

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي - برج بوعريريج

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la Technologie

MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Génie des procédés d'environnement

Par : - Benchikh Ratiba

- Bengouguerra Hanane

Sujet :

Fabrication d'un filtre

Soutenu publiquement, le 03 / 07 / 2023 , devant le jury composé de :

Mr Kares Houssam

MCB

Univ-BBA Président

Mr Dilmi Abed El kader

MCB

Univ-BBA Examinateur

Mr Bahloul Ahmed

Professeur

Univ- M'sila Encadrant

Mr khanfer Riadh

MCA

Univ-BBA Co-Encadrant

Année Universitaire 2022/2023

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous remercions sincèrement ALLAH de nous avoir aidés à atteindre ce but et de nous avoir permis de surmonter tous les obstacles rencontrés.

Nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude au professeur BAHLOUL Ahmed pour son aide, son encouragement et sa direction précieuse tout au long de ce travail.

Nos remerciements vont également au professeur KHANFAR Riad pour son soutien et son encouragement tout au long de notre parcours.

Nous tenons à remercier les membres du jury, le Dr. H. Karce et le Dr. A. Dilmi, pour leur participation et leurs précieux commentaires lors de l'évaluation de notre mémoire.

Nous exprimons également notre reconnaissance envers le professeur CHAFAI Nadjib pour son assistance précieuse.

Enfin, nous tenons à remercier nos familles, en particulier nos parents, qui ont ressenti notre stress à de nombreuses reprises et nous ont soutenus tout au long de cette étape importante de notre parcours académique.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous.

DEDICACES

Je Dédie ce modeste Travail :

- ✓ A mes parents.*
- ✓ A ma sœur et mon frère.*
- ✓ A mes amies : Djerareda Asma et Zetchi Kamilia.*

Ratiba BENCHIKH.

DEDICACES

Je Dédie ce modeste Travail :

- *A mes parents.*
- *A mes sœurs.*
- *A toute ma famille et à mes amis.*

Hanane BENBOUGUERRA.

SOMMAIRE

Sommaire	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale	
I. Chapitre 01 : recherche bibliographie	01
I.1 Energie renouvelables	02
I.1.1 Energie solaire	02
I.1.2 L'effet photovoltaïque	02
I.1.3 Présentation et fonctionnement des cellules photovoltaïques	03
I.1.4 Raisons du nettoyage des panneaux solaires	04
I.1.5 Le nettoyage des panneaux solaires	05
I.1.6 Méthodes de nettoyage des panneaux solaires	06
I.1.7 Étude expérimentale de l'effet de la poussière et de fientes des oiseaux sur le fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques pour le site de M'silla	07
I.2.Traitement des eaux usées	07
I.2.1 Le traitement physico-chimique	07
I.2.1.1 La coagulation-floculation	07
I.2.1.2 La décantation	08
I.2.1.3 La Filtration	09
I.2.1.4 L'adsorption	10
I.2.1.5 Oxydo-réduction	10
I.2.2 Le Traitement biologique :	11
I.2.2.1 Biorestauration	12
I.2.2.2 Digestion anaérobie	12
I.2.2.3 Aération	13
I.2.3 Le Traitement membranaires	14
I.2.3.1 Osmose inverse	17
I.2.3.2 Nano filtration	18
I.2.3.3 Ultrafiltration	18
I.2.3.4 Microfiltration	19

I.2.4	Traitement des eaux usées par rayons ultraviolets (UV).....	19
I.2.5	Traitement des eaux usées par méthodes électrochimiques (Electrocoagulation).....	21
II	Chapitre 02 : techniques et expérimentales.....	24
II.1.	Produits et matériels.....	25
II.2.	Analyse d'eau récupéré.....	25
II.2.1.	Mesure de pH.....	25
II.2.2.	Mesure de la turbidité.....	26
II.2.3.	Mesure de conductivité, la salinité et le TDS.....	27
II.2.4.	Mesure de MES.....	27
II.2.5.	Mesure des paramètres DCO et DBO ₅	28
II.2.6.	Mesure de la dureté totale TH.....	30
II.2.7.	Dosage des chlorures	31
II.2.8.	Dosage des sulfates.....	31
II.2.9.	Dosage de l'alcalinité.....	32
III	chapitre 03 : résultats et discussion.....	32
III.1	Echantillonnage.....	33
III.2	Mesure de pH.....	33
III.3	Mesure de la turbidité.....	34
III.4	Mesure de conductivité, la salinité et le TDS.....	35
III.5	Mesure de MES.....	36
III.6	Mesure de la dureté totale	36
III .7	Dosage des chlorures	37
III.8	.Dosage des sulfates.....	38
III.9	Dosage de l'alcalinité.....	39
III.10	Fabrication du filtre à sable.....	40
	Conclusion générale	45

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : panneaux photovoltaïques	02
Figure I.2 L'effet photovoltaïque	03
Figure I.3 : Nettoyage des panneaux photovoltaïques.	06
Figure I.4 : Les méthodes de nettoyage	06
Figure I.5 : la coagulation et le floculation	08
Figure I.6 : Bassin de décantation (Ain zada)	09
Figure I.7 :La digestion anaérobie	13
Figure I.8 : Les bassins d'aération	14
Figure I.9 : Echelle de taille des particules (en μm) et quelques procédés de solvo-transfert, ainsi que leurs domaines d'applications	15
Figure I.10 :: Lors du transfert de l'espèce i entre les deux phases 1 et 2, la membrane joue le rôle d'interface.....	16
Figure I.11 : Techniques de séparation membranaires et leurs domaines d'application	17
Figure I.12 : Schéma illustrant le principe de l'osmose inverse [5].	18
Figure I.13 : Schéma de principe de l'ultrafiltration [5].	19
Figure I.14 : Schéma de stérilisateur UV 40 watts (traitement bactériologique)	21
Figure I.15 : Schéma de traitement des eaux usées par électrocoagulation	22
Figure II.16 : pH-mètre.	26
Figure II.17 : Turbidimètre.....	26
Figure II.18 :Photos montrent les étapes de mesure de la matière en suspension.	28
Figure II.19 : Flacon de mesure de DBO_5	29
Figure II.20 : Mesure de la DCO (tube DCO,thermo-réacteur,photomètre).....	29
Figure II.21 : Dosage de la dureté totale	30
Figure III.1 : photos des panneaux photovoltaïques avant et après le lavage.....	33
Figure III.2 : Evolution du ph avant et après la filtration	34
Figure III.3 : Evolution de la turbidité avant et après la filtration.....	34
Figure III.4 : Evolution de la conductivité , TDS et salinité avant et après la filtration ...	35
Figure III.5 : Evolution de la MES avant et après la filtration.....	36
Figure III.6 : Evolution de la dureté totale TH avant et après la filtration.....	37
Figure III.7 : Evolution de la concentration des chlorures avant et après la filtration.....	37

Figure III.8 : courbes de titrage conductimétrique en fonction du volume de chlorure de baryum ajouté avant et après la filtration	38
Figure III.9 : Evolution de la concentration de TAC avant et après la filtration.....	40
Figure III.10 :photos du sable à silice.....	40
Figure III.11 : taille des grains du sable à silice(grossier).....	41
Figure III.12 : taille des grains du sable à silice (fin)	42
Figure III.13 : photo du filtre à sable fabriquer au niveau de notre laboratoire.....	43
Figure III.14 :photo du filtre à sable placer avec le panneau solaire.....	44

Liste des abréviations :

PV :	Photovoltaïque
UV:	Ultraviolet
DBO :	Demande biochimique en oxygène
DCO:	Demande chimique en oxygène
TA:	Le titre alcalimétrique
TAC:	Le titre alcalimétrique complet
NET:	Noir ériochrome T
TDS:	Total dissolved solids
MES:	Matière en suspension
TH:	Titre hydrotimétrique

Introduction Générale

Introduction Générale

Compte tenu de la perte d'énergie considérable causée par les débris et la poussière qui s'accumulent sur les panneaux solaires, les solutions de nettoyage qui nécessitent une intervention manuelle sont économiquement inutiles car elles entraînent un gaspillage de ressources (eau), sont inefficaces et coûteuses, qui peuvent atteindre des montants très importants selon les pays.

Les panneaux solaires sont un moyen populaire et efficace d'exploiter l'énergie du soleil pour produire de l'électricité propre. Cependant, pour maximiser leurs performances et leur longévité, il est important de les garder propres et en bon état. Dans ce guide, apprendre à nettoyer correctement un panneau solaire pour maximiser sa production d'énergie.

Tout au long de ce document on va proposer en une solution qui vise à totalement automatiser l'opération de nettoyage des panneaux photovoltaïques chose qui résulte en une moindre implication du facteur humain et sera économique en termes de ressources, précise et efficace.

L'opération de nettoyage que nous proposons inclut la détection d'une baisse de rendement dû à l'accumulation de la poussière sur la surface du panneau solaire en proposant une nouvelle méthode et en prouvant expérimentalement que celle-ci est réalisable et efficace.[1]

L'objectif de ce travail est la fabrication d'un filtre à sable pour récupérer l'eau de lavage des panneaux solaires et pour optimiser l'utilisation de l'eau. Les panneaux solaires peuvent accumuler de la poussière, de la saleté et d'autres particules au fil du temps, réduisant ainsi leur efficacité. Le lavage régulier des panneaux solaires est nécessaire pour maintenir leur performance.

Nous avons présenté les résultats obtenus en trois chapitres.

Le chapitre I, révèle une étude bibliographique sur l'énergie solaire

Le chapitre II a été consacré autraitements des eaux usées notamment les méthodes de traitement.

Dans le chapitre III, nous avons présenté les résultats de l'étude de traitement de l'eau récupérer.

Le manuscrit de mémoire est encadré par une introduction et une conclusion générale sur les résultats obtenus.

Chapitre I :

Recherche Bibliographique

I.1.Énergie renouvelables

I.1.1 Energie solaire :

Ces dernières années la production des gaz à effet de serre est en hausse suite à la demande d'énergie qui ne cesse de s'accroître, ces gaz nocifs pour la santé et l'environnement résultent principalement de la combustion de produit pétrolier qui sont une source d'énergie non renouvelable, d'où le détour de l'attention de l'humanité et spécialement de la communauté scientifique vers les énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables plus précisément sources d'énergie renouvelable sont des sources d'énergie naturelles intarissable par rapport à l'échelle du temps humain est une partie de l'énergie émise par des phénomènes naturels récupérée par des dispositifs d'en la technologie varie selon la source, le but est de transformer l'énergie reçue en énergie électrique.

Le soleil est un réacteur à fusion nucléaire, par un processus de transformation d'hydrogène en hélium, il émet d'énormes quantités d'énergie dans l'espace. Après avoir parcouru une distance d'environ 150 millions de kilomètres, l'irradiation solaire arrive à l'extérieur de l'atmosphère de la Terre avec une puissance d'environ $1\,367\text{ W/m}^2$.



Figure I.1 : panneaux photovoltaïques

I.1.2.L'effet photovoltaïque :

L'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés semi-conducteurs, qui génèrent de l'électricité lorsqu'ils sont exposés à la lumière. Le plus connu d'entre eux est le silicium cristallin, qui est utilisé dans 90 % des cellules photovoltaïques produites dans le monde aujourd'hui. L'effet photovoltaïque se produit lorsque des photons frappent la surface d'un matériau photovoltaïque. Ils transfèrent de l'énergie aux électrons, qui sont attirés par les atomes autour des atomes qui forment le matériau. En raison de l'énergie qu'ils gagnent, les électrons "s'excitent". Ils reviennent généralement à l'équilibre, leur niveau initial, en libérant l'énergie du photon sous forme de chaleur. Le matériau s'échauffe au soleil, mais il est également possible de récupérer cette énergie sous forme d'électricité. L'électron excité forme une paire "électron-trou" avec le "trou" qu'il a laissé à un niveau d'énergie inférieur.

Les électrons et les trous ont des charges opposées (-q ; +q).

Les cellules photovoltaïques sont des jonctions PN, faites en associant un semi-conducteur de type n avec un semi-conducteur de type p, comme le silicium dopé phosphore et le silicium dopé bore. Soumises à un champ électrique dans une jonction PN branchée sur un circuit extérieur, les paires électrons-trou vont se séparer et les électrons excités vont se mettre en mouvement dans une direction particulière : un courant électrique est créé, le courant électrique continu qui se crée est alors recueilli par des fils métalliques très fins connectés les uns aux autres et acheminé à la cellule suivante. Le courant s'additionne en passant d'une cellule à l'autre jusqu'aux bornes de connexion du panneau, et il peut ensuite s'additionner à celui des autres panneaux.[2]

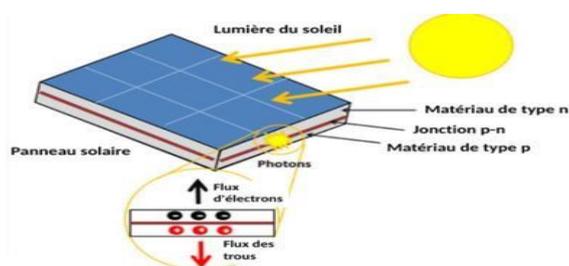


Figure I.2 : L'effet photovoltaïque

I.1.3. Présentation et fonctionnement des cellules photovoltaïques :

La cellule solaire, élément unitaire d'un module photovoltaïque, est aussi l'élément actif dans lequel se produit l'effet photovoltaïque, celui-ci permet au matériau de la cellule de capter l'énergie lumineuse (photons) et de la transformer en énergie électrique caractérisée par un déplacement de charges, positives et négatives.

La caractéristique commune à toutes les technologies photovoltaïques est la mise en présence dans le matériau de la cellule d'un donneur et d'un accepteur d'électrons pour permettre ce déplacement de charges. Une fois transféré dans un circuit électrique extérieur, celui-ci prend la forme d'un courant électrique continu.

De manière générale, les cellules photovoltaïques peuvent être vues comme un empilement de matériaux :

- **La couche active ou l'absorbeur** constitué d'un premier matériau accepteur d'électrons et d'un second matériau donneur d'électrons, formant une jonction donneur-accepteur ;
- **Les contacts métalliques avant et arrière** constituant les électrodes positives (+) et négatives (-) chargées de collecter le courant généré.

- **Des couches supplémentaires** comme un antireflet ou une couche plus fortement dopée permettant d'améliorer les performances de la cellule : meilleure absorption de la lumière, meilleure diffusion des porteurs de charges dans le matériau, etc.

I.1.4.Raisons du nettoyage des panneaux solaires :

Le nettoyage des panneaux solaires est important pour maximiser leur rendement énergétique car la saleté, la poussière, les débris et la pollution peuvent réduire la quantité de lumière solaire qui atteint les cellules photovoltaïques, réduisant ainsi leur efficacité.

La saleté et la poussière peuvent s'accumuler sur la surface des panneaux solaires et réduire leur transparence. Cela diminue la quantité de lumière solaire qui atteint les cellules photovoltaïques et réduit ainsi leur capacité à produire de l'énergie. Selon l'endroit où se trouvent vos panneaux solaires, ils peuvent être exposés à différentes quantités de saleté, de poussière et de débris. Par exemple, si les panneaux solaires sont situés près d'une route ou d'une zone où il y a beaucoup de poussière, on doit nettoyer les panneaux solaires plus souvent.

La pollution de l'air peut également affecter les panneaux solaires. La pollution peut créer une couche de particules sur les panneaux solaires, ce qui peut réduire la quantité de lumière solaire qui atteint les cellules photovoltaïques. Dans les régions où l'air est pollué, il est recommandé de nettoyer les panneaux solaires plus souvent.

Enfin, le nettoyage des panneaux solaires peut également aider à prolonger leur durée de vie. Les panneaux solaires qui sont maintenus propres et en bon état peuvent durer plus longtemps et produire de l'énergie de manière plus fiable.

En somme, pour maximiser le rendement énergétique des panneaux solaires, il est important de les maintenir propres et en bon état. Le nettoyage régulier des panneaux solaires peut aider à éliminer la saleté, la poussière, les débris et la pollution qui peuvent réduire leur efficacité, et à prolonger leur durée de vie.

La saleté, la poussière, les débris et la pollution peuvent tous avoir un impact négatif sur la production d'énergie solaire. Voici un point sur l'impact de chacun de ces éléments :

1. Saleté et poussière : Lorsque la saleté et la poussière s'accumulent sur la surface des panneaux solaires, elles peuvent réduire la quantité de lumière solaire qui atteint les cellules photovoltaïques. Cela peut entraîner une réduction de la production d'énergie solaire et, par conséquent, une baisse du rendement des panneaux solaires.

2. Débris : Les débris tels que les feuilles, les branches et les débris de construction peuvent obstruer les panneaux solaires, bloquant ainsi la lumière solaire et réduisant la production d'énergie. Les débris peuvent également endommager les panneaux solaires s'ils sont soumis à une pression excessive.
3. Pollution : La pollution atmosphérique peut également réduire la production d'énergie solaire. Les particules présentes dans l'air peuvent se déposer sur les panneaux solaires et réduire la quantité de lumière solaire qui atteint les cellules photovoltaïques. La pollution peut également créer une couche de particules sur les panneaux solaires qui réduit leur transparence. [4]

I.1.5. Le nettoyage des panneaux solaires :

La fréquence de nettoyage des panneaux solaires dépend de plusieurs facteurs, tels que l'emplacement des panneaux solaires, le climat local, la quantité de poussière et de saleté dans la région, ainsi que les niveaux de pollution atmosphérique. Voici quelques conseils pour déterminer la fréquence de nettoyage des panneaux solaires :

1. Emplacement : Si les panneaux solaires sont situés dans une zone où il y a beaucoup de poussière, de saleté et de débris, ils devront être nettoyés plus souvent. Si les panneaux solaires sont situés près d'une route très fréquentée ou d'une usine, ils peuvent être exposés à des niveaux élevés de pollution atmosphérique, ce qui peut nécessiter un nettoyage plus fréquent.
2. Climat : Dans les régions où il y a peu de pluie, les panneaux solaires peuvent accumuler plus de poussière et de saleté, ce qui peut nécessiter un nettoyage plus fréquent. Dans les régions où il y a des tempêtes de poussière fréquentes, les panneaux solaires devront être nettoyés plus souvent.
3. Performance : Si remarquer une baisse de performance de vos panneaux solaires, cela peut être dû à une accumulation de poussière, de saleté ou de débris. Dans ce cas, il est recommandé de nettoyer les panneaux solaires pour restaurer leur efficacité.
4. Recommandations du fabricant : Les fabricants de panneaux solaires peuvent fournir des recommandations sur la fréquence de nettoyage des panneaux solaires. Il est important de vérifier les instructions du fabricant pour savoir quand et comment nettoyer les panneaux solaires.[5]



Figure I.3 : Nettoyage des panneaux photovoltaïques.

I.1.6. Méthodes de nettoyage des panneaux solaires :

Il existe plusieurs méthodes pour nettoyer les panneaux solaires. Voici quelques-unes des méthodes les plus courantes :

I.1.6.1 Méthode manuelle : Cette méthode consiste à utiliser une éponge douce ou une brosse à poils doux pour nettoyer les panneaux solaires à la main. Il est important d'utiliser des produits de nettoyage doux et de l'eau douce pour éviter d'endommager les panneaux solaires. Cette méthode est idéale pour les panneaux solaires qui ne sont pas trop sales.(6)

I.1.6.2 Méthode nettoyage automatique : Cette méthode consiste à utiliser un robot de nettoyage spécialement conçu pour les panneaux solaires. Ces robots utilisent des brosses à poils doux pour nettoyer les panneaux solaires sans endommager leur surface. Cette méthode est idéale pour les grands systèmes de panneaux solaires. (7)



Figure 4 : Les méthodes de nettoyage

I.1.7. Étude expérimentale de l'effet de la poussière et de fientes des oiseaux sur le fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques pour le site de M'silla :

Une étude expérimentale de l'effet de la poussière et des fientes des oiseaux sur le fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques a été menée dans la région de Hodna.

Pour tous les types de panneaux solaires sur ce test, le premier est du type monocristallin d'une puissance de 100W, et l'autre est du type poly cristallin d'une puissance de 250W. Une quantité de poussière a été dispersée sur le premier pendant les mois du Mars et du Mai, puis la tension et le courant ont été mesurés. Le deuxième a été laissé sous les conditions réelles de M'silla pendant deux mois. Les résultats ont montré que l'accumulation de la poussière sur la surface des panneaux réduit le passage de rayonnement solaire d'une part, et entraîne une élévation de la température des panneaux d'autre part, qui a révélé l'énergie produite par le système photovoltaïque. Donc, la période de nettoyage des panneaux solaires photovoltaïques est nécessaire.[8]

Un nettoyage régulier des panneaux solaires est essentiel pour maintenir leur efficacité et leur longévité. En utilisant des techniques de nettoyage appropriées et en prenant les précautions de sécurité nécessaires, on doit maximiser la production d'énergie des panneaux solaires et protéger votre investissement à long terme. J'espère que ce guide été utile et bonne chance pour nettoyer vos panneaux solaires.

I.2 Traitement des eaux usées :Le traitement des eaux usées est une étape cruciale dans la gestion de l'environnement et de la santé publique. Les eaux usées sont générées par les activités humaines et industrielles, et contiennent une grande quantité de polluants organiques et inorganiques.

I.2.1 Le traitement physico-chimique :est une méthode efficace pour éliminer des polluants et rendre l'eau propre à la consommation ou à la réutilisation. Cette méthode implique l'utilisation de processus physiques et chimiques pour éliminer les contaminants de l'eau. Les méthodes physico-chimiques sont des méthodes de traitement utilisées pour traiter les eaux usées.

I.2.1.1 La coagulation-floculation :est un procédé de traitement physico-chimique d'épuration de l'eau, utilisé pour le traitement de potabilisation ou le traitement d'eau usée. Son principe repose sur la difficulté qu'ont certaines particules à se déposer naturellement : les colloïdes.

- La coagulation : est la déstabilisation des particules colloïdales par l'ajout d'agents chimiques appelés coagulants.

- La floculation : est l'agglomération de particules instables en micro-floes puis en flocons plus gros appelés flocs. Un autre agent appelé flocculant ou auxiliaire de floculation peut être ajouté pour faciliter la formation de flocs.[9]



Figure I.5 : Coagulation et la floculation

I.2.1.2 La décantation : est une technique de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation-floculation. Cette technique est très répandue dans les usines d'épuration et de traitement des eaux.

Lors de la décantation, les particules, dont la densité est supérieure à l'eau, vont avoir tendance à s'accumuler au fond du /*décanteur sous l'effet de la pesanteur. Les particules seront éliminées du fond du bassin périodiquement. L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite redirigé vers un filtre. Les différents types de décantation :

- **Décantation statique :** les particules sont considérées indépendantes et tombent à leur propre vitesse. L'écoulement doit être laminaire sans turbulences, ni courants. Le principe est que les particules atteignent le fond du décanteur avant de sortir.
- **Décantation lamellaire :** On a dit posé des lamelles par rapport à l'horizontale pour avoir des décanteurs de faible surface admettant de plus forts débits.
- **Décantation à contact de boues aussi appelée en compression de boue :** La décantation-floculation est améliorée si la concentration en particules augmente. On met donc en contact l'eau flocculée avec des boues déjà formées.
- **Décantation à floc lesté :** Le lestage du floc par du micro sable permet d'augmenter la densité des particules et par conséquent la sédimentation des particules.[10]



Figure I.6 : Bassin de décantation (Ain zada)

I.2.1.3 La Filtration :est le procédé consistant à supprimer de l'eau les particules en suspension de taille moyenne. Pour ne citer que quelques-uns des éléments que la filtration élimine, on trouve : du sable, des limons, des particules de rouille, des bouts de chanvre, ...Etc. [11].

La filtration lente sur lit de sable est l'une des méthodes les plus couramment utilisées dans le traitement des eaux potables. L'eau prétraitée est introduite dans de grands bassins de filtration contenant des couches de sable et de gravier. Ces couches retiennent les particules en suspension et les microorganismes présents dans l'eau. Le sable agit comme un filtre, permettant à l'eau de passer à travers tout en retenant les contaminants. Voici comment fonctionne ce processus de filtration :

- Configuration du filtre : Un filtre à sable est généralement constitué d'une grande cuve cylindrique en béton ou en acier, appelée le bassin de filtration. À l'intérieur du bassin, plusieurs couches de sable de granulométries différentes et de gravier sont superposées.
- Prétraitement : Avant que l'eau brute n'atteigne le filtre à sable, elle subit un prétraitement pour éliminer les grosses particules et les débris visibles. Cela peut inclure l'utilisation de grilles, de tamis ou de dégrilleurs pour retenir les objets plus volumineux.
- Distribution de l'eau : L'eau prétraitée est introduite dans le bassin de filtration et distribuée uniformément sur la surface du sable à l'aide de systèmes de distribution, tels que des collecteurs perforés ou des buses.
- Filtration à travers le lit de sable : L'eau s'écoule à travers les différentes couches de sable et de gravier du bassin de filtration. Les particules en suspension dans l'eau sont piégées et retenues par les interstices entre les grains de sable, tandis que l'eau propre passe à travers le lit filtrant.

- Élimination des particules retenues : Au fur et à mesure que l'eau traverse le lit de sable, les particules et les matières en suspension sont progressivement piégées dans les couches supérieures du sable. Ce processus de filtration progressif permet de retenir les particules de tailles variables, allant des plus grosses aux plus fines.
- Rinçage du filtre : Avec le temps, les particules piégées s'accumulent dans le lit de sable, ce qui peut obstruer le filtre et réduire son efficacité. Pour remédier à cela, un processus de lavage ou de rinçage du filtre est effectué régulièrement. Pendant cette étape, de l'eau propre est injectée en sens inverse à travers le lit de sable pour éliminer les particules accumulées et restaurer la capacité de filtration du média filtrant.

I.2.1.4 L'adsorption : est une forme de séparation impliquant le retrait de substances dissoutes en les reliant physiquement au matériau filtre. Au cours de ce procédé, les molécules, les colloïdes et les particules adhèrent à une surface par une action physique et sans aucune réaction chimique. Le charbon actif (oxydé à haute température), qui contient des millions de sites minuscules, constitue un moyen efficace d'adsorption de matières organiques dissoutes et d'autres produits chimiques qui ne peuvent pas être retirés au moyen d'une filtration physique. Utilisé en même temps que la filtration et/ou la désinfection, ce procédé permet le retrait de goûts et d'odeurs indésirables, de chloramines, de certains pesticides et herbicides, et d'autres contaminants chimiques. [1]

I.2.1.5 Oxydo-réduction : L'oxydation est utilisée pour oxyder les composés inorganiques à l'état réduit (comme le fer, le manganèse, les nitrites, le sulfure d'hydrogène, etc.) et pour l'oxydation partielle de certaines matières organiques. Cette étape peut également réduire les odeurs et la couleur des eaux usées traitées. Les agents oxydants les plus courants sont l'ozone, le dioxyde de chlore et le permanganate de potassium. Le choix et le dosage du réactif dépendent de la qualité des eaux usées brutes, des objectifs du traitement et, en particulier pour le dioxyde de chlore, des limites fixées pour la formation de chlorite. [12]

L'oxydation par voie physico-chimique est utilisée pour le traitement de tous les types d'eau avec des objectifs variables :

- pour la désinfection avant usage domestique ou industriel pour éviter tout risque de contamination bactériologique ;
- pour précipiter des composés dissous (fer, manganèse, sulfures) ;

- pour dégrader des composés organiques en particulier responsables de la couleur, de l'odeur et du goût de l'eau, ou toxiques et qui, plus généralement, contribuent à la demande chimique en oxygène de l'eau ;
- pour éliminer l'azote ammoniacal ;
- pour transformer des polluants non biodégradables en substances assimilables par les bactéries dans un traitement biologique ultérieur.
- Le choix de l'oxydant à utiliser dans les différentes applications
- un pouvoir oxydant aussi élevé que possible ;
- une bonne sélectivité vis-à-vis de la pollution ciblée ;
- Des effets secondaires maîtrisés en termes de toxicité induite ;
- un coût de traitement associé non prohibitif.
- La réduction par voie physico-chimique est plus rarement mise en œuvre. Ses applications sont très spécifiques avec principalement :
 - l'élimination de l'oxygène dissous pour limiter le risque de corrosion dans les circuits d'eau industrielle ;
 - la conversion du chrome hexa valent en chrome trivalent ;
 - la destruction des oxydants résiduels.

I.2.2 Le Traitement biologique :Le traitement biologique des eaux usées est une méthode couramment utilisée pour éliminer les polluants organiques. Cette méthode utilise des micro-organismes pour décomposer les polluants organiques en éléments plus simple et moins nocifs pour l'environnement. Le traitement biologique des eaux usées est une méthode durable et rentable pour traiter les eaux usées, car elle utilise des processus naturels pour éliminer les contaminants.

Les avantages du traitement biologique des eaux usées comprennent l'utilité d'une approche écologique, l'efficacité et l'abaissement des niveaux de pollution. Cependant, il peut être coûteux en termes de nécessité de surveillance, des installations appropriées, de main d'œuvre qualifiée et de matériaux nécessaires tels que les micro-organismes.

I.2.2.1 Biorestauration : consiste à utiliser des organismes vivants pour nettoyer les eaux contaminées. La biorestauration repose en général sur l'activation du processus microbien naturel et l'utilisation de micro-organismes. Les principaux types de biorestauration sont les suivants :

- Bio stimulation : Ajout de substances nutritives et d'oxygène, sous forme liquide ou gazeuse, aux eaux usées pour favoriser la croissance et le développement de bactéries déjà présentes dans le milieu. La disparition des contaminants est contrôlée afin de garantir l'efficacité des mesures correctives.
- Bio augmentation : Ajout de micro-organismes aptes à nettoyer un polluant particulier aux eaux. La bio augmentation est généralement utilisée avec succès sur des polluants retirés de leur site d'origine, comme par exemple dans des installations municipales de traitement des eaux usées. Jusqu'à présent, cette méthode n'a pas eu beaucoup de succès dans les sites pollués, en raison de la difficulté de contrôler les conditions du site pour optimiser la croissance des micro-organismes introduits. Comme les scientifiques n'ont pas encore compris tous les mécanismes que comporte la biorestauration, les organismes introduits dans un environnement étranger ont parfois de la difficulté à survivre.
- Biorestauration intrinsèque : ce type de biorestauration se produit naturellement dans la s eau contaminée. Cette biorestauration naturelle est le travail de micro- organismes que l'on retrouve dans les sites contaminés par des produits pétroliers, tels que les anciennes stations d'essence dont les réservoirs souterrains fuyaient. Les chercheurs tentent de déterminer si la biorestauration intrinsèque se produit dans des zones contaminées par d'autres types de produits chimiques. [13]

I.2.2.2 Digestion anaérobie : est un procédé complexe par lesquels les polluants organiques présents dans l'effluent liquide sont dégradés en méthane, dioxyde de carbone et en eau. Cette technique utilise des micro-organismes pour décomposer les matières organiques en l'absence d'oxygène. Cela se produit dans des digesteurs anaérobies, des cuves fermées où les bactéries décomposent les matières organiques pour produire du méthane et du dioxyde de carbone. Le gaz est récupéré et peut être utilisé comme source d'énergie.

L'ensemble de la réaction de dégradation anaérobie s'effectue par la réalisation consécutive des processus d'acidogènes (hydrolyse et acidification) et de la méthanogènes (Transformation en biogaz) que l'on peut décrire comme suit :

- Lors de la première étape le complexe organique (polysaccharides, protéines) est hydrolysé en de simples monomères solubles (sucres, acides aminés). Cette partie de la réaction est menée à bien par une exo-enzyme produite par les bactéries de fermentation.
- Lors de l'étape suivante, les hydrolysats sont fermentés et transformés en acides gras volatiles, en hydrogène, dioxyde de carbone de l'éthanol et d'autres alcools ainsi que du lactate. Cette partie de la réaction est appelée l'acidogène.
- Le produit de la fermentation est converti en acétate, hydrogène et dioxyde de carbone (acétogénèse) par des bactéries dites acétogènes. Les bactéries acétogènes se développent en proche association (quasi symbiotique) avec les bactéries méthanogènes. La raison d'une telle association s'explique par le fait que la conversion des produits de fermentations est thermodynamiquement possible uniquement si la concentration en hydrogène est maintenue basse. Ceci est réalisé par l'action des bactéries méthanogènes dans l'ultime phase de réaction.
- La production de méthane à partir d'acétate d'hydrogène et de dioxyde de carbone par les bactéries méthanogènes est la phase ultime de la digestion anaérobie.
- La DCO présente dans les eaux usées est alors transformée en méthane et en une faible quantité de biomasse. La solubilité du méthane dans l'eau particulièrement faible, ce composé s'échappe donc sous forme de gaz et en éliminant la DCO de l'effluent.[14]



Figure I.7 : La digestion anaérobie

I.2.2.3 Aération : est un processus important d'une station d'épuration, et c'est celle qui consomme le plus d'énergie. Son optimisation est donc une étape essentielle dans la création d'installation économe et productrice d'énergie.

L'aération consiste à ajouter de l'air à un liquide ou à une substance. L'aération de l'eau signifie donc l'ajout d'oxygène à l'eau ou l'augmentation de sa saturation en oxygène. Il existe différentes techniques.

Les méthodes d'aération les plus courantes sont la chute d'eau ou l'adjonction artificielle d'air. Les aérateurs à chute d'eau oxygènent l'eau via des buses pour augmenter la surface de contact et ainsi améliorer l'absorption d'oxygène. L'adjonction d'air, en revanche, pompent l'air et l'injecte directement dans l'eau.[16]



Figure I.8 : Les bassins d'aération

I.2.3 Le Traitement membranaires :

La première sélectivité des membranes a été découverte par Abbé Jean- Antoine Nollet (en 1735) [1]. Cependant, les techniques à membrane n'ont été industrialisées que dans les années 1960 pour les dialyses et dans les années 1970 pour les techniques de solvo-transferts. La dialyse est le processus consistant à faire passer un liquide par les membranes par diffusion afin de les séparer des composants. En revanche, le processus de solvo-transfert implique le passage d'un liquide par des membranes semi-perméables par convection forcée, dans le but d'épurer le solvant [17].

Les techniques de dialyses sont les premières techniques utilisées pour séparer les composés dissous. Donc, par l'utilisation des membranes on peut laisser passer à travers elles une faible quantité de solutés plutôt que la grosse masse du solvant. L'utilisation de cette technique a conduit au développement de deux types de processus :

- ✓ L'hémodialyse, qui consiste à éliminer les substances nocives du sang à travers une membrane ;

- ✓ l'électrodialyse, qui consiste en une séparation par membrane grâce à une succession de membranes alternativement échangeuses d'anions et de cations. Cette méthode est fréquemment utilisée pour dessalement des eaux saumâtres.

Les techniques d'osmose inverse, de microfiltration, d'ultrafiltration et de nano filtration sont devenues capable de se développer plus rapidement que les techniques de dialyse après l'apparition et le développement des membranes asymétriques. Par définition, une membrane asymétrique est un ensemble de couches successives de matériaux (de même nature ou différents) associés, possédant une structure asymétrique : une couche fine (d'épaisseur environ $50\mu\text{m}$) supportée par une couche plus épaisse ($>100\mu\text{m}$) [18].

La figure représente les différentes échelles de taille des particules (en μm) de quelques procédés de solvo-transfert, notamment l'osmose inverse, la nano filtration, l'ultrafiltration, la microfiltration, la filtration fine et la filtration grossière. En outre, quelques domaines d'application des ces procédés on été présentés dans cette.

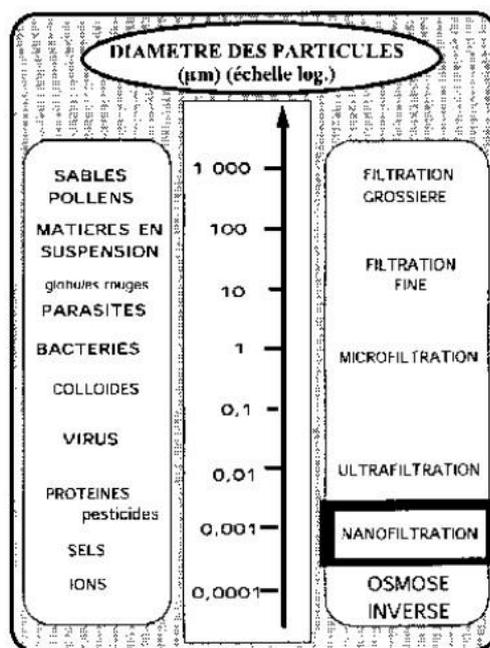


Figure I.9 :Échelle de taille des particules (en μm) et quelques procédés de solvo-transfert, ainsi que leurs domaines d'applications.

Les techniques de séparation membranaires se basent sur une caractéristique essentielle qui est de mettre en œuvre des systèmes polyphasiques formés par :

- ✓ la phase liquide à traiter ;
- ✓ la phase liquide traitée (eau à dessaler, solution à dépolluer, ...etc) ; ✓ la membrane utilisée.

Généralement, ces systèmes en mouvement ne sont pas à l'état d'équilibre et passer spontanément vers un nouvel état d'équilibre. Cette transformation assure automatiquement un transfert de matière et d'énergie au niveau de la surface de contact entre les deux phases et ceci est imposé au système sous l'effet des certaines contraintes.

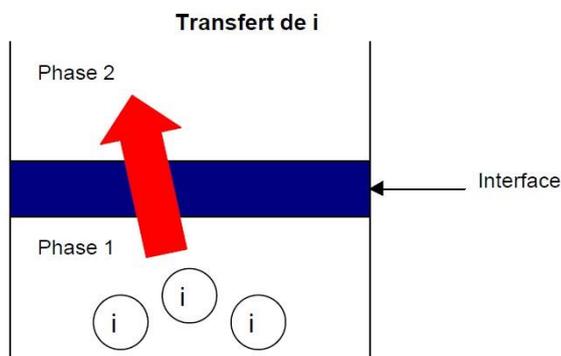


Figure I.10 : Lors du transfert de l'espèce i entre les deux phases 1 et 2, la membrane joue le rôle d'interface.

Le plus souvent, la sélectivité de l'interface entre les deux phases est assurée par la barrière (chimique ou physique) constituée par la membrane. L'intensité des contraintes appliquées (forces motrices) de part et d'autre de la surface de contact affecte le transfert de matière d'une phase à l'autre. Ces contraintes ont pour but d'augmenter le pouvoir de séparation. Elles peuvent être :

- ✓ un gradient de pression (ΔP) ;
- ✓ un gradient de potentiel électrique ($\Delta \phi$) ; ✓ un gradient de potentiel chimique ($\Delta \mu_i$).

En conclusion, on peut dire que les techniques de traitement membranes sont des méthodes physiques de séparation qui appliquent les propriétés de tamisage moléculaire d'une membrane poreuse balayée par le liquide contenant les constituants à séparer.

La figure 11 récapitule les domaines d'applications des différentes techniques de filtration classique et des différentes techniques de séparation membranaires.

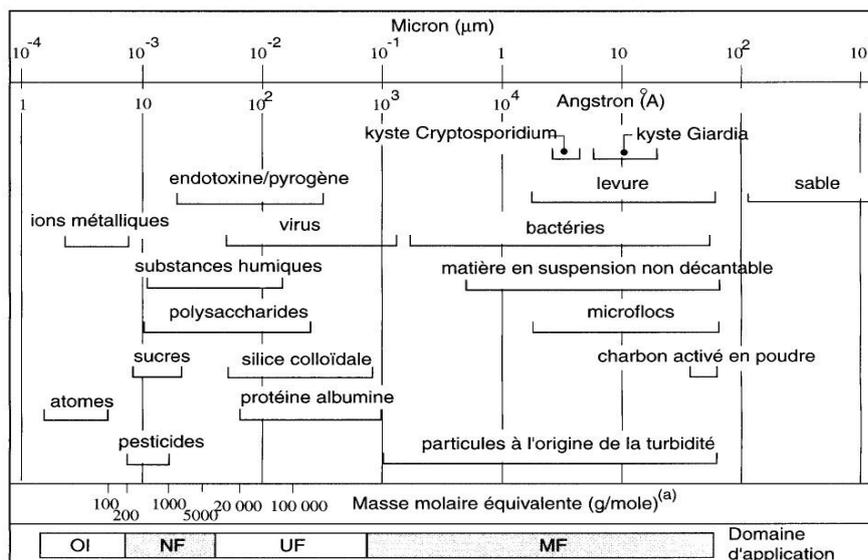


Figure I.11 : Techniques de séparation membranaire et leurs domaines d'applications [4].

I.2. 3. 1. Osmose inverse : Les membranes denses utilisées dans l'osmose inverse laissent passage l'eau et arrêtent tous les sels.

Les applications de cette technique sont :

- ✓ Le dessalage des eaux de mer ;
- ✓ Le dessalage des eaux saumâtres ;
- ✓ La fabrication de l'eau ultra pure ;
- ✓ La fabrication des eaux utilisées dans les procédés industriels...

L'osmose est un phénomène qui rend les concentrations équilibrées en solutés à l'intérieur et à l'extérieur d'une membrane semi-perméable. L'osmose est un phénomène naturel fréquent, surtout à travers les membranes cellulaires.

Pour équilibrer les concentrations, la membrane semi-perméable laissera passage le solvant (le soluté ne passera pas). La pression osmotique est la pression créée par une différence de concentration. Il faut appliquer une pression supérieure à la pression osmotique pour inverser le passage du solvant et augmenter la différence de concentration.

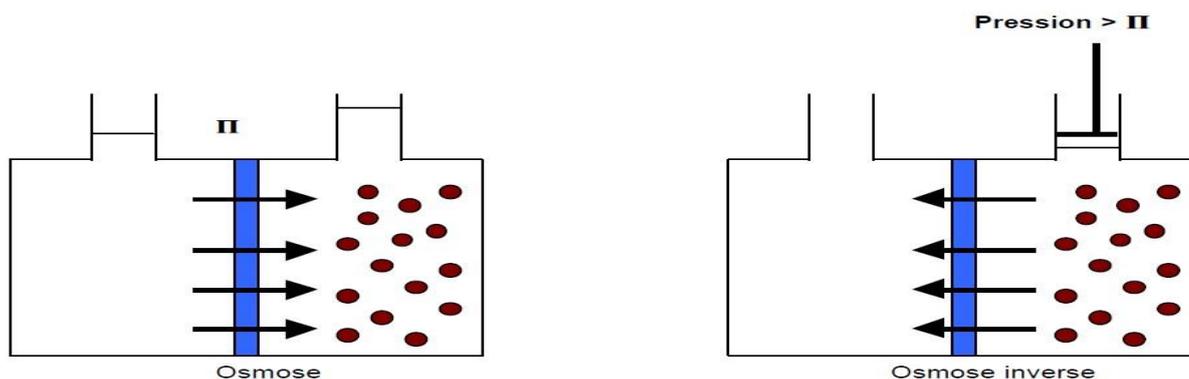


Figure I.12 : Schéma illustrant le principe de l'osmose inverse [5].

La pression osmotique P est devenue plus importante aux faibles masses molaires et concentrations élevées.

I.2.3.2 Nano filtration : Cette méthode se situe entre l'ultrafiltration et l'osmose inverse. Elle accepte la division de composants de taille similaire à celle du nanomètre (10 \AA) en solution, d'où son appellation. Ce sort de membrane ne retient pas les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à environ 200 à 250 g/mol.

Cependant, les composés organiques non ionisés de masse molaire supérieure à 250 g/mol et les sels ionisés multivalents tels que le calcium, le magnésium, l'aluminium et les sulfates sont fortement retenus [19].

Les mécanismes de transfert sont intermédiaires entre les mécanismes d'ultrafiltration et d'osmose inverse. Cette méthode est fréquemment utilisée pour adoucir l'eau.

I.2.3.3 Ultrafiltration : est une technique utilisée pour éliminer les macrosolutés présents dans les effluents ou dans l'eau à usage domestique, industriel (électronique) ou médical. Cela est dû au fait que les membranes microporeuses avec des diamètres de pores compris entre 1 et 100 nm laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes) [20].

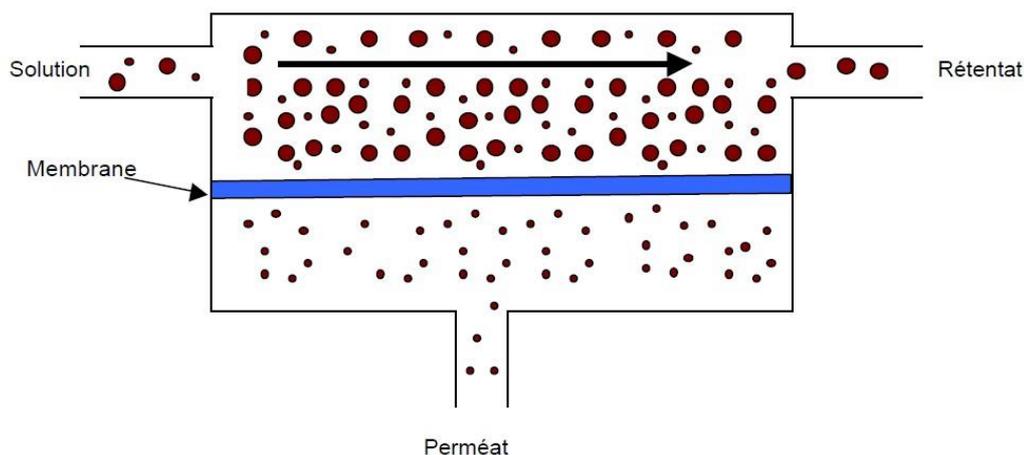


Figure I.13 : Schéma de principe de l'ultrafiltration [5].

I.2.3.4 Microfiltration : Les membranes utilisées dans ce processus de séparation solide-liquide ont des diamètres de pores de 0,1 à 10 μm . Ainsi, il permet la conservation des particules en suspension, des bactéries et indirectement des colloïdes et de certains ions, après que ces derniers se soient fixés sur des particules plus grosses obtenues par complexation, précipitation ou floculation.

La distinction entre l'ultrafiltration and la microfiltration est théoriquement très évidente :

- ✓ Alors que la microfiltration vise à séparer le solide du liquide, l'ultrafiltration use une phase liquide homogène ;
- ✓ En microfiltration, la pression de travail est généralement plus faible (pression transmembranaire inférieure à 3 bars) ;
- ✓ Dans le cas de la microfiltration, les flux de filtration sont souvent plus importants.

Cependant, il est possible que les deux méthodes se combinent technologiquement. Par conséquent, pour effectuer une opération de microfiltration, il est souvent préférable d'utiliser des membranes d'ultrafiltration afin de réduire les phénomènes de colmatage et d'éviter que des particules solides pénètrent dans les pores des membranes. La création en cours de fonctionnement d'une couche de gel à porosité très fine (membrane dynamique) peut transformer une membrane de microfiltration en une membrane d'ultrafiltration (1 à 100 nm) ou même en une membrane d'osmose inverse ($< 1 \text{ nm}$).

I.2. 4. Traitement des eaux usées par rayons ultraviolets (UV) :

Le traitement des eaux usées aux rayons UV désigne le procédé de désinfection de l'eau qui traverse une source lumineuse particulière. Protégée par un manchon transparent avant d'être immergée dans l'eau, l'ampoule émet des ondes ultraviolettes qui inactivent les microorganismes pathogènes. Cette technique de traitement gagne en popularité après des microstations d'épuration en assainissement non collectif ou en petites collectivités pour une sécurité optimale, puisqu'elle ne requiert pas l'ajout de produits chimiques.

À lui seul, le système de traitement aux rayons UV n'est censé ni traiter l'eau qui paraît contaminée ni transformer les eaux usées en eau potable sûre sur le plan microbiologique.

Les rayons ultraviolets, semblables à la lumière ultraviolette émise par le soleil, mais plus forts, modifient l'acide nucléique (ADN) des virus, des bactéries, des moisissures ou des parasites pour qu'ils ne puissent plus se reproduire, de sorte qu'ils sont considérés comme inactivés. Le traitement des eaux usées aux rayons ultraviolets n'altère pas la composition chimique de l'eau puisqu'il n'y ajoute rien, sauf de l'énergie. Il convient de noter que les microorganismes inactivés ne sont pas retirés de l'eau, pas plus que le traitement ultraviolet n'élimine la saleté ou les particules, les métaux comme le plomb ou le fer ou les minéraux durs comme le calcium. La plupart des stérilisateurs et des systèmes de purification de l'eau par ultraviolets ont les mêmes composants de base. Voici une liste des neuf composants les plus courants des systèmes de désinfection par UV :

- ✓ Le contrôleur UV : c'est le cerveau, plus ou moins complexe, du système UV. Il peut comprendre des alarmes, des minuteries de changement de lampe, des témoins lumineux de panne, etc. Leur fonction principale est de contrôler la sortie électrique de la lampe et alimenter la lumière UV-C nécessaire à la purification de l'eau.
- ✓ L'entrée d'eau non traitée.
- ✓ La chambre UV : elle abrite le manchon UV et la lampe. Elle contrôle également le débit d'eau dans le système.
- ✓ La sortie d'eau traitée, propre à la consommation.
- ✓ La lampe UV : elle produit des UV-C, qui sont des UV germicides. Il existe différentes lampes qui répondent à différentes exigences de désinfection et de différentes pressions.
- ✓ Le manchon de quartz UV : c'est un long tube fait de quartz qui sert à protéger la lampe UV du flux d'eau. La lampe UV transmet la lumière à travers le tube dans l'eau. Il est important de le nettoyer lorsque la lampe est changée.

- ✓ Le capteur UV : il est en option sur la plupart des systèmes UV. Il surveille et indique l'intensité de la lumière UV et déclenche une alarme si l'intensité devient trop faible.
- ✓ L'électrovanne : disponible en option sur la plupart des systèmes UV elle coupe automatiquement l'eau si le système ne fonctionne pas correctement. L'eau contaminée ne peut alors pas circuler si elle n'est pas traitée correctement.
- ✓ Le débit mètre : il calcule la dose d'UV réelle en temps réel délivrée pour un débit particulier. Il garantit que l'eau est traitée correctement[21]

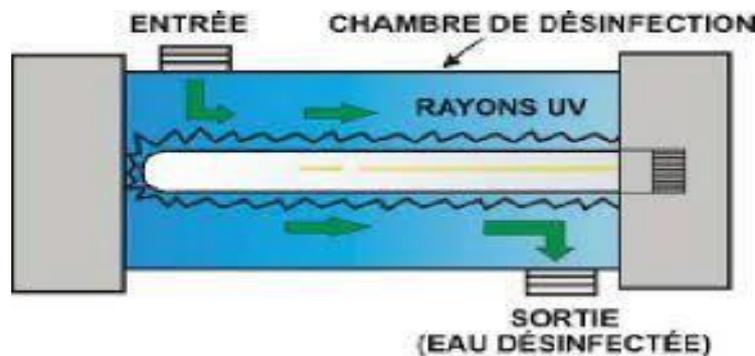


Figure I.14: Schéma de stérilisateur UV 40 watts (traitement bactériologique)

I.2. 5. Traitement des eaux usées par méthodes électrochimiques (Electrocoagulation) :

Le traitement des eaux usées par méthodes électrochimiques, également connu sous le nom d'électrocoagulation, est une technique avancée qui utilise des processus électrochimiques pour éliminer les contaminants présents dans les eaux usées. Voici comment fonctionne l'électrocoagulation :

- Un système d'électrocoagulation est composé d'une cellule électrolytique qui contient des électrodes (anode et cathode) placées dans un récipient contenant les eaux usées à traiter. Les électrodes sont généralement faites de matériaux tels que l'aluminium ou l'acier inoxydable.
- Lorsque le courant électrique est appliqué aux électrodes, des réactions électrochimiques se produisent à leur surface. À l'anode, l'oxydation se produit, tandis qu'à la cathode, la réduction se produit. Lors de la réaction à l'anode, des ions d'aluminium ou de fer sont générés (en fonction du matériau de l'électrode), formant des précipités d'hydroxydes métalliques.
- Les précipités d'hydroxydes métalliques agissent comme des agents coagulants. Ils se combinent avec les particules en suspension, les matières organiques, les métaux lourds et

autres contaminants présents dans les eaux usées, formant des floccs. Les floccs sont des agrégats de particules suspendues plus grandes et plus lourdes, qui sont plus facilement séparables de l'eau traitée.

- Une fois que les floccs se sont formés, une étape de séparation est nécessaire pour les éliminer de l'eau traitée. Différentes méthodes de séparation peuvent être utilisées, telles que la décantation, la flottation ou la filtration. Ces processus permettent de séparer les floccs de l'eau, produisant ainsi une eau traitée plus claire et moins chargée en contaminants.
- Le processus d'électrocoagulation peut être contrôlé en ajustant divers paramètres tels que le courant électrique, la densité de courant, le pH, le temps de traitement et la configuration des électrodes. Ces paramètres peuvent être optimisés en fonction des caractéristiques spécifiques des eaux usées à traiter et des objectifs de traitement.

L'électrocoagulation présente plusieurs avantages par rapport aux méthodes conventionnelles de traitement des eaux usées, notamment une efficacité élevée dans l'élimination des particules en suspension, des matières organiques, des métaux lourds et d'autres contaminants. De plus, cette méthode peut être utilisée pour traiter une large gamme d'eaux usées, y compris les eaux industrielles et les eaux usées municipales.

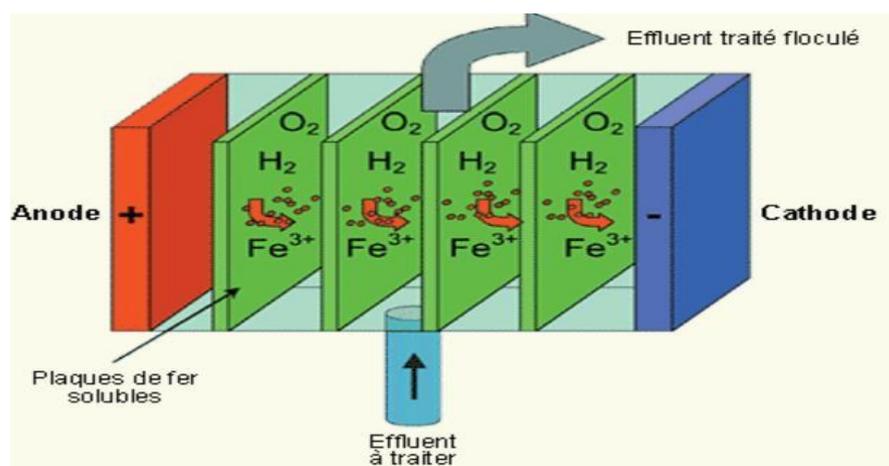


Figure I.15 : Schémade traitement des eaux usées par électrocoagulation

Le procédé d'électrocoagulation dans la figure 15, permet le traitement des métaux solubles qui se trouvent dans les eaux de rinçage des baignoires de traitements de surfaces. L'électrocoagulation est un procédé qui permet de coaguler les polluants grâce à une électrolyse à anode consommable (aluminium ou fer). La libération des ions aluminium et fer par électrolyse et leur réaction avec l'eau permet de former des amas de particules de pollution : les floes. L'électrolyse de l'eau génère des microbulles qui se fixent sur les floes. Le réacteur d'électro flocculation doit être suivi d'un procédé complémentaire pour séparer l'effluent traité des floes. Pour récupérer les boues formées, il faut soit tirer parti des microbulles fixées pour effectuer une séparation par flottation, soit les récupérer par décantation, les microbulles pouvant être gênantes et favoriser la mousse en surface. Cette technique ne peut être employée que si l'effluent est suffisamment bon conducteur électrique.

Cependant, il est important de noter que l'électrocoagulation peut nécessiter une consommation d'énergie relativement élevée, et des précautions doivent être prises pour gérer les résidus générés par le processus, tels que les boues coagulées. Une évaluation approfondie des paramètres de traitement,

Chapitre II

Techniques expérimentales

II. Partie techniques expérimentales :

Dans ce chapitre on va présenter les principales techniques d'analyses utilisées dans cette étude.

II.1. Produits et matériels :

Tous les solvants et les réactifs utilisés dans notre travail sont des produits FLUKA, ils sont utilisés sans purification.

- Acide sulfurique H_2SO_4 (98%)
- Chlorure de baryum BaCl_2
- Phénolphtaléine
- Rouge de méthyle
- EDTA (0,02 N), NET
- Nitrate d'argent AgNO_3 (0.05M)
- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{SO}_7$
- L'eau distillée H_2O

Les matériels utilisés dans notre travail sont le suivant :

- Burette graduée de 50 ml
- Entonnoir
- entonnoir de Buchner
- bécher
- micro pipette ou éprouvette
- fiole jaugée
- un agitateur magnétique avec barreau magnétique
- une pissette d'eau distillée
- statif, noix et pince
- pH-mètre, conductimètre et turbidité-mètre.

II.2. Analyse d'eau récupéré :

II.2.1. Mesure de pH :

Le pH est une mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution. Il se calcule à partir de la concentration en ions oxonium (H^+) ou hydroxyde (OH^-) présents dans la solution. Il existe des formules différentes pour calculer le pH selon que la solution contient un acide ou une base forte ou faible, ou un sel d'acide ou de base faible.

Pour mesurer le pH d'eau récupéré, on utilise un bécher de 50 ml pour introduire le volume d'eau polluée 50 ml et nous prenons une électrode d'un pH-mètre après l'avoir nettoyé est 'immergeons dans l'eau et prendre le résultat.

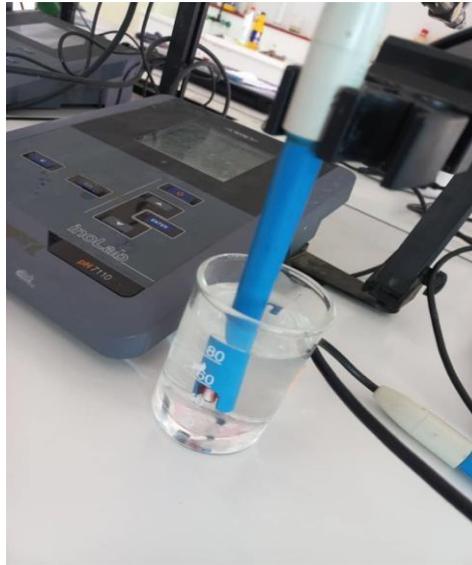


Figure II.16 : pH-mètre.

II.2.2. Mesure de la turbidité :

La turbidité désigne la teneur d'un fluide en matières qui le troublent. Dans les cours d'eau, elle est généralement causée par des matières en suspension et des particules colloïdales qui absorbent, diffusent ou réfléchissent la lumière. Dans les eaux eutrophes, il peut aussi s'agir de bactéries et de micro-algues.

Pour calculer la turbidité d'eau récupéré on prend un bécher de 50 ml et nous l'avons mis 50 ml d'eau polluée et nous avons inventé le turbidité-mètre après l'étalonnage. Nous prenons l'électrode et l'immergeons dans l'eau et prendre le résultat.



Figure II.17 : Turbidimètre.

II.2.3. Mesure de conductivité, la salinité et le TDS :

La conductivité d'une solution est la mesure de la capacité des ions à transporter le courant électrique. Ce passage du courant électrique s'effectue par la migration des ions dans un champ électrique produit par un courant alternatif.

La salinité désigne la quantité de sels dissous dans un liquide, notamment l'eau qui est un puissant solvant pour de nombreux minéraux.

La TDS (Total Dissolved Solids) est la quantité totale d'ions chargés mobiles, y compris les minéraux, les sels et les métaux dissous dans un volume donné d'eau, exprimée en mg/L ou en particules par million (PPM). La TDS est directement liée à la pureté de l'eau et à la qualité des systèmes de purification d'eau.

Pour calculer la conductivité, salinité et le TDS d'eau récupéré on prend un béccher de 50 ml et nous l'avons mis 50 ml d'eau polluée et nous avons inventé le conductimètre après l'avoir l'étalonnage. Nous prenons l'électrode et l'immergeons dans l'eau et prendre le résultat.

II.2.4. Mesure de MES:

Les matières en suspension (MES) sont l'ensemble des particules solides minérales ou organiques présentes dans une eau naturelle ou polluée.

Le protocole de mesure de la matière en suspension (MES) dans les eaux consiste généralement à suivre les étapes suivantes :

- Préparation de l'échantillon : Prélevez un échantillon représentatif de l'eau à analyser. Assurez de mélanger soigneusement l'échantillon pour homogénéiser la concentration de MES.
- Filtration de l'échantillon : Utilisez un entonnoir Buchner et un papier filtre pré-pesé pour filtrer l'échantillon d'eau à travers le papier filtre. L'entonnoir Buchner est connecté à un système de filtration sous vide pour accélérer le processus de filtration. Le papier filtre retiendra les particules en suspension tandis que l'eau filtrée passera à travers.
- Séchage du filtre : Une fois le filtrage terminé, retirez délicatement le papier filtre contenant les particules en suspension et placez-le dans un four à une température spécifique (généralement entre 103°C et 105°C). Laissez le filtre sécher jusqu'à ce que son poids soit constant, ce qui indique que toute l'eau a été évaporée.
- Pesée du filtre : Après le séchage complet, pesez à nouveau le papier filtre contenant les particules en suspension à l'aide d'une balance analytique précise. Assurez-vous d'utiliser une balance étalonnée pour obtenir des mesures précises.
- Calcul de la MES : La MES est calculée en soustrayant la masse du papier filtre sec de la masse du papier filtre pré-pesé. La différence de masse représente la masse des particules en suspension dans l'échantillon d'eau. La matière en suspension est calculée par la relation :

$$\text{MES} = \frac{m1 - m0}{VH2O}$$



Figure II.18 : Photos montrent les étapes de mesure de la matière en suspension.

La lecture de la valeur de DCO s'effectue à l'aide d'un photomètre programmé à 600 nm.



Figure II.20 : Mesure de la DCO (tube DCO, thermo-réacteur, photomètre).

II.2.6. Mesure de la dureté totale TH :

On appelle dureté totale la concentration des ions calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}) contenus dans une solution d'eau : plus cette concentration est forte, plus l'eau est dure ; au contraire plus cette concentration est faible, plus l'eau est douce. La grille présentée ci-dessous permet de qualifier les eaux selon leur degré de dureté.

Dans notre travail pour faire le dosage de la dureté, on va doser la concentration des ions calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}) contenus dans l'eau récupéré par la solution de l'acide sulfurique.

La dureté de l'eau est que l'eau contient des minéraux tels que le calcium et le magnésium qui se dissolvent dans l'eau lorsqu'elle passe à travers les roches et le sol. Plus il y a de minéraux dans l'eau, plus elle est dure. La dureté de l'eau peut être mesurée en ppm (parties par million) ou en degrés français ($^{\circ}\text{F}$) et peut affecter le goût de l'eau, la formation de dépôts dans les tuyaux et les appareils ménagers, ainsi que la qualité de la mousse dans les produits de nettoyage.

D'abord on à préparer une solution de EDTA (acide éthylène diamine tétra-acétique) de (0.02N).

On introduire un peu de l'eau distillé dans une fiole jaugée de 100ml, onposéune masse 0.37g de EDTA et on agité jusqu'à la dissolution puisajoutée l'eau distillée jusqu'a le trait de jauge.

Dans un bécher de 50 ml, on lève 10ml d'eaupolluée avec un peu de NET(Noir Eriochrome T) poudrecomme indicateur coloré avec 5 ml de pH tombant =10. On remplir la burette (50ml) avec la solution de EDTA de concentration normale 0.02N. On ajoute goutte à goutte la solution de l'EDTA jusqu'à ce qu'une coloration bleu apparaisse on vaécrireVeq.Nous essayons encore trois fois.

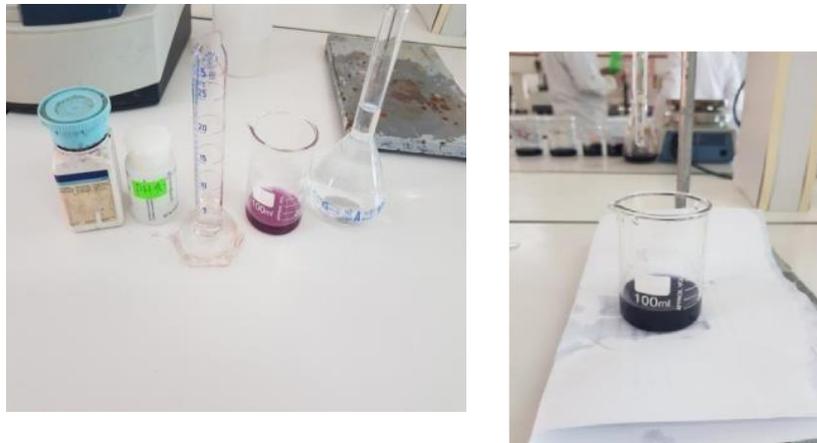


Figure II.21 :Dosage de la dureté totale.

II.2.7.Dosage des chlorures :

Le dosage des chlorures repose généralement sur une réaction chimique appelée titration argent-métrique. Cette méthode consiste à ajouter une solution titrant à l'échantillon contenant des chlorures, jusqu'à ce qu'une réaction de précipitation se produise. Cette réaction implique l'association du chlorure avec des ions argent pour former un précipité insoluble d'argent chlorure.

D'abord on à préparer une solution de nitrates d'argent AgNO_3 (0.01N), pour cela il faut peser une masse d'environ 0.84 g (l'équivalent de 0.01N).

Une fois la masse de nitrates d'argent est pesée (à l'aide d'une balance), on utilise un entonnoir parfaitement sec pour introduire la poudre dans une fiole jaugée de 100 ml contenant déjà un peu d'eau distillée. On verse encore une dizaine de millilitres d'eau distillée sur la poudre et on agite jusqu'à sa dissolution complète. On ajoute l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

Dans un bécher de 50 ml, on lève 50 ml d'eau polluée avec un deux goutte de $K_2Cr_2O_7$ comme indicateur coloré et on dispose le bécher sur un agitateur magnétique sous la burette remplie de la solution de $AgNO_3$ de concentration 0.05M.

On verse goutte à goutte la solution de $AgNO_3$ dans le bécher jusqu'à ce qu'une formation de précipité blanc à savoir chlorure d'argent et couleur rouge brique et on va écrire $V_{eq} = 6.40$. Nous essayons encore trois fois.

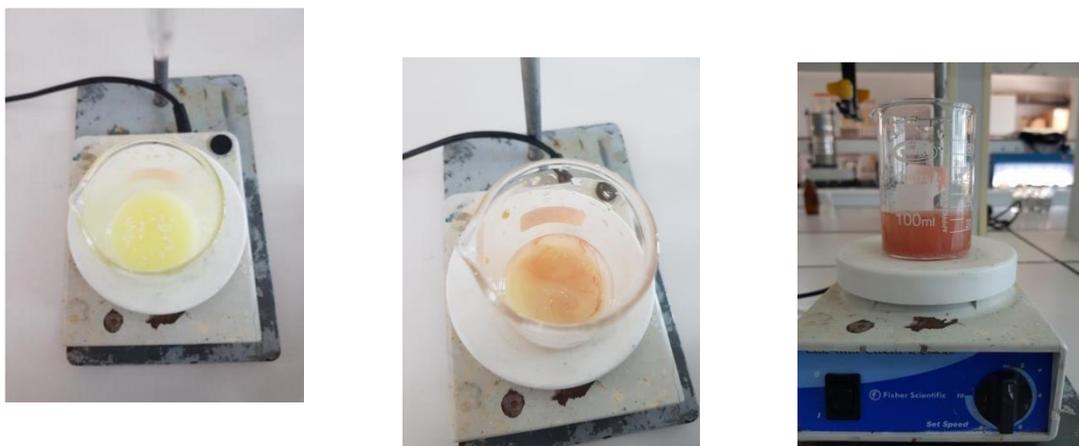


Figure 22 : Dosage des chlorures.

II.2.8. Dosage des sulfates :

Le dosage de sulfate repose généralement sur la réaction de précipitation entre les ions sulfate et les ions barium, en présence d'un indicateur coloré. Le principe consiste à ajouter une solution contenant des ions barium (généralement du chlorure de barium) à la solution contenant les ions sulfate. Si des ions sulfate sont présents, ils réagiront avec les ions barium pour former un précipité blanc de sulfate de baryum ($BaSO_4$). Le précipité est filtré, lavé et séché, puis pesé pour déterminer la quantité de sulfate présente dans la solution d'origine.

*Premièrement on à préparer une solution de chlore de baryum $BaCl_2$ de (0.01N).

Dans une fiole de 100ml on a posé un peu de l'eau distillé et posé 0.61g de $BaCl_2$ et ont agité, après ajoutée l'eau distillée jusqu'a le trait de jauge.

Dans un bécher de 50 ml, on lève 50 ml d'eau polluée et on immerge l'électrode de conductimètre dans le bécher.

On remplir la burette de 50ml avec la solution de $BaCl_2$ de concentration 0.1M, on ajoute chaque fois 1 ml depuis la solution de $BaCl_2$ et on a lit le résultat sur l'écran du conductimètre et tracer la courbe.



Figure 23 : Dosage de sulfate par la conductimétrie.

II.2.9. Dosage de l'alcalinité :

D'abord on a préparé une solution de H_2SO_4 de (0.01N).

Avec une micropipette on prend un volume 0.21 ml de la solution de l'acide sulfurique (H_2SO_4) et introduire dans une fiole jaugée de 1000ml contient un peu de l'eau distillée, agité puis ajoutée l'eau distillée jusqu'au trait de jauge.

Dans un bécher de 50 ml, on lève 50 ml d'eau polluée et ajouter deux goutte de phénol phtaléine et ensuite on mesure le pH il doit être inférieur à 8, on obtient une couleur transparente cela

Signifie que le $TA=0$, après on ajoute l'indicateur coloré rouge de méthyle pour détecter le point de virage et remplir la burette de 50ml avec la solution de H_2SO_4 de concentration 0.01 M.

On ajoute goutte à goutte la solution de H_2SO_4 jusqu'à ce qu'une coloration rose apparaisse on va écrire V_{eq} . Nous essayons encore trois fois.

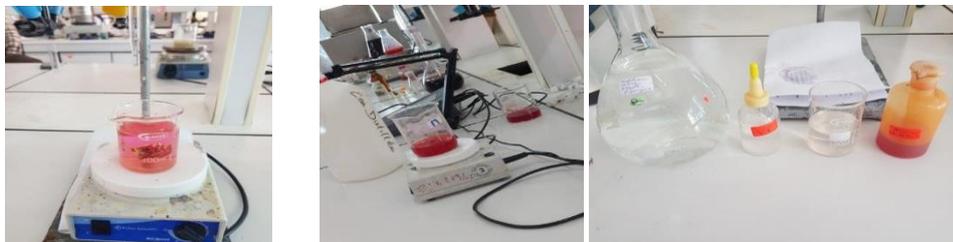


Figure.24 : Dosage de TA et TAC.

Chapitre III :

Résultats et Discussion

III.1 Échantillonnage :

Nous avons récupéré un échantillon d'eau après le lavage des panneaux de solaires le 04/06/2020.



Figure III. 1 : Photos des panneaux photovoltaïques avant et après le lavage.

Des mesures de DCO et de DBO₅ ont été effectuées avant utilisation dans le processus de lavage. Les valeurs obtenues étaient les suivantes : DCO = 132 mg/L et DBO₅ = 7 mg/L. Ces résultats indiquent que l'eau est non polluée et peut être utilisée pour le lavage sans aucun risque.

III.2. Mesure de pH :

Le pH de l'eau après le nettoyage et le lavage des panneaux photovoltaïques était pH = 8,58, ensuite, après la filtration sur filtre à sable, le pH est devenu pH = 7, cette diminution est attribuée à la diminution des ions OH⁻. Ce qui indique une acidification de l'eau. Les ions hydroxyde sont présents dans l'eau alcaline, et leur diminution entraîne une diminution du pH. Il est important de noter que la diminution du pH peut également être causée par d'autres facteurs tels que la présence de substances acides dans l'eau ou des réactions chimiques spécifiques se produisant lors de la filtration.

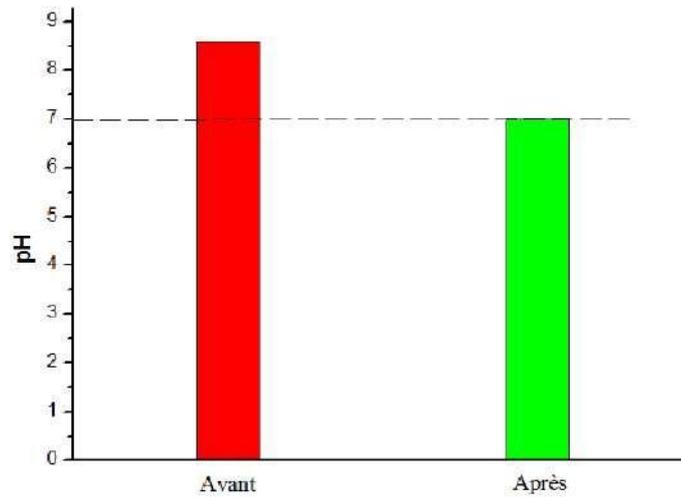


Figure III.2 : Évolution du pH avant et après la filtration.

III.3. Mesure de la turbidité :

La turbidité de l'eau après le nettoyage et le lavage des panneaux photovoltaïques était de 31,7 UTN. Ensuite, après la filtration sur filtre à sable, l'eau est devenue claire avec une turbidité de 4,52 UTN. Cette diminution de la turbidité est due à la réduction de la quantité de matières en suspension dans l'eau, ce qui confirme l'efficacité du filtre utilisé. Lorsqu'il y a une diminution de la turbidité, cela signifie que la quantité de particules en suspension dans l'eau est réduite, ce qui se traduit par une eau plus claire.

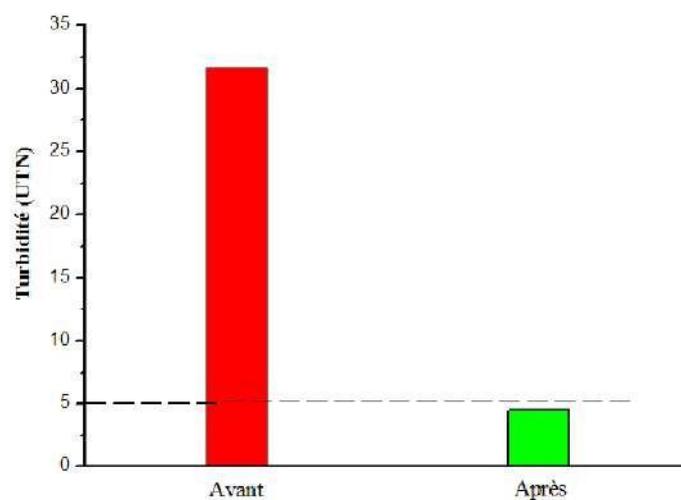


Figure III.3 : Évolution de la turbidité avant et après la filtration.

III.4. Mesure de la conductivité, salinité et TDS :

Les paramètres de conductivité, de TDS et de salinité ont été mesurés avant et après la filtration sur le filtre à sable. On observe une légère augmentation de la conductivité, passant de 5,04 mS/cm à 5,46 mS/cm. De même, la valeur de TDS a augmenté de 5,04 mg/L à 5,32 mg/L, et la salinité est passée de 2,7 à 2,9. Ces augmentations des paramètres indiquent la possibilité de réactions chimiques ou de solubilité des espèces se produisant dans le sable pendant le processus de filtration. Lorsque les valeurs de conductivité, de TDS et de salinité augmentent, cela suggère une concentration accrue de solides dissous ou d'ions dans l'eau filtrée. Cette augmentation peut être attribuée à des réactions chimiques qui se produisent entre les espèces présentes dans l'eau et le sable du filtre, ainsi qu'à la solubilité des différentes substances dans l'eau. Il est important de noter que ces augmentations sont légères, ce qui suggère que le filtre à sable a réussi à retenir une grande partie des solides en suspension, mais des réactions chimiques ou des processus de dissolution peuvent toujours avoir lieu.

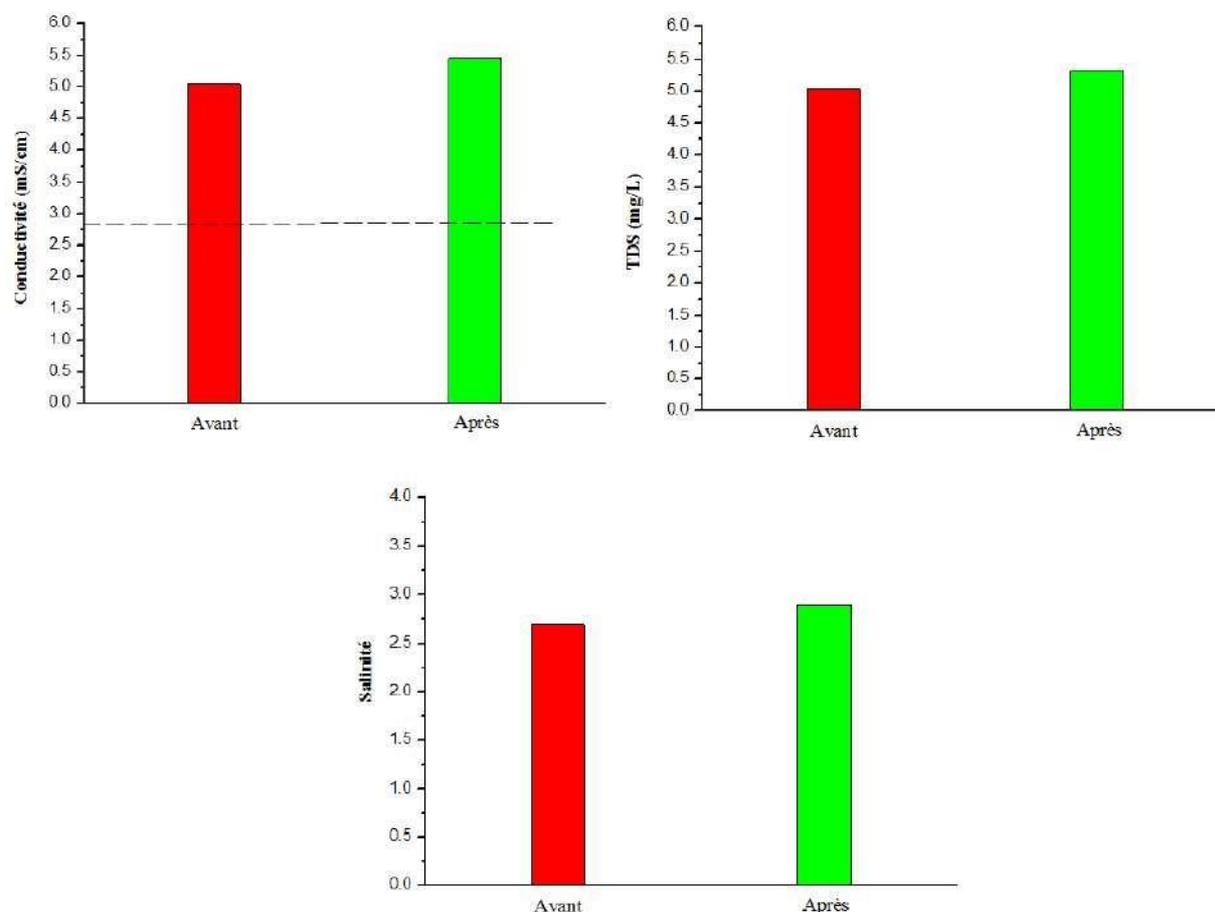


Figure III.4 : Évolution de la conductivité, TDS et salinité avant et après la filtration.

III.5. Détermination de MES :

Pour calculer la MES, nous avons suivi la méthode de filtration sur papier et en comparant la masse initiale du papier filtre (m_0) avec la masse du papier filtre contenant les matières en suspension (m_1). Avant la filtration, la MES était de 1120 mg/L, tandis qu'après la filtration, nous avons observé une diminution de la MES jusqu'à 24 mg/L. Cela représente une élimination de 97% des matières en suspension.

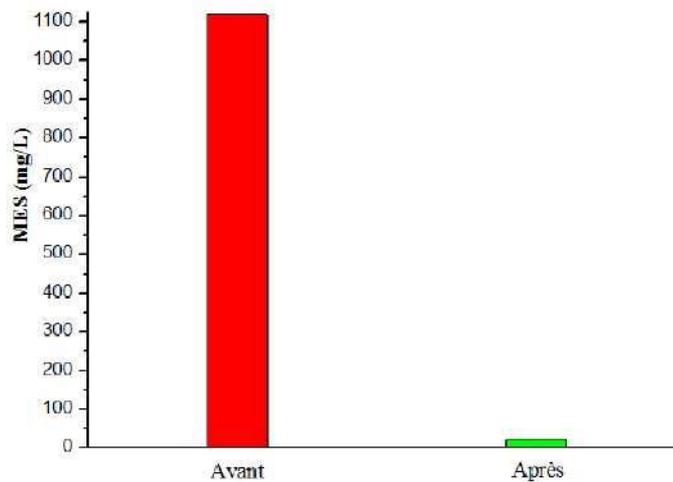


Figure III.5 : Évolution de la MES avant et après la filtration.

III.6. Détermination la dureté totale :

La dureté totale de l'eau après le nettoyage et le lavage des panneaux photovoltaïques était de 73°F. Cependant, après la filtration sur le filtre à sable, la dureté totale de l'eau est passée à 64°F. Cette légère diminution peut être attribuée à l'adsorption ou au colmatage des cations Ca^{2+} et Mg^{2+} sous forme de calcaire sur les grains du filtre à sable. Il est important de noter que la filtration sur filtre à sable peut réduire la dureté de l'eau jusqu'à un certain degré, mais il ne peut pas la réduire complètement.

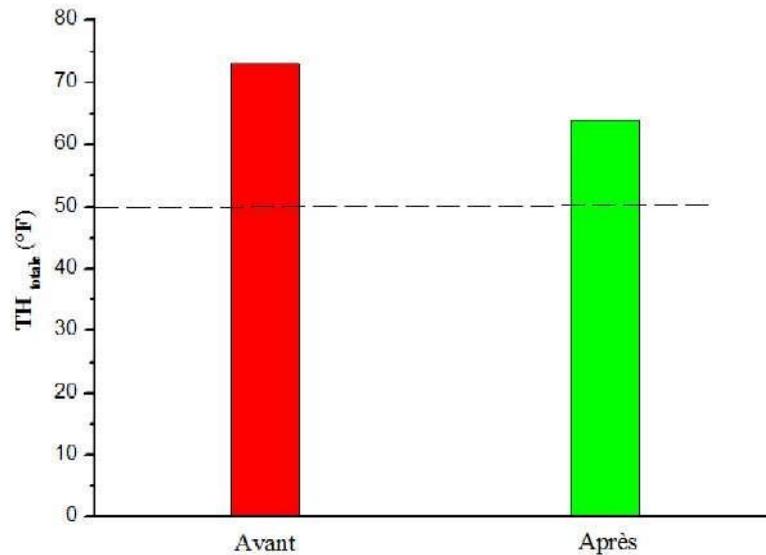


Figure III.6 : Évolution de la MES avant et après la filtration.

III.7. Détermination de la concentration des chlorures :

La teneur des chlorures dans l'eau après le nettoyage et le lavage des panneaux photovoltaïques était de 437 mg/L. Après la filtration sur le filtre à sable, la concentration des chlorures est devenue 328 mg/L. La diminution de la concentration de chlorures est due à la rétention ou à l'adsorption des ions négatifs par les grains de sable pendant le processus de filtration. Aussi, pendant la filtration sur filtre à sable, des réactions chimiques peuvent se produire entre les ions chlorures présents dans l'eau et des minéraux ou d'autres substances présentes dans le filtre. Ces réactions chimiques peuvent entraîner une réduction des chlorures dans l'eau filtrée.

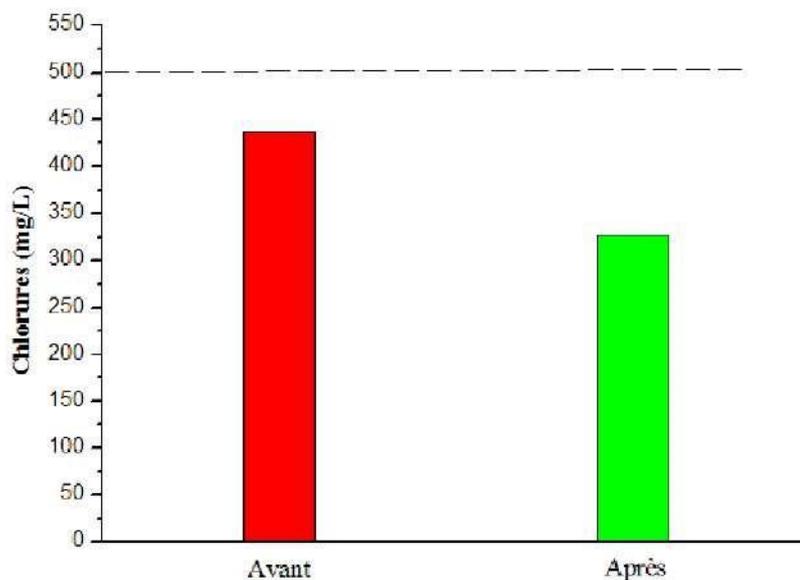


Figure III.7 : Évolution de la concentration des chlorures avant et après la filtration.

III.8. Détermination de la concentration des sulfates :

La conductimétrie est une méthode couramment utilisée pour déterminer la concentration des ions sulfates dans l'eau. La mesure de la conductivité électrique de la solution permet d'estimer la concentration des ions sulfates, car ces ions contribuent à la conductivité de la solution. La figure III.8 montre la courbe du titrage conductimétrique des eaux avant et après filtration sur filtre à sable. Les volumes enregistrés sont 26,93 mL pour l'eau de lavage avant filtration et 18,18 mL pour l'eau filtrée.

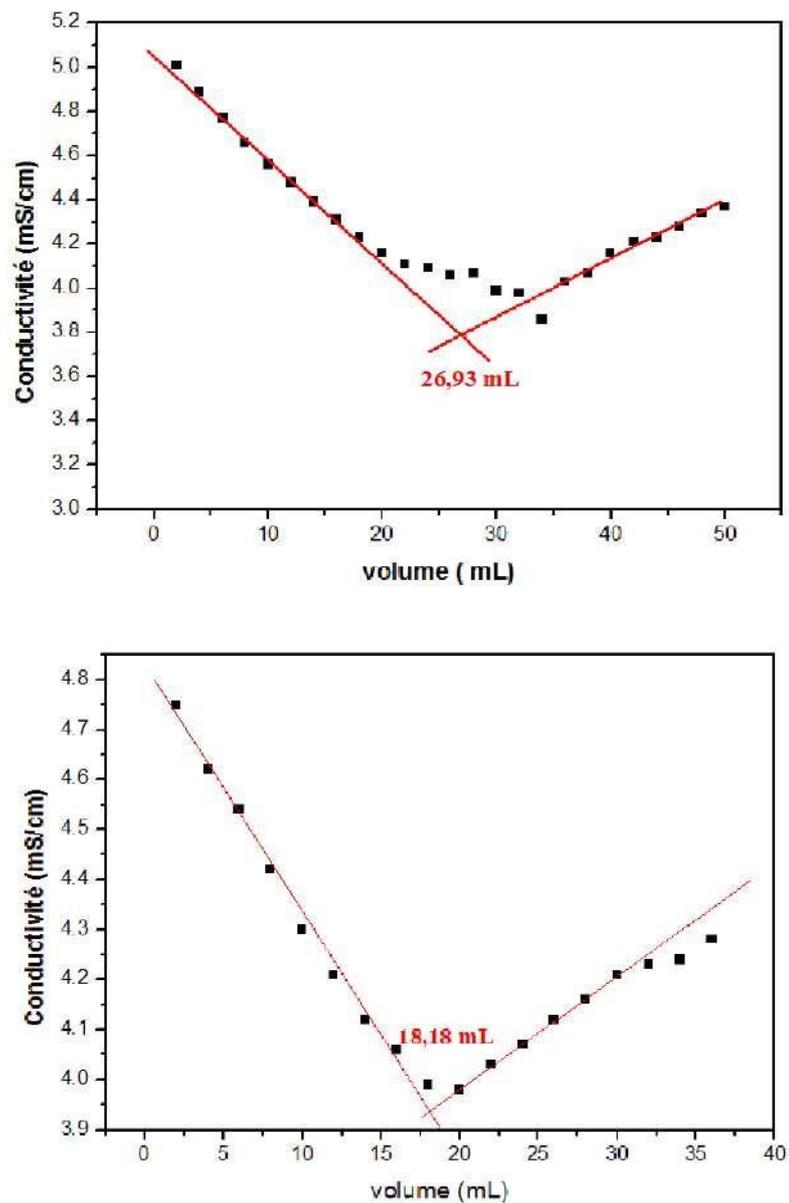


Figure III.8 : Courbes de titrage conductimétrique en fonction du volume de chlorure de barium ajouté, avant et après la filtration

Après les calculs, nous observons que la concentration des sulfates était 517 mg/L, ensuite, après la filtration sur le filtre à sable, la concentration des sulfates est devenue 349 mg/L.

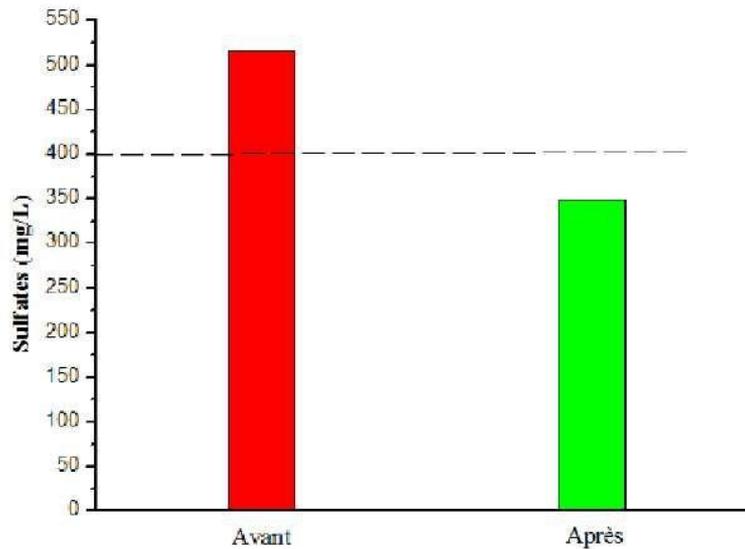


Figure III.8 : Évolution de la concentration des chlorures avant et après la filtration.

Cette diminution est due à l'adsorption sur les grains du filtre ou à des réactions chimiques. On doit savoir que la réduction de la concentration des sulfates dépendra de la taille des pores des grains du filtre, de la charge et de la nature des grains de sable, ainsi que d'autres facteurs spécifiques à la composition de l'eau et aux conditions de filtration.

III.9. Détermination de l'alcalinité :

Le TAC de l'eau après le nettoyage et le lavage des panneaux photovoltaïques était de 27,4 °F. Cependant, après la filtration sur le filtre à sable, le TAC de l'eau est abaissé jusqu'à 6,4 °F. Cette diminution est due aux réactions chimiques entre les bicarbonates et certains composants présents dans l'eau ou dans le filtre à sable lui-même comme les cations présents dans l'eau. Ce qui va conduire à leurs éliminations ou à leurs conversions en d'autres composés.

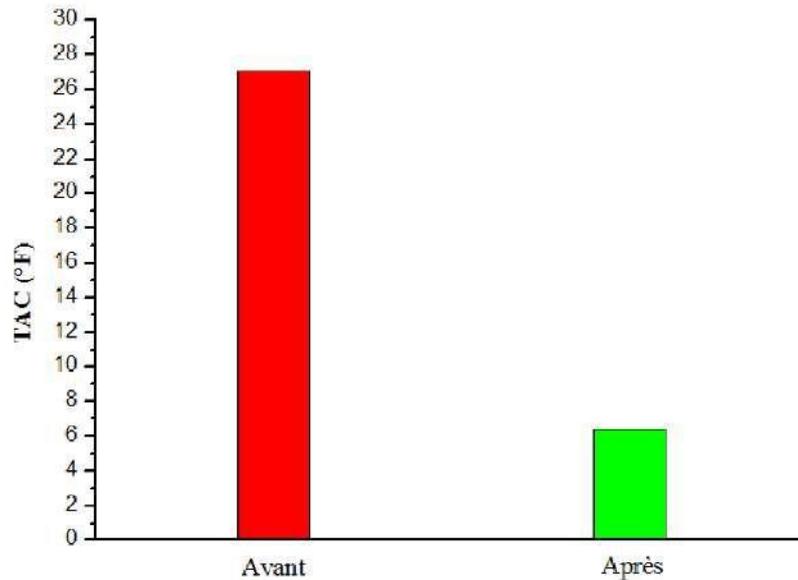


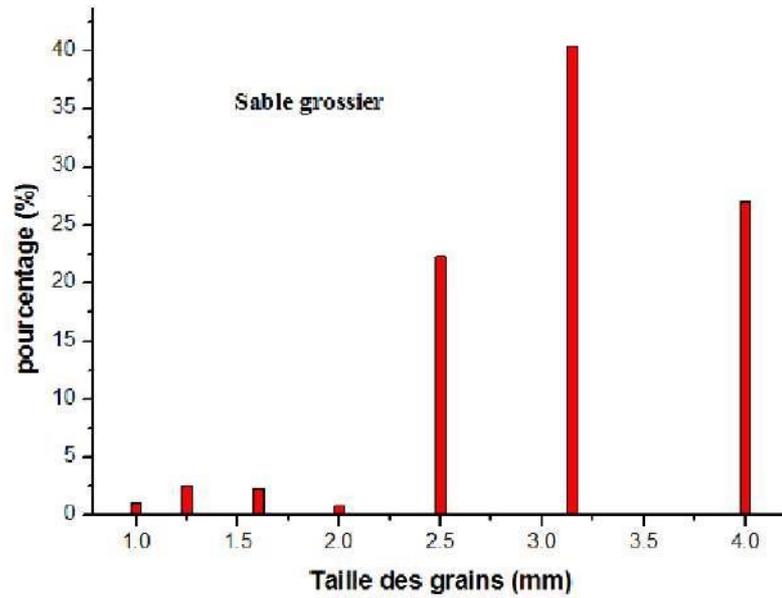
Figure III.9 : Évolution de la concentration de TAC avant et après la filtration.

III.10. Fabrication du filtre à sable :

Le type de sable généralement utilisé est appelé « sable de silice ». Le sable de silice est composé de petits grains de quartz qui ont des propriétés de filtration efficaces. Il est couramment utilisé dans les systèmes de filtration de l'eau, tels que les piscines, les puits d'eau domestiques et les stations de traitement de l'eau. Le sable de silice est choisi pour ses caractéristiques spécifiques, telles que sa taille de grain uniforme, sa dureté et sa résistance chimique. Ces propriétés permettent au sable de filtrer efficacement les particules indésirables de l'eau, tout en permettant un bon débit d'eau à travers le filtre.



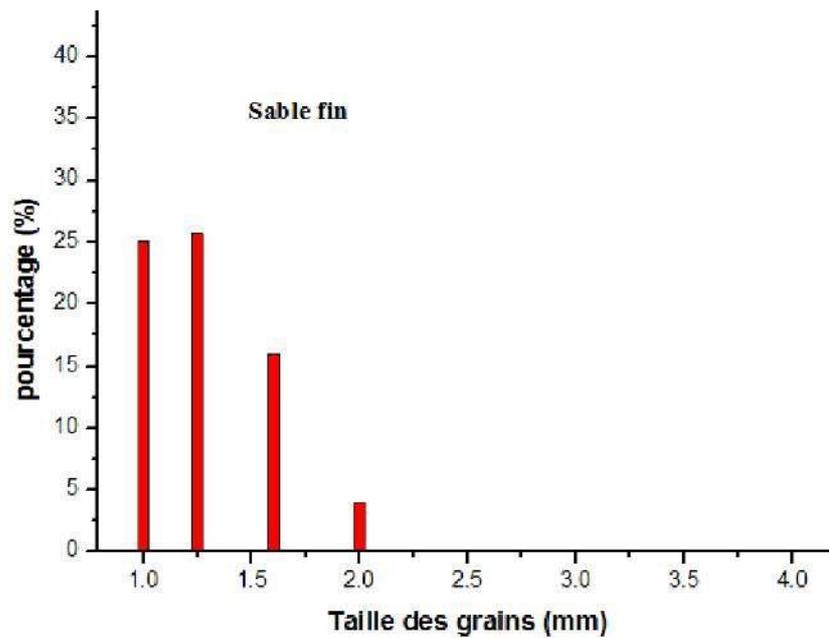
Figure III.10 : Photos du sable de silice.



Tamis (mm)	Poids (g)	%
4	24.97	27.04
3.15	37.33	40.43
2.5	20.62	22.33
2	0.75	0.8
1.6	2.17	2.35
1.25	2.36	2.55
1	0.97	1.05
1 >	2.24	2.42

Figure III.11 : Taille des grains du sable à silice (grossier).

Le calcul de la taille moyenne des grains grossiers, en déterminant les diamètres moyens correspondant à chaque intervalle de pourcentage donné. Ensuite, nous pouvons calculer une moyenne pondérée en utilisant les pourcentages donnés, la taille moyenne des grains est estimée à 3.273 mm



Tamis (mm)	Poids (g)	%
4	-	-
3.15	-	-
2.5	-	-
2	3.90	4.04
1.6	15.41	15.99
1.25	24.80	25.73
1	24.22	25.13
1 >	28.04	29.09

Figure III.12 : Taille des grains du sable à silice (fin).

Le calcul de la taille moyenne des grains de sable fins, en déterminant les diamètres moyens correspondant à chaque intervalle de pourcentage donné. Ensuite, nous pouvons calculer une moyenne pondérée en utilisant les pourcentages donnés, la taille moyenne des grains est estimée à 1.102 mm

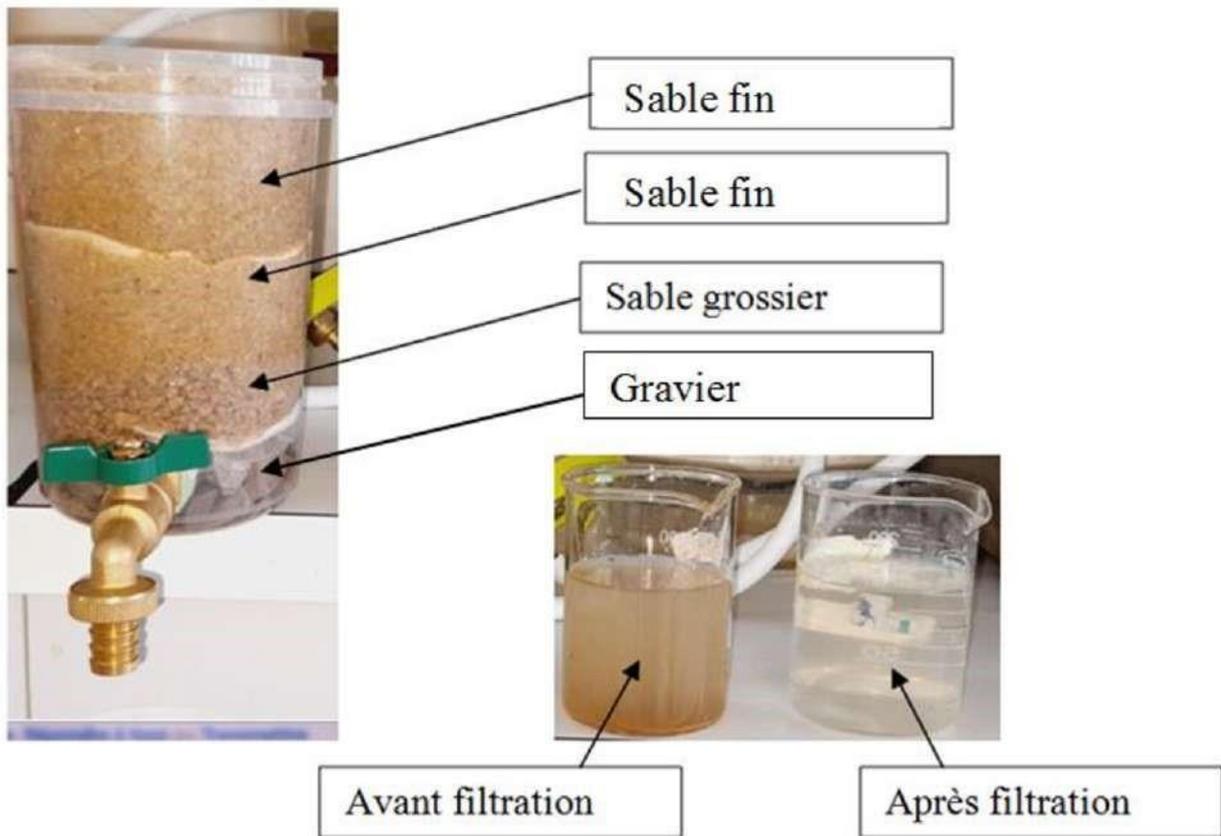


Figure III.13 : Photo du filtre à sable fabriquer au niveau de notre laboratoire.

Pour fabriquer le filtre à sable une étude dimensionnement est obligatoire, en déterminant la qualité de l'eau entrante et les exigences de traitement. Ensuite on détermine le débit de l'eau qui a été estimé par le volume d'eau à traiter pendant une période donnée, ensuite on obtient la hauteur du filtre à sable qui est égale à 28,3 cm.



Figure III.14 : Photo du filtre à sable placer avec le panneau solaire.

L'installation d'un filtre à sable pour récupérer l'eau de lavage des panneaux solaires est une bonne pratique pour optimiser l'utilisation de l'eau. Les panneaux solaires peuvent accumuler de la poussière, de la saleté et d'autres particules au fil du temps, réduisant ainsi leur efficacité. Le lavage régulier des panneaux solaires est nécessaire pour maintenir leur performance. En utilisant notre filtre à sable (Figure III.14), nous pouvons récupérer l'eau de lavage des panneaux solaires et la traiter pour la réutiliser dans le processus de lavage. Le filtre à sable retient les particules de saleté et permet à l'eau propre de passer à travers. Cela vous permet d'économiser de l'eau en évitant d'utiliser de l'eau fraîche pour chaque lavage. Au début nous avons installé le filtre à sable entre le système de lavage des panneaux solaires automatiques et le point de collecte de l'eau. L'eau filtrée doit être stockée dans un réservoir équipé d'un couvercle pour éviter la contamination. Enfin, l'eau filtrée est réutilisée pour le lavage.

Il est important de noter que l'efficacité du système dépend de la qualité du filtre à sable, du maintien régulier du filtre et de l'entretien approprié du système. On doit assurer la surveillance régulière du fonctionnement du filtre à sable et de nettoyer ou remplacer. On trouve plusieurs travaux sur la récupération de l'eau de lavage des panneaux solaires en utilisant un filtre à sable qui décrit le processus de filtration et évalue l'efficacité de la réutilisation de l'eau récupérée.

Conclusion Générale

Conclusion générale

En conclusion, la récupération et le traitement des eaux usées après le nettoyage des panneaux photovoltaïques sont des étapes essentielles pour assurer une gestion responsable et durable de l'eau dans le contexte de l'énergie solaire. Les panneaux solaires peuvent accumuler de la saleté, de la poussière et d'autres contaminants au fil du temps, ce qui réduit leur efficacité de conversion de l'énergie solaire en électricité.

La récupération des eaux usées provenant du nettoyage des panneaux solaires permet de minimiser l'impact environnemental en évitant le rejet direct dans les systèmes de drainage ou les eaux de surface. Ces eaux peuvent contenir des résidus de produits de nettoyage, de la poussière, des particules et d'autres substances potentiellement nocives pour l'environnement. En les collectant, il est possible de prévenir la pollution des sols, des cours d'eau ou des nappes phréatiques.

Le traitement des eaux usées récupérées est également crucial pour leur réutilisation ou leur élimination en toute sécurité. Les procédés de traitement peuvent varier en fonction des caractéristiques spécifiques des eaux usées, mais ils peuvent inclure des étapes telles que la filtration, la décantation, la désinfection et l'élimination des contaminants. Ce traitement permet de rendre les eaux propres à une réutilisation ultérieure, par exemple pour l'irrigation des cultures, l'entretien des espaces verts ou d'autres usages non potables.

En favorisant la récupération et le traitement des eaux usées après le nettoyage des panneaux solaires, nous pouvons promouvoir une approche plus durable de l'énergie solaire. Cela permet de préserver les ressources en eau, de réduire la consommation d'eau douce et de minimiser l'impact environnemental associé aux eaux usées. En intégrant ces pratiques dans les installations solaires, nous contribuons à la préservation de l'environnement et à la création d'un avenir plus durable.

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

- [1] Salah Skitioui, "La Conception D'un Système de nettoyage des panneaux photovoltaïques ", Consulté le 20 mai 2023. Disponible sur : <https://fr.scribd.com/document/461427206/La-conception-d-un-systeme-de-SalahSKITIOUI-4762>
- [2] Jean-Paul KleiderCNRS Éditions, "L'énergie à découvert Effet photovoltaïque : principes physiques", Consulté le 20 mai 2023. Disponible sur : <https://books.openedition.org/editions-cnrs/10923>
- [3] La Maison Saint-Gobain, "Nettoyer un panneau solaire photovoltaïque : comment faire ?", Consulté le 21 mai 2023. Disponible sur : <https://www.lamaisonsaintgobain.fr/guides-travaux/renovation-energetique-habitatdurable/pourquoi-et-comment-nettoyer-des-panneaux-solaires-et-photovoltaïques>
- [4] JCP Cleaning, , "Quand nettoyer ses panneaux solaires photovoltaïques: tout savoir", Consulté le 22 mai 2023. Disponible sur : <https://www.jcpcleaning.com/page/quand-nettoyer-panneaux-solairesphotovoltaïques-conseils-namur-belgique.html>
- [5] A. Maroua, "Etude expérimentale de l'effet de la poussière et de fientes des oiseaux sur le fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques pour le site de M'sila", Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2022.
- [6] N.F. Djemenda, "Mise en place et exécution d'un protocole d'étude et de suivi du nettoyage de modules photovoltaïques en zone très poussiéreuse : cas de la région soudano-sahélienne", Laboratoire Énergie Solaire et Économie d'Énergie (LESEE), 2iE, Ouagadougou, Burkina Faso, 2015.
- [7] A. Maroua, "Etude expérimentale de l'effet de la poussière et de fientes des oiseaux sur le fonctionnement des panneaux solaires photovoltaïques pour le site de M'sila", Thèse, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2022. Consulté le 25 mai 2023. Disponible sur : <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/30189>
- [8] Lenntech, "Decantation", Consulté le 7 juin 2023. Disponible sur : <https://www.lenntech.fr/decantation.htm>
- [9] Ecoinfos, Les Énergies Renouvelables, "Traitement de l'eau : filtration & purification", Consulté le 17 juin 2023. Disponible sur : <https://www.les-energies-renou>
- [10] Neutralac® : Traitement des effluents - Traitement des eaux usées Adsorption. Consulté le 17 juin 2023. Disponible sur : <https://www.neutralac.com/fr/eaux-useesadsorption.html>
- [11] Réacteur UASB : traitement anaérobie des eaux - AQUA Corp. Consulté le 7 juin 2023. Disponible sur : <http://www.aquacorp.fr/traitement-anaerobie-reacteur-uasb>

- [12] Revue EIN "La digestion aérobie, comme procédé clé de la réduction du volume de boues", Revue EIN, 6 novembre 2020. Consulté le 17 juin 2023. Disponible sur : <https://www.revue-ein.com/actualite/la-digestion-aerobie-comme-procede-cle-de-lareduction-du-volume-de-boues>
- [13] AVK France. Consulté le 17 juin 2023. Disponible sur : <https://www.avk.fr/frfr/error-pages/not-found?item=%2ffr+-fr%2fzoom-sur%2fzoom-sur%2fvannesguillotine%2faeration-assainissement&user=extranet%5cAnonymous&site=avkfrance>
- [14] Heilbron, John L. (1974). "Nollet, Jean-Antoine". In Gillespie, C. C. (ed.). Dictionary of Scientific Biography. New York: Charles Scribner's Sons. p. 145. Retrieved 27 April 2018.
- [15] M. Pontié et al. Les techniques séparatives à membranes : théorie, applications et perspectives, UIE Editions, juin 2001, ISBN 2-911726-03-0.
- [16] Pontié, Maxime (2002). Les techniques séparatives pour l'environnement. Prérequis de transfert de matière, ENSCP Paris.
- [17] Bouchard, C., Kouadio, P., Ellis, D., Rahni, M., Lebrun, R.E. (2000). Les procédés à membranes et leurs applications en production d'eau potable, Vecteur Environnement, 33(4), 28-38.
- [18] José Braun, "Techniques de séparation : Ultrafiltration et Osmose Inverse", Consulté en ligne. Disponible sur : http://perso.wanadoo.fr/jose.braun/separation/uf_et_oi.htm
- [19] Aqua-Techniques, "Traitement de l'Eau par UV : Avantages et Fonctionnement", Consulté le 17 juin 2023. Disponible sur : <https://www.aqua-techniques.fr/traitementeau-uv>

Résumé

L'énergie photovoltaïque est rentable généralement dans les régions où le niveau de rayonnement est élevé et surtout dans les régions sahariennes. Néanmoins les vents de sable dans ces régions provoquent l'encrassement des modules photovoltaïques. Ce dernier est un problème préjudiciable car la saleté bloque la lumière du soleil et réduit la puissance de l'énergie électrique produite par ces stations photovoltaïques. Ainsi la durée de vie estimée d'un panneau solaire est basée sur les directives de maintenance de chaque fabricant, ce dernier recommande un nettoyage régulier par l'utilisation de l'eau. L'eau dispersée au dessous des supports métalliques des panneaux photovoltaïques, provoque la dégradation de ces supports ainsi que le gonflement et le tassement au niveau du sol ce qui provoque l'effondrement et le déséquilibre de ces installations. L'eau dans les régions sahariennes est une source rare et précieuse. Donc la récupération de l'eau après le nettoyage pour la réutiliser est une étape importante. Un nouveau système de filtrage et dessablage de l'eau usée après le nettoyage des panneaux photovoltaïques ainsi que les différentes étapes de filtrage réalisées par ce système et les résultats obtenus seront présentés dans ce travail.

Abstract

Photovoltaic energy is generally cost-effective in regions with high radiation levels, especially in the Sahara. However, the sand winds in these areas cause fouling of the photovoltaic modules. This problem is harmful because dirt blocks sunlight and reduces the power of the electricity produced by these photovoltaic stations. The estimated service life of a solar panel is based on the maintenance guidelines of each manufacturer, which recommends regular cleaning by using water. The water dispersed underneath the metal supports of the photovoltaic panels, causes the degradation of these supports as well as the swelling and settlement at the level of the ground, which causes the collapse, and the imbalance of these installations. Water in the Saharan regions is a rare and valuable source. The recovery of water after cleaning for reuse is an important step. A new system of filtration and disbanding of waste water after cleaning of photovoltaic panels as well as the different filtration steps carried out by this system and the results obtained will be presented in this work.

ملخص

تعد الطاقة الكهروضوئية فعالة بشكل عام من حيث التكلفة في المناطق ذات المستويات الإشعاعية العالية ، وخاصة في الصحراء. ومع ذلك ، فإن الرياح الرملية في هذه المناطق تتسبب في تلوث الوحدات الكهروضوئية. هذه المشكلة ضارة لأن الأوساخ تحجب ضوء الشمس وتقلل من طاقة الكهرباء التي تنتجها هذه المحطات الكهروضوئية. تعتمد مدة الخدمة المقدرة للوحة الشمسية على إرشادات الصيانة لكل مصنع ، والتي توصي بالتنظيف المنتظم باستخدام الماء. وتتسبب المياه المتناثرة تحت الدعامات المعدنية للألواح الكهروضوئية في تدهور هذه الدعامات وانتفاخها واستقرارها على مستوى الأرض مما يتسبب في انهيار هذه التركيبات وعدم توازنها. المياه في المناطق الصحراوية مصدر نادر وقيم. تعد استعادة المياه بعد التنظيف لإعادة استخدامها خطوة مهمة. نظام جديد لترشيح وتصريف مياه الصرف الصحي بعد تنظيف الألواح الكهروضوئية بالإضافة إلى خطوات الترشيح المختلفة التي يقوم بها هذا النظام وسيتم عرض النتائج التي تم الحصول عليها في هذا العمل.