une augmentation de la température, coloration de l'eau ...Etc. l'ensemble de ses éléments perturbateur prévient au milieu naturel de deux façons déférents à savoir : les rejets dans les eaux d'égoûts et les rejets diffus (lessivage des sols)[19].

I.6.5.B. Sur la santé humaine

Les maladies liées à la présence d'éléments pathogènes ou de molécules toxiques sont très répandues. Les parasitoses d'origine hydriques dominant très largement la pathologie des habitants du tiers monde [20].

- Paludisme (un million de décès par an, 100 à 150 millions de cas annuels dont 90% en Afrique, et 300 millions de porteurs de parasites);
- Filaires (maladies due à un vers injecté par des moustiques sous les climats chauds et humides) ;
- Le choléra, des aux vibrions cholériques présent dans les eaux souillées ;
- L'hépatite A (due à un virus présent aussi dans les eaux polluées) ;
- Les dysenteries d'origine parasitaires, bactériennes et virales aux conséquences qui peuvent

être très grave chez le jeune enfant. [20]

I.6.5.C. Sur l'économie

Il est important de reconnaître que la dépollution reste une entreprise coûteuse, mais personne ne peut nier l'impérieuse nécessité de prendre en considération notre environnement. Comme dans de nombreux pays développés, la plupart des collectivités et des industries assument la responsabilité de leurs déversements.

À certaines périodes de l'année, la prolifération d'algues qui s'échouent et se décomposent sur les côtes de la Manche provoque des nuisances considérables perturbant gravement l'industrie touristique de ces régions. Cette prolifération est attribuée aux rejets directs ou indirects d'azote et de phosphore. Le maintien de l'activité touristique nécessite donc l'élimination de ces nuisances, ce qui représente un coût considérable et une perte de revenus significative. Comme c'est souvent le cas, le secteur à l'origine de la pollution n'est pas nécessairement celui qui en subit les conséquences[20].

I.7. Conclusion

L'eau et ses ressources sont d'une importance capitale pour la vie sur Terre. Cependant, la pollution de l'eau potable constitue une menace sérieuse pour notre santé et notre environnement. Pour garantir un approvisionnement en eau potable de qualité, il est essentiel de respecter les normes de potabilisation établies, qui fixent des critères stricts de qualité et de sécurité.

La pollution de l'eau potable est causée par une multitude de facteurs, allant des activités industrielles aux pratiques agricoles intensives, en passant par les déchets urbains. Ces polluants peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine et sur les écosystèmes aquatiques.

La prise de conscience de l'importance de la préservation des ressources en eau et de la lutte contre la pollution de l'eau potable est primordiale. Il est nécessaire de promouvoir des mesures de prévention et de traitement efficaces, telles que la réduction des émissions polluantes, le traitement adéquat des eaux usées et la promotion de pratiques agricoles durables.

Enfin, il est essentiel de sensibiliser et d'éduquer le public sur l'importance de la gestion durable de l'eau et de l'utilisation responsable des ressources en eau. Nous avons la responsabilité collective de préserver cette ressource vitale pour les générations futures et

d'assurer un avenir où l'eau potable est accessible à tous, dans le respect des normes de qualité et de sécurité.

Références

- [1] : Ministère des ressources en eau, 'guide technique du ministère des ressources en eau', l'établissement ADE 'Algérie 2013
- [2] : **CARDOT.C.**1999 « Les traitements de l'eau : procédés physicochimiques et biologique cours et problèmes résolus .Belgique Edition Ellipses.
- [3] : **HAMEL, L.**, 2013 « étude physicochimique et bactériologique de l'eau de source sidi bouyaskhak destiné à la consommation humaine de la population de Tlemcen, Thèse de master, université de Tlemcen
- [4] : **HAMED, M. GUTTACHE, A** ,2011 « étude des propriétés physicochimique et bactériologique de l'eau de barrage Djorf Torba. Thèse de master université de Bechar
- [5] : **Coulibaly K.** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits de certains quartiers du district de Bamako. Thèse de Doctorat Université de Bamako, 2005, 69.
- [6] : L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) 'Les normes de qualité de l'eau potable' Algérie, 2014
- [7] : **DESJARDINS, R.**, Le traitement des eaux, éd. Presses internationales Polytechnique, Canada, 304 pages, 1997.
- [8] : **NAHLI, A., CHLAIDA, M.**, Contribution à la caractérisation physico-chimique des effluents de Cosumar (Casablanca, Maroc) en vue de leur traitement approprié, European Scietific Journal, Vol. 14, No. 9, pp. 212-225, Mars 2018.
- [9] : **MIZI, A.**, Traitement des eaux de rejet d'une raffinerie-région de Béjaia et valorisation de déchets oléicoles, *thèse de doctorat d'Etat*, Université BADJI Mokhtar, Annaba, 163 pages, 2006.
- [10] : L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) 'Les normes de qualité de l'eau potable' Algérie, 2014
- [11] : **F. MEKHALIF.** Réutilisation des eaux résiduaire industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement, mémoire de magister en chimie , université 20 Aout 1955 , 2009

[12] : **C. BRAUN, et al.** Micropolluants dans les cours d'eau provenant d'abord diffus, Office fédéral de l'environnement, berne,2015, p 12 .

[14] : **CHARTIER, M.**, Les types de pollution de l'eau, NOROIS, No. 82-21ème année, pp.185- 193, avril-juin 1974.

[15] : **ATTAB, S.**, Amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration Haoud Berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local, mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah-Ouargla, Année, 2013.

[16] : **GUERGOUR S.**, Elimination des polluants organiques contenus dans les eaux usées par électro-Fenton, mémoire de Magister, Université ABBAS-Sétif-1, Décembre 2014.

[17] : **P.PESSON.** pollution des eaux continentales Edition bordas , paris 285.1976

[18] : **S. MENOUEUR, S. TALBI.** Etude de la qualité des rejets liquides industriels en aval du complexe GL1/Z. Mémoire de fin d'études, gestion des déchets et pollution ses Ecosystèmes, Université Mohamed Boudiaf d'Oran, 2014.

[19] : **N. ouikene.** Etude d'un traitement biologique des eaux usées d'origine ménagères (pont de bougie) et du traitement des eaux usées issues d'une station de lavage graissage de véhicules (tizi-rached), Mémoire d'ingénieur en écologie végétal et environnement, 2011.

[20] : **R. MOLITTA.** Le traitement des déchets. Editions TEC&DOC – Lavoisier. 2009.

[21] : **N.FLIPO,et al.** Les effets de lacrue de juin 2016 sur la qualité de l'eau du bassin de la seine. 2018, p66.

[22] : **M. TURGEON.** Correlations entre DBO5 et COT dans les effluents de papetières, Université LAV AL, 2001, P33.



Chapitre II

**Les procédés non conventionnels et
conventionnels de traitement des
eaux**

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons plonger dans le contexte général du traitement de l'eau pour mettre en évidence les enjeux actuels liés à la qualité de l'eau. Nous exposerons également les objectifs spécifiques de cette étude, les méthodes de recherche que nous avons employées, ainsi que la structure globale du mémoire. De plus, nous poserons les bases conceptuelles nécessaires pour comprendre les principes fondamentaux de la filtration à l'argile en tant que méthode de traitement de l'eau. Cette introduction établira ainsi le cadre de notre examen approfondi des applications, des avantages et des défis associés à l'utilisation de l'argile dans la filtration de l'eau, ouvrant la voie à une exploration approfondie de cette technique prometteuse.

II.2. Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

II.2.1. Les procédés non conventionnels

II.2.1.A Les procédés d'oxydation avancée

La plupart des produits chimiques sont toxiques et non biodégradables et ne sont pas éliminés par les traitements physico-chimiques et biologiques conventionnels, surtout s'ils sont à des concentrations faibles (de l'ordre micro ou milli gramme). C'est pourquoi, de nouvelles techniques font l'objet d'un grand intérêt au cours des dernières décennies, car elles peuvent conduire à leur destruction par minéralisation complète. Ces techniques sont connues par les procédés d'oxydation avancée (POA) [1].

Les POA sont des procédés qui peuvent être utilisés dans les traitements des eaux en particuliers des eaux usées industrielles. Ces dernières renferment diverses pollutions minérales, organiques et/ou biologiques. La pollution organique peut être représentée par des molécules bio-récalcitrantes (qui résistent au traitement biologique) comme des aromatiques, des phénoliques, des colorants industriels et des pharmaceutiques [2].

Le principe de ces POA repose sur la formation à température ambiante d'espèces radicalaires très réactives, les radicaux hydroxyles (HO^\bullet) en particulier [3].

Les POA sont utilisés :

- Pour oxyder ou réduire certains composés minéraux toxiques (oxydation des cyanures provenant des effluents de traitements de surface par exemple ; réduction du chrome hexavalent)
- ;

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

- Pour oxyder des composés toxiques ou inhibiteurs vis-à-vis des micro-organismes ; □

En prétraitement avant un traitement biologique pour augmenter la biodégradabilité (amélioration du rapport DBO₅/DCO) ; □

- pour minéraliser des polluants organiques dans le cas d'effluents de forte teneur en DCO.

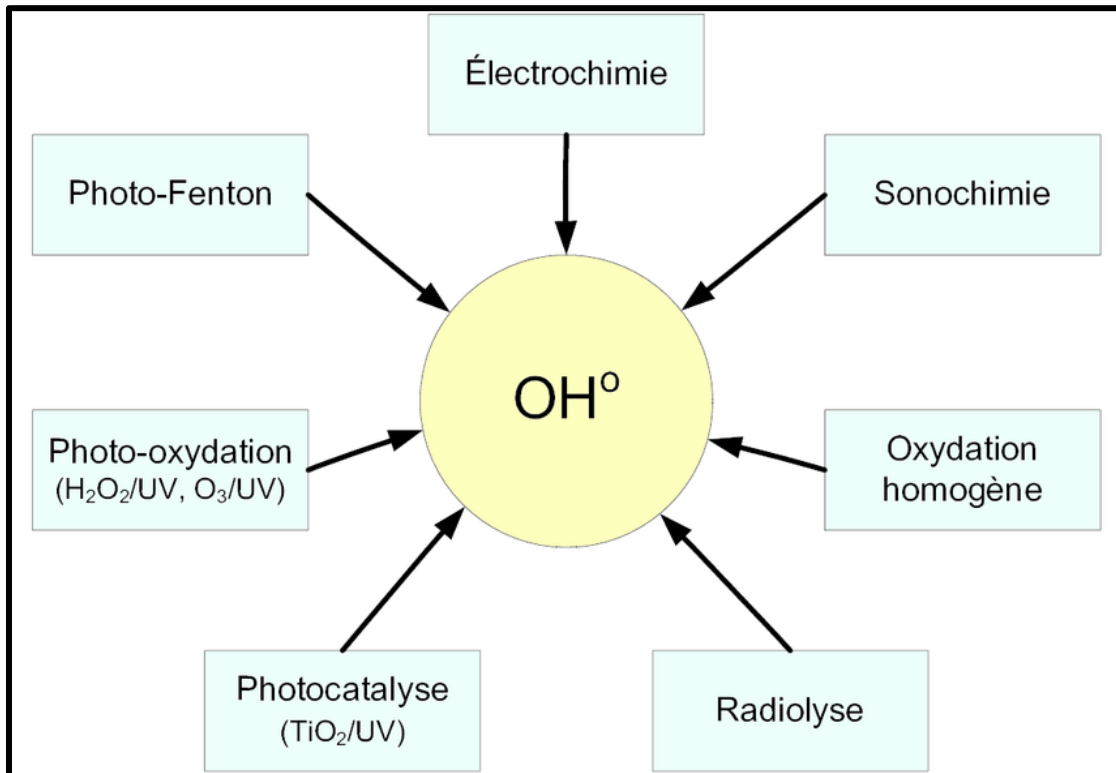


Figure II.1. Les différents procédés d'oxydation avancé

II.2.1.B Les procédés membranaires assistés

Les procédés membranaires assistés sont des techniques utilisées dans le domaine du génie des procédés pour faciliter la séparation de différentes substances à l'aide de membranes semi-perméables. Ces membranes permettent le passage sélectif de certaines molécules ou particules tout en bloquant les autres. Parmi ses procédés il y a :

- **Osmose inverse**

L'osmose inverse (OI) : Typiquement utilisée pour le dessalement de l'eau de mer ou la déminéralisation des eaux saumâtres. L'osmose inverse est la plus ancienne des techniques de

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

séparation par membrane. Elle utilise des membranes denses pour retenir la majorité des solutés et ne laisser passer que le solvant (l'eau, en général) (Romdhane,2014).

Cette technique est utilisée pour :

- Le dessalement des eaux de mer.
- Le dessalement des eaux saumâtres.
- La production d'eau ultra pure.
- La production d'eau de procès.

La pression osmotique P est d'autant plus importante que la concentration est élevée et que la masse molaire est faible.

Note : la pression osmotique de l'eau de mer est de l'ordre de 25 bars

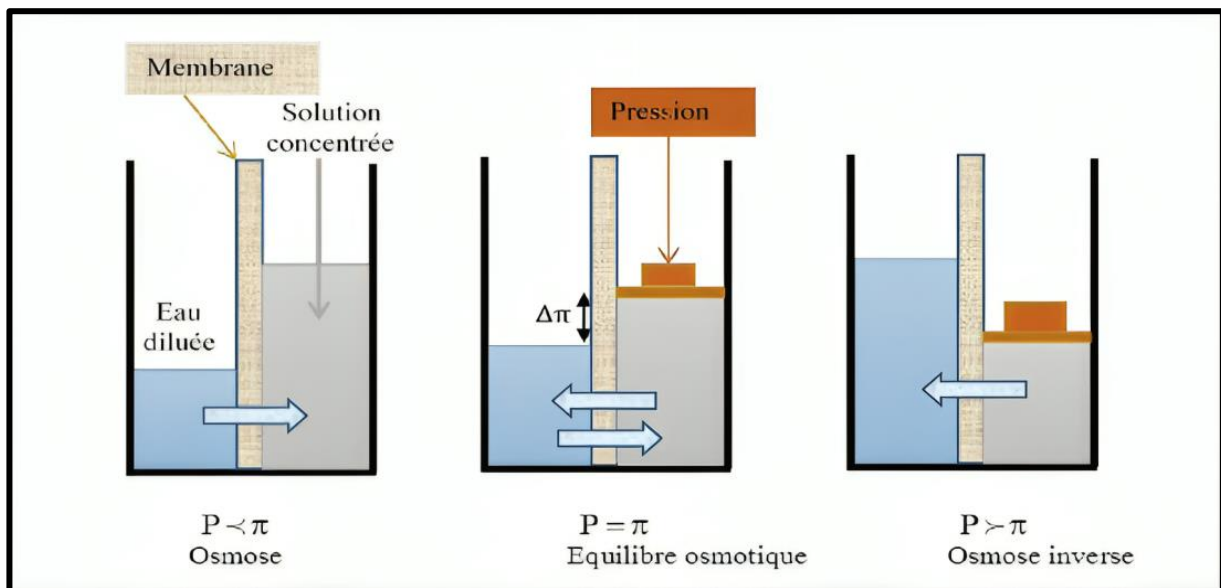


Figure II.2. Principe de l'osmose inverse

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

● Sorption [4]

Le terme sorption désigne tout processus à l'interface solide-liquide conduisant à un changement de phase d'un soluté ou à la transformation d'une surface par la présence d'un soluté ou de son environnement. Les différents mécanismes conduisant à une sorption sont :

- L'échange d'ions ;
- La complexation de surface ;
- La précipitation de surface ;
- L'absorption (incorporation du soluté dans la matrice solide) ;
- La diffusion dans la phase solide ;
- L'adsorption.

● L'électrodialyse

L'électrodialyse désigne le transfert d'ions à travers une membrane qui leur est perméable sous l'effet d'un champ électrique, c'est un procédé de séparation par membrane qui met en jeu un champ électrique pour déplacer des espèces ionisées en solution à travers des membranes denses, porteuses elles-mêmes de charges électriques. C'est la combinaison des propriétés des membranes et du transport électrophorétique qui permet d'en faire un procédé de déminéralisation ou de concentration d'espèces ioniques, ou encore un procédé de conversion électrochimique. Deux types de membranes nécessaires : celle qui permettent le passage des anions (**membranes anioniques**), et autres permettant le passage des cations (**membranes cationiques**).

On trouve deux modes d'électrodialyse :

- L'électrodialyse non réactive (sans de transformation chimique) utilisée lorsque les charges électriques ou les tailles des espèces sont nettement différentes.
- L'électrodialyse réactive La transformation, crée un certain nombre d'espèces nouvelles, neutres ou chargées, solubles ou insolubles.

Lorsque le traitement porte sur des solutions, celles-ci peuvent être au repos : c'est l'électrodialyse statique, ou en mouvement : c'est l'électrodialyse dynamique. La première a été mise en œuvre dès les origines pour traiter les solutions biologiques (par exemple, solutions

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

d'acides aminés), tandis que la seconde, plus récente, est surtout employée dans le cas des solutions d'ions minéraux (Cheraitia A 2015)

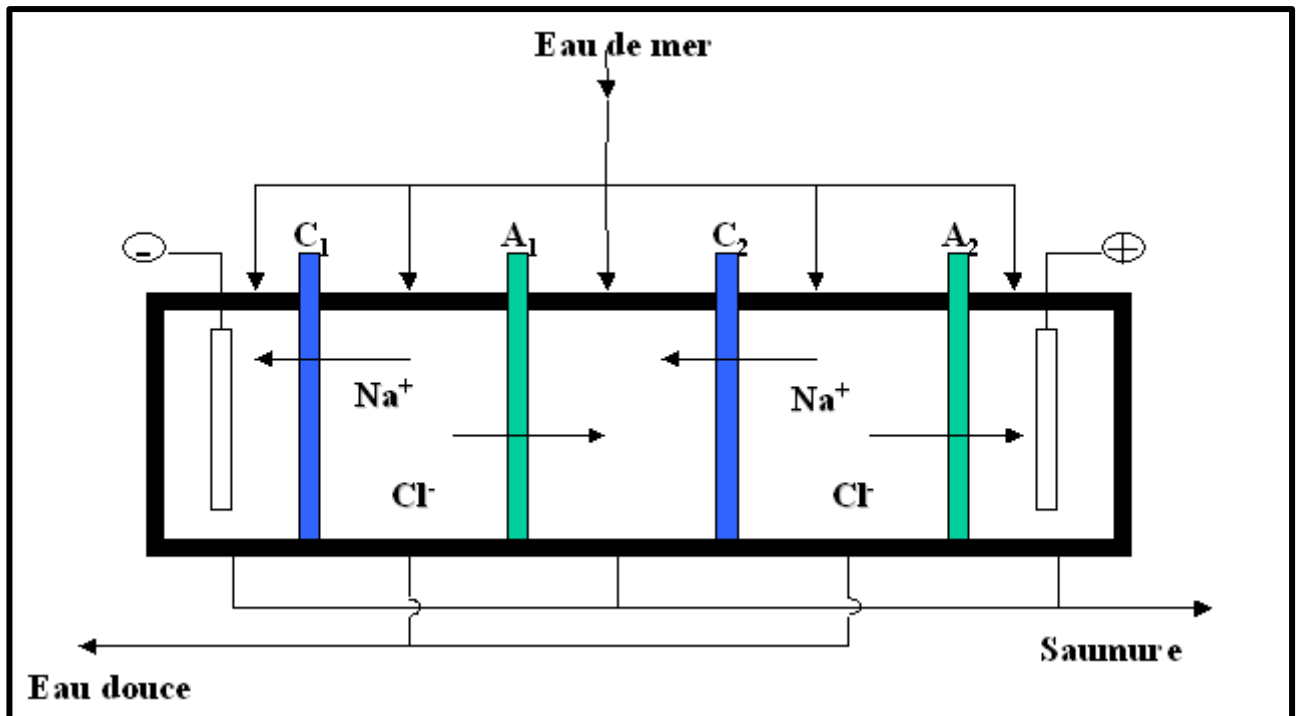


Figure II.3. principe de l'électrodialyse

II.2.1.C Electro-coagulation

Il s'agit d'une technique de séparation alternative à la coagulation floculation qui permet la formation des cations métalliques in situ par électro dissolution d'anode métallique soluble suite au passage du courant. Les cations coagulants et les hydroxydes métalliques vont alors interagir avec les particules colloïdales chargées négativement et permettent la neutralisation de leur charge et leur coagulation. La floculation dans ce cas est favorisée par la mise en mouvement des particules colloïdales sous l'action du champ électrique (Figure II.4) [5]

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

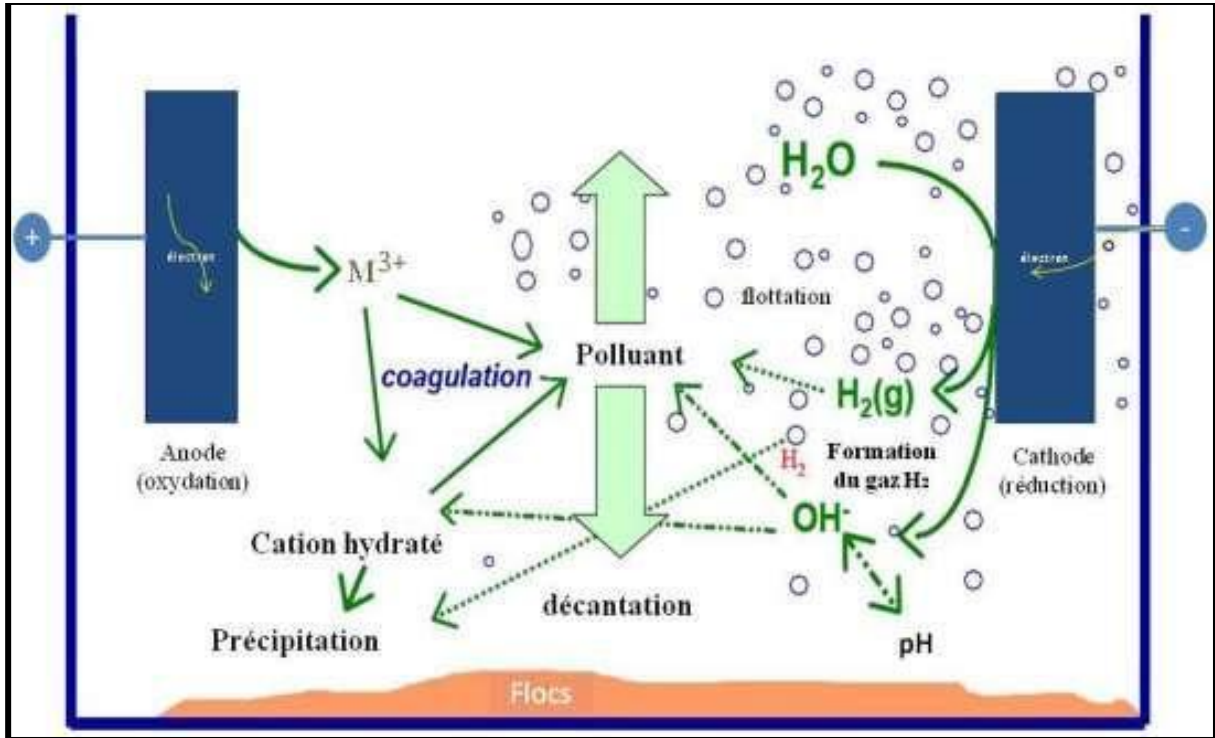


Figure II.4. Principe de l'électrocoagulation

L'électrocoagulation est une technique physico-chimique qui entraîne la dissolution du métal à l'anode accompagnée de la formation simultanée d'ions hydroxyles et d'hydrogène à la cathode. Le premier facteur qui détermine la performance de ce procédé est donc la nature des électrodes. Les plus communes sont des plaques d'aluminium ou de fer, en raison de leur efficacité et de leur disponibilité (Picard et al., 2000 ; Aoudjehane et al., 2010).

Les électrodes en aluminium ont le privilège d'être mieux maîtrisées chimiquement (Labanowski et al., 2010)

et réduisent les risques de dégradation organoleptique de l'eau, contrairement au fer. La substitution de l'aluminium par le fer a l'avantage de limiter les risques de développement de la maladie d'Alzheimer (GRESE, 2012).

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

II.2.2. Les procédés conventionnels de traitement des eaux

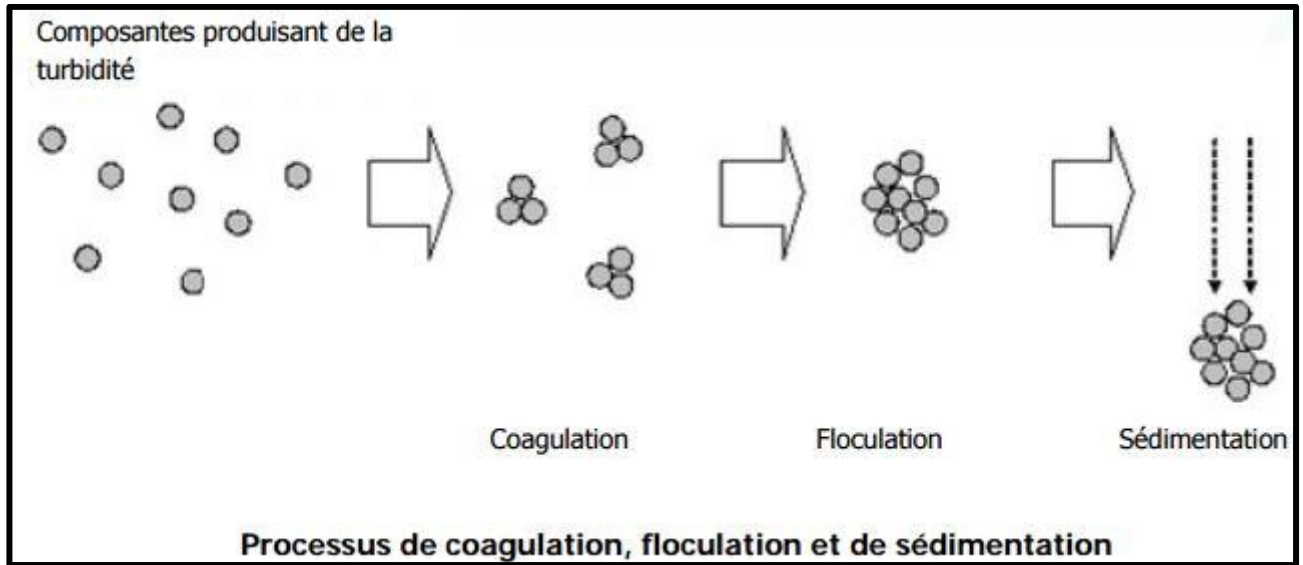


Figure II.5. le principe de procédés conventionnel de traitement des eaux

II.2.2.A. coagulation-floculation

C'est un procédé physico-chimique par lesquels des particules colloïdales ou des solides en fine suspension sont transformés par des flocculant chimique en espèces plus visibles et séparables (les floes). Les floes formés sont ensuite séparés par décantation et filtration puis évacués. Les coagulants inorganiques les plus utilisés sont l'alun et chaux [6]. Une quantité importante de boue est formée avec ce procédé : leur régénération ou réutilisation reste la seule issue mais demande des investissements supplémentaires.

La coagulation a pour but de déstabiliser les particules en suspension, c'est -à-dire de faciliter leur agglomération. On peut obtenir cette déstabilisation par : (DESJARDINS .R ,1997)

- Compression de la double couche ;
- Adsorption et neutralisation des charges ;
- Emprisonnement des particules dans un précipité ;
- Adsorption et pontage.

La coagulation est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques amenant un processus comportant, en premier lieu la déstabilisation d'une suspension colloïdale, et en second lieu

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

l'agrégation des particules en petits amas, ou flocons, sous agitation et sous l'action du mouvement brownien. (Beaudry, 1984)

La floculation : est l'ensemble des phénomènes physico-chimique menant à Processus de grossissement et d'uniformisation des flocons sous l'influence d'un brassage modéré. (Beaudry, 1984) Elle a pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules colloïdales déstabilisés et leur agglomération pour accroître son volume, sa masse, et sa cohésion. (Beaudry, 1984).

Ce phénomène est réversible, c'est à dire que l'on peut casser ces agrégats, par exemple en agitant fortement le liquide, pour retrouver la solution de colloïdes initiale. (Mottot, 2000)

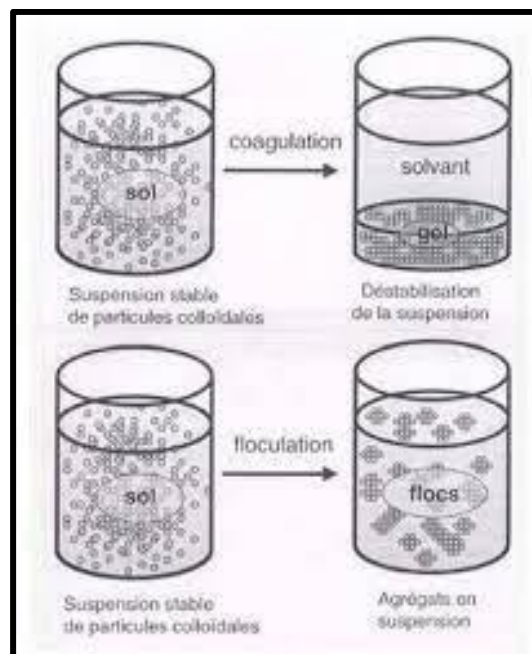


Figure II.6. le principe de la coagulation-floculation

II.2.2.B. Flotation

C'est un procédé de séparation solide-liquide ou liquide-liquide qui s'applique à des particules dont la masse volumique est inférieure à celle du liquide qui les contient. Dans les eaux à forte charge en matières organiques, les matières solides sont rassemblées à la surface par insufflation d'air, sous forme d'écume qui est ensuite retirée par raclage à la surface de l'eau. Les bulles d'air fines s'accrochent aux particules fines à éliminer. (Bouchenak K et Racha M).

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

Son principe consiste à générer des bulles d'air de petit diamètre qui s'accrochent au floc et vont l'alléger, celui-ci est alors entraîné en surface de l'ouvrage où il s'accumule tandis que l'eau clarifiée est collectée en partie basse. La flottation est supérieure à la décantation dans le cas de clarification d'eaux de surface peu chargées en matières en suspension, riches en plancton ou en algues et produisant un floc léger décantant mal. La boue accumulée en surface forme le gâteau, il est évacué périodiquement par raclage, avant que l'air ne s'en échappe, ce qui provoquerait la décantation de la boue (DUGUET et al, 2006).

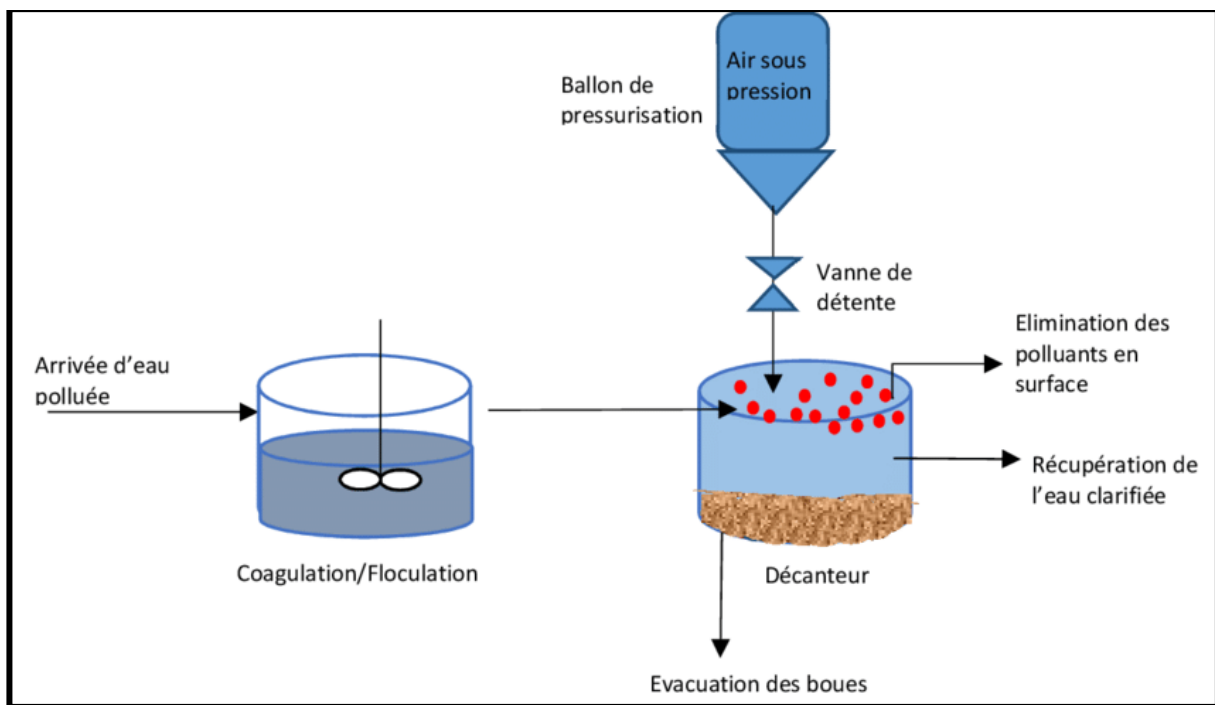


Figure II.7. le principe du processus de flotattion

II.2.2.C. Sedimentation-decantation

La Sédimentation : est un Procédé d'enlèvement des matières solides décantables en suspension dans l'eau. Cette méthode fondée sur le phénomène de sédimentation vise la séparation des particules en suspension dans un liquide, par dépôt sous l'action de leurs poids (**décantation gravimétrique**) ou de la force centrifuge (**décantation centrifuge**). Le phénomène de sédimentation peut se manifester différemment selon la concentration de la suspension, les caractéristiques propres des particules et les interactions possibles entre elles.
[7]

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

La décantation : est un procédé qu'on utilise dans pratiquement toutes les usines de traitement des eaux, a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Ces particules sont en général des particules de floc ou des particules résultant de la précipitation qui a lieu lors des traitements d'adoucissement ou d'élimination du fer et du manganèse. Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration (DESJARDINS, 1997).

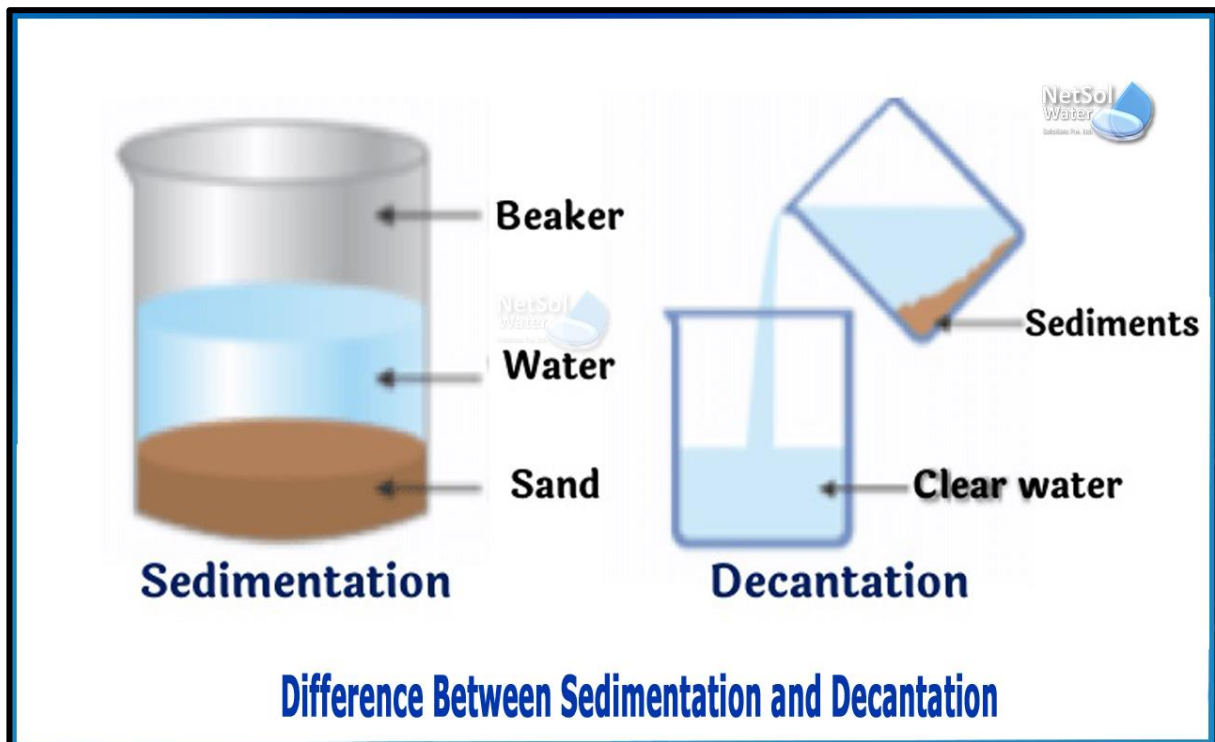


Figure II.8. la différence entre la sédimentation et la décantation

II.2.2.D. désinfection

La désinfection est un traitement qui permet de détruire ou d'éliminer les micro-organismes pathogènes notamment les bactéries, virus, protozoaires susceptibles de transmettre des maladies. Ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, car une eau potable n'est pas une eau stérile biologiquement par contre elle contient encore des microorganismes non pathogènes qui ne présentent aucun danger pour la santé (FERAT .Z et al,2009).

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

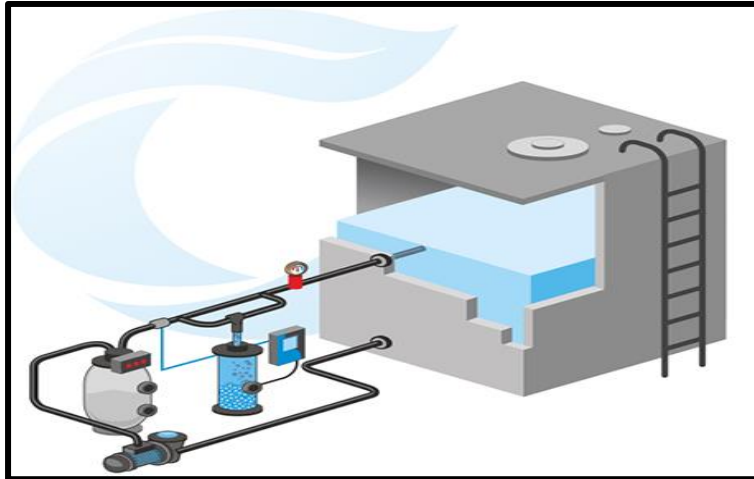


Figure II.9. Désinfection de l'eau de citernes

II.2.2.E. Filtration

Définition

La filtration est la barrière ultime et obligatoire de la filière de traitement des eaux dans la majeure partie des cas [8].

C'est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux, comme le sable, l'anthracite moulu, du gravier, de la terre diatomées. Si ces matières à retenir sont de dimension supérieure à celles des pores de filtre, elles sont retenues à la surface et la filtration est dite « en surface », ou en « gâteau » ou encore « sur support ». Dans le cas contraire, les matières sont retenues à l'intérieur de la masse poreuse, la filtration est dite « en volume » ou « en profondeur » ou « sur lit filtrant ». Les solides en suspensions ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent ; il faut donc prévoir un nettoyage du filtre [9].

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation, de floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs [10].

Principe de fonctionnement

Le principe consiste à séparer les particules solides ou les impuretés présentes dans un fluide, tel que l'eau, l'air, ou d'autres liquides ou gaz, en utilisant un support poreux appelé filtre.

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

Le fluide à filtrer passe à travers le filtre, tandis que les particules solides plus grandes que les pores du filtre sont piégées et retenues, permettant ainsi d'obtenir un fluide plus propre.

La filtration est largement utilisée dans de nombreux domaines, tels que le traitement de l'eau potable, la purification de l'air, la filtration industrielle, l'industrie alimentaire, les systèmes de climatisation, les filtres à huile dans les véhicules, etc. Elle permet de séparer les impuretés et les contaminants, garantissant ainsi un fluide plus propre et plus sûr.

La filtration sur l'argile utilise de l'argile comme matériau filtrant pour éliminer les impuretés de l'eau. L'eau passe à travers les pores naturels de l'argile, qui sont capables d'éliminer la plupart des bactéries, protozoaires et helminthes, ainsi que la saleté ou les sédiments et la matière organique. Cependant, la conductivité hydraulique et la taille des pores peuvent varier selon le type d'argile, ce qui peut affecter l'efficacité de la filtration

● Utilisation de la filtration

- Clarification après traitement par coagulation – floculation – décantation ;
- Déferrisation – démanganisation ;
- Décarbonatation ;
- Nitrification – dénitrification ;
- Adsorption de composés organiques ou minéraux (charbon actif – alumine activée) ;
- Reminéralisation des eaux par une filtration sur matériau qui réagit avec l'eau et qui se dissout dans l'eau. Parmi ces matériaux : marbre, carbonate de calcium, carbonate de calcium – magnésium (dolomie), carbonate de calcium – oxyde de magnésium (magno) [11].

● Mécanisme de filtration :

L'arrêt des particules que transporte l'eau à filtrer peut s'effectuer de diverses façons selon la taille de ces saletés, de leur fragilité et de leur nature chimique. La filtration se déroule dans le volume des vides du matériau. Trois mécanismes sont ainsi possibles [10] :

Mécanismes de capture : La capture est caractérisée par l'interception de la particule par frottement grâce à son inertie et sa décantation. Cette capture est essentiellement de deux natures [12]:

- Tamisage mécanique : Il s'agit de la rétention des particules plus grosses que la maille du filtre ou que celle des éléments déjà déposés, formant eux-mêmes le matériau filtrant. Ce phénomène intervient d'autant plus que la maille du matériau filtrant est plus fine [13].

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

➤ Dépôt sur le matériau filtrant : La particule en suspension suit dans le liquide une ligne de courant ; sa faible taille, comparée à celle des pores du milieu filtrant, pourrait lui permettre de traverser le matériau filtrant sans être arrêtée, suite à des différents phénomènes qui entraînent un changement de trajectoire de ces MES, leurs contacts avec le matériau filtrant devient possible. On distingue en particulier:

- L'interception directe par frottement ;
- La diffusion par mouvement brownien ;
- L'inertie de la particule ;
- La décantation: par leur poids, les particules peuvent se déposer sur le matériau filtrant quel que soit le sens de filtration. Ces différents mécanismes de capture interviennent principalement dans la filtration en profondeur [14].

Mécanisme de fixation : La fixation des particules à la surface du matériau filtrant est favorisée par une faible vitesse d'écoulement. Elle est due à des forces d'origine physique (coincement, cohésion...), et à des forces d'adsorption, principalement les forces de Van der Waals [12].

Mécanisme de détachement : Au cours de la filtration et sous l'action des mécanismes précédents, le filtre se colmate à cause des particules déjà déposées sur le matériau filtrant, ce qui produit une diminution de l'espace des vides entre les grains. Il y a donc augmentation de la vitesse et l'écoulement devient turbulent et par conséquent, un détachement partiel des impuretés retenues par le filtre [15].

● **Caractéristiques des matériaux filtrants :**

Les principales caractéristiques d'un matériau filtrant sont: le **diamètre effectif**, le **coefficient d'uniformité**, la **densité relative**, la **porosité** et la **perméabilité**. Il existe d'autres caractéristiques beaucoup plus difficiles à mesurer, comme la forme des grains et la surface spécifique [16].

➤ **Diamètre effectif et coefficient d'uniformité** : Le DE, et le CU, sont deux caractéristiques granulométriques importantes d'un matériau filtrant. Le diamètre effectif correspond à la grosseur des mailles du tamis qui laissent passer 10 % de la masse de l'échantillon. Le coefficient d'uniformité est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 60 % des particules et celui qui en laisse passer 10 %, soit D_{60}/D_{10} [11], [17].

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

➤ Densité relative du sable : On peut calculer expérimentalement la densité relative du sable, γ_s , en divisant sa masse par celle de l'eau qu'il déplace. On procède de la façon suivante [16]:

- On pèse un certain volume d'eau (on obtient m_e);
- On pèse le sable sec (on obtient m_s);
- On ajoute le sable à l'eau (l'eau déplacée déborde du récipient);
- On pèse le mélange d'eau et de sable (on obtient m_{es}).

➤ Masse unitaire sèche : La masse unitaire sèche, ρ_s , est la masse de matériau filtrant par unité de volume, masse qui varie en fonction du degré de compactage du matériau. Ainsi, on peut mesurer la masse unitaire sèche minimale ou la masse unitaire sèche maximale.

Pour mesurer la masse unitaire sèche minimale, on verse le sable, dans un récipient de volume et de masse connus, selon une technique qui permet d'éviter tout compactage. On pèse ensuite le récipient plein pour déterminer la masse de sable par unité de volume. Pour mesurer la masse unitaire sèche maximale, on fait vibrer le récipient pour obtenir un compactage maximal du sable, puis on pèse le récipient plein pour déterminer la masse de sable par unité de volume [16].

➤ Porosité : Le paramètre principal décrivant un milieu poreux est la porosité. La porosité d'un amas de granules désigne la fraction de son volume occupée par de l'air si l'amas est sec, ou par de l'eau si l'amas est saturée d'eau. Elle dépend de la granulométrie, de l'arrangement des grains et de leur degré de tassement. On peut distinguer deux types de porosité : une porosité totale et une porosité effective [18], [19].

- La porosité géométrique (globale) : La porosité géométrique notée « σ » est exprimée quantitativement par le rapport du volume de vide au volume total de l'échantillon [20].

- La porosité effective : La porosité effective est définie par le produit de la porosité géométrique et le degré de saturation ou d'une autre façon c'est la différence entre la porosité globale et la capacité de rétention, elle est notée « ε » [21].

➤ La perméabilité : Ce paramètre est exprimé par une constante de proportionnalité K qui a les dimensions d'une vitesse. C'est une vitesse de filtration par unité de pente motrice ou par unité de gradient hydraulique. Ce coefficient est appelé aussi coefficient de perméabilité, le coefficient de filtration, la vitesse de filtration de Darcy ou tout simplement le coefficient de Darcy.

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

- **Les technologies de la filtration:**

Nano-filtration:

NF est le terme utilisé pour désigner une technique séparative à membranes permettant la rétention de composés ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre (soit 10 Å), d'où son nom. Elle se situe entre l'osmose inverse et l'ultra-filtration.

Les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à environ 300 g/mol ne sont en général pas retenus par ce type de membrane. Au contraire, les sels ionisés multivalents (calcium, magnésium, aluminium, sulfates...) et les composés organiques non ionisés, de masse molaire supérieure à environ 300 g/mol sont fortement retenus.

Les mécanismes de transfert sont intermédiaires entre ceux de l'osmose inverse et ceux de l'ultrafiltration.

Les applications possibles sont nombreuses :

- déminéralisation sélective (adoucissement des eaux) ;
- concentration de composés organiques de faible masse molaire (antibiotiques)[23].



Figure II.10. Unité de nanofiltration

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

Ultrafiltration:

UF utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes). Les applications industrielles sont aujourd'hui multiples :

- concentration de solutions macromoléculaires (protéines, polysaccharides, polymères variés);
- élimination de macro solutés présents dans les effluents ou dans l'eau à usage domestique, industriel (électronique) ou médical ;
- clarification de moût de fermentation pour l'extraction de produits actifs pharmaceutiques.

[22][23]

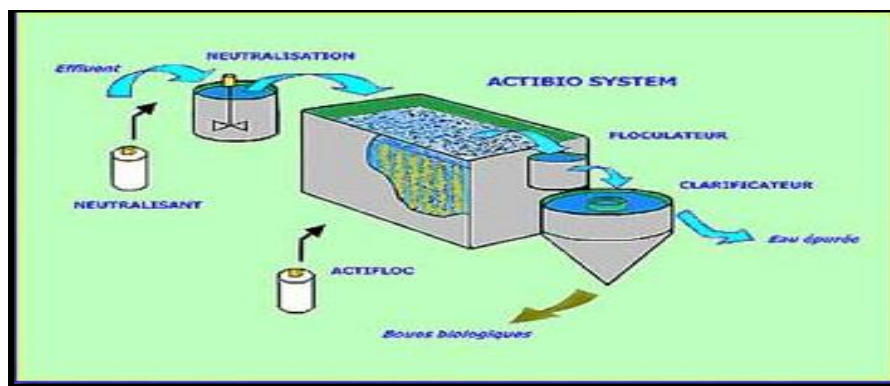


Figure II.11. Traitement de l'eau par ultra-filtration

Micro-filtration:

La (MF) tangentielle peut être définie comme un procédé de séparation solide-liquide qui met en œuvre des membranes dont les diamètres de pores sont compris entre 0,1 et 10 μm . Ce procédé permet donc la rétention des particules en suspension, des bactéries et indirectement des colloïdes et de certains ions après fixation de ces derniers sur des plus grosses particules obtenues par complexation, précipitation ou floculation. Bien que, du point de vue théorique, la différence entre ultrafiltration et microfiltration tangentielle soit très nette (l'ultrafiltration fonctionnant en phase liquide homogène et la microfiltration ayant pour objectif une séparation solide-liquide), du point de vue technologique, les deux techniques peuvent se recouper. Ainsi,

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

pour minimiser les phénomènes de colmatage et éviter que des particules solides pénètrent dans les pores des membranes, on a souvent intérêt à utiliser des membranes d'ultrafiltration pour effectuer une opération de microfiltration. Inversement, une membrane de microfiltration peut se comporter comme une membrane d'ultrafiltration (1 à 100 nm) voire de nanofiltration (< 1 nm) par suite de la formation en cours de fonctionnement d'une couche de gel à porosité très fine (membrane dynamique). [22][23]

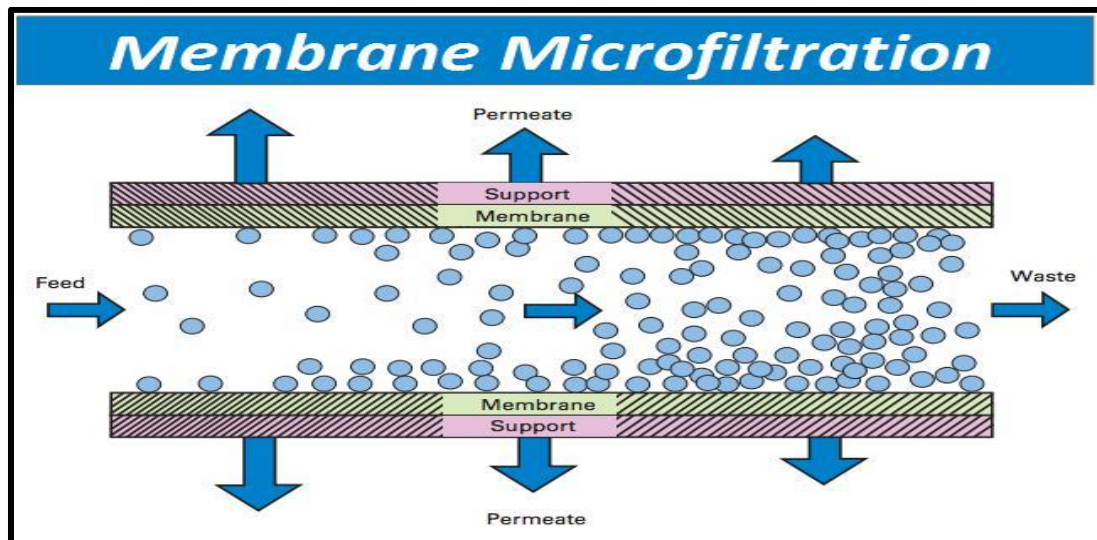


Figure II.12. principe de microfiltration

- **Les types de filtration (Les modes de filtration) :**

Pour la séparation de la phase solide et la phase liquide, deux techniques sont applicables : la filtration sur support et la filtration en profondeur.

- **La filtration sur support :**

Principe : On l'utilise en général pour la filtration de suspensions assez fortement chargées en matières solides. Le mélange est amené au-dessus du filtre (membrane, grille, toile, le papier, ...). La filtration se fait sous pression. La phase solide se dépose sous la forme d'un gâteau (ou tourteau) sur le filtre .

L'épaisseur du gâteau étant croissante au cours du temps, la vitesse d'écoulement diminue [24], [25].



Figure II.13. filtration sur support

➤ **La filtration sur lit filtrant :**

La filtration sur lit filtrant est utilisée dès que la quantité de matière à retenir devient importante et que la dimension des particules contenues dans l'eau est relativement faible.

Pour qu'une telle filtration soit efficace, il faut que ces matières puissent pénétrer profondément dans le lit, et non le bloquer en surface. De plus, il faut que le ou les matériaux composant le lit soient judicieusement choisis, tant en granulométrie qu'en hauteur de couche, pour que le filtrat corresponde à la qualité recherchée [26].

Le filtre est constitué d'une ou plusieurs couches de produits filtrants (en général, de sable ou de l'antracite). Au fond du filtre, on trouve des bosselures qui laissent passer uniquement le liquide filtré. Lorsque le mélange s'écoule à travers le filtre, les particules en suspension restent piégées dans le filtre. Le filtre sera d'autant plus efficace que le diamètre des grains sera plus faible et que le temps de séjour des particules dans le filtre sera long (vitesse lente ou hauteur de filtre grande). Au fur et à mesure que le mélange s'écoule à travers le filtre, ce dernier se colmate. Il faut donc procéder à une opération de lavage [27].

Le bon fonctionnement d'un filtre dépend de la parfaite répartition à travers la masse filtrante de l'eau à filtrer de l'eau de lavage, et éventuellement de l'air de lavage [26], [24].

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

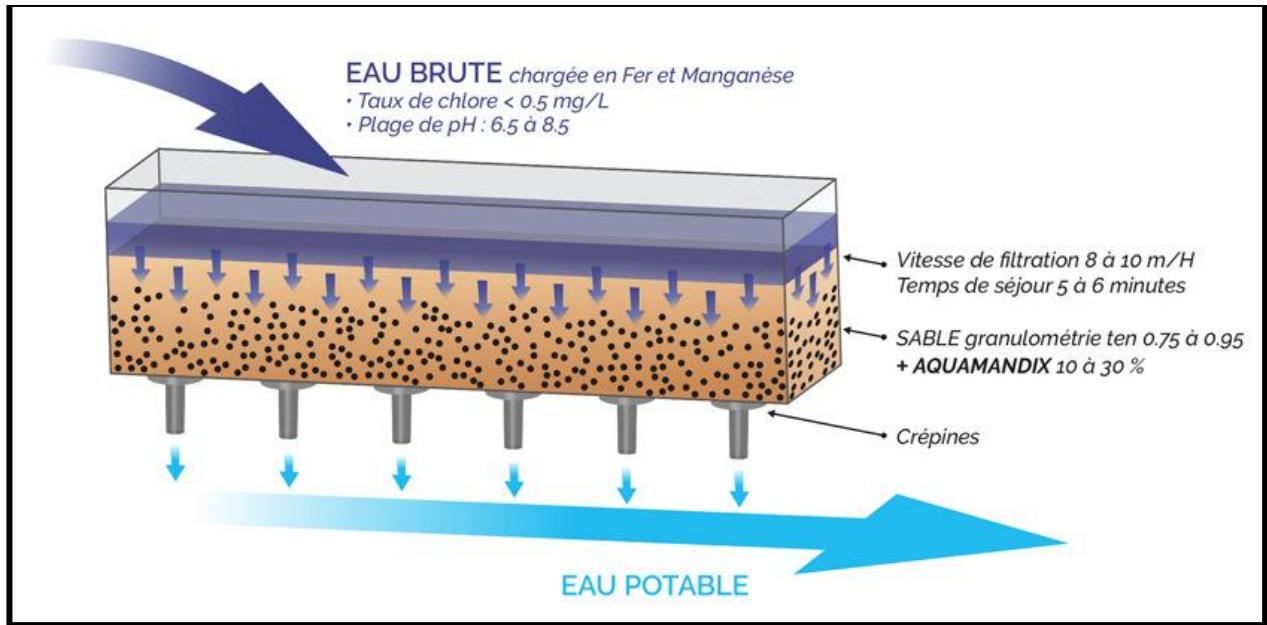


Figure II.14. Schéma de La filtration sur lit filtrant

A/ Filtration lente

La filtration lente est historiquement la première application à grande échelle des traitements de purification au moyen de milieux granuleux [28].

La filtration lente est un procédé biologique et physique qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par l'élimination des matières en suspension et colloïdales [29], [30].

Le filtre à sable lent doit être construit de telle sorte que l'eau traverse lentement la couche de sable fin et que les particules les plus grosses soient arrêtées près de la surface du sable. Ces particules forment une couche poreuse très fine, dont la surface totale de veinules ou de pores est très grande, ce qui facilite l'absorption des impuretés par cette couche. Cette couche poreuse est constituée de bactéries, d'algues et de protozoaires. La filtration lente sur sable ne compte pas d'étape de coagulation ni, en général, de décantation .

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

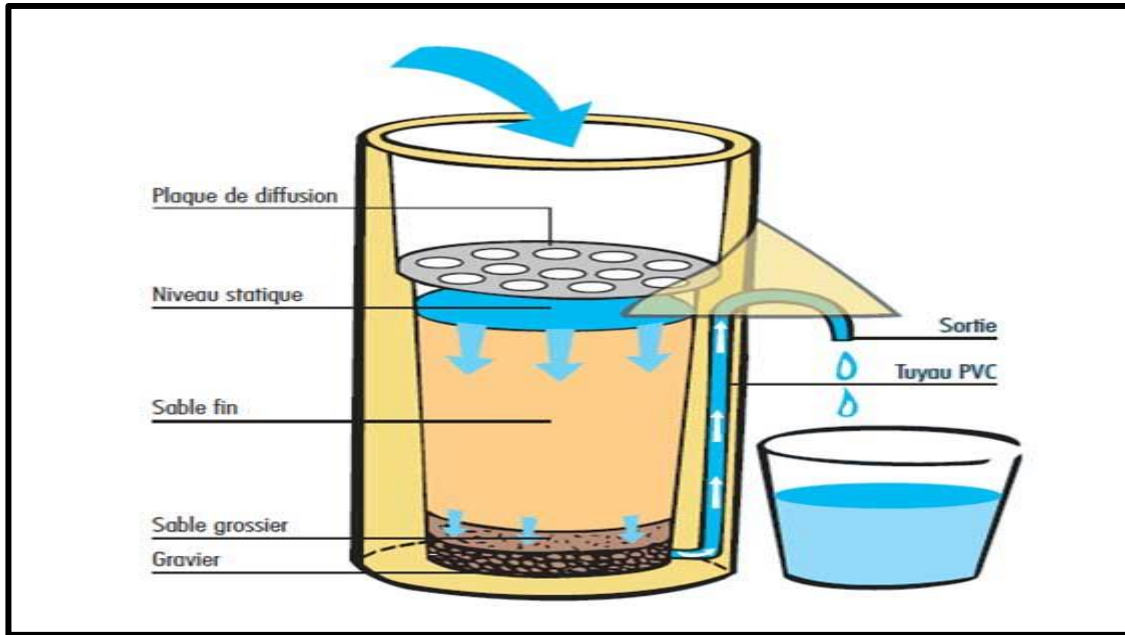


Figure II.15. Filtration lente

Avantage de la filtration lente

Cette méthode est souvent la plus économique dans les pays en développement et offre l'avantage d'une grande efficacité et d'une exploitation simple [31].

- Facile à entretenir et aucun élément mécanique;
- Produit une eau de grande qualité [8];
- Les filtres lents permettent de ne pas recourir à la coagulation et ne nécessitent pas l'ajout de produits chimiques;

Inconvénients de la filtration lente

- Nécessite de grandes surfaces et de grandes quantités de médias filtrant et des travaux coûteux [16];
- Sensible au colmatage.
- Des eaux très chargées peuvent colmater rapidement ces filtres;
- Les eaux peu chargées en matière organique peuvent limiter l'enlèvement biologique.
- Limitation dans les pays froids [12], [8].

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

B/ La filtration rapide

Le filtre à sable rapide est le type le plus utilisé dans le traitement des eaux de consommation. Le matériau filtrant est maintenu en place par gravité et l'écoulement de l'eau à lieu de haut en bas. Les matériaux les plus utilisés sont le sable et l'antracite [16].

Elle s'applique à des eaux préalablement traitées (eau flocculée et décantée ou flottée) et aura pour but d'obtenir une clarification de l'eau par l'élimination de MES. Ce type de filtration est utilisé lorsque l'usine doit fournir de grande quantité d'eau ($> 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$), [8], [32].

Selon le cas d'application, la filtration rapide met en œuvre des vitesses allant de 4 à 50 m/h, le débit spécifique peut aller jusqu'à $5-7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, D10 du sable se situe d'habitude entre 0.5 et 1.5 mm. Dans ce type de filtration, l'action biologique est pratiquement nulle, du fait de la grande vitesse de filtration et le lavage très fréquent. La filtration en profondeur intervient ici beaucoup plus que dans les filtres lents, et les grandes vitesses de filtration et le colmatage rapide provoquent des augmentations très importantes des pertes de charges.

Concernant les méthodes utilisées pour recueillir les eaux filtrées, on en distingue deux :

- 1) Le drainage des eaux filtrées peut se faire par des dalles en béton maigre (en dessous de la couche filtrante), qui sont soit poreuses soit munies de bougies poreuses ou de buselures à fentes ;
- 2) L'eau filtrée est recueillie au moyen de tuyaux perforés qui sont noyés dans une couche de sable fin [33].

Fonctionnement d'un filtre à sable rapide : Un filtre à sable rapide est peu efficace lorsqu'il doit traiter une eau n'ayant pas bénéficié d'une coagulation et d'une floculation. Un tel filtre élimine en effet difficilement les particules non absorbées par le floc, et ce même s'il est constitué d'une épaisse couche de sable fin. Les facteurs suivants peuvent affecter la qualité de l'eau filtrée :

- Caractéristiques granulométriques du milieu filtrant ;
- Porosité du milieu filtrant ;
- Epaisseur du milieu filtrant ;
- Charge superficielle.

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

Avantages et inconvénient de la filtration rapide :

- Du fait de la grande vitesse de filtration, la superficie nécessaire à l'installation sera bien moins importante que pour traiter le même volume en filtration lent.
- Elle présente l'avantage de pouvoir traiter les eaux chargées des colloïdes et de décolorer les eaux teintées par cette charge des colloïdes.
- De plus, la formation d'algues sur les bassins, si fréquente en filtration lente, est plus rare en filtration rapide car les algues n'ont pas le temps, ordinairement, de se développer entre deux lavages.
- La filtration rapide est une opération délicate, complexe, qui demande des études et des essais préalables. Le personnel d'exploitation doit être hautement qualifié.
- La filtration rapide ne nécessite pas des grandes surfaces [31].

C / Filtres sous pression

Les filtres sous pression fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapides, sauf que leurs couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage, sont situés dans des cylindres horizontaux ou verticaux, lesquels sont conçus pour supporter des pressions de l'ordre de 1000 KPa. On peut ainsi filtrer de l'eau sous pression et la distribuer sans recourir au double pompage. Les filtres sous pression sont plutôt utilisés pour des petites installations, ils permettent des pertes de charge importantes [16],[11].

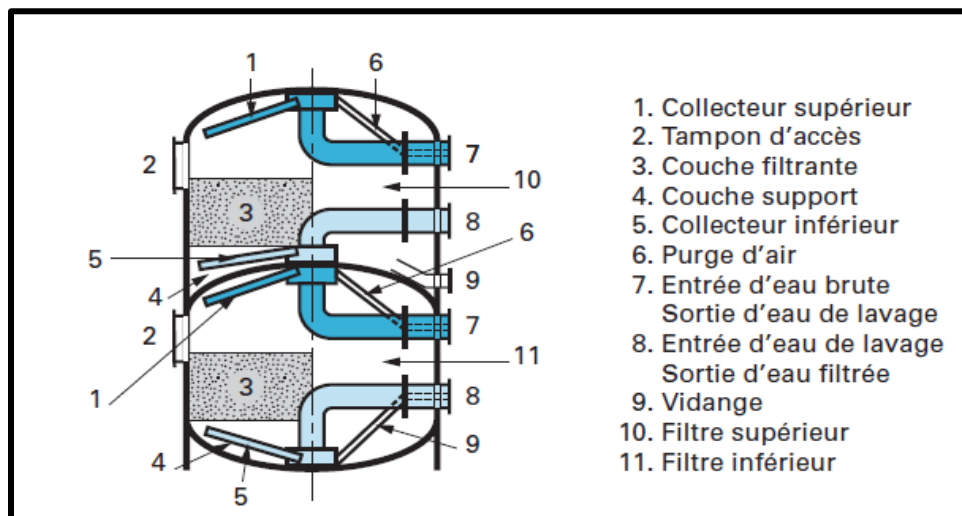


Figure II.16. Filtres sous pression

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

D/ Filtration sur charbon actif :

Le charbon actif est une substance qui depuis longtemps est utilisé pour adsorber les impuretés. Une cartouche de charbon actif peut adsorber des milliers de différents produits chimiques. La rétention de ces impuretés se fait par le phénomène **d'adsorption** [34].

Il y a deux types d'adsorption:

- **Adsorption physique:** les molécules sont retenues par les forces de Van der Waals.
- **Adsorption chimique:** les molécules réagissent chimiquement et forment des liaisons. Les facteurs principaux qui influencent ce phénomène peuvent être présentés comme suit :

- le type de charbon actif ;
- la surface spécifique et la distribution et dimension des pores ;
- le temps de contact;
- les caractéristiques des substances à enlever de l'eau et le type de composé à adsorber ;
- la concentration du composé à éliminer : plus la concentration est élevée, plus la consommation de charbon augmente [35], [36].

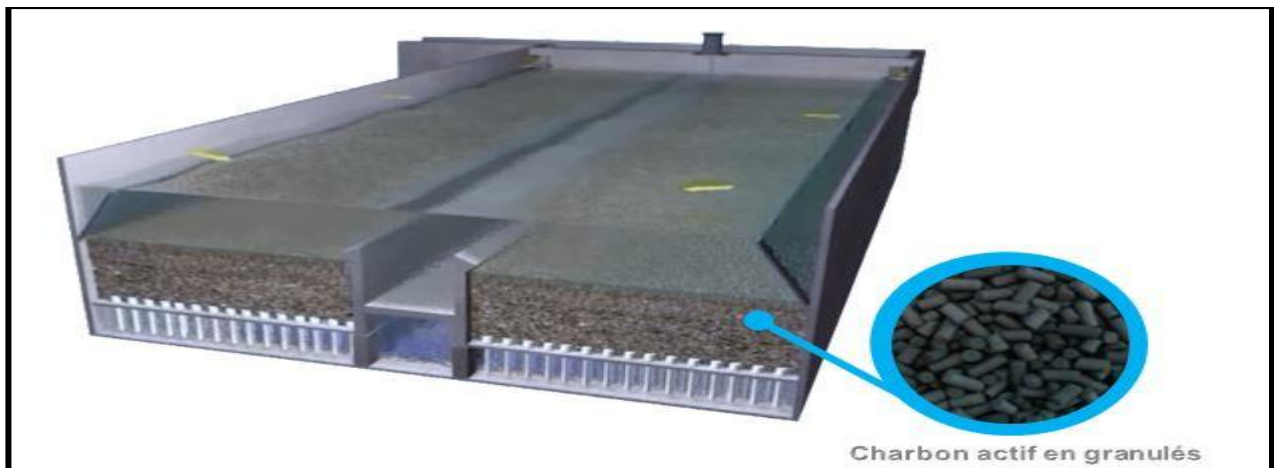


Figure II.17. Filtration sur charbon actif

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

E/Filtration sur céramique

La filtration sur céramique est l'une des méthodes les plus couramment utilisées surtout lorsque les matériaux entrant dans sa réalisation sont localement disponibles (Dies., 2003).

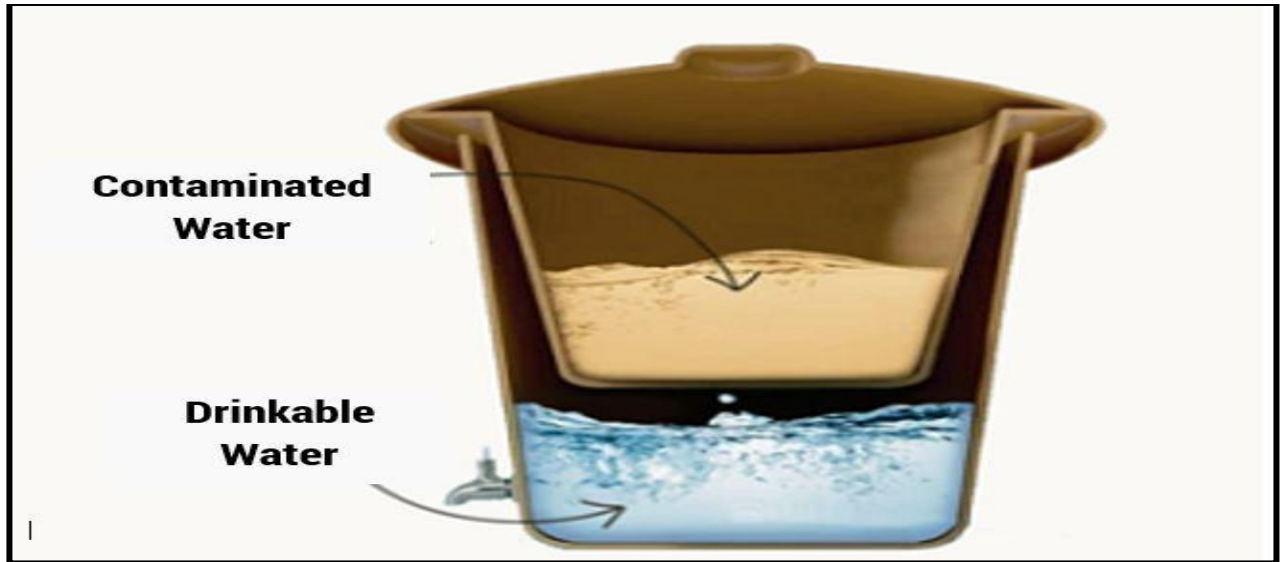


Figure II.18. Filtration sur charbon actif

Les filtres en céramique peuvent être décrits par les fonctions qu'ils assurent :

- l'élimination microbienne ;
- l'élimination chimique des contaminants comme l'arsenic et le fer ;
- l'élimination des contaminants secondaires comme le goût et l'odeur.

➤ Il y a plusieurs type de filtre en céramique parmi eux :

Le filtres en céramiques argileuses poreuses

Le filtre en céramique argileuse est utilisé depuis très longtemps pour le traitement et la conservation de l'eau. Les matériaux de base sont l'argile et les combustibles. L'argile a des propriétés qui lui permettent d'être choisie comme matériaux de base. On peut citer la plasticité élevée mais aussi la malléabilité. Les combustibles sont utilisés pour créer des pores sur la céramique. Les plus utilisés sont la sciure de bois dur [37] et les balles de riz [38] néanmoins d'autres combustibles sont utilisés comme les coques de café ou d'arachide, les coques d'amande, les enveloppes de maïs etc.

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

II.3. L'argile

● Définition

Dans la bibliographie, il existe différentes propositions de définitions, par exemple, Eslinger et Peaver [39] définissent les argiles comme un minéral qui domine la fraction fine < 2 microns des roches et des sols. Les argiles, ou roches argileuses sont un mélange de minéraux et d'impuretés cristallines. Souvent hydratés, de forme lamellaire ou fibreuse. Telles que les argiles sableuses, les argiles calcaires ou marnes et les argiles bitumeuses [40].

L'intérêt accordé ces dernières années à l'étude des argiles par de nombreux laboratoires dans le monde se justifie par :

- Leur abondance dans la nature,
- L'importance des surfaces spécifiques qu'elles développent,
- La présence de charges électriques sur ces surfaces,
- Capacité d'échange cationique, hydratation et gonflement, ce qui confèrent à ces argiles des propriétés hydrophiles [40].

L'argile brute est constituée généralement d'un composant minéral de base (kaolinite, montmorillonite, etc...) et de certaines impuretés [41].

Les impuretés sont constituées de :

- Oxydes de silicium : (le quartz et la cristobalite).
- Minéraux ferrifères : l'hématite Fe_2O_3 , la magnétite Fe_3O_4 .
- Carbonates : la calcite $CaCO_3$, la dolomite $CaMg(CO_3)_2$. Matières organiques Oxydes et hydroxydes d'aluminium : La gibbsite $Al(OH)_3$.

● Structure

Les minéraux argileux sont principalement des phyllosilicates, c'est-à-dire qu'ils sont constitués par un empilement de feuillets. (La figure II.18) explicite la terminologie utilisée pour définir la structure des phyllosilicates (White, 1999).

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

On distingue quatre niveaux d'organisation:

- les plans sont constitués par les atomes ;
- les couches, tétraédriques ou octaédriques, sont formées par une combinaison de plans ;
- les feuillets correspondent à des combinaisons de couches ;
- le cristal résulte de l'empilement de plusieurs feuillets.

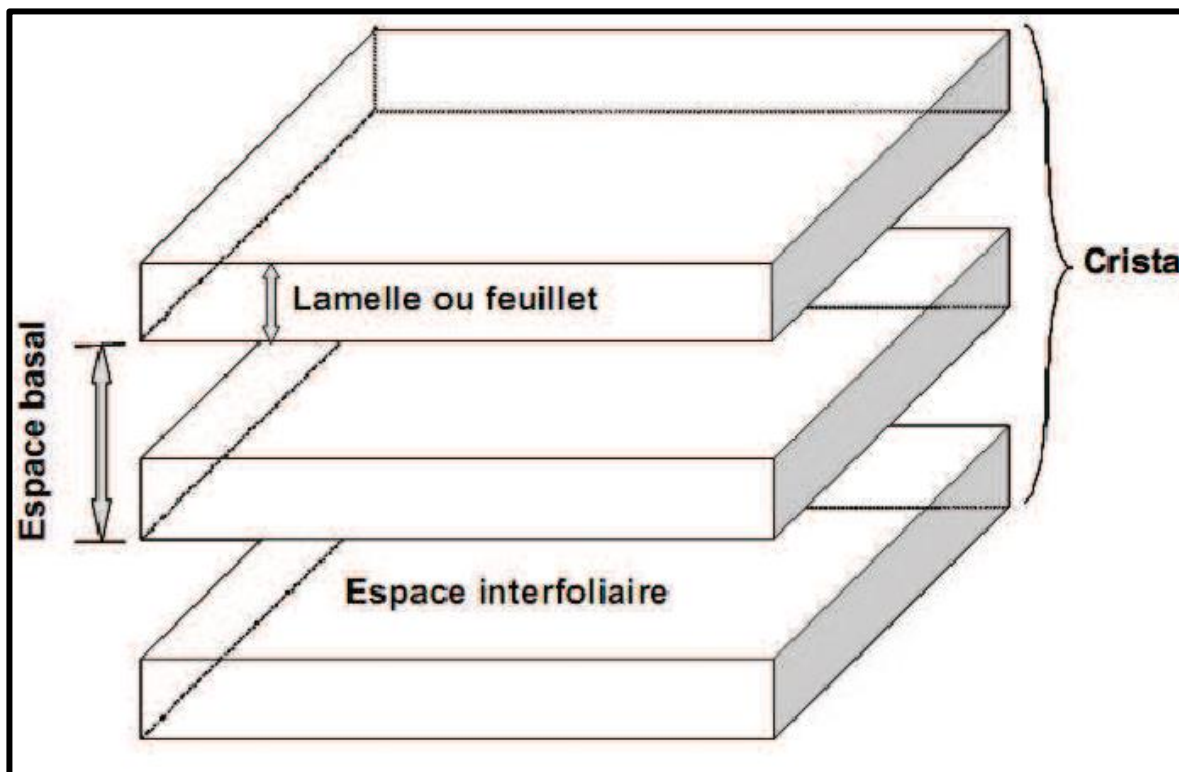


Figure II.19. Structure générale des phyllosilicates

1.3.1. Éléments structuraux

Deux éléments essentiels, le silicium et l'aluminium entourés d'oxygènes et d'hydroxyles constituent le réseau cristallin fondamental. Le silicium occupe le centre d'un tétraèdre et l'aluminium celui d'un octaèdre (parfois l'aluminium occupe le centre d'un tétraèdre). L'accolement de plusieurs tétraèdres ou de plusieurs octaèdres constitue une couche correspondante (figure II.19).

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

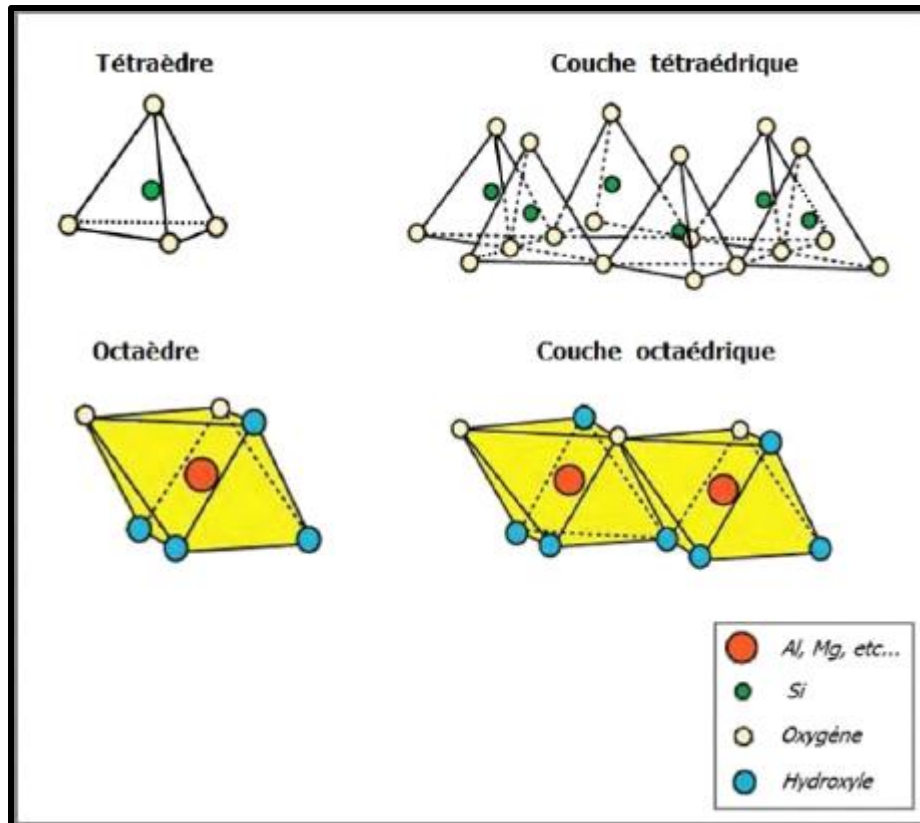


Figure II.20. Constituants élémentaires du feuille d'argile

Les tétraèdres s'agencent avec les octaèdres pour constituer des couches, et l'empilement de deux ou plusieurs couches constituent les feuillets (figure II.20). Ces feuillets peuvent être neutres ou chargés négativement. Cette charge négative résulte de la substitution d'un élément par un élément de valence inférieure, par exemple Si^{4+} par Al^{3+} ou Al^{3+} par Mg^{2+} ou Fe^{2+} . L'électroneutralité de l'édifice est alors assurée par des cations encore appelés cations de compensation qui se logent dans l'espace entre les feuillets (espace interfoliaire). La charge de la couche dépend des substitutions de cations dans les feuillets tétraédriques ou octaédriques (Elsinger et al., 1988).

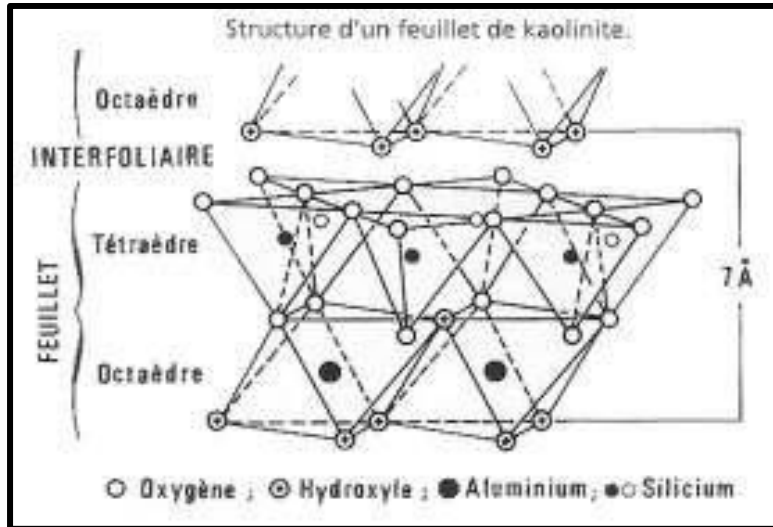


Figure II.21. Agencement des tétraèdres et des octaèdres en feuilles 1/1 (Kaolinite)

● Classification des argiles

Les principaux critères de classification sont basés sur la combinaison de feuillets, le type de cations dans l'octaèdre et le tétraèdre, la charge de la couche et la nature des espèces dans l'espace interfoliaire (cations, molécules d'eau,...). Quelques critères secondaires sont le polytypisme, la composition chimique, le type d'espèces argileuses et le mode d'empilement pour les interstratifiés (Eslinger et Peaver, 1988 ; Bergaya et al., 2006).

Il existe différentes classifications des argiles. La plus classique est basée sur

l'épaisseur la structure du feuillet.

On distingue ainsi quatre groupes :

➤ Minéraux de type 1 : 1 ou (T-O)

Ils sont constitués d'une couche tétraédrique et d'une couche octaédrique. La distance inter feuillets est de l'ordre de 7Å°. Les principaux représentants de cette famille sont les Kaolinites $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ et Halloysites [41].

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

➤ Minéraux de type 2 : 1 (ou T-O-T)

Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques de silice et d'une couche octaédrique alumineuse. L'équidistance caractéristique varie de 9,4 à 15 Å selon le contenu de l'inter feuillet. A ce type correspondent les groupes du talc, des smectites, des vermiculites et Des micas [42].

➤ Minéraux de type 2 :1 :1 (ou T-O-T-O)

Le feuillet est constitué par l'alternance de feuillet T-O-T et de couche octaédrique inters foliaire. L'équidistance caractéristique est alors d'environ 14 Å. A ce type correspond le groupe du chlorite [43].

➤ minéraux interstratifiés :

L'épaisseur de feuillet est variable. Ces minéraux résultent du mélange régulier ou irrégulier d'argiles appartenant aux groupes ci-dessus. La valeur de la charge permanente du feuillet a servi de critère permettant d'établir une classification des phyllosilicates 1/1 et 2/1 .

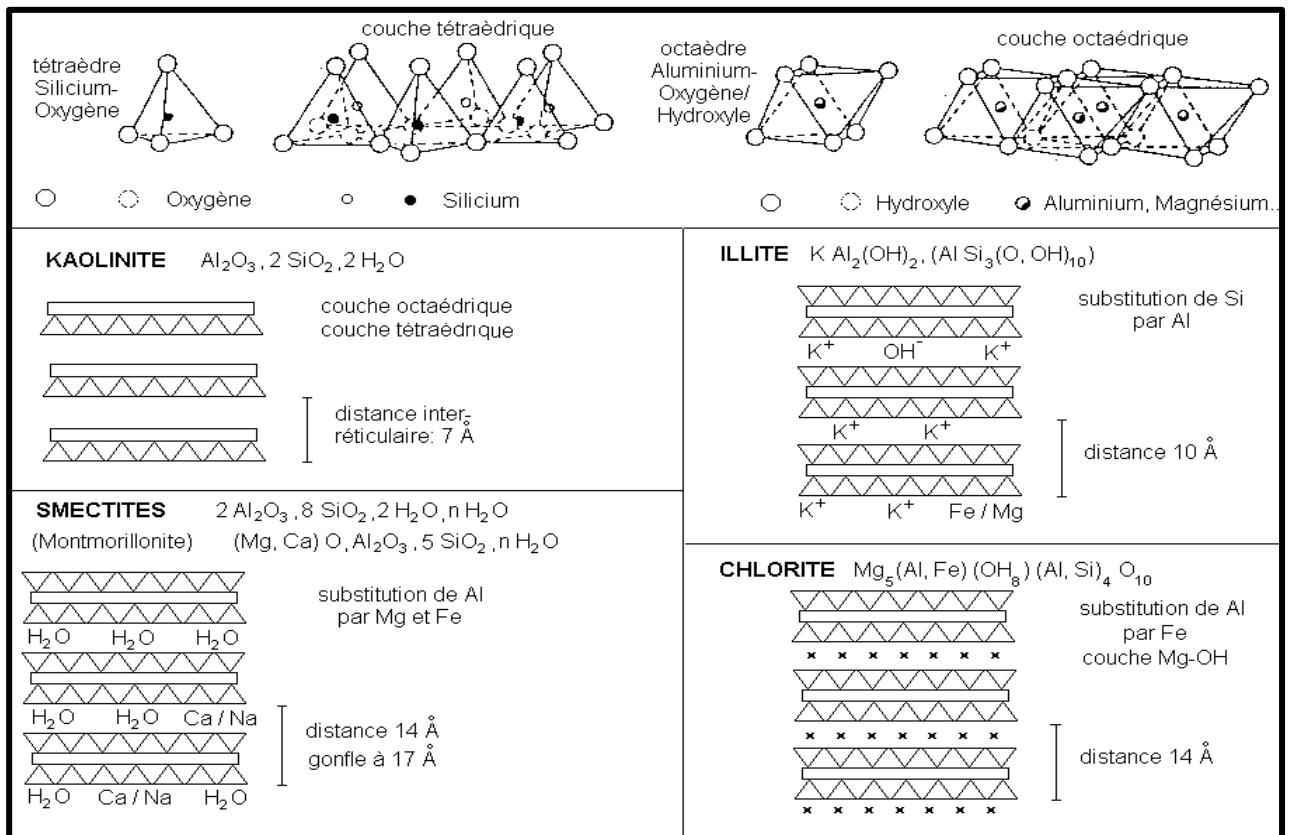


Figure II.22. Classification des minéraux argileux

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

Les différentes familles d'argiles

A. Famille de la Kaolinite ou série 1/1 (Te.Oc) (kaolin)

La kaolinite est un phyllosilicate de type TO, On la trouve soit sous forme hydraté ou non. La kaolinite dioctaédrique non hydraté a une distance basale qui varie de 7,1 à 7,4 Å et sa formule structurale est $2[\text{Si}_2\text{O}_5\text{Al}_2(\text{OH})_4]$. Chaque tétraèdre SiO_4 de la couche tétraédrique est relié aux tétraèdres voisins par trois de ses sommets, le quatrième sommet étant lié à la couche octaédrique sous-jacente.

Cette dernière est formée par la superposition de deux plans anioniques qui délimitent trois types de sites octaédriques non équivalents, désignés A, B et C, qui sont disposés suivant une géométrie hexagonale. L'un de ces sites reste vacant afin d'assurer la neutralité électrique du feuillet. La position des sites vacants permet de différencier la kaolinite des autres minéraux appartenant à cette même famille. Ainsi, une kaolinite idéale est caractérisée par un empilement de feuillets où tous les sites B sont libres alors que, par exemple, la dickite est constituée par une alternance de feuillets inoccupés de type B et de type C. En tous les kaolins comprennent quatre variétés cristallographiques : la kaolinite idéal, la nacrite, la dickite et le métahalloysite ; Le minérale de forme hydratée type est l'halloysite (ou endellite) et il n'existe pas de variétés cristallographiques pour cette dernière [44].



Figure II.23.Kaolin

Dans le cas de la kaolinite, le feuillet est toujours neutre, dioctaédrique et alumineux. Morphologiquement, la kaolinite se présente sous forme de particules hexagonales constituées par des empilements de feuillets (figure II.23). La faible capacité d'échange des kaolinites est due à des sites de surface amphotères (Gridi-Bennadji, 2007).

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

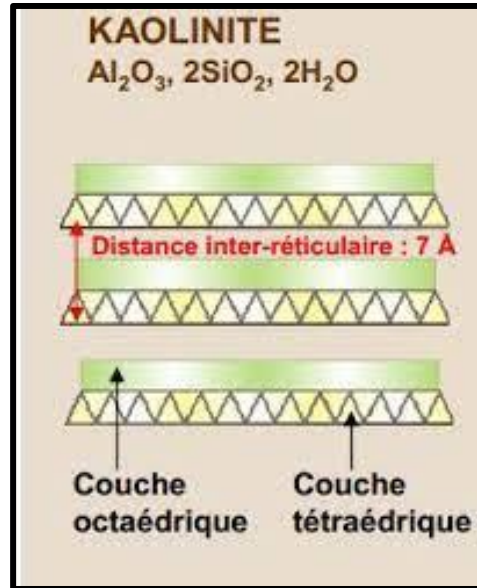


Figure II.24. Structure de la Kaolinite

A.1. Propriétés physico-chimique du kaolin :

Le kaolin est considéré comme [45] :

- Un minéral non gonflant.
- Les cristaux élémentaires se présentent sous formes de plaquettes hexagonales.
- pH neutre ou basique.
- Bon pouvoir couvrant (utilisation comme pigment).
- Plastique, faiblement réfractaire et faiblement conducteur de chaleur et d'électricité.

A.2. Utilisation du kaolin :

Le kaolin a des nombreuses applications industrielles, dont les principales sont [46] :

1. La fabrication du papier comme charge et pour le couchage.
2. Le kaolin est utilisé essentiellement en céramique fine, pour sa blancheur.
3. Le kaolin qui entre dans la fabrication des caoutchoucs améliore la résistance mécanique, la résistance à l'abrasion et la rigidité des produits.

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

4. Le kaolin est très utilisé comme charge dans les plastiques pour sa couleur ; il permet de plus obtenir des surfaces plus lisses, une meilleure stabilité dimensionnelle et une meilleure résistance aux acides.



Figure II.25. La kaolin dans la poterie

B. Famille des Smectites et Micas où série 2/1 (Te.Oc.Te)

Du grec mectos « je nettoie », ou la famille des montmorillonites (de Montmorillon, dans le département de la Vienne) sont structurées selon le même schéma que les illites, soit trois couches autrement dit ce sont des phyllosilicates constitués de deux couches tétraédriques encadrant une couche octaédrique (phyllosilicates 2/1) et qui présentent des propriétés de gonflement (figure II.25).

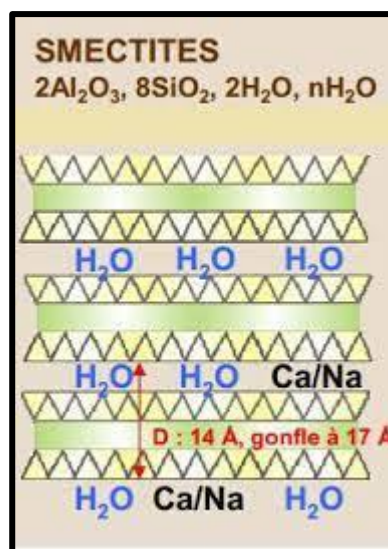


Figure II.26. Structure des Smectites.

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

L'espace interfoliaire est de 14 à 17 Å. Dans ce groupe, les feuillets sont minces et peu reliés entre eux, d'où la possibilité d'association avec l'eau et la matière organique dans l'espace interfoliaire, d'où le terme d'argile gonflante [47].



Figure II.27. Smectites

➤ Montmorillonite

La montmorillonite, appelée aussi smectite, est un minéral argileux de type TOT dont le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice. Une substitution partielle de l'aluminium Al par le magnésium Mg est fréquente. Les forces de Van der Waals sont faibles par rapport aux autres forces de liaison. Cela se traduit par une déficience en charge négative nette dans les feuillets en octaèdre. Pour cette raison les ions échangeables peuvent pénétrer dans la structure et séparer les couches. La montmorillonite est donc caractérisée par une structure instable qui est affectée par la présence d'eau. Les plaquettes de montmorillonite ont une forme quelconque est de taille très petite [47].

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux



Figure II.28. Montmorillonite

Tableau II.1. Propriétés physico-chimiques de la montmorillonite[48].

Epaisseur des plaquettes moyenné (μm)	Masse Volumique	duret	Masse molaire g/mol	Surface spécifique m ² /g	Formule générale
0.001-0.01	2.12-3.00	Minéral très tendre se laisse couper comme le savon	814	800	(OH₄)Si₈(Al₃Si₄) Mg_{0.66}O₂₀, nH₂O(ou Na_{0.66} au lieu de Mg_{0.66})

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

➤ Bentonite

La bentonite est une argile issue de l'altération et la transformation hydrothermale de cendres des tufs volcaniques, elle fait partie principalement du groupe des smectites. Elle contient plus de 75% de montmorillonite. (Ajmia ,2010)



Figure II.29. La bentonite

Propriétés de la bentonite

La bentonite se disperse facilement dans l'eau. On obtient une suspension dont les propriétés sont en fonction des caractéristiques suivantes: (Mouaziz ,2012)

1 -L'hydratation interne ou gonflement

Le caractère dipolaire des molécules d'eau a donné naissance à une ancienne théorie qui consistait à dire que la surface des argiles étant chargée négativement, les molécules d'eau s'orientaient de façon que leur extrémité positive soit dirigée vers l'argile et leur extrémité négative vers l'extérieur. Cette première couche d'eau forme alors une nouvelle surface négative ou d'autres molécules peuvent se fixer et ainsi de suite.

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

2- cations échangeables et adsorption

Les argiles ont la propriété d'adsorber certains anions et cations et de les retenir dans un état où ils sont échangeables avec d'autres ions en solution. Dans les argiles, les cations échangeables les plus communs sont par ordre décroissant: Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ , K^+ , NH_4^+ et Na^+ . (Bougdah ,2007).

C. Illites

Du nom de l'état américain de « l'Illinois », Comme les smectites, l'illite est un phyllosilicate 2/1. Les feuillets possèdent une charge globale négative, plus élevée que celle des smectites, qui est compensée par des ions potassium (figure II.29)

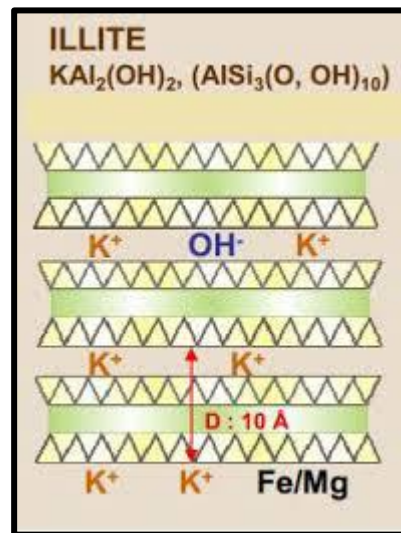


Figure II.30. Structure des Illites.

Les illites sont des minéraux à trois couches constituées de trois couches d'octaèdres à cœur d'aluminium positionnées entre deux couches tétraédriques à cœur de silicium. L'espace interfoliaire est de 10 Å [47].



Figure II.31.Illites

D. Vermiculites

La vermiculite sont des argiles ayant une origine volcanique, riches en magnésium. Elles sont formées par hydratation de minéraux basaltiques. Lorsqu'elle est chauffée, elle éprouve un phénomène de dilatation, la rendant particulièrement utile comme isolant thermique pour les constructions, ce matériau ayant une faible masse, une incapacité à brûler et étant imputrescible et inaltérable [49].



Figure II.32.Vermiculites

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

E. Famille des Chlorites ou série 2/1/1 (Te.Oc.Te.Oc) (Chlorites)

ce nom leur a été attribué pour leur couleur verdâtre, du grec « chloros » signifiant vert. Des chlorites de couleur jaune, rouge ou blanche sont également retrouvés. De structure similaire aux illites et smectites, l'espace entre leurs feuillets abrite une couche supplémentaire d'hydroxyde de magnésium, de fer ou d'aluminium, ...[49].

L'espace interfoliaire des chlorites est occupé par un feuillet d'hydroxydes de magnésium ou d'aluminium chargé positivement (figure II.32). L'épaisseur du feuillet atteint 14 Å.

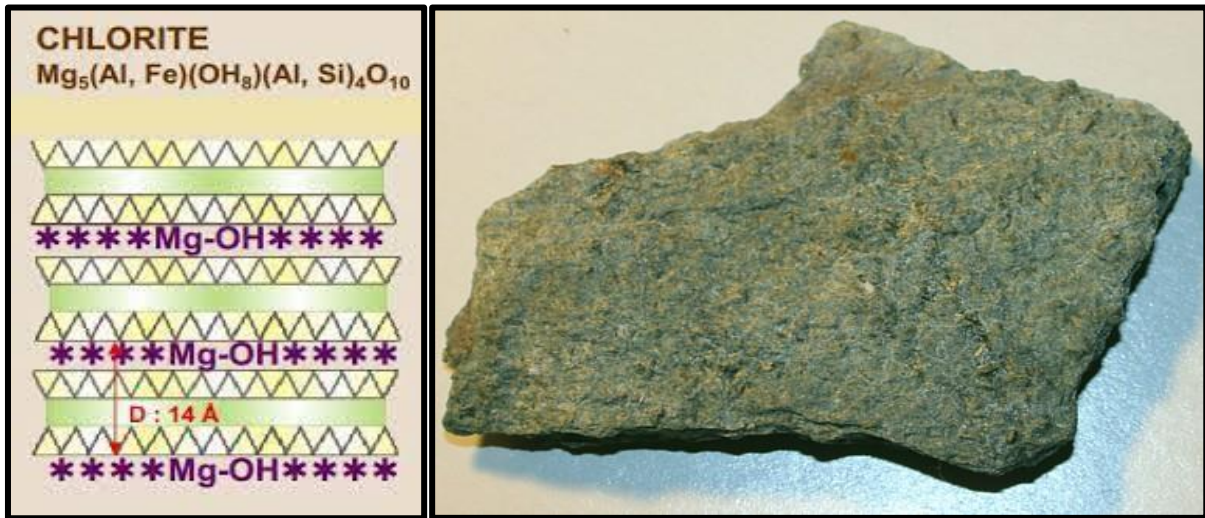


Figure II.33. Structure des Chlorites

Figure II.34. Chlorites

● Les propriétés des argiles:

Les minéraux argileux se caractérisent par quatre propriétés principales :

1. formes et surfaces spécifiques.
2. capacités d'adsorption d'eau et de gonflement.
3. multiples possibilités d'échanges cationiques.
4. activité des argiles[50].

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

A. Degré d'hydratation

Le degré d'hydratation varie d'une famille argileuse à une autre. Certains minéraux Argileux ont la capacité d'incorporer dans leur structure des molécules d'eau. Cette eau modifie la dimension de la couche en provoquant son gonflement. Ces argiles sont appelées argiles gonflantes Tableau 8, Les smectites, vermiculites et minéraux inter stratifiés offrent des capacités d'expansion beaucoup plus importantes que celles des autres espèces argileuses. L'incorporation d'eau est réversible à la pression atmosphérique et dépend de la température et de la pression de vapeur. Plus l'air est humide, plus l'argile pourra incorporer de l'eau [50].

Les minéraux gonflants ont une structure de base à 10Å. Selon l'hydratation, une couche d'eau de 2.5 ou 5.2Å d'épaisseur se développe. Cette hydratation conduit à une augmentation de volume pouvant atteindre 95%. Notons qu'il existe des minéraux comprenant de l'eau adsorbée mais qui n'ont pas pour autant de propriétés de gonflement. Dans un climat à saisons contrastées la présence de smectites conduit à la déstructuration du sol: en hiver les smectites gonflent; en été les smectites se déshydratent et entraînent la formation de larges fissures.

Tableau II.2. classification des argiles selon leurs propriétés de gonflement [50].

TYPES CROISSANTS			
Smectites	Al	7	10
Beidellite	Al (Mg, Fe²⁺ minor)	17	10
Montmorillonite	Fe³⁺	17	10
Nontronite	Mg, Al	17	10
Saponite	Mg, Fe²⁺, Al (Fe³⁺ minor)	15,5	10-
Vermiculite		12	
Couche minérale composée		10-17	< 1

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

TYPES NON CROISSANTS		
Illite	K, Al (Fe, Mg	10
Glauconite	secondaire)	10
Celadonite	K, Fe²⁺, Fe³⁺	10
Chlorite	K, Fe²⁺, Mg, Fe³⁺, Al³⁺	14
Berthiérine	Mg, Fe, Al	7
Kaolinite	Fe²⁺, Al³⁺ (secondaire	10,2
Halloysite	Mg) Al	12,4
Sepiolite	Al	10.5
Palygorskite	Mg, Al	9,6
Talc	Mg, Fe²	

B. Capacité d'échange cationique

Les liaisons entre les particules des sols formant les minéraux argileux sont influencés par la magnitude de la charge négative résiduelle des minéraux (dues aux substitutions iso morphiques) dans le réseau cristallin, de la concentration et de la distribution des cations disponibles pour équilibrer cette charge. La capacité d'échange représente donc, la charge (sous forme de cations attirés à la surface de la particule) nécessaire pour l'électro-neutralité. La capacité d'échange cationique est exprimée en milliéquivalents par 100g d'argile. Les mesures expérimentales de cette capacité d'échange effectuées pour la montmorillonite (Olphen, 1971) et pour la Kaolinite par (Samson, 1954) ont mis en évidence l'influence du pH de l'eau du sol sur cette propriété [51]. Le tableau 9, regroupe, les valeurs de surface spécifique et de la capacité d'échange des différentes familles d'argile pour une solution neutre (pH=7).

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

Tableau II.3. Capacité d'échange de cations (C.E.C) et surface spécifique totale

Argiles	C.E.C (meq/100gr)	Sst (m ² /g)
Montmorillonite Na ⁺	150	800
Montmorillonite Ca	80	300
Illite	10-40	40-60
Kaolinite	3-15	5-20
Élément non argileux	2 -10	1-3

C. Charge des surfaces argileuses

La plupart des argiles, notamment celles du groupe smectites , se caractérisent principalement par une surface électriquement non neutre, qui est due à la fois aux substitutions isomorphiques et à l'environnement, conduisant à deux contributions différentes [52].

➤ La charge permanente :

La charge permanente est principalement négative et située à la surface. Elle provient des substitutions isomorphiques au sein du feuillet, résultant du remplacement des cations métalliques par ceux d'un autre métal, de valence plus faible. Il conduit donc à un déficit de charge en surface des feuillets, compensé par la présence des cations compensateurs tels que Li⁺, Na⁺, Ca²⁺, K⁺ ou Mg²⁺.

➤ La charge variable :

Elle peut être positive ou négative et est située aux bords des feuillets. Elle n'apparaît qu'en suspension. Il s'agit donc ici d'une charge dépendant du pH de la solution.

En milieu acide, l'espèce positivement chargée est prédominante, alors qu'en milieu basique, c'est l'espèce négativement chargée qui est majoritaire.

D. Forme et surface spécifique

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

Les argiles se présentent sous trois formes :

- En **flocons**, caractérisés par une même dimension dans les deux directions et une épaisseur équivalente à 1/20^{ième} de la longueur.
 - En **latte**, avec une dimension plus longue, épaisseur toujours équivalente à 1/20^{ième} de la longueur.
 - En **aiguilles**, deux dimensions identiques et la 3^{ième} beaucoup plus grande (assez rare).
- La fine taille des argiles leur confère une surface spécifique importante par rapport au volume des particules. La surface relative augmente avec la diminution du diamètre. La surface des argiles est supérieure à celle des minéraux de même taille mais de formes différentes. Le rapport épaisseur/largeur est de l'ordre de 20 pour les argiles.

Les propriétés des argiles sont principalement contrôlées par leurs surfaces. Les particules d'argiles présentent des surfaces spécifiques très importantes et peuvent de ce fait attirer un grand nombre de molécules d'eau et d'ions, et exercer entre elles d'importantes forces d'interactions. Ces forces influent amplement sur le comportement mécanique des argiles. L'intensité de la charge électrique est liée à la surface spécifique de la particule. Dans le cas des argiles, cette surface varie entre 10 à 20 m²/g et peut atteindre 800 m²/g dans le cas de la montmorillonite sodique. [Warkentin et Bozozuk \(1961\)](#), ont noté que le gonflement est d'autant plus fort que la surface spécifique de l'argile est grande[50].

Le tableau II.4, indique les valeurs caractéristiques des surfaces des grandes familles argileuses. La surface totale comprend la surface externe, comprise entre les particules argileuses, et la surface interne, correspondant à l'espace inter foliaire.

Les smectites Ont les surfaces totales maximales: surface Smectites > Vermiculites >>> Illites > Kaolinites = Chlorites.

Tableau II.4. Surface spécifique des particules argileuses [50].

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

Surface spécifique (m ² /g)		
	Externe	Totale
Argile	50	800
Smectites	<1	750
Vermiculite	25	30
Illite	15	15
Kaolinite	15	15
Chlorite	15	15

E. Capacité de gonflement et d'adsorption :

Généralement, toutes les argiles possèdent une capacité de former facilement des complexes lamellaires par l'insertion des molécules d'eau ou organique dans l'espace interfoliaire.

Ce phénomène est appelé gonflement, le degré de gonflement ou degré d'hydratation varie d'une famille argileuse à une autre [53].

Les smectites, les vermiculites et les minéraux interstratifiés sans parmi les argiles qui se caractérisent par une capacité d'expansion beaucoup plus importante que celles des autres espèces argileuse. L'incorporation d'eau est réversible à la pression atmosphérique et dépend de la température et de l'humidité relative (la pression de vapeur d'eau) de l'air: plus l'air est humide,

plus l'argile pourra incorporer de l'eau jusqu'à sa limite de saturation. La plupart des phyllosilicates possédant de telles propriétés de gonflement sont classés dans la famille de smectites [54].

II.4. L'adsorption

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

II.4.1. Définition

L'adsorption est un phénomène physico-chimique se traduisant en particulier par une modification de concentration à l'interface de deux phases non miscibles. C'est un phénomène de surface par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur les surfaces solides des adsorbants selon divers processus plus ou moins intenses. On appelle généralement «adsorbat» l'entité chimique qui s'adsorbe et «adsorbant» le solide sur lequel s'adsorbe l'adsorbat. L'adsorption d'une substance sur la surface d'un solide dépend principalement des propriétés texturales et structurales de ce dernier, et en particulier le nombre et la forme des pores ainsi que la nature des fonctions de surface. On appelle désorption la transformation inverse de l'adsorption, par laquelle les molécules ou les atomes adsorbés se détachent du substrat [55].

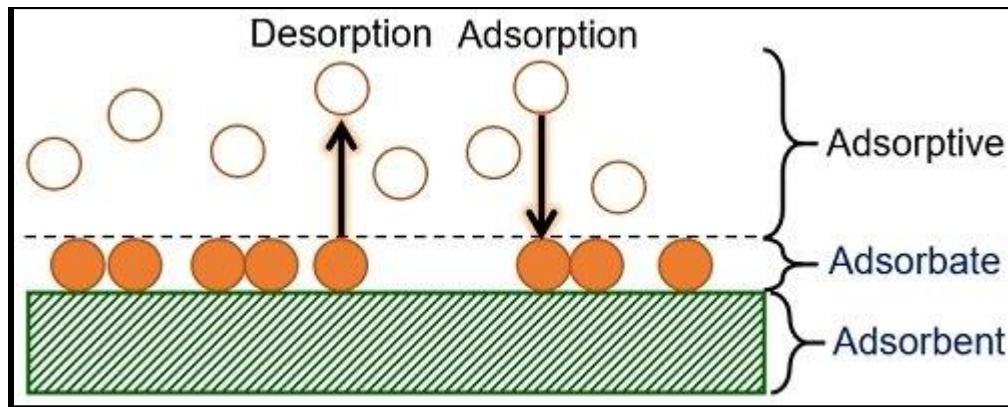


Figure II.35. Schéma sur l'adsorption

II.4. 2. Classification des phénomènes d'adsorption (type)

On distingue deux types d'adsorption selon la nature des interactions en jeu : la physisorption et la chimisorption.

A. Adsorption physique (physisorption)

La physisorption est un phénomène dans lequel la fixation des molécules d'adsorbât sur la surface d'adsorbant se fait essentiellement par les forces de Van Der Waals (liaison de type électrostatique). La physisorption se produit sans modification de la structure moléculaire et est parfaitement réversible (c'est-à-dire que les molécules adsorbées peuvent être facilement désorbées en diminuant la pression ou en augmentant la température). L'adsorption physique est rapide et fait intervenir des forces intermoléculaires relativement faibles qui agissent entre

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

deux particules voisines. La physisorption est un phénomène non spécifique donnant lieu à la formation de multi-couches : la première couche est due aux interactions adsorbât/adsorbant alors que les suivantes concernent les interactions adsorbât/adsorbât [56].

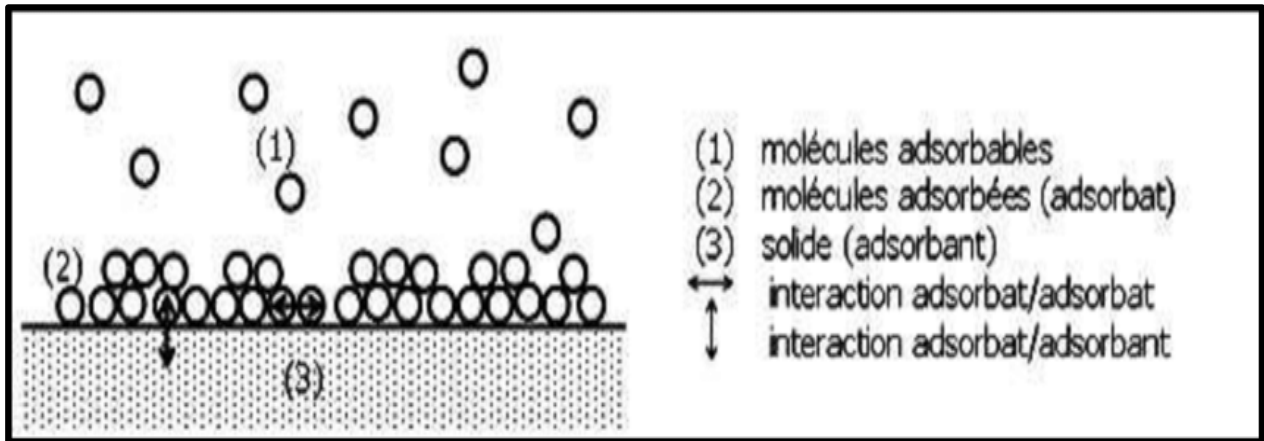


Figure II.36. Schéma sur l'adsorption physique

B. Adsorption chimique (chimisorption)

Elle résulte d'une interaction chimique entre les molécules d'adsorbant composant la surface du solide et les molécules de soluté. Ces forces attractives de nature chimique provoquent un transfert ou mise en commun d'électrons et en conséquence, destruction de l'individualité des molécules et formation d'un composé chimique à la surface de l'adsorbant. Ce type d'adsorption se développe à haute température et met en jeu une énergie de transformation élevée [57].

Tableau II.5. résumé des propriétés de la physisorption et de la chimisorption [58].

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

Propriétés	Adsorption physique	Adsorption chimique
Type de liaison	Liaison de Van Der Waals	Liaison chimique
Chaleur d'adsorption	≤ 84 KJ/mole	> 84 KJ/mole
Individualité des molécules	L'individualité des molécules est conservée	Destruction de l'individualité des molécules
Désorption	Facile	Difficile
Cinétique	Rapide	Lente
Type de formation	Formation en multi-couche et mono-couche	Formation en mono-couche

II.4. 3.Mécanisme de l'adsorption

Le processus d'adsorption est l'un des transferts de matière qui s'effectue entre le fluide et l'adsorbant. Ce processus passe par plusieurs étapes. Au cours de l'adsorption d'une espèce sur un solide, le transfert de matière a lieu de la phase fluide vers les sites actifs de l'adsorption en passant par les étapes suivantes [50, 60 ,61] :

1. Diffusion de l'adsorbât de la phase liquide externe vers celle située au voisinage de la surface de l'adsorbant.
2. Diffusion extra granulaire de la matière (transfert du soluté à travers le film liquide vers la surface des grains).
3. Transfert intra granulaire de la matière (transfert de la matière dans la structure poreuse de la surface extérieure des grains vers les sites actifs).
4. Réaction d'adsorption au contact des sites actifs, une fois adsorbée, la molécule est considérée comme immobile.

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

II.4. 4. Les Facteurs influençant d'adsorption

Un grand nombre de paramètres sont susceptibles d'avoir une influence sur le processus d'adsorption et notamment la capacité et la cinétique de rétention d'une substance sur un support. Il s'agit des paramètres suivants :

A. Structure de l'adsorbant

La structure et la nature des adsorbants jouent un rôle déterminant dans la fixation des différents composés organique et inorganique. La taille des particules, la surface spécifique et la porosité sont les principales propriétés qui affectent l'affinité d'un adsorbant vis-à-vis du soluté [62].

B. Influence de l'adsorbat

Les propriétés physico-chimiques de l'adsorbat sont déterminantes et jouent un rôle primordial lors de son adsorption sur une surface solide de l'adsorbant. La structure moléculaire est l'un des principaux paramètres qui influence la rétention des adsorbats. Plus la structure moléculaire est volumineuse plus sa rétention par certaines phases solides est difficile. Par ailleurs, l'adsorption des solutés est conditionnée par la composition de la solution puisqu'en présence simultanée de plusieurs espèces génère une concurrence vis-à-vis des sites d'adsorption surtout pour celles qui possèdent une structure similaire [63].

C. Influence du pH

Le pH est un paramètre prédominant qui a un effet non négligeable sur les caractéristiques de l'adsorption. Il affecte directement l'état de charge de l'adsorbant et de l'adsorbat. Son effet sur la rétention des contaminants est souvent étudié. Dans la plupart des cas, les meilleurs résultats sont acquis aux pH les plus faibles. Cette propriété s'applique particulièrement à l'adsorption de substances acides ou moléculaires [63].

D. Influence de la température

L'adsorption est un processus global résultant de plusieurs processus à l'interface solide-liquide. Elle peut être exothermique, endothermique ou athermique. Elle est donc conditionnée par la température. Ainsi, l'augmentation de la température favorise les processus de chimisorption alors que son abaissement favorise l'adsorption physique [63].

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

E. Polarité

Un soluté polaire aura plus d'affinité pour un solvant ou pour l'adsorbant le plus polaire. L'adsorption préférentielle des composés organiques à solubilité limitée en solutions aqueuses (hydrocarbures, dérivés chlorés, phénols et autres dérivés benzéniques) est importante avec les adsorbants hydrophobes (charbons actifs, polymères poreux). Elle est par contre insignifiante avec les adsorbants polaires très hydrophiles (gel de silice, alumine,...) [64].

F. Isothermes d'adsorption

Les isothermes d'adsorption sont des courbes expérimentales qui représentent les variations (masse ou volume) du substrat adsorbé (gaz ou liquide) par poids d'adsorbant en fonction de la concentration (en phase liquide) ou de la pression (en phase gazeuse). Elles sont exprimées généralement sous formes d'équations mathématiques [65].

Elles permettent essentiellement :

- de déterminer le taux de recouvrement de la surface d'un support par un substrat.
- d'identifier le type d'adsorption pouvant se produire.
- de choisir l'adsorbant qui conviendrait le mieux à la rétention de l'adsorbât.

II.4. 5. Les différents types d'adsorbants

A. Les zéolithes

Les zéolithes ne sont pas coûteuses, elles ont une large répartition géographique. L'une des premières applications de la zéolithe naturelle dans l'élimination des métaux lourds de la solution aqueuse remonte à la fin des années 70. Dans la dernière décennie, on a eu un intérêt croissant dans l'utilisation de zéolithes naturelles comme échangeur de cations dans le traitement des effluents contenant des métaux lourds. L'adsorption sur les particules zéolithiques est un processus complexe en raison de leur structure poreuse, présence d'ions échangeables, les surfaces intérieures et extérieures chargées, l'hétérogénéité minéralogique [66].

Chapitre II Les procédés non conventionnels et conventionnels de traitement des eaux

Les zéolithes permettent la séparation des molécules d'un mélange selon leur taille et leur forme, par exemple la séparation des hydrocarbures à chaîne linéaire et à chaîne ramifiée [67].

B. Gels de silice

Les gels de Silice ($\text{SiO}_2, n\text{H}_2\text{O}$) se présentent sous la forme de grains durs et poreux avec une surface spécifique de 600 à 800 m^2/g , dont la taille des pores varie de 20 à 50 Å. Ils s'obtiennent par action de l'acide chlorhydrique sur une solution de silicate de sodium. Ils sont utilisés pour ôter l'eau de divers gaz, mais aussi, parfois, pour la séparation d'hydrocarbures [67].

C. Charbon actif et Argile

Le charbon activé élimine les impuretés de l'eau en les fixant et en les faisant s'accumuler à sa surface, c'est pourquoi une grande surface par unité de volume et une forme poreuse constituent les caractéristiques les plus essentielles d'un charbon actif. La fixation des impuretés dépend de la grosseur des pores de charbon actif. Ainsi, certaines molécules ne peuvent pas être adsorbées par des pores de trop petites tailles par rapport à leur grosseur. Les qualités d'adsorption du charbon actif sont fonction des matières premières et des procédés d'activation. Ce type d'adsorbant peut être produit à partir de différents matériaux comme le bois, le charbon, les noyaux de fruits [67].

II.5. Conclusion

L'utilisation de l'argile dans la purification de l'eau constitue un moyen efficace, abordable et durable d'améliorer la qualité de l'eau potable dans certaines régions du monde. Cependant, il est important de réaliser que cette méthode a ses limites et doit souvent être combinée à d'autres technologies pour répondre à tous vos besoins en traitement d'eau. Elle continue de jouer un rôle essentiel dans la garantie de l'approvisionnement en eau de nombreuses communautés à travers le monde.

Les références

- [1] Pereira J. H.O.S., Vitor J. P. V., Maria T. B., Oscar G., Santiago E., Rui A. R. B (2011). Photocatalytic degradation of oxytetracycline using TiO_2 under natural and simulated solar radiation. *Solar Energy*. 85 : 2732-2740
- [2] Ambuludi S. L (2012). Étude cinétique mécanistique et toxicologique de l'oxydation dégradante de l'Ibuprofène par l'oxydation avancée électrochimique et photochimique. Thèse doctorat. École Doctorale SIE. Université Paris-est.
- [3] Iboukhouléf H (2014). Traitement des margines des huileries d'olive par les procédés d'oxydations avancées basés sur le système Fenton-like (H_2O_2/Cu). Thèse de doctorat. Université Moloud Maamri. Tizi Ouzou
- [4]: GUECHI El-Khamssa <<Enlèvement de colorants à partir de solutions aqueuses par des matériaux sorbants non conventionnels et à faible coût>> ; encadrer par : Professeur. : HAMD AOUI Oualid ; thèse de doctorat, Faculté des Sciences de l'Ingénierat Annaba, Algérie (Année 2013).
- [5] V.Pallier : Elimination de l'arsenic par coagulation floculation et électrocoagulation d'eaux faiblement minéralisées. Thèse de Doctorat en Chimie et microbiologie de l'eau. Université de Limoges, 2008,241p
- [6] V. Golob, A. Ojstršek, Removal of vat and disperse dyes from residual pad liquors, *Dyes and Pigments*, 64 (2005) 57-61. P.C. Vandevivere, R. Bianchi, W. Verstraete, Review: Treatment and reuse of wastewater from the textile wet-processing industry: Review of emerging technologies, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 72 (1998) 289-302.
- [7] : NECIB Sana« Valorisation et traitement des eaux huileuses dans l'industrie pétrolière» ; encadrer par : Dr. Sakri Adel, Mémoire de Master, université Mohamed Khider Biskra, Algérie (2014-2015).
- [8]:Hubert Cabana (Automne2009) ,« La filtration sur sable », Hubert Cabana, consulté le (18/12/2012).
- [9] : Zemali.S, (2004), « comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de fortes concentration en sels », PFE ingénieur d'état en hydraulique.

[10] : F. Mekhalif, (2009), « réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement », Présenté à l'Université du 20 Août 1955 SKIKDA, Faculté des Sciences, Département des Sciences Fondamentales, Spécialité : Chimie, Option : Pollution Chimique et Environnement.

[11] : Traitement de potabilisation des eaux de surface : filtration ; Conf2006/66 par EAU DE PARIS : société anonyme de gestion des eaux de Paris ; consulté le (22/12/2012).

[12] : Claude Cardot, (1999), « les traitements de l'eau », ellipses édition marketing S.A, 1999, ruebargue 75740 paris.

[13] : S. Attab, (2011), « amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration haoud berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local » mémoire de magister, Spécialité : biologie, option : microbiologie appliquée, université KASDI MERBAH-OUARGLA. ; consulté le (21/02/2013).

[14] : Degrémont (2005) : « Mémento technique de l'eau », 2ème édition, Lavoisier SAS 14 rue de Provigny,

[15] : Dégremont, 1989, « Mémento technique de l'eau », tome 1, Technique et documentation,

[16] : Raymonde Desjardins, (1997), « le traitement des eaux » 2ème édition, édition l'école polytechnique de Montréal.

[17] : J. Kouakou, (2008), « développement d'une zone humide simulée plantée avec amaranthacea et capri: aridacea pour le traitement des eaux usées domestiques », ATPS Working Paper Séries N°50, Consulté le (08/03/2013).

[18] : S.Ezziane, « Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT « TENES » » ; 2006-2007, thèse de magistère, Université HASSIBA BEN BOUALI de CHLEF, Faculté des Sciences et Sciences de l'ingénieur, Département de Génie des procédés Spécialité : Eau et environnement; consulté le (19/12/2012).

[19] : M. Nicolas, (2003), « écoulements dans les milieux poreux », Ecole Doctorale mécanique, Physique et Modélisation, Université de Provence, Marseille ; consulté le (10/03/2013).

[20] : M.Said.Bir, (2012), « écoulement de l'eau au travers les milieux poreux : approche stochastique », mémoire de magister en génie civil, Université Mouloud Mammeri, Tizi Ouzou; consulté le (01/03/2013).

[21] :M.Bensalah et H.Miloud, (1993), « étude numérique et expérimentale des écoulements à travers les filtres de graviers », mémoire d'ingénieur en hydraulique université de Tlemcen.

[22]- A.Yaroshchuk, Charged membranes for low pressure reverse osmosis properties and applications Desalination 86, 1992.

[23]-Y. AlAMI, Rejection of mineral salts on a gamma alumina nanofiltration membrane, Application to environmental process J. Membr. Sci. 102 ,1995.

[24] : D.Leclerc, G.Baluais, (2012), « Filtration - Aspects généraux », Service Relation Clientèle • Éditions Techniques de l'Ingénieur • 249, rue de Crimée 75019 Paris – France. ; Consulté le (17/12/2012)

[25] : <http://www.deltalab.fr/enseignement-genie-des-procedes/genie-des-procedes/genie-delenvironnement/filtration-sur-support-2013-filtre-presse-mp140> ; consulté le (27/03/2013).

[26] : Dégrémont, (1972), « mémento technique de l'eau », 11, rue la voisier-paris (8e).

[27] : http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich4_3.htm. ; Consulté le (12/04/2012).

[28] : C.Gomella et H.Guerrée, (1978), « les traitements des eaux publiques, industrielles et privées », 2ème édition, 61, boulevard saint-germain 75005 paris.

[29] : A.brouard, (2006), « marche à suivre pour désinfecter l'eau potable en ontario »,

[30] : Filtration lente sur sable : présentation générale [http://www.oiseau.fr/REFEA/Fiches/traitement potable/1 filtration lente pG1.htm](http://www.oiseau.fr/REFEA/Fiches/traitement%20potable/1%20filtration%20lente%20pG1.htm). ;Consulté le (15/02/2013).

[31] : A.Dupnt, (1986), « hydraulique urbain », tome I, hydrologie captage et traitement des eaux, 61, boulevard saint-germain75005 paris.

[32] : BEAUDRY. J.P, "Traitement des eaux". Edition de Griffon d'argile, 1984.

[33] : A.kettab, (1992), « traitement des eaux », office des publiques universitaires, 1, place centrale de ben-aknoun(Alger).

[34] : LENNTECH, water treatment solution, www.lenntech.fr; consulté le (18/01/2013).

[35] : Daniel Thevenot et Gilles varrault cereve, (2005), « traitement des eaux potable », université parisXII-val de Marne, ENPC, ENGREF (UMR-MA102), <http://www.enpc.fr/cereve/HomePages/thevenot/Eau-Potable-Traitement-2005.pdf> ;consulté le (17/03/2013).

[36] : Jose Givron, (2007), « utilisation du charbon actif dans la problématique environnementale », CPL carbone Link, Europeur, ECGP'62007-France-Marseille, www.eurodeur.com/docs/pdf/programme-eurodeur-2007.pdf ; Consulté le (17/03/2013).

[37] Elodie, B. Traitement de l'eau à domicile : Conception et évaluation de l'efficacité des filtres

en céramique. Mémoire de master. 2IE, Ouagadougou, Burkina Faso, (2014).

[38] Elegba, E. Optimisation de filtre en céramique produit localement pour le traitement à domicile

des eaux destinées à la consommation. Mémoire licence. Ecole Polytechnique d'Abomey Calavi,

[39] : Khaldoun, N.; « Effet de la rotation des contaminantes sur le comportement des sols argileux » Ecole nationale des ponts et chaussées, Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen. 2011.

[40] : Caillers, S.; Henin , S.; Rauturea, M.; Minéralogie des argiles, Tomes I, 2eme édition masson et cie. 1982.

[41] : Bouras, O.; « Propriétés adsorbantes d'argiles pontées organophiles » synthèse et caractérisation, Thèse de doctorat de l'Université de Limoges. 2003.

[42] S. Caillère, S. Héning, M. Rautureau, « Minéralogie des argiles » Tome1, Edition Masson(1982).

[43] N. Azbar, T. Yonar, K. Kestioglu, Chemosphere 55 (2004)35-43

[44] : BOUDCHICHA Mohamed Réda. « Etude de la cristallisation et des propriétés mécaniques et diélectriques de céramiques préparés à partir de kaolin-dolomite ». « Université El-Hadj Lakhder –BATNA .P .3-4-5-8-9-10-12-13-14 » [2010].

[45] H.H. Murray., « Applied claymineralogy. Occurrences, processing and application of kaolins, bentonite, palygorskite-sepiolite, and common clays, Developments in Clay Science, Elsevier, Amsterdam, 2007.

[46] J.F. Pasquet., « Mémento roches et minéraux industriels », Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Service Géologique National, Service Roches et Minéraux Industriels, BRGM, 1988.

[47] N. Charles., S. Colin., T. Gutierrez., G. Lefebvre, « Mémento kaolin et argiles kaoliniques.», Rapport BRGM/RP-67334-FR, P93.44fig. 4tabl, 2018.

[48] : J . GAOMBALET « Le gonflement des argiles et ses effets sur les ouvrages souterrains de stockage .Ecole polytechnique. P.30, » [2004].

[49]: GUENFI SIHEM << Etude de l'adsorption d'un colorant cationique –bleu de méthylène – sur l'argile >> ; encadrer par : prof. NEMAMCHA abderrafik, Mémoire de Master, université UNIVERSITÉ 08 MAI 1945 GUELMA (21juin 2017).

[50] :N. Fagel « Cours Géologie des argiles », « Département Géologie, Université de Liège. Belgique ».[2005]

[51] : A . Hafsi « Théorie de la double couche et gonflement des argiles non Saturées ». « Euromech colloquium N°209 : Mechanics of swelling, Rhodos , Greece, August 23-27. » [1993].

[52] M. W. Lertwimolnum, Réalisation des nanocomposites polypropylène/ argile par extrusions bivas, thèse de doctorat de l'école de mines paris, 2006.

[53] B. Velde., Origin and mineralogy of clays, Clays and the environment, Springer, P8-41, 1995.

[54] M. Tatiana DIATTA., « Matière première argileuses du Sénégal : caractéristique et applications aux produits céramiques de grande diffusion », these de doctorat, Ecole Doctorale Sciences, Technologies et Ingénierie (ED-STI) & Ecole Doctorale, Sciences et Ingénierie en Matériaux, Mécanique, Energétique et Aéronautique (SI-MMEA), Université Assane Seck De Ziguinchor et l'université De Limoges, Le 23 Mai 2016.

[55] T. Ainane, Valorisation de la biomasse algale du Maroc : Potentialités pharmacologiques et Applications environnementales, cas des algues brunes *Cystoseira tamariscifolia* et *Bifurcaria bifurcata*, Thèse de Doctorat, Casablanca, (2011).

[56] M.L. Sekirifa, Etude des propriétés adsorbantes des charbons activés issus des noyaux de dattes. Application au traitement d'effluent aqueux, Thèse de Doctorat, Annaba, (2012).

[57] I. Bouaziz Karime, Traitement de solutions organiques diluées par couplage adsorption-oxydation électrochimique, Thèse de Doctorat, Toulouse, (2014).

[58] H. Aksas, Etude cinétique et thermodynamique de l'adsorption des métaux lourds par l'utilisation des adsorbants naturels, Thèse de Doctorat, Boumerdes, (2013).

[59] N. Barka, «L'élimination des colorants de synthèse par adsorption sur un phosphate naturel et par dégradation photocatalytique sur TiO₂ supporté», thèse doctorat, Agadir, (2008).

[60] B.K. Nandi, A. Goswami, M.K Purkait, *Journal of Hazardous Materials* 161 (2009) 387-395.

[61] A.W. Adamson, A.P. Gast, *Physical chemistry of surfaces*, Edition John Wiley New York. (1967).

[62] N. Chaouch, Utilisation des sous-produits du palmier dattier dans le traitement physicochimique des eaux polluées, Thèse de Doctorat, Batna, (2014).

[63] Y. Bentahar, Caractérisation physico-chimique des argiles marocaines : application à l'adsorption de l'arsenic et des colorants cationiques en solution aqueuse, Thèse de Doctorat, Tetouan (2016).

[64] E. Errais, Réactivité de surface d'argiles naturelles : Etude de l'adsorption de colorants anioniques, Thèse de Doctorat, Strasbourg, (2011).

[65] K. Bellir, Caractérisation et étude de la rétention du cuivre par des matériaux naturels utilisés dans l'imperméabilisation des décharges, Mémoire de Magister, Constantine, (2002).

[66] N. Yhayoui, « Etude de l'adsorption des composés phénoliques des margines d'olive sur carbonate de calcium, hydroxyapatite et charbon actif », mémoire de magister, université Mouloud Maamri Tizi ouzou, département de chimie, 2012.

[67] K.Bellir , Lehocine M.B et Meniai A.H, 2013 «Zinc removal from aqueous solutions by adsorption onto bentonite», Desalination and Water Treatment



Chapitre III
Matériels et Méthodes

Dans ce chapitre, nous allons commencer par aborder en détail les matériaux et équipements utilisés dans l'ensemble de ce travail. Ensuite, nous présentons en détails les méthodes de fabrication des bio-filtres. Enfin, nous examinons l'analyse physico-chimique et les processus de filtration associés.

III.1 Matériaux de l'étude :

Afin de réaliser le bio-filtre, les matériaux utilisés sont :

- L'argile: Deux types d'argile ont été utilisés dans le cadre de ce travail de recherche. Le premier est de couleur rouge est de la famille montmorillonite de la wilaya de Guelma, exacte à Hammem Dbegh, et le deuxième est de couleur grise de la famille bentonite de Sonatrach de Skikda.
- pour les combustibles (additifs) : nous avons utilisées les sciens de bois, poudre de marbre et du charbon active.
- L'eau distillé.
- Un Moule en acier inoxydable sous différente géométrie développé au niveau de laboratoire de recherche.
- Une balance.
- Des socquettes inertes pour le bon conditionnement des matériaux argileux.
- Des gants (la texe)
- Béchers (different capacité volumique, en Pyrex).
- Planche inertes.
- Etuve (memerte)
- Tamiseur vibreur en acier inoxydable (de maille de 0.6mm).
- Broyeur concasseur manuelle (hawel en matériaux de type gatt).
- Four : Le four utilisé ici est un four à moufle de laboratoire de marque ayant une montée en température allant de 30 à 3000 °C.
- Eau de robinet de laboratoire LAMES a l'université de Skikda
- L'eau de mer de Plage Molo située à proximité de Port de pêche et de plaisance de Stora a Skikda .
- pH mètre (wtw pH197).
- Spatule en acier inoxydable (en deux bouts).
- Agitateur mécanique de type junk-kenkel équipé d'une tige de mélangeage équipé d'une hélice a 4 pales (section hélice 5cm).

III.2. Méthode : Fabrication des disques en céramique

Pour mener à bien notre travail, nous avons fabriqué des filtres sous forme de disque. Cette fabrication s'est faite suivant plusieurs étapes :

III.2.1.préparation de l'argile

Pour obtenir de la poudre de l'argile, nous avons suivie les étapes suivantes :

- Prélèvement ou échantillonnage du substrat solide :

Nous avons trouvé des endroits à côté de terriers, où il est facile de prélever manuellement de la terre que nous plaçons ensuite dans Des socquettes inertes. Ces socquettes sont ensuite transportés depuis les sites jusqu'au laboratoire.

- Prétraitement :

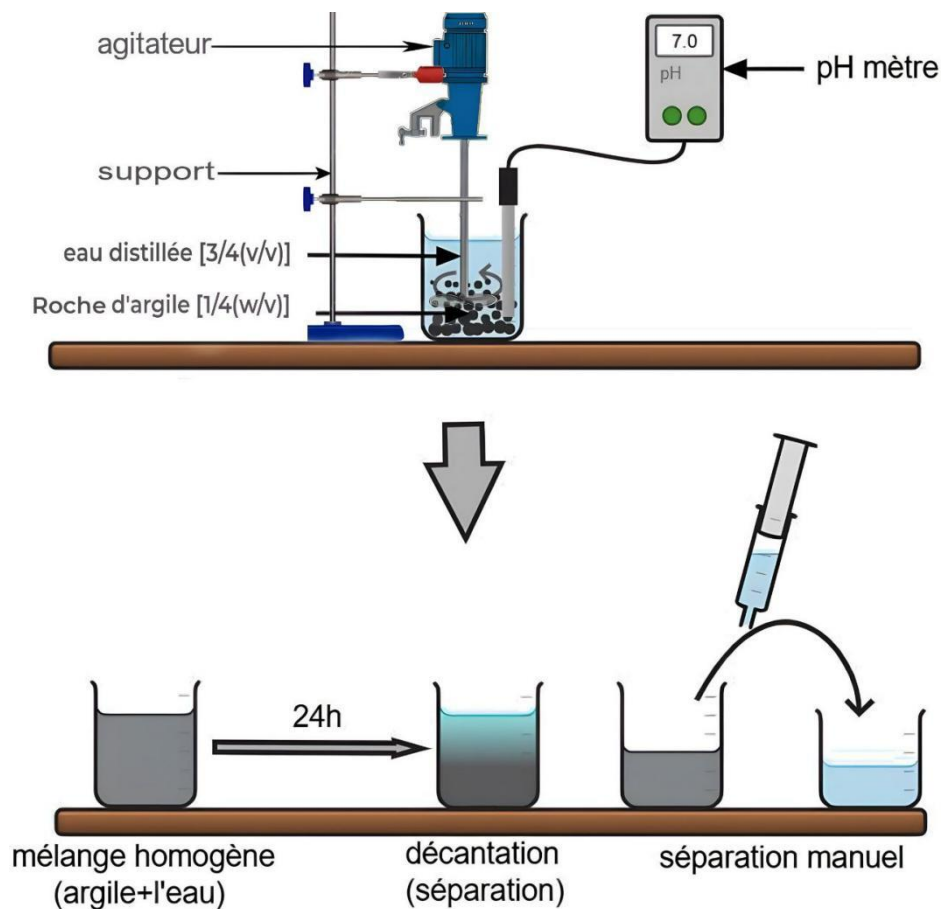


Figure III.1. schéma démonstratif des étapes de préparation

Le protocole

Nous avons commencé par mélanger 500g d'argile avec 1,5L d'eau distillée dans un bécher. Le pH de l'eau était de 6,7 . Nous avons utilisé un agitateur mécanique de type Junk-Kenkel pour agiter le mélange pendant une heure, en prélevant un échantillon toutes les 15 minutes afin de mesurer le pH (figure III.1).

Ensuite, nous avons filtré le mélange dans un autre bécher en utilisant un filtre de 0,6 mm. Cette étape visait à éliminer les débris végétaux, les cailloux et toutes les particules indésirables. Puis, nous avons laissé le mélange obtenu se décanter afin d'obtenir deux phases distinctes : la phase solide (l'argile) en bas et la phase liquide (l'eau) en haut.

Enfin, nous avons procédé à une séparation manuelle en utilisant une seringue pour extraire les deux phases. Ensuite, nous avons prélevé un échantillon de l'eau obtenu et mesuré à nouveau le pH et la turbidité pour vérifier que l'argile avait été correctement lavée..



Figure III.2 Argile à l'état brut (avant lavage)

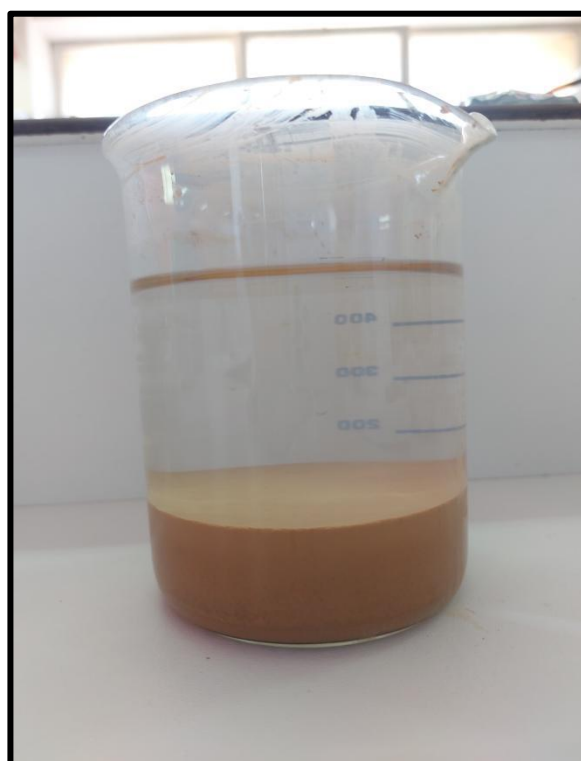


Figure III.3. le mélange après décanation

- Séchage primaire

Cette étape a été faite en 2 parties :

la première : un séchage à l'air libre après avoir étalé l'argile sur une planche inerte pendant 24 h jusqu'à 48 h.

La deuxième : séchage dans une étuve à 105 °C pendant 2h.

- broyage, tamisage

Une fois l'argile séchée, nous l'avons placée dans un broyeur pour obtenir des grains de différentes tailles. Ces grains obtenus ont ensuite été tamisés dans un tamis de diamètre (0,6 mm) avec une agitation manuelle afin d'obtenir des particules en forme de poudre comme le montre la (figure III.3).



Figure III.4. Argile en poudre

III.2.2. Préparation de la pâte

Au cours de cette étape, nous avons suivi le schéma ci-dessous :

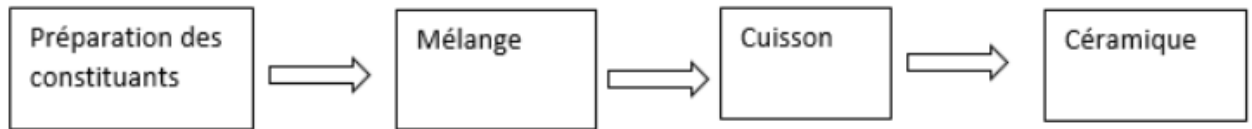


Figure III.5. schéma explicatif sur les étapes de préparation de filtre

D'abord, nous avons préparé plusieurs mélanges pour créer divers disques à base d'argile et des additifs bien traités (lavés, séchés, écrasés puis tamisés avec une granulométrie de 0,6 mm). Puis nous avons ajouté de l'eau distille jusqu'à ce qu'une pâte argileuse soit créée.

Les mélanges sont :

La première vague:

- (F1) argile Gu sec
- (F2) 50% argile Gu + 50 % marbre
- (F3) 50% argile Gu + 25 % marbre + 25 % charbon

La deuxième vague:

- (F1) 50% argile + 48 % marbre + 2 % charbon
- (F2) 90 % argile Gu + 10 % marbre
- (F3) 33,33% argile Gu + 33,33% marbre + 33,33% charbon

La troisième vague :

- (F1) 40% argile Gu + 40% marbre + 20 % charbon .
- (F2) argile Ski 2 + Gu + marbre + charbon + sciure
- (F3) 90 % argile de Gu + 10 % sciure de bois
- (F4) argile Gu sec
- (F5) argile + marbre
- (F6) argile ski 2

La quatrième vague:

- (F1) argile Gu+ Ski+marbre + scieurs + charbon
- (F2) 60% argile GU + 40 % scieure
- (F3) argile Gu+ Ski+marbre + scieurs + charbon
- (F4) 33.33 % argile Gu + 33.33 % marbre + 33.33% charbon
- (F5) 90% argile Gu + 10 % scieure

La cinquième vague:

- (F1) argile Gu + marbre + scieur de bois
- (F2) argile Gu+ Ski+marbre + scieurs + charbon
- (F3) argile Gu + ski + marbre + scieurs de bois

Le protocole

Après avoir obtenu une poudre de l'argile bien préparée. Les additifs à leur tour ont été lavés, séchés, écrasés puis tamisés avec une granulométrie de 0,6 mm. Pour la réalisation des disques de filtrage, nous avons effectué un mélange suivant des proportions bien définies d'argile, d'additifs et d'eau distille. Dans notre étude, le poids total du disque était 50 g. L'argile et les additifs, ainsi pesés dans des proportions diverses, sont bien mélangés manuellement suite à l'ajout de l'eau nécessaire au malaxage. Afin de s'assurer que les additifs ont été mélangés correctement, le processus de mélange a été effectué pendant une période, et au moins pendant 10 à 15 minutes. Le produit ainsi obtenu est moulé et pressé grâce à le moule.

Cette étape de moulage nous a permis alors de donner la forme de disque à nos filtres. Les disques ainsi obtenus sont passés à la cuisson puis subissent un retrait d'eau qui varie selon la granulométrie et la proportion des additifs. Pour éviter les cassures lors de la cuisson, les disques ont été préalablement séchés à l'air libre pendant deux à trois jours puis ils ont été séchés à l'étuve pendant deux heures à 105 C afin de les rendre secs. Le diamètre des disques obtenus est de 6 cm avec une épaisseur moyenne de 0.5 mm.

III.2.3. La cuisson

À ce stade, nous avons essayé plusieurs techniques pour obtenir les meilleurs résultats :

La première vague a été réalisée pendant 2h 30 min à une température 350C'

La deuxième vague a été réalisée pendant 2h30min à une température 450C'

La troisième vague a été réalisée pendant 2h30min à une température 550C'

La quatrième vague a été réalisée pendant 2h45min à une température 650C'

La cinquième vague a été réalisée pendant 5h à une température 850C'

➤ **Les filtres**

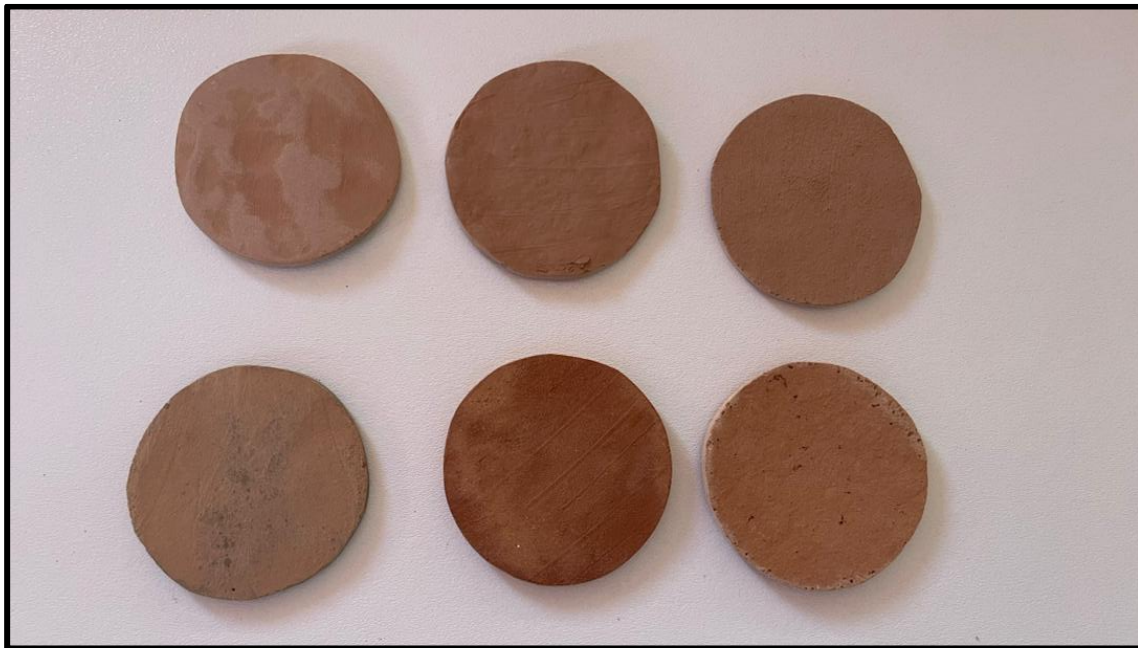


Figure III.6. les filtres de 3^{ème} vague



Figure III.7.les filtres de 4^{ème} vague

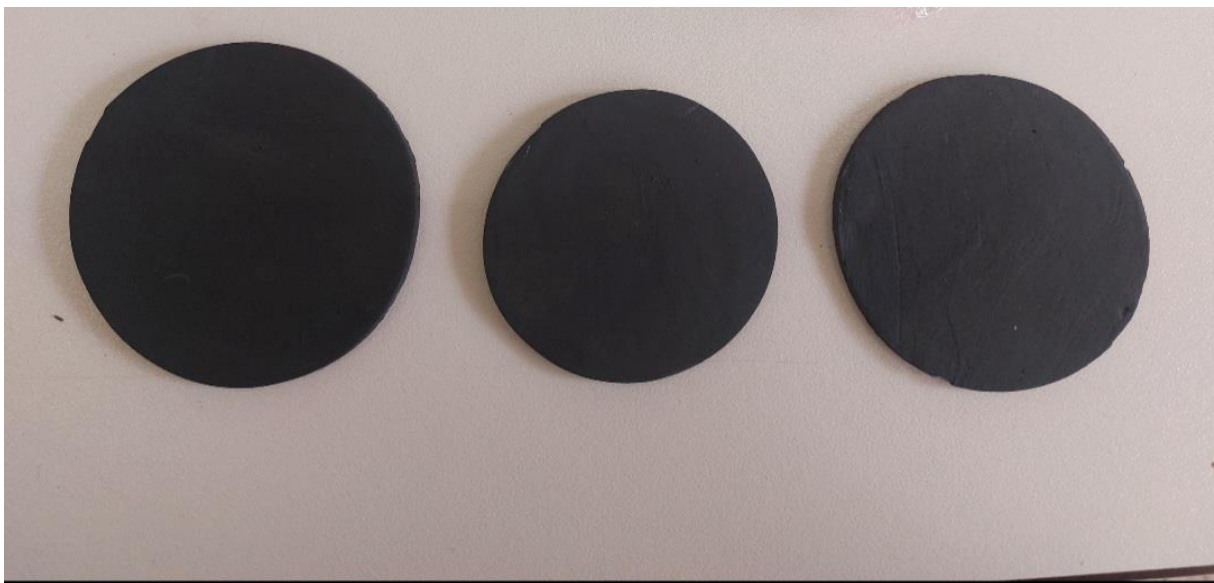


Figure III.8. les filtres mélangé avec le charbon

III.2.4. Les protocoles d'analyse des procédés physico-chimique de traitement des eaux :

- **Le potentiel hydrogène (pH)**



Figure III.9. le pH-mètre

Protocole

- Remplissez un gobelet propre avec l'échantillon d'eau que vous souhaitez tester.
- Plongez les électrodes du pH-mètre dans l'échantillon d'eau. Assurez-vous que les électrodes sont immergées suffisamment pour obtenir une lecture précise.
- Laissez le pH-mètre stabiliser sa lecture dans l'échantillon d'eau. La lecture peut prendre quelques instants pour se stabiliser.
- Notez la valeur de pH affichée sur l'écran du pH-mètre.

➤ Température

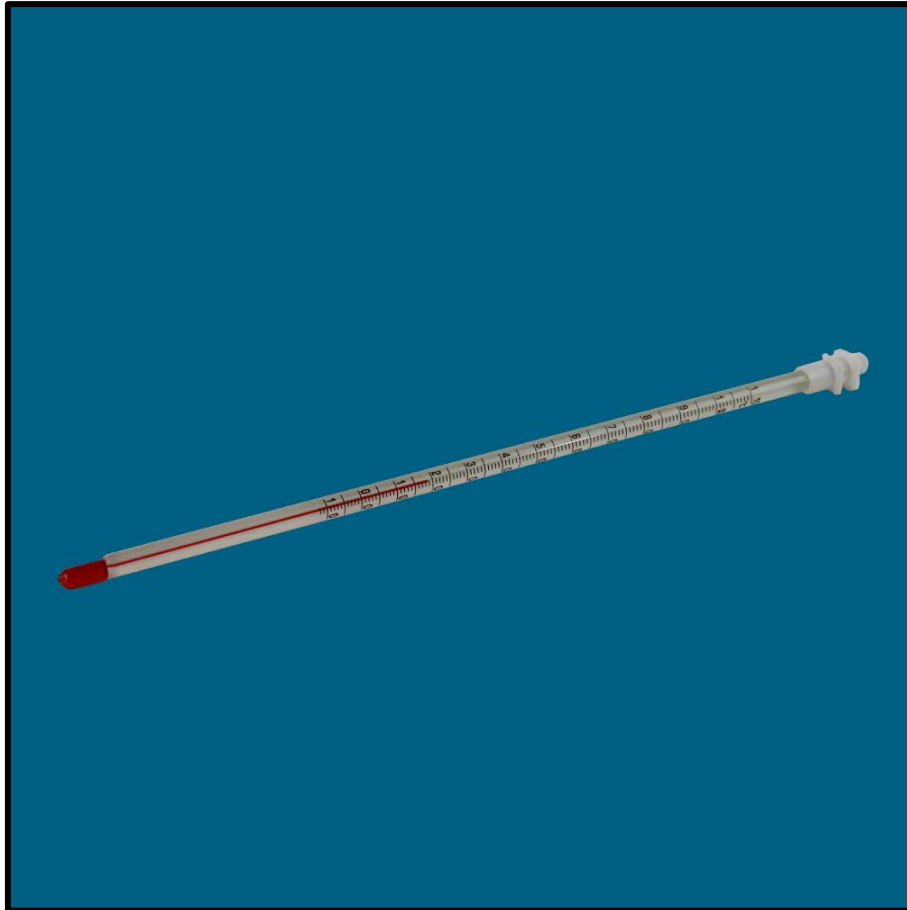


Figure III.10. le thermomètre

protocole

- Remplissez le récipient avec l'échantillon d'eau que vous souhaitez mesurer, en veillant à ne pas le remplir jusqu'au bord.

- _ Immergez le thermomètre dans l'eau que vous souhaitez mesurer. Assurez-vous que le thermomètre est bien immergé dans l'eau et qu'il ne touche pas les parois du récipient (si vous en utilisez un).

- Attendez que la lecture de la température se stabilise. Cela peut prendre quelques instants, en fonction de la sensibilité du thermomètre.

-Lisez la température affichée sur le thermomètre. Assurez-vous de lire avec précision la température indiquée par la colonne de liquide ou l'écran numérique.

➤ **Matières en suspension (M.E.S):**

Consiste à filtrer un échantillon d'eau à travers un filtre fin, puis à peser les particules retenues sur le filtre. La différence de poids avant et après filtration donne la concentration de MES en milligrammes par litre (mg/L) ou en d'autres unités appropriées.

➤ **Turbidité**



Figure III.11. Turbidimètre

Protocole

Le principe de mesure de la turbidité repose sur l'utilisation d'un instrument appelé turbidimètre. Ce dernier envoie un faisceau de lumière à travers l'échantillon d'eau et mesure la quantité de lumière dispersée ou diffusée par les particules en suspension. Plus la turbidité est élevée, plus la quantité de lumière dispersée est importante. La turbidité est généralement exprimée en unités de néphélogétrie (NTU) ou de FNU (Formazin Nephelometric Units).

➤ **La conductivité**



Figure III.12. Conductimetre

Protocole

La mesure de la conductivité de l'eau est basée sur sa capacité à conduire le courant électrique en raison de la présence d'ions dissous. Un instrument appelé conductimètre envoie un courant électrique à travers l'eau et mesure la résistance électrique. Plus l'eau contient d'ions dissous, plus elle est conductrice, ce qui se traduit par une valeur de conductivité plus élevée. La conductivité est généralement exprimée en microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou en millisiemens par centimètre (mS/cm).

➤ la minéralisation

Le principe de mesure de la minéralisation implique généralement une analyse chimique de l'eau. On prélève un échantillon d'eau, puis on effectue des réactions chimiques spécifiques pour quantifier la concentration des différents ions présents. Les résultats sont souvent exprimés en milligrammes par litre (mg/L) ou en parties par million (ppm).

➤ Demande chimique en oxygène(D.C.O)

Oxydation en milieu acide à chaud à 150°C par le dichromate de potassium des matières oxydables présentes dans l'eau et dosage par le sel de Mohr du dichromate en excès en présence de ferroïen.

Dilutions: diluer les échantillons pour que la teneur en DCO de l'échantillon soit comprise entre 350 et 700 mg/l; faire un témoin à 500mg /l.

Résultats: en mg/l O₂.

➤ **Demande Biochimique en Oxygène (DBO)**

- On prélève un échantillon d'eau et on le place dans une bouteille spéciale, généralement en verre, en veillant à éviter l'introduction d'oxygène supplémentaire.

- L'échantillon est ensuite incubé à une température constante (généralement 20°C) dans l'obscurité pendant une période spécifiée, généralement de 5 à 7 jours.

- Au début et à la fin de la période d'incubation, la concentration d'oxygène dissous dans l'échantillon est mesurée. La différence entre ces deux mesures représente la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes lors de la décomposition des matières organiques.

-Les résultats de la DBO sont généralement exprimés en milligrammes d'oxygène par litre (mg/L) ou en parties par million (ppm) et reflètent la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader la matière organique.

➤ **Carbone organique total (COT)**

- Un échantillon d'eau est collecté et préparé pour l'analyse. Pour mesurer le COT dissous, l'échantillon est généralement filtré pour éliminer les particules en suspension.

- Le carbone organique présent dans l'échantillon est converti en dioxyde de carbone (CO₂) par combustion. Cela se fait généralement en utilisant un four à haute température.

- Le dioxyde de carbone généré par la combustion est mesuré à l'aide d'un détecteur approprié, comme un capteur infrarouge. La quantité de CO₂ est directement liée à la quantité de carbone organique total dans l'échantillon.

- Les résultats de la mesure sont exprimés en milligrammes de carbone organique par litre (mg/L) ou en parties par million (ppm) de COT dans l'eau.

➤ **Oxygène dissous**

- On utilise des capteurs spéciaux, tels que les électrodes d'oxygène ou les capteurs optiques, pour mesurer la concentration d'oxygène dissous dans l'eau.

- Dans le cas des électrodes d'oxygène, une réaction électrochimique se produit à la surface de l'électrode en présence d'oxygène dissous. Cette réaction génère un courant électrique proportionnel à la concentration d'oxygène. Dans le cas des capteurs optiques, la lumière est utilisée pour mesurer l'oxygène dissous en fonction de ses propriétés d'absorption.

- Les capteurs convertissent la mesure en une valeur numérique, généralement exprimée en milligrammes d'oxygène par litre (mg/L) ou en pourcentage de saturation en oxygène. Cette valeur indique la quantité d'oxygène dissous présente dans l'eau.

➤ **Azote total (NT)**

- Un échantillon d'eau est prélevé et soumis à une digestion chimique, généralement avec un réactif fort tel que l'acide sulfurique concentré. Cette étape vise à convertir toutes les formes d'azote présentes en une seule forme (généralement de l'azote ammoniacal ou ammonium).

- L'azote ammoniacal résultant de la digestion est ensuite converti en azote gazeux (N₂) par réaction chimique, généralement par distillation ou par utilisation de réactifs spécifiques.

- La concentration d'azote gazeux produite est mesurée à l'aide de techniques analytiques telles que la spectrophotométrie, la chromatographie gazeuse ou la colorimétrie.

- Les résultats de la mesure sont généralement exprimés en milligrammes d'azote par litre (mg/L) ou en parties par million (ppm) d'azote total dans l'eau.

➤ **Nitrates**

Les nitrates sont réduits en nitrites par du cadmium traité au sulfate de cuivre.

Les nitrites produits donnent avec l'4-amino-2,6-diméthylbenzène sulfonamide un composé diazoïque

qui couplé avec N-(Naphtyl-1) diamine 1,2 éthane donne un complexe rose susceptible d'un dosage colorimétrique à $\lambda = 540\text{nm}$.

➤ **Phosphore total (PT)**

- Un échantillon d'eau est collecté et préparé pour l'analyse, généralement par filtration pour séparer les particules en suspension.
- Les composés organiques et inorganiques du phosphore présents dans l'échantillon sont convertis en une forme particulière, généralement l'orthophosphate, par une réaction chimique en utilisant des réactifs appropriés. Cette étape est nécessaire pour solubiliser tout le phosphore présent.
- La concentration du phosphore, généralement sous forme d'orthophosphate, est mesurée à l'aide de techniques analytiques telles que la spectrophotométrie, la colorimétrie ou la chromatographie.
- Les résultats de la mesure sont généralement exprimés en milligrammes de phosphore par litre (mg/L) ou en parties par million (ppm) de phosphore total dans l'eau.

➤ **Hydrocarbures**

- Un échantillon d'eau est prélevé, puis des méthodes d'extraction chimique ou physique sont utilisées pour extraire les hydrocarbures présents dans l'échantillon. Cette étape permet de séparer les hydrocarbures de l'eau.
- Les hydrocarbures extraits sont ensuite mesurés quantitativement à l'aide de techniques analytiques appropriées. Ces techniques peuvent inclure la chromatographie en phase gazeuse (GC), la chromatographie en phase liquide (LC), la spectrométrie de masse (MS), ou d'autres méthodes spécifiques de détection des hydrocarbures.
- Les résultats de la mesure sont généralement exprimés en milligrammes par litre (mg/L) ou en parties par million (ppm) d'hydrocarbures dans l'eau.

➤ **Micropolluant**

-Un échantillon d'eau est collecté à partir de la source d'intérêt, qu'il s'agisse d'une rivière, d'un lac, d'une eau souterraine, ou d'une installation de traitement des eaux.

- L'échantillon est préparé en fonction de la méthode d'analyse spécifique. Cela peut impliquer des étapes telles que la filtration pour éliminer les particules en suspension, la concentration pour augmenter la sensibilité de la mesure, ou l'extraction pour extraire les micropolluants à partir de l'eau.

-Les micropolluants sont ensuite analysés à l'aide de techniques analytiques sophistiquées telles que la chromatographie liquide haute performance (HPLC), la chromatographie en phase gazeuse (GC), la spectrométrie de masse (MS), ou d'autres méthodes spécifiques de détection.

- Les résultats de l'analyse sont généralement exprimés en unités appropriées, telles que des concentrations en nanogrammes par litre (ng/L) ou en picogrammes par litre (pg/L).

➤ Les analyses qui ont été réalisées dans ce travail sont :

- Le potentiel d'hydrogène (pH) avec le pH-mètre.
- La turbidité avec la turbidimètre.

III.2.5. Protocole expérimental de la filtration

Pour évaluer l'efficacité des filtres, nous avons préparé une solution (eau distillée + masse d'argile comme contaminant), puis nous avons mesuré la turbidité à chaque filtration.

Comme indiqué dans le schéma suivant,

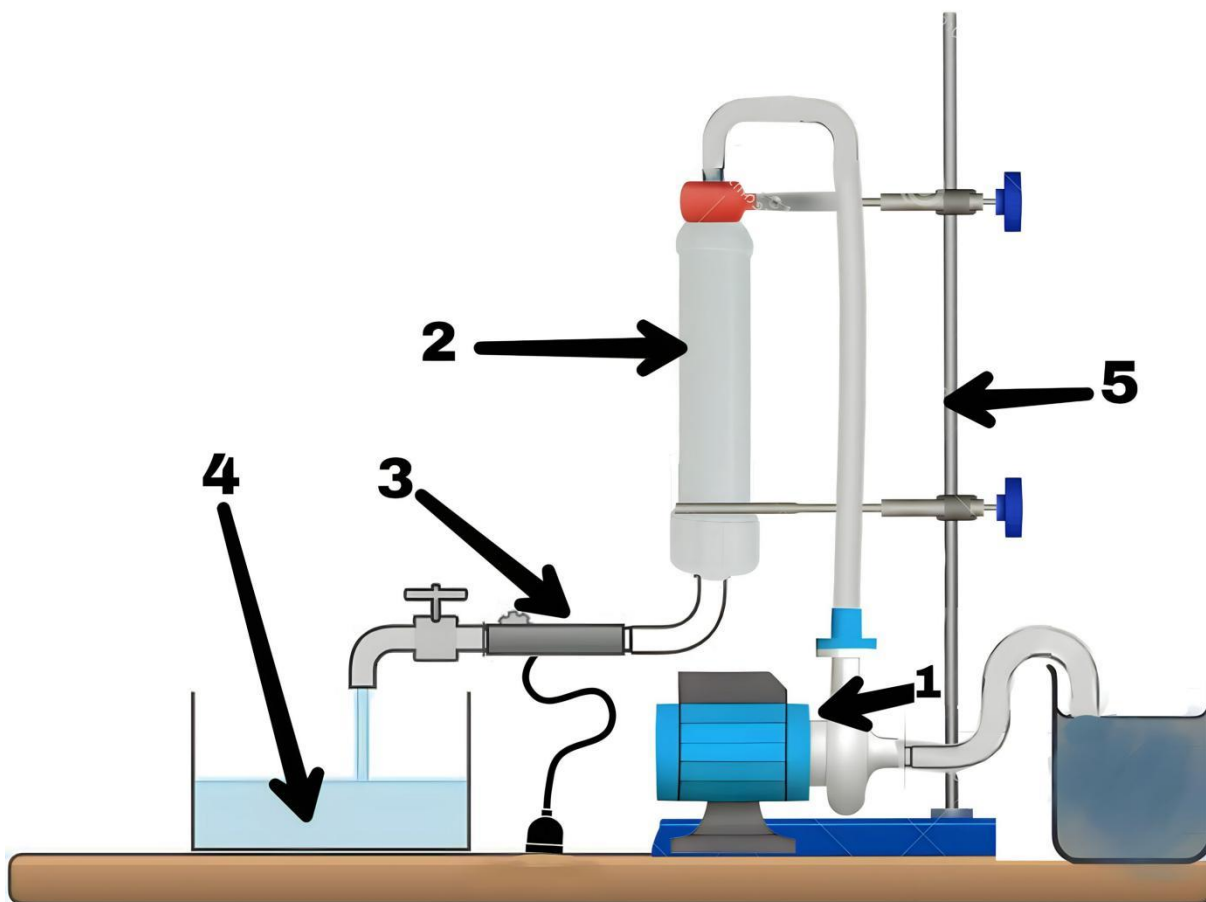


Figure III.13. Schéma démonstratif de la filtration

1-Une pompe

2- Réacteur de filtration (M)

3-Pompe 2

4-Eau pure

5-Support



Figure III.14. Réacteur de filtration à l'intérieure

Le protocole

1. Fixer en premier le réacteur sur le support
2. alimenter l'eau brute au réacteur par des tube avec une pompe
3. Positionner le filtre d'argile adapté à l'intérieur de réacteur.
4. Humidifier le filtre.
5. Introduire le mélange à filtrer (eau distillé + argile) dans l'entonnoir . Il passe par le filtre dans le réacteur) à l'aide de la pompe pour accélérer l'opération
6. récupéré l'eau filtré dans un bécher

III.3.Le filtre final

Après ces expériences nous avons préparé le filtre final de forme presque cylindrique comme le montre la figure 16



Figure III.15. le filtre de l'intérieure



Figure III.16. le filtre de l'extérieure

pour l'obtenir nous avons fait les memes étapes précédentes juste on changeant le moule est on ajoutant des billes (figure) a intérieure pour améliorer la filtration on augmentant la surface du contact.



Figure III.17. les billes

Tableau III.1. des informations sur le filtre finale

Longeur	épaisseur	Hauteur	Poids avant séchage	Poid après séchage
3,7 Cm	0,6 Cm	6.54 Cm	80g	52.23g

● **Les objectifs du projet**



- ✓ Développement du premier filtre algérien naturel, compact et facile à installer qui purifie l'eau de robinet en peu de temps, améliorant ainsi son goût et son odeur.
- ✓ ce filtre économise à long terme en évitant les coûts d'achat d'eau embouteillée et les risques pour la santé liés aux contaminants.
- ✓ il préserve l'environnement en minimisant les déchets plastiques et l'empreinte carbone associée à leur production et transport

- Titre de projet

Développement d'un bio-filtre "ALGFILT "

- Le logo



IV. Résultat et discussion

IV.1. Résultat de lavage de l'argile dans le prétraitement

lavage 1

$m = 250\text{g}$. $V \text{ eau } d = 1\text{L}$. $\text{pH (eau distillé)} = 7.2$. vitesse d'agitation = 3.5 T/s

Tableau IV.1.. Résultat de pH de lavage 1 de l'argile dans le prétraitement

pH	9,06	9,51	9,49	9,43	9.40
t (min)	0	15	30	45	60

Lavage 2

Après 24H le pH = 8.,39 .

pH eau distillé = 7,37

Tableau IV.2. Résultat de pH de lavage 2 de l'argile dans le prétraitement

pH	9,18	9,31	9,34	9,32	9,10
t (min)	0	15	30	45	60

Lavage 3

Après 24h le pH = 8,66

pH eau d = 8,24

Tableau IV.3. Résultat de pH de lavage 3 de l'argile dans le prétraitement

pH	9,35	9,27	9,27	9,23	9,22
t (min)	0	15	30	45	60

Après 24H= 8.20

IV.2 .Les filtres après cuisson

- Lors de la première variante, tout les filtres ont revenus à leur état initial et dans le (F3) le charbon n'a pas été brûlé

- Dans la deuxième variante, (F2) et (F3) ont résisté pendant une heure avant de se casser et le premier filtre (F1) a était fissuré au début.

- Dans la troisième variante, toutes les six filtres ont résisté jusqu'a la fin de la filtration sauf le (F1) qui a était cassé pendant l'opération par faute.

- dans la quatrième variante toutes les trois filtres ont résisté jusqu'a la fin de la filtration. Sauf les filtres (F4) et (F5)qui ont était cassé pendant l'opération par faute.

- dans la cinquième variante , les filtre n'ont pas résisté a la haute température sauf le (F2)

Qui a était cassé par faute.

IV.3. Les résultats de turbidité des filtres

Tableau IV.4. Les résultats de turbidité des filtres

Disque	D2	D3	D4	D5	D6	D1	D2	D3
VAGUE	V 3	V3	V3	V3	V3	V4	V4	V4
Turbidité (NTU) (avant)	125	207	180	278	62	91,2	164	137
Turbidité (NTU) (F.cycle 1)	119	137	150	199	45,3	80,9	121	128
Turbidité (NTU) (F. cycle 2)	110	105	117	158	36,8	72,9	99,8	127
Pourcentage de filtration (%)	12	49,29	35	43,16	26	20	39,14	7,3

➤ Les diagrammes de turbidité en fonction de nombre de cycle de filtration de la 3^{ème} vague

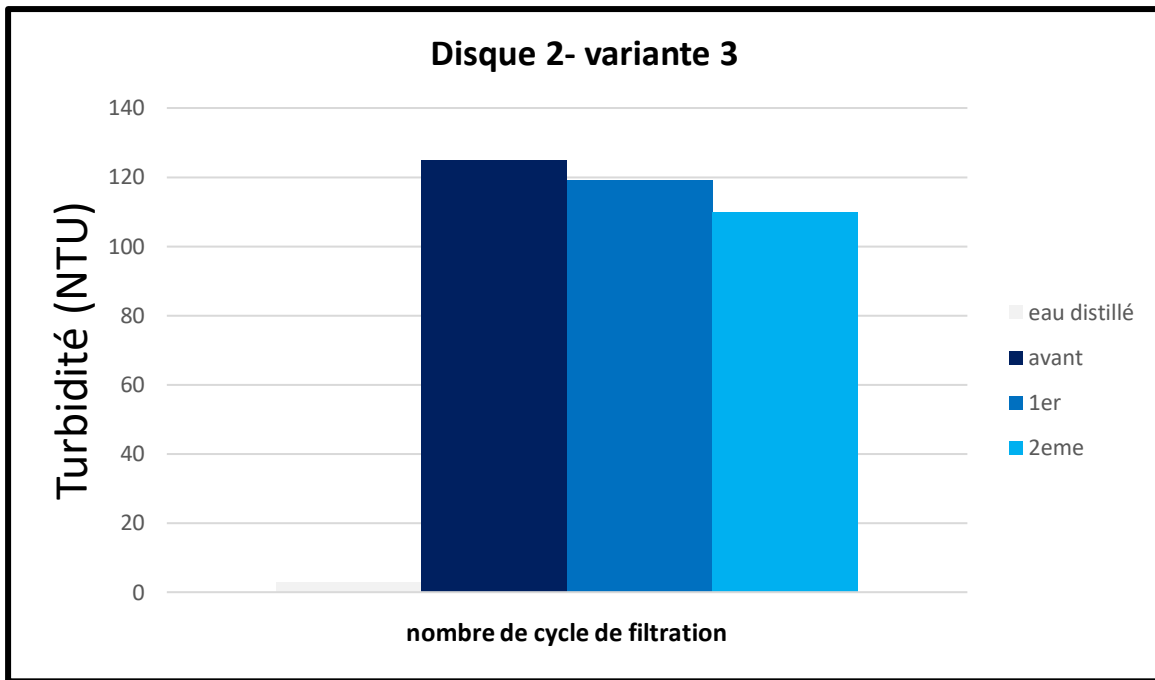


Figure IV.1. Diagramme qui présente la turbidité de D2 V3 en fonction de n de cycle de filtration

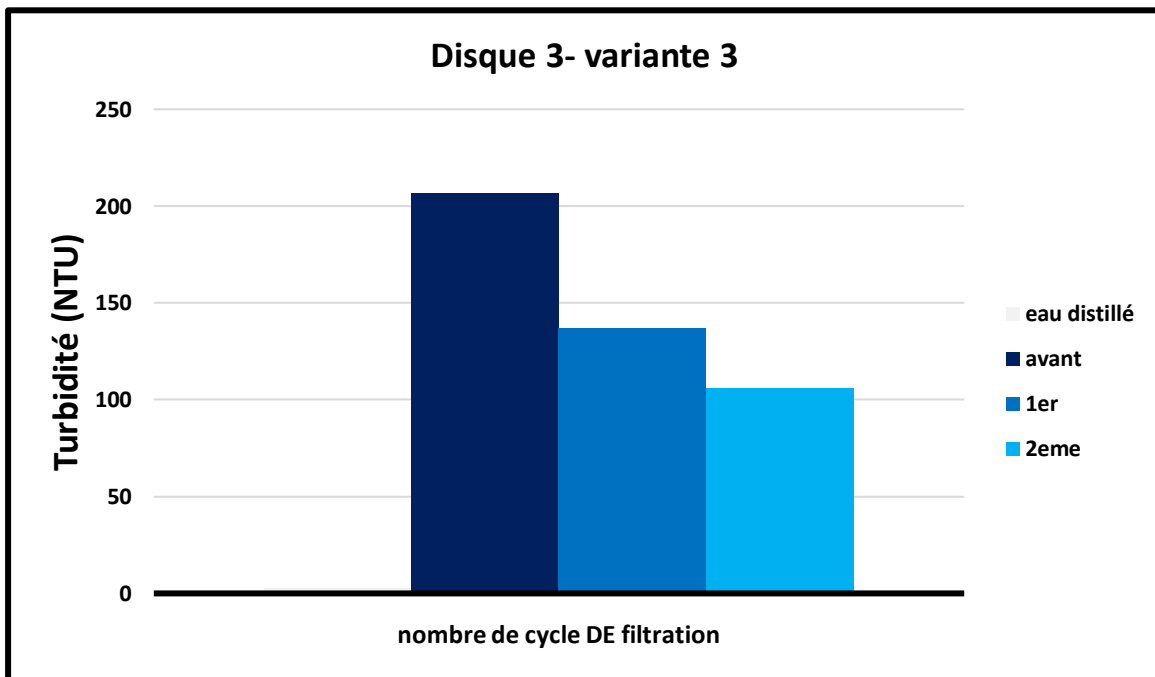


Figure IV.2. Diagramme qui présente la turbidité de D3 V3 en fonction de n de cycle de filtration

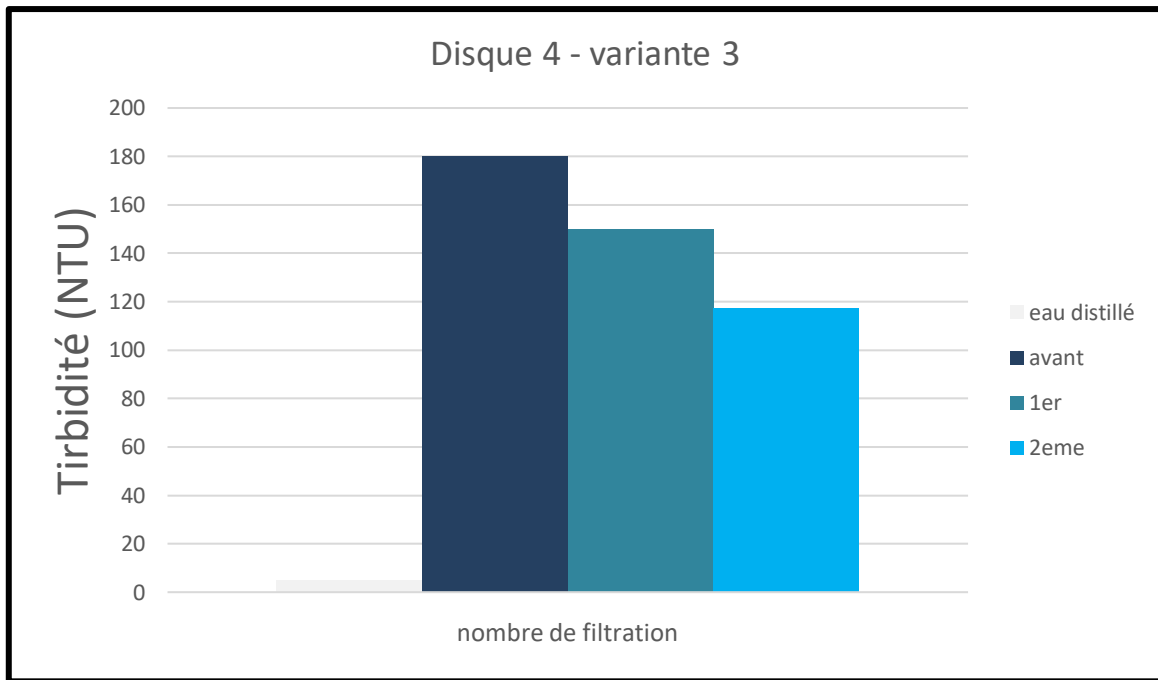


Figure IV.3. Diagramme qui présente la turbidité de D4 V3 en fonction de n de cycle de filtration

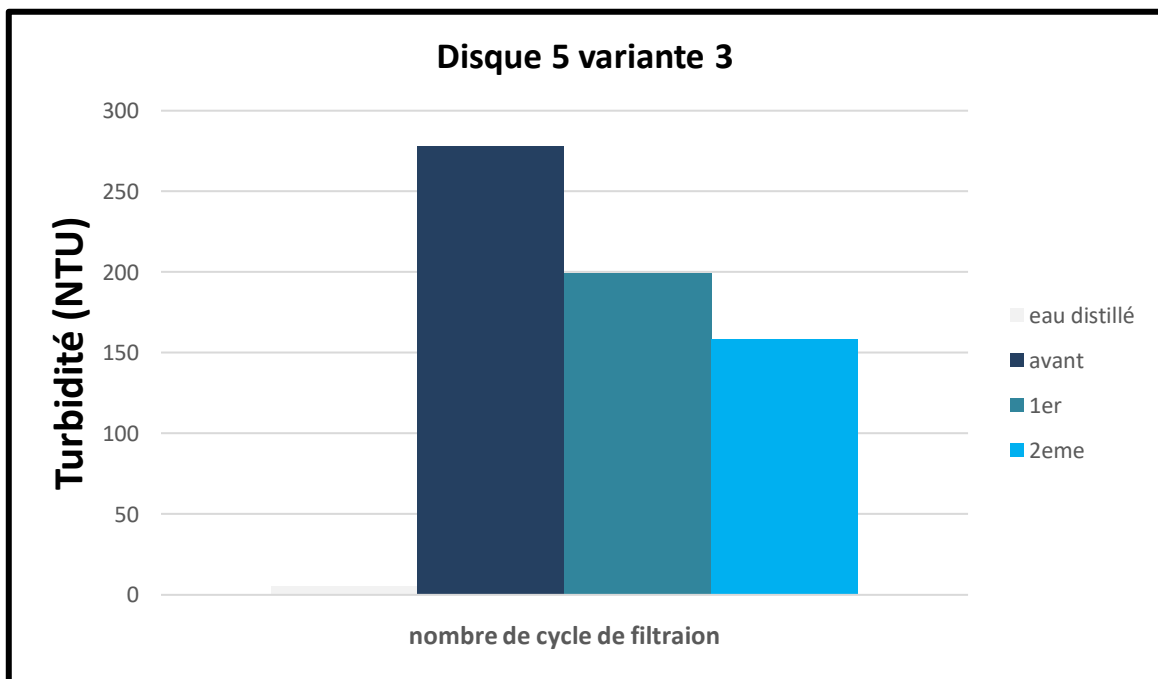


Figure IV.4. Diagramme qui présente la turbidité de D5 V3 en fonction de n de cycle de filtration

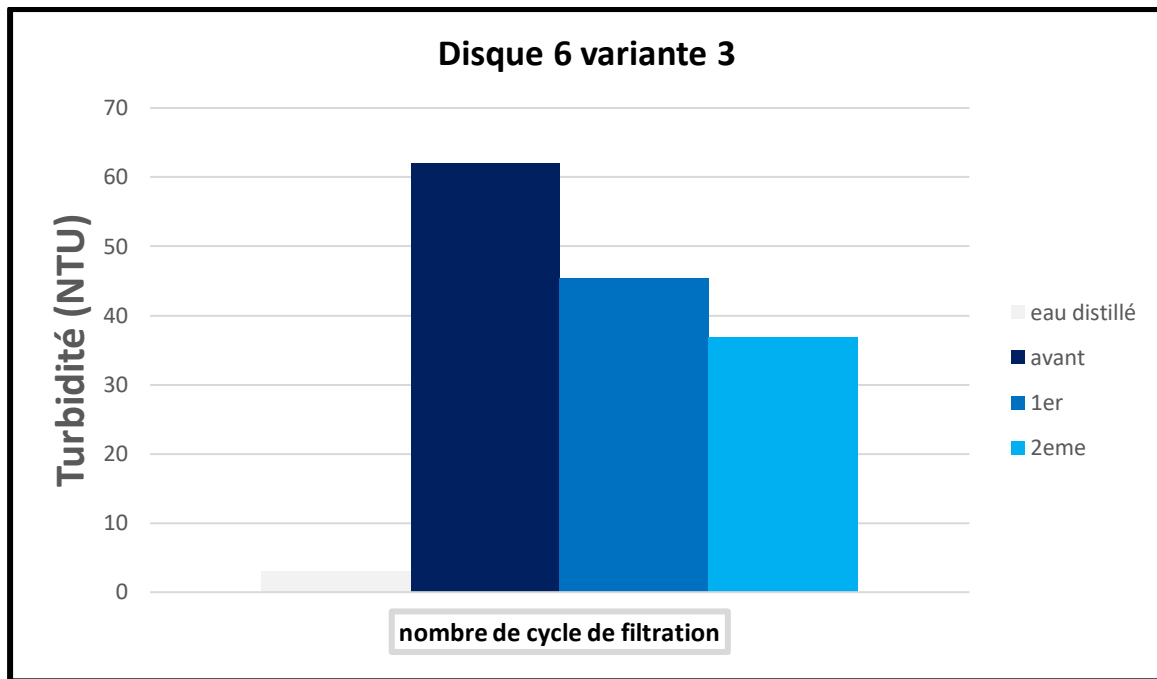


Figure IV.5. Diagramme qui présente la turbidité de D6 V3 en fonction de n de cycle de filtration

- Les diagrammes de turbidité en fonction de nombre de cycle de filtration de la 4^{eme} vague

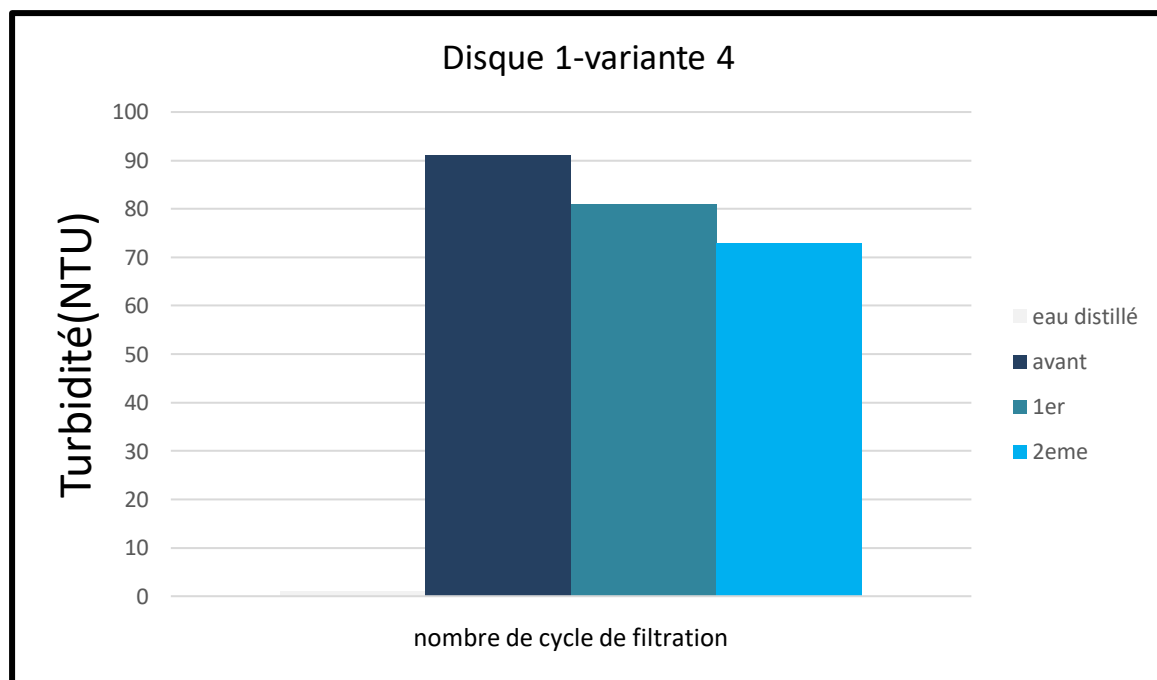


Figure IV.6. Diagramme qui présente la turbidité de D1 V4 en fonction de n de cycle de filtration

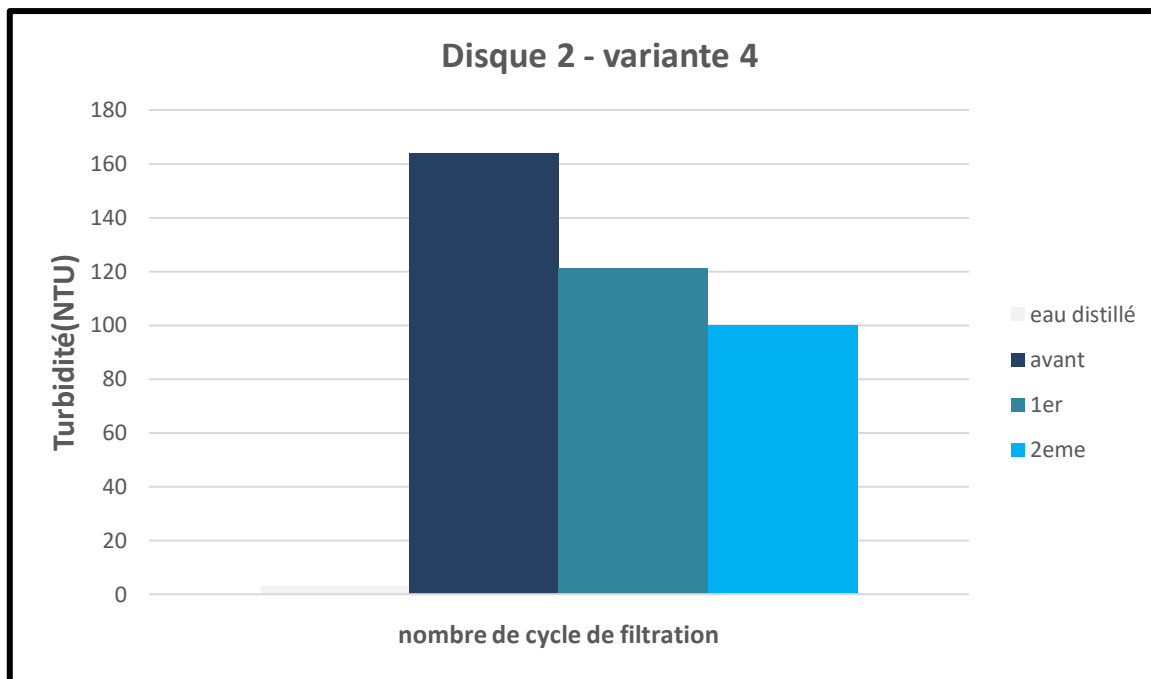


Figure IV.7. Diagramme qui présente la turbidité de D2 V4 en fonction de n de cycle de filtration

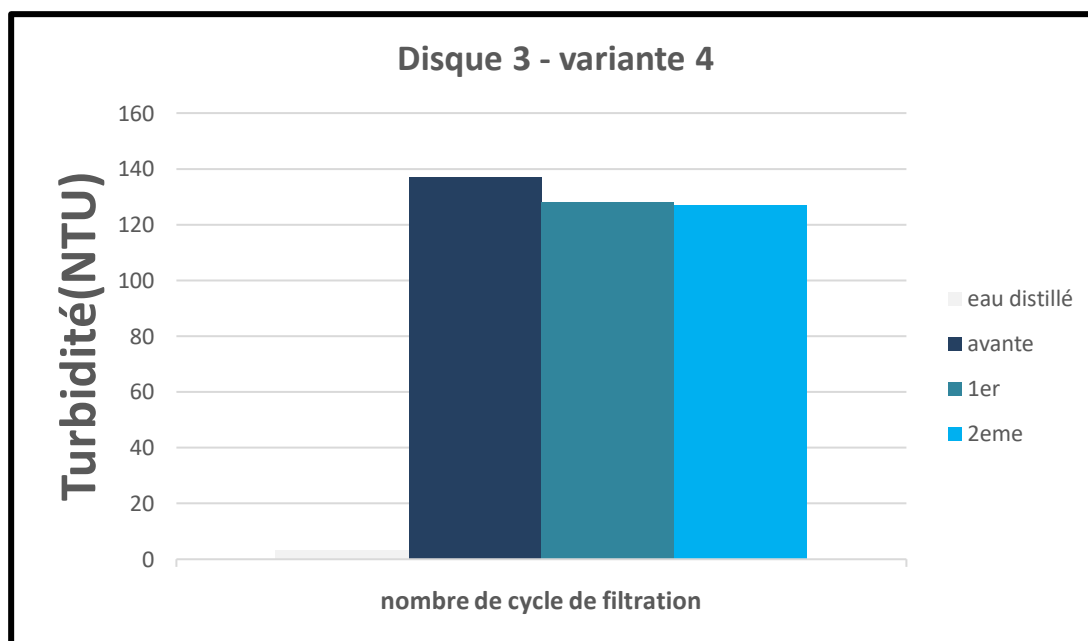


Figure IV.8. Diagramme qui présente la turbidité de D3 V4 en fonction de n de cycle de filtration

D'après les résultats précédentes on remarque que le meilleur mélange est de disque 3 variante 3 avec un pourcentage de 48,79% (argile de Guelma+scieur de bois)

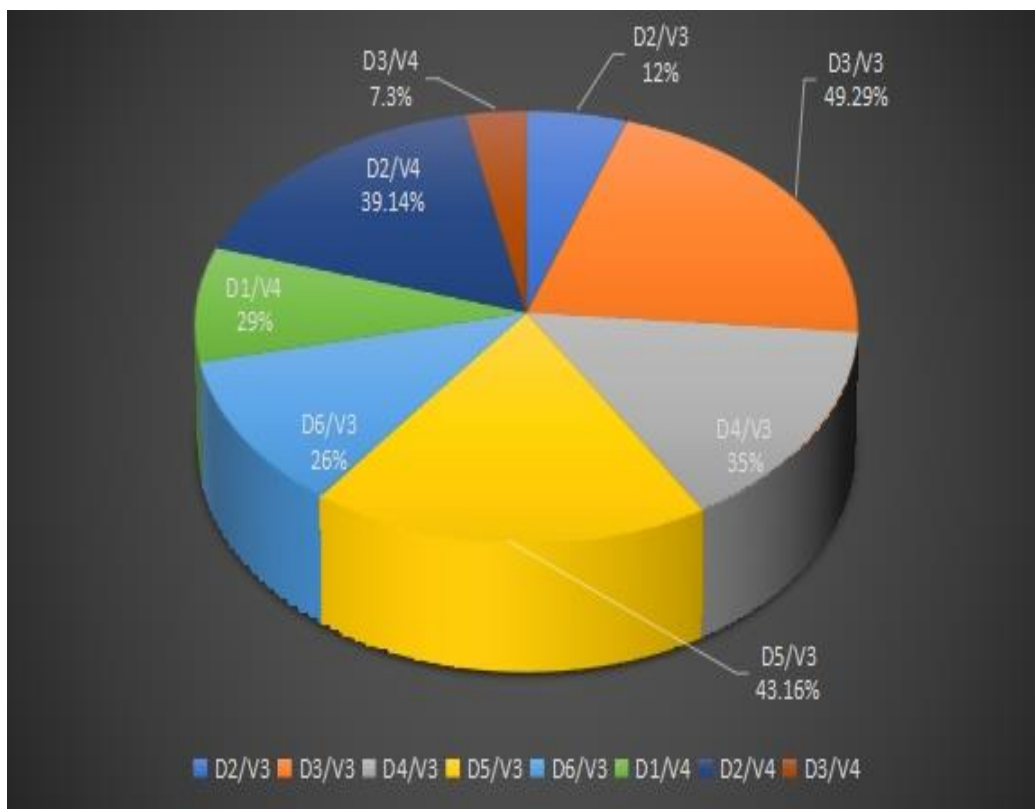


Figure IV.9.Récapitulatif



Conclusion générale

Conclusion générale

Les eaux destinées directement ou indirectement à la consommation humaine doivent être saines et sans danger pour la santé des consommateurs - à court comme à long terme - et ne doivent pas se dégrader au cours de leur transport dans les réseaux de distribution

Les procédés membranaires sont des opérations de séparation qui sont les plus développées ces dernières années ; parmi ces procédés il y a les plus avancés dans le domaine de purification d'eau sont : la microfiltration, l'ultrafiltration et la nano filtration

Au terme des travaux, il a été constaté que :

- Notre but est d'élaborer des filtres en céramique pour le traitement à domicile des eaux de consommation
- Les filtres en céramique sont efficaces pour les eaux destinées à la consommation
- Le relargage des minéraux s'effectue au niveau des premières heures donc le filtre doit être bien rincé avec l'eau distillée avant utilisation sur les eaux de consommation.
- D'après les résultats présentés on remarque que le meilleur mélange est de disque 3 vague 3 avec un pourcentage de 48,79% (argile de Guelma+sciure de bois)
- Le meilleur additif à ajouter est la sciure de bois

Références

- **Abda A.** (2014) – Traitement des eaux de surfaces et les risques génotoxiques des sous-produits de chloration, thèse de doctorat. Université de Guelma.
- **Ajmia. C,** (2010) : Etude expérimentale et théorique de procédés de valorisation de sous-produits oléicoles par voies thermique et physico-chimique ; Thèse de doctorat de l'école nationale d'ingénieurs de monatir et de l'université de hauteAlsace.
- **Aoudjehane M., Rezzouk M., Kellil A. & Guigui C.** (2010) Etude comparative de l'électrocoagulation et de la coagulation floculation vis-à-vis de la modélisation d'une émulsion d'huile de coupe. Revue des sciences de l'eau, 23 (1), pp : 35-55.
- **Beaudry J. P.,** (1984). « Traitement des eaux, Ed. Le Griff on d'argile INC, Canada.P27-41
- **Beneden G.V.** (1957).Application d'un dosage colorimétrique de phosphore aux eaux additionnées de polymétaphosphates. C.B.E.D.E, Bull. trimestriel, I, (35), p 33.
- **Berné, J. Cordonnier** (1991). Traitement des eaux usées. Editions TECHNIP, Paris.
- **Bouchenak K et Racha M** (2015), Comparaison qualitative entre filtration sur sable et filtration sur charbon actif 'application aux eaux usées épurées de la STEP deAin El Houtz', Mémoire de master , d'état Hydraulique , Université de Tlemcen,
- **BOUGDAH. N,** (2007) : Etude de l'adsorption de micropolluants organique sur la bentonite, Mémoire de Magister Présenté à l'Université 20 Août 55, Skikda.
- **BOULIER FLORENT,** 2011 : Retour d'expérience des opérations de lutte contre la pollution diffuse d'origine agricole ; AgroParisTech-ENGREF ; Centre de Montpellier 17p.
- **CARNEVALE, Nicholas T. et HINES, Michael L.,** 2006 : The NEURON book. Cambridge University Press.
- **Degremont.,** (1989). Mémento technique de l'eau. Edition : Techniques et documentation, paris.
- **Des jardins., R** (1997). Le traitement de l'eau 2ème éditions revue et enrichie ; presses internationales polytechnique de Montréal. Canada.

Références

- **Dies, R.** (2003). Development of a Ceramic Water Filter for Nepal,. Massachusetts: Master of Science in Civil Engineering Thesis, Massachusetts Institute of Technology.
- **Dr. CHERAITIA Abdullah** <<Membranes et procédés membranaires >>; POLYCOPIE DE COURS, UNIVERSITÉ 08 MAI 1945 GUELMA, Algérie(Année universitaire 2014/2015).p: 93
- **DUGUET, J-P, BERNAZEAU, F, CLERET, D, GAID, A, LAPLANCHE, A, MOLES, J,**
- **Eslinger, Peaver D,** (1988) Clay minerals for petroleum geologists and engineers, SEPM. Short course n°22, Soc. Economic paleontologists and mineralogists, Tulsa, USA, .
- **FERAT,Z ,GHEDAMSI,H,** (2009). Caractéristiques et traitement des eaux de surface de retenue de TIZI Ghenif par la station monobloc en vue de leur potabilisation.
- **Gaujous D.,** (1995). La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire, éd. Tec&Doc.paris, p 58,64.
- **GRESE** (2012) Utilisation de l'aluminium en potabilisation et traitement des eaux usées : Risques sur la santé, substitutions possibles par d'autres coagulants, retours d'expériences. Université de Limoges, Groupement de Recherche Eau Sol Environnement,
- **Gridi Benneji Fayza,** (2007) , thèse de doctorat, université de Limoges.
- **Hadj S.** (1999). Modélisation et estimation dans les bioréacteurs ; prise en compte des incertitudes : application au traitement de l'eau. Thèse de Doctorat de l'Université de Nice –Sophia Antipolis, Nice, France, 1999
- **Kettab A.** (1992) - Traitement des eaux (eaux potables). Ed. Office des publications universitaires
- **Labanowki J., Pallier V. & Feuillade G.** (2010) Study of organic matter during coagulation and electrocoagulation processes: Application to a stabilized landfill leachate. Journal of Hazardous Materials, 179 (issues 1-3), pp: 166-172
- **M.O. Mizier.** (2005). La mesure de turbidité : un paramètre essentiel pour les eaux potables comme pour les eaux usées, L'Eau l'industrie les nuisances, 284,
- **Monod I.** (1989). Mémento technique de l'eau Tome I 9^{ème} édition du cinquantenaire, p1200.

Références

- **MONTIEL, A, RIOU, G, SIMON, P.** (2006). Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine. 1 ère édition. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'environnement).
- **Mottot Y.,** (2000). Coagulants et floculants, Texte des 279 conférences de l'Université de tous les savoirs
- **MOUAZIZ. S,** (2012) : Préparation et Caractérisation des bentonites modifiées par des sels de Bisimidazolium –Application à l'adsorption du bleu Telon. Mémoire, université Abou bekr a belkaide-Tlemcen.
- **Picard T., Cathalifaud-Feuillade G., Mazet M. & Vandesteendam C.** (2000) Cathodic dissolution in the electrocoagulation process using aluminium electrodes. J.environ. Monit., 2, pp : 77-80.
- **Pétard** (1993) . Les méthodes d'analyse, Tome 2, Analyse d'eau, ORSTOM, Nouméa, Novembre .
- **Rodier, B. Legube, N,**(2009). Merlet. L'analyse de l'eau. 9ème édition, entièrement mise à jour. DUNOD, Paris.
- **Romdhane A.**(2014).Procédés de séparation membranaire pour la production en continu de nanocristaux de polysaccharides : approche expérimentale et modélisation, Thèse de doctorat, Université de Grenoble.
- **Salghi, R.** (2000). Différentes filières de traitement des eaux. Thèse d'habilitation. Université ibn zohr p 22
- **Tardat-Henry, J. P. Beaudry** (1992), Chimie des eaux, 2 ème editions, Le Griffon d'argile.
- **White G. N. , Deng Y. et Dixon J. B.**(1999), "Effect of structural stress on the intercalation rate of kaolinite", Journal of Colloid and Interface Science, Vol. 250, pp. 379-393, .

Les partenariats clés	Activités clés	Proposition de la valeur	Relation avec client	Segment de la clientele
<ul style="list-style-type: none"> - Les profs encadrants - Incubateur universitaire - Le créateur de packaging - Livreur pour les commandes hors wilaya - Laboratoire de plastique (pour la 2^{eme} partie de filtre) 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabrication des filtres - Création des packaging - Vendre le produit 	<ul style="list-style-type: none"> - Boire l'eau de robinet des nos maison sans risque - des economies substantielles en évitant l'achat d'eau en bouteille (surtout pour les athlètes , les gens malades et les familles nombreuses) - préserver l'environnement en minimisant accumulation de déchets plastique 	<p style="text-align: center;">(DIRECTE)</p> <ul style="list-style-type: none"> - une page spécial pour les propositions des clients - un site pour réclamation et avis - un numéros pour service client 	<p style="text-align: center;">Clients standars (toutes les personnes sans exception)</p>
	Ressources clés		Canaux de distribution	

	<ul style="list-style-type: none"> - Laboratoire - Les employés - Matériels et produits - Matière première 		<ul style="list-style-type: none"> - en ligne (réseaux sociaux) - les boutiques - téléphone - vente en gros 	
La structures des coûts		Sources des revenus		
<ul style="list-style-type: none"> - prix de loue de laboratoire - les salaires des employés -prix des produits et transports 		<ul style="list-style-type: none"> - la vente de produit (le filtre) 		