



Année Universitaire : 2014-2015

Master Sciences et Techniques : Biotechnologie microbienne
MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Contribution au traitement des eaux de surface par filtration

Présenté par : AKRASI Naouale

Encadré par : Pr. MERZOUKI Mohammed

Soutenu le : 22 juin 2015

Devant le jury composé de : Pr. MERZOUKI Mohammed

Pr. ELGHACHTOULI Naima

Pr. TAHRI Ali

Pr. RACHIQ Saad

Dédicaces

Comme symbole profond de gratitude et dévouement je dédie le fruit de ce travail en
Premier lieu à:

- ❁ Ma très chère mère : la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.
- ❁ La mémoire de mon Père : Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour vous. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.
- ❁ Mes très chères sœurs Meryem, Laila et Asmae : les mots ne suffisent guère pour exprimer l'attachement, l'amour et l'affection que je porte pour vous. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.
- ❁ Ma très chère tante ELHAJJAMI Fatima et sa famille: Vous êtes toujours été présents pour les bons conseils, affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie professionnelle et personnelle.
- ❁ Toutes mes familles : Avec toutes mes affections, et mes souhaits de santé, de bonheur et de réussite.
- ❁ A toutes mes amies : Rajae, Najoua, Yousra, ilham, Naima, Hind, Siham, Samira, Imane, Zineb... En souvenir d'agréables moments passés ensemble en témoignage de notre amitié. Je vous exprime par ce travail toute mon affection et j'espère que notre amitié restera intacte et durera pour toujours.
- ❁ Tous mes enseignants : Veuillez trouver dans ce travail, l'expression de mes profondes reconnaissances et mon grande estime.

Et A toute personne m'ayant consacré un jour, un moment de sa vie pour m'aider, me conseiller, m'encourager ou simplement me sourire...

Nacouale

Remerciements

Je tiens ici à exprimer ma gratitude à tous les gens qui m'ont consacré de leur temps et de leur énergie afin de faciliter le déroulement de mon stage :

- ✿ Mr MERZOUKI Mohammed mon encadrant qui a acceptée favorablement de m'encadrer pendant ce stage et pour les précieuses recommandations et ses efforts permanents et qui m'ont guidé dans le but d'assurer le bon déroulement de ce stage.
- ✿ Mr BOUCHRIT Mohammed chef de station traitement Targuist pour m'avoir encadrée durant la durée du stage, qui m'a guidé avec leurs précieux conseils.
- ✿ Mlle Elkarrach Karima, Mme Essalhi Nawal, Mme ELACHOURI Mounia, Mr Assarraji Hassan, Mr Miloud : pour leur accueil chaleureux, leurs conseils judicieux et leur support permanent.
- ✿ Mme. ELGHACHTOULI Naima, Mr. RACHIQ Saad, et Mr TAHRI Ali, pour l'honneur qu'ils me font en acceptant de juger ce travail.
- ✿ Mr le Doyen de la F.S.T : qui a toujours donné le meilleur pour nous assurer une parfaite formation. Je lui prie d'agréer l'expression de ma profonde gratitude et mes sincères admirations.
- ✿ La direction de l'ONEP dans la personne de son Président directeur générale pour m'avoir donné l'opportunité d'effectuer mon stage dans une aussi prestigieuse unité industrielle.
- ✿ Nos enseignants de la section : pour leurs conseils et leur disponibilité.

Un grand merci aussi à tous ceux qui ont participé de près ou de loin au bon déroulement de ce travail.

Et à tous je dis merci...

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les caractéristiques du charbon actif.....	20
Tableau 2 : Tableau résumant les analyses bactériologiques.....	36
Tableau 3 : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau brute.....	38
Tableau 4 : Résultats des analyses bactériologiques de l'eau brute.....	42
Tableau 5 : Résultats des analyses physicochimiques de l'eau filtrée sur sable.....	44
Tableau 6 : Résultats des analyses bactériologiques de l'eau filtrée sur sable.....	47
Tableau 7 : Résultats des analyses physicochimiques de l'eau filtrée sur sable et charbon actif.....	49
Tableau 8 : Résultats des analyses bactériologiques de l'eau filtrée sur sable et charbon actif.....	51
Tableau 9 : Comparaison entre les taux d'abattement des paramètres physicochimiques et bactériologiques dans les deux colonnes.....	52

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Missions de l'ONEE_Branche Eau.....	5
Figure 2 : Organigramme générale de l'ONEE_Branche Eau	6
Figure 3 : Organigramme de la station de production Targuist... ..	7
Figure 4 : Débourbeur.....	15
Figure 5 : Cascade d'aération.....	15
Figure 6 : Décanteur.....	17
Figure 7 : Filtre à sable.....	18
Figure 8 : Principe d'osmose inverse.....	21
Figure 9 : Echantillonnage en période d'étéage.....	23
Figure 10 : Echantillonnage en période de crue.....	23
Figure 11 : Description des colonnes de filtration.....	24
Figure 12 : Caractéristiques de la colonne de sable	25
Figure 13 : Caractéristiques de la colonne de sable et charbon actif.....	26
Figure 14 : Turbidimètre.....	27
Figure 15 : Conductimètre_Oxymètre.....	28
Figure 16 : pH-mètre.....	29
Figure 17 : Shéma expclatif de la méthode du nombre le plus probable (Test présumptif)....	33
Figure 18 : Schéma explicatif de la méthode de la membrane filtrante	34

Figure 19 : Evolution de l'effet de la température sur la solubilité de l'oxygène dissous.....	39
Figure 20 : Evolution des paramètres bactériologiques de l'eau brute.....	43
Figure 21 : Evolution de l'oxydabilité de l'eau brute et filtrée en fonction du temps.....	45
Figure 22 : Taux d'abattement des paramètres physicochimiques dans les deux colonnes de filtration.....	53
Figure 23 : Les taux d'abattement des paramètres bactériologiques pour les deux colonnes..	53

SOMMAIRE

Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : Aperçues bibliographiques.....	3
I- Présentation de l'Office National de l'électricité et de l'eau potable (ONEE).....	4
1- Historique.....	4
2- Les missions principales de l'ONEE_ Branche Eau.....	6
3- Organigramme.....	6
1-1- Organigramme général de l'ONEE _ Branche Eau.....	6.
1-2- Organigramme de la station de production Targuist.....	7
4- Les différents services de la station.....	7
4-1- Service administrative.....	7
4-2- Service d'exploitation.....	8
4-3- Service d'entretien.....	8
4-4- Service de traitement.....	8
II- La pollution des ressources en eau	8
1- Définition.....	8
2- Les différents types de pollution des eaux.....	8
2-1- La pollution microbiologique.....	8
2-2- La pollution physique.....	8
2-3- La pollution chimique.....	9
2-4- La pollution radioactive.....	9
3- Les différentes origines de pollution.....	9
3-1- Origine naturelle.....	9
3-2- Origine agricole.....	10
3-3- Origine industrielle.....	10
3-4- Origine urbaine.....	11
III- Les ressources en eau superficielle.....	11
1- Caractéristiques générales des eaux superficielles.....	11
1-1- Les composés minéraux.....	11

1-2-	Le gaz dissous.....	12
1-3-	L'oxygène dissous.....	12
1-4-	Le gaz carbonique.....	12
2-	Les sources de pollution des eaux superficielles.....	13
2-1-	Pollution organique.....	13
2-2-	Pollution chimique.....	13
IV-	La production de l'eau potable.....	14
1-	Prétraitement.....	14
1-1-	Dégrillage.....	14
1-2-	Préchloration.....	14
1-3-	Débouage.....	15
1-4-	Aération.....	15
2-	Traitement.....	16
2-1-	Floculation _ Coagulation.....	16
2-2-	Décantation.....	16
2-3-	Filtration.....	17
2-4-	Désinfection.....	17
V-	Traitement par filtration.....	18
1-	Historique.....	18
2-	Différents types de filtres.....	19
2-1-	Filtres lents à sable.....	19
2-2-	Filtres rapides.....	20
2-3-	Filtration sur charbon actif.....	20
2-4-	Osmose inverse.....	21
Chapitre 2 : Matériels et méthodes.....		22
I-	Echantillonnage.....	23
II-	Préparation des colonnes	24
1-	Colonnes de sable.....	24
2-	Colonne de sable et charbon actif.....	25
3-	Fonctionnement des colonnes.....	26

III-	Méthodes d'analyses.....	26
1-	Paramètres physico-chimiques.....	27
1-1-	Turbidité.....	27
1-2-	Température.....	27
1-3-	Oxygène dissous.....	27
1-4-	Conductivité électrique.....	28
1-5-	pH.....	28
1-6-	Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet.....	29
1-7-	Oxydabilité.....	29
1-8-	Titre hydrométrique	30
1-9-	Matière en suspension.....	30
1-10-	Chlorure.....	30
1-11-	Sulfate.....	31
1-12-	Manganèse, Fer, Ammonium.....	31
1-13-	Nitrate.....	31
1-14-	Nitrites.....	31
1-15-	Ortho phosphates.....	31
2-	Paramètres bactériologiques.....	32
1-1-	Pour l'eau brute.....	32
1-2-	Pour l'eau filtrée.....	34
	Chapitre 3 : Résultats et discussions.....	37
I-	Caractéristiques de l'eau brute.....	38
1-	Paramètres physicochimiques.....	38
2-	Paramètres bactériologiques.....	44
II-	Caractéristiques de l'eau filtrée.....	44
1-	Filtration sur sable.....	44
1-1-	Paramètres physico-chimiques.....	44
1-2-	Paramètres bactériologiques.....	47
2-	Filtration sur sable et charbon actif.....	48
2-1-	Paramètres physico-chimiques.....	48
2-2-	Paramètres bactériologiques.....	51

III- Comparaison des taux d'abattement des deux colonnes.....	52
Conclusion.....	55
Perspectives.....	57
Références bibliographiques.....	58
Annexes.....	60

INTRODUCTION

L'eau est la source de la vie. Il y a beaucoup d'années, elle a fait naître la vie sur Terre. C'est un élément qui reste, de nos jours aussi, quelque chose de vital pour l'existence. Les scientifiques attirent notre attention sur l'augmentation inquiétante de la pollution des réserves en eau potable. Une réorientation radicale concernant notre environnement est donc nécessaire de toute urgence.

Malgré toute l'importance que nous reconnaissons à l'eau pour notre santé et pour celle de l'environnement, de la faune et de la flore, nous contribuons, par toutes les activités de notre société industrielle, à la polluer et à dégrader sa qualité. Aucun aspect de notre vie moderne n'y échappe : la fabrication des produits de consommation, l'agriculture, l'enfouissement des déchets et même les sports de loisir ont des impacts négatifs importants sur l'eau, l'environnement et notre santé. Les eaux polluées peuvent causer des maladies parfois mortelles.

Les eaux de surface (barrages, rivières, lacs...) contiennent en général une grande quantité de solides en suspension, bactéries, algues et matières organiques, donc elles doivent être traitées pour pouvoir atteindre la qualité requise. Le traitement de l'eau doit sans cesse s'adapter à l'environnement et à la multiplication de pollution.

L'objectif de ce stage est d'initier l'étudiant à la recherche en lui permettant d'utiliser le sens d'observation, de mettre en pratique les connaissances théoriques acquises et d'en acquérir une compétence pratique professionnelle. Ainsi, j'ai eu l'opportunité d'effectuer un stage auprès de l'office national de l'électricité et de l'eau potable, dont certaines analyses ont été effectuées à la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz pendant une durée de 5 mois.

Ce présent travail s'inscrit dans ce cadre, qui consiste à contribuer au traitement des eaux de surface du barrage Joumoua à Targuist par filtration en utilisant deux supports. Les objectifs de notre travail sont les suivants :

- ↳ Le traitement des effluents de l'eau brute du barrage Joumoua par un procédé physique et biologique, de haute performance et de faible coût.
- ↳ Le suivi des analyses physico-chimiques et bactériologiques des filtrats obtenus.

Ce rapport du projet de fin d'étude est structuré en trois grandes parties à savoir :

- ↳ La première partie est consacrée à l'étude bibliographique.
- ↳ La deuxième partie présente le matériel et méthodes utilisés au cours de notre étude.
- ↳ La troisième partie concerne tous les résultats et discussions obtenus.

Chapitre I :
Aperçue
bibliographique



I. Présentation de l'ONEE-Branche eau:

1) Historique :

L'Office National de l'Eau et de l'Electricité (ONEE) est créée en 2012 suite à la fusion de l'ONE et de l'ONEP. Un statut commun est en cours d'élaboration, les deux branches continuent d'adopter leurs statuts respectifs. Ainsi l'ONEP, est actuellement l'office national de l'eau et d'électricité (Branche-Eau).

L'ONEP créée par Dahir n°1-72-103 du 18 Safar 1392 (03/04/72), est un établissement public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière.

Station de traitement TARGUIST :

Afin de remédier à cette situation, l'ONEP a réalisé en avril 1993 un ensemble de projet consistant en un barrage (Joumoua) et une station de production d'eau à Targuist, avec une seule filière, à un débit de 24 l/s.

En 2008, l'ONEP a mis en service la deuxième tranche de la station de traitement de barrage Joumoua qui a porté son débit de 50 l/s.

En 2011, l'ONEP est regroupé avec l'ONE (l'Office National d'Electricité) pour permettre l'harmonisation des stratégies nationales dans ces deux secteurs clés qui sont liés par des champs de synergie. En effet, mobiliser et valoriser les ressources énergétiques et hydriques, sécuriser leur approvisionnement, leur utilisation de manière efficace dans le respect de l'environnement constituent des objectifs majeurs de ce regroupement et ce pour faire face aux mutations économiques et financières mondiales.

2) Les missions principales de l'ONEE -Branche eau:

L'ONEP est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière.

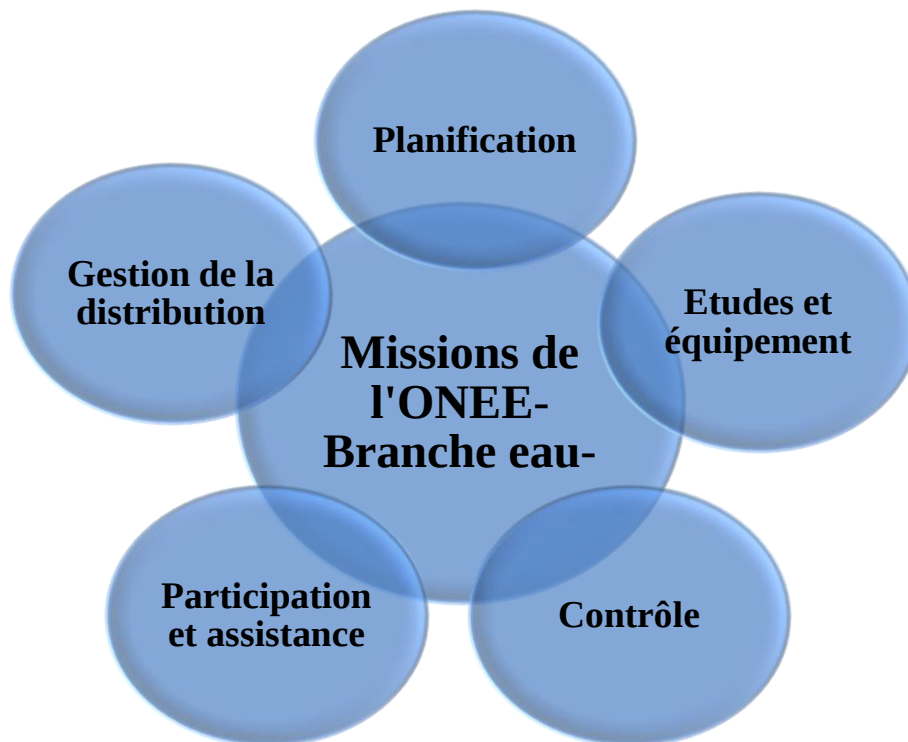


Figure 1: Missions de l'ONEE-Branche Eau-

Acteur principal dans le secteur de l'eau potable et de l'assainissement. L'ONEP est chargé de:

- **Planifier:** L'approvisionnement en eau potable du Royaume et la programmation des projets.
- **Etudier:** L'alimentation et l'approvisionnement en eau potable / assainissement et assurer l'exécution des travaux des unités de production et de distribution.
- **Gérer:** La production d'eau potable et assurer la distribution ainsi que le service assainissement liquide pour le compte des communes qui le souhaitent.
- **Contrôler:** La qualité des eaux produites et distribuées et la pollution des eaux susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation.
- **Participer :** aux études, en liaison avec les ministères intéressés, à l'élaboration des projets de textes législatifs et réglementaires nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

3) Organigramme :

3-1- Organigramme générale de l'ONEE-Branche eau :

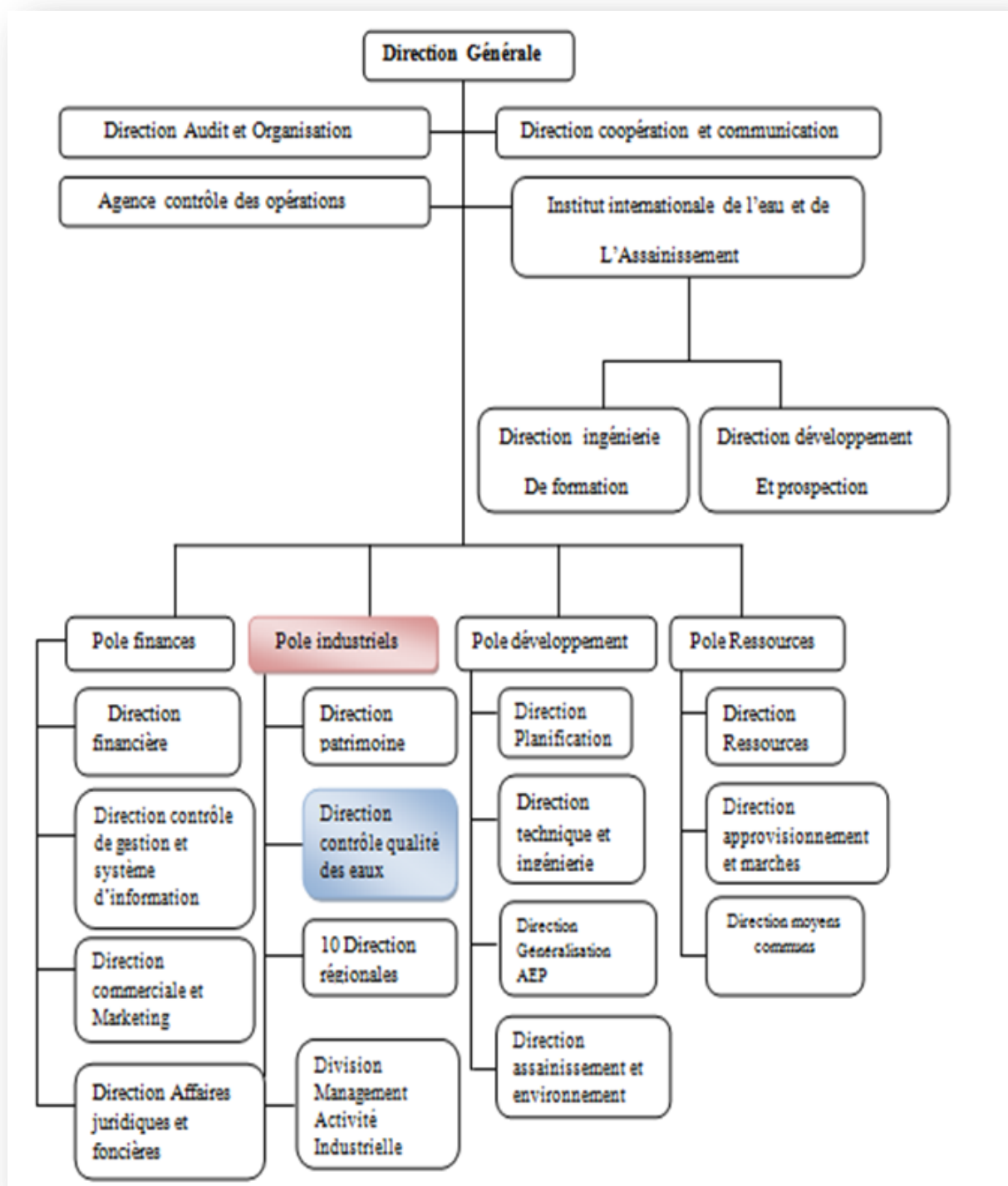


Figure 2: Organigramme générale de l'ONEE –Branche eau-

3-2- Organigramme de la station de production Targuist :

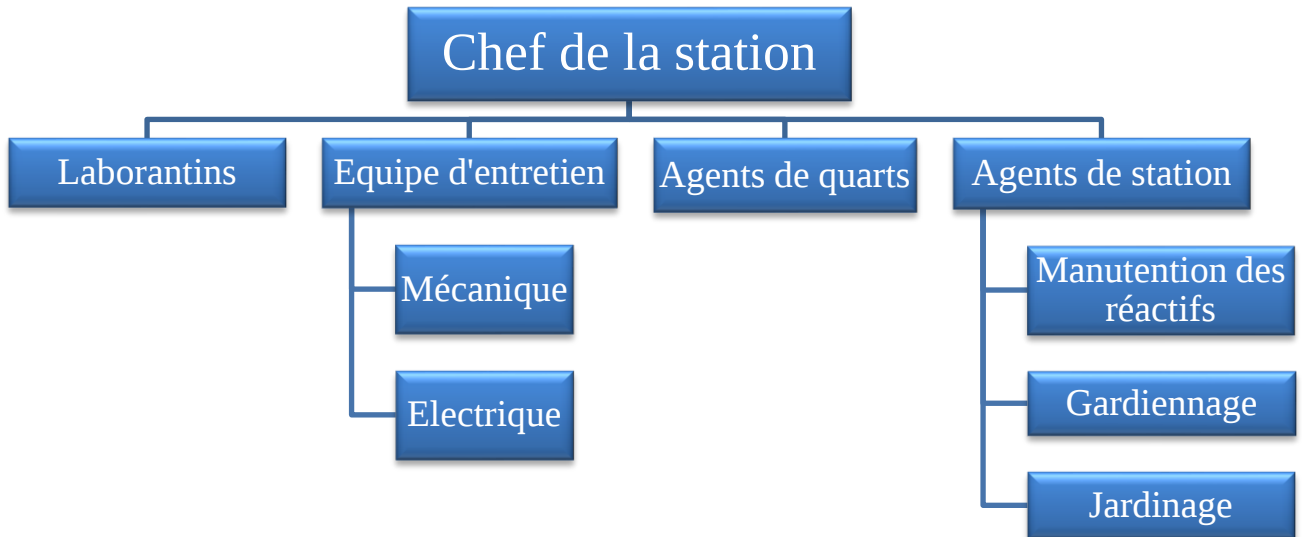


Figure 3: Organigramme de la station de traitement Targuist

4) Les différents services de la station :

La station de traitement des eaux d'oued Joumoua joue un rôle principal dans la vie économique et social de la ville de Targuist. Il existe plusieurs services pour le traitement, la production et la distribution de l'eau potable afin d'assurer le bon fonctionnement de la station, ces services sont :

4-1- Service administrative :

Ce service assure la gestion des ressources humaines, financières et matérielles. Le responsable de ce service est le chef de la station.

4-2- Service d'exploitation :

Ce service a la responsabilité de contrôler, coordonner et améliorer l'exploitation de production et de distribution de l'eau potable dans la région, ainsi que le suivi de la maintenance et d'entretien des équipements de production et de distribution.

4-3- Service d'entretien :

Ce service assure le suivi de bon fonctionnement des appareils mécaniques, électriques et électromécaniques, ainsi que l'entretien de toute l'installation de production et de distribution.

4-4- Service de traitement :

La production d'une eau potable avec une meilleure qualité selon les normes de qualité de l'eau de consommation humaine, est assurée par le service de traitement. Ce dernière réalise les différentes analyses et contrôles à partir de l'entrée de la station jusqu'aux consommateurs.

II. Pollution des ressources en eau :

1) Définition :

La pollution est une modification, généralement provoquée par l'homme, dans la qualité de l'eau, qui la rend impropre ou dangereuse à la consommation humaine, à l'industrie, à l'agriculture, à la pêche, aux loisirs, aux animaux domestiques et à la vie sauvage, sans subir d'altérations majeures. Cependant, ce liquide est d'un pouvoir quasi magique ; en effet, grâce à sa constante diélectrique et à ses liaisons hydrogène, l'eau peut dissoudre à peu près n'importe quelle substance et peut maintenir le soluté en solution presque indéfiniment [1]

2) Les différents types de pollution des eaux:

5-1- La pollution microbiologique :

La pollution bactériologique est l'introduction de bactéries, virus organismes pathogènes dans l'eau, qui en modifient la qualité microbiologique naturelle. Le nombre de colibacilles (bactérie coliforme) présente dans l'eau choisie comme indice de ce type de pollution. Les effets de La pollution bactériologique sur l'homme sont : entérite causée par certaines souches de coliformes, fièvre typhoïde et parasite [2].

5-2- La pollution physique :

Par pollution physique, on entend tout changement dans le caractère organoleptique d'une eau, tels que couleur, turbidité, goût, odeur et température. Ce type de pollution peut résulter de causes naturelles comme l'érosion, le ruissellement, la décomposition des matières végétales, la présence d'humus et de marécages. L'érosion accélérée des sols, à la suite de

déboisement, de surcharge de pâturage ou de mauvaises pratiques culturales, peut provoquer une pollution physique grave, en recouvrant partiellement ou complètement le lit d'un cours d'eau [2].

5-3- La pollution chimique :

La pollution chimique est l'addition d'éléments ou composés chimiques qui modifient la présence ou la concentration des éléments chimique naturels de l'eau et ce, de façon indésirable. La qualité d'une eau s'évalue grâce à l'analyse de plusieurs paramètres et indices à savoir : pH, (OD), (DBO), (DCO), (SO_4^{2-}), (NO_3^-), (PO_4^{2-}), les détergents, les hydrocarbures, les métaux et les produits organiques de synthèse [2].

5-4- Pollution radioactive :

Les rayonnements ionisants (alpha, beta, gamma) perturbent l'équilibre électronique des cellules des tissus vivants. Ils agissent par ionisation, en arrachant des électrons aux atomes qu'ils rencontrent, les transforment ainsi en ions. Une cellule est lésée ou détruite, selon le degré d'ionisation obtenu. Comme pour les pesticides, on peut suivre les produits radioactifs tout le long de la chaîne alimentaire [2].

3) les différentes origines de pollution :

3-1- Origine naturelle:

Les eaux contiennent quelques impuretés, même si elles ne sont pas affectées par les activités humaines. Les types et les concentrations d'impuretés naturelles dépendent de la nature du matériel géologique par lequel les eaux souterraines se déplacent, et de la qualité de l'eau de recharge. Les eaux souterraines se déplaçant à travers les roches et les sols sédimentaires, peuvent absorber un éventail de composés tels que le magnésium, le calcium, et les chlorures. Certaines couches aquifères ont des concentrations naturelles élevées en constituants dissous tels que l'arsenic, le bore, et le sélénium. L'effet de ces sources normales de contamination sur la qualité d'eaux dépend du type du contaminant et de ses concentrations [3].

3-2- Origine agricole :

Les pesticides, les engrais et les déchets animaliers sont des sources agricoles de contamination des eaux souterraines. Les sources agricoles de contamination sont nombreuses et variées, débordement des engrais et des pesticides pendant la manipulation, écoulement du chargement et lavage des pulvérisateurs de pesticide ou de tout autre équipement d'application, utilisation de produit chimique. Une région agricole qui manque de drainage est considérée par beaucoup de fermiers comme étant terre perdue du point de vue revenu. Ainsi, ils peuvent installer des tuiles de drain ou des puits de drainage pour rendre la terre plus productive. Les puits de drainage servent alors de conduit direct aux eaux souterraines pour les déchets agricoles. Le stockage de produits chimiques agricoles près de conduits d'eaux, telles que les puits, les trous d'évier, est susceptible de s'accumuler et de provoquer une contamination. La contamination peut également se produire quand des produits chimiques sont stockés dans des secteurs découverts, non protégés du vent et de la pluie [3].

3-3- Origine industrielle:

Les industries de fabrication ont des demandes élevées en eau pour les procédés de refroidissement, de traitement ou de nettoyage. La pollution des eaux se produit quand l'eau utilisée est retournée au cycle hydrologique. L'activité économique moderne exige le transport et le stockage de la matière employée dans la fabrication, le traitement et la construction. De cette manière, une partie de ce matériel peut être perdue par débordement, par fuite, ou par mauvaise manipulation. L'élimination des pertes, associée aux activités ci-dessus, est une autre source de contamination des eaux. Certaines entreprises, habituellement sans accès aux réseaux d'égouts, se servent dans les eaux souterraines peu profondes. Elles emploient des fosses ou des puisards secs, ou envoient l'eau usagée dans les réservoirs septiques. Tout ceci peut mener à la contamination des sources d'eau potable. Les fosses et les puisards secs provoquent l'infiltration des déchets directement dans le sol. Les autres sources industrielles de contamination incluent: le nettoyage des réservoirs ou la pulvérisation d'équipement sur la terre, l'évacuation de déchets dans les systèmes septiques ou les puits secs, et le stockage de matériaux dangereux dans des secteurs découverts ou dans les secteurs qui n'ont pas des garnitures avec des drains ou des bassins de captation [3].

3-4- Origine urbaine:

Les systèmes résidentiels d'eau usagée peuvent être une source de différents types de contaminants, y compris des bactéries, des virus, des nitrates et des composés organiques. Les puits utilisés pour l'évacuation des eaux domestiques usagées (les systèmes septiques, puisards, puits de drainage pour l'écoulement de précipitations exceptionnelles, puits de recharge d'eaux souterraines) sont particulièrement concernés par la qualité des eaux souterraines s'ils sont placés près des puits d'eau potable. Ajoutés à cela les eaux usées urbaines qui se sont pas épurées par des STEP et se retrouvent rejetées en mer dans le cours d'eau et épandues sur le sol. Le stockage incorrect ou l'évacuation de produits chimiques ménagers tels que les peintures, les détergents synthétiques, les dissolvants, les huiles, les médicaments, les désinfectants, les produits chimiques de piscine, les pesticides, les batteries, l'essence et le carburant diesel peut mener à la contamination des eaux. Lorsqu'ils sont entreposés dans les garages ou les sous-sols, le nettoyage des planchers, les flaques et les inondations peuvent introduire de tels contaminants dans les eaux. Lorsqu'ils sont jetés dans les poubelles des particuliers, ces produits seront éventuellement introduits dans les eaux si les déchetteries ne sont pas équipées pour traiter les matériaux dangereux. De même, les déchets vidés ou enterrés dans la terre peuvent souiller les sols et s'écouler dans les eaux [3].

Ces types de pollution affectent les ressources en eau aussi bien superficielles, souterraines et maritimes. Pour notre travail on s'intéresse au contrôle de la qualité des eaux superficielles.

III. Les ressources en eau superficielles:

1) Caractéristiques générales des eaux superficielles :

Les eaux superficielles qualifient toutes les eaux naturellement ouvertes sur l'atmosphère, y compris les fleuves, les rivières, les lacs, les réservoirs, les ruisseaux, les lacs de barrage, les mers, les estuaires, etc. Le terme s'applique également aux sources, aux puits et autres collecteurs d'eau qui subissent directement l'influence des eaux superficielles.

Les principaux constituants des eaux naturelles :

1-1- Les composés minéraux :

Les composés minéraux présents dans les eaux naturelles trouvent essentiellement leur origine dans les échanges qui se produisent entre l'eau et le sol, et entre l'eau et l'atmosphère. Ils résultent aussi du métabolisme des éléments constitutifs de la biomasse aquatique. Il existe 2 catégories des constituants minéraux :

- Les éléments fondamentaux sont ceux que l'on retrouve dans toutes les eaux naturelles. Ce sont les éléments qui entrent dans l'équilibre calcocarbonique de l'eau : H_2CO_3 , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , OH^- et H^+ . La présence de ces éléments résulte de la dissolution dans l'eau du gaz carbonique et aussi de la solubilisation du carbonate de calcium sous l'effet de l'acidité carbonique.
- Les éléments caractéristiques regroupent l'ensemble des autres ions minéraux qui résultent aussi de l'action dissolvante de l'eau, ce sont : Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , SiO_3^{2-} , NO_3^- , etc. Leur présence donne à l'eau sa particularité et la classera magnésienne, chlorurée, séléniteuse, etc. (types d'eau ou faciès).
- Les éléments à l'état de traces font aussi partie de cette catégorie. Leur présence dans l'eau peut être naturelle (action de dissolution de l'eau) ou à cause de la pollution. Ces éléments jouent un rôle au niveau de l'effet toxique de l'eau.

Les eaux superficielles dont le contact avec le sol est limité auraient une minéralisation inférieure à une eau de nappe en particulier eau d'origine profonde.

1-2- Les gaz dissous :

L'eau naturelle, en contact avec l'air, peut dissoudre les gaz de l'atmosphère. La proportion de ces gaz dans l'air, leur solubilité respective et les conditions climatiques influentes sur ce transfert.

1-3- L'Oxygène dissous :

Comme pour tous les gaz, la solubilité de l'oxygène diminue lorsque la température augmente. Des fluctuations du taux de l'oxygène dissous sont souvent observées en fonction de la vie du milieu et aussi de la cinétique des échanges avec l'atmosphère.

1-4- Le gaz carbonique :

Le gaz carbonique est naturellement présent dans l'atmosphère, et il est très soluble dans l'eau, beaucoup plus que l'oxygène.

De plus, pour envisager d'alimenter des populations à partir d'eaux de surface, il faut éviter les conditions favorisant l'érosion des sols, les conditions non hygiéniques et les pollutions accidentelles et chroniques [4].

L'appréciation de la qualité des eaux de surface se base sur la mesure de paramètres physico-chimiques et chimiques ainsi que sur la présence ou l'absence d'organismes et de micro-organismes aquatiques, indicateurs d'une plus ou moins bonne qualité de l'eau. Ces

données peuvent être complétées par l'analyse des sédiments (boues), qui constituent une "mémoire" de la vie de la rivière, notamment des épisodes de pollution par les métaux lourds, les polychlorobiphényles (PCB), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (PCB) ou d'autres matières organiques non biodégradables. L'ensemble de ces éléments permet d'évaluer le degré de pollution des cours d'eau et d'apprécier leur capacité à s'auto épurer.

2) Les sources de pollution des eaux superficielles :

La pollution de l'eau vient essentiellement des activités humaines :

2-1- Pollutions organiques :

Agriculteurs, particuliers et industriels rejettent des matières organiques (excréments, ordures ménagères animales ou végétales pour les particuliers ; déjections animales pour les exploitations agricoles ; déchets végétaux ou animaux pour les industries comme la papeterie, la tannerie ou les industries agroalimentaires). Or ces déchets, notamment les excréments, contiennent des microbes : bactéries, virus... : cette pollution peut donc entraîner des maladies (pollution microbiologique).

2-2- Pollutions chimiques :

L'agriculture (culture et élevage) est une cause majeure de pollution des eaux souterraines, et importante pour les eaux de surface. Les engrais (nitrates, phosphates, mais aussi parfois cadmium) et pesticides utilisés pénètrent dans le sol, puis dans l'eau. Les médicaments et compléments alimentaires (par exemple, zinc) donnés aux animaux d'élevage pourraient également être source de pollution.

Les particuliers, commerçants et artisans sont également à l'origine de pollutions des eaux. Les produits chimiques utilisés (produits de nettoyage, pesticides, peinture...) sont les plus souvent rejetés dans les canalisations. Ils sont alors soit directement rejetés dans le milieu naturel, soit envoyés en station de traitement des eaux usées. Les résidus de médicaments (absorbés puis rejetés dans les eaux usées) constituent également une source de pollution, mais des études sont nécessaires pour améliorer les connaissances sur leur impact sur le milieu naturel: par exemple, déterminer si certains produits (hormones contenues notamment dans les pilules contraceptives...) peuvent perturber le fonctionnement du système hormonal des animaux et contribuer à la féminisation des poissons. D'autres risques, moins connus, pourraient exister.

Les activités industrielles, autre source de pollution, rejettent des métaux, des hydrocarbures, des acides, et peuvent provoquer le réchauffement des eaux. La pollution des eaux par les activités industrielles a fortement baissé dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, notamment avec la mise en place des stations de traitement des eaux usées en aval des industries dans les années 1970 [5].

Dans le cadre de l'étude du présent projet, il a été opté particulièrement à la pollution des eaux de surface, au niveau de barrage Joumoua à Targuist.

IV. La production de l'eau potable :

La production d'eau potable passe par :

- Station de prétraitement capable de traiter des eaux chargées en matières en suspension (MES).
- Station de traitement qui comporte deux filières avec une capacité de production de 74 l/s.

1) Prétraitement :

Les prétraitements ont pour objectif d'éliminer les éléments les plus grossiers. Le prétraitement est constitué par les opérations ci-après :

1-1- Dégrillage :

Première véritable étape dans le prétraitement : le dégrillage, qui consiste à retenir les matériaux encombrants susceptibles de provoquer le colmatage dans les différentes unités de l'installation et qui pourrait nuire à l'efficacité des traitements. Donc l'eau passe à travers une grille métallique à commande automatique qui, par un mouvement de va et viens de bas vers le haut, permet, l'élimination des matières volumineuses.

1-2- Pré chloration :

Le taux de chlore injecté est déterminé par le laboratoire de station par un essai appelé « la demande en chlore ».

La préchloration ou préoxydation permet essentiellement la dégradation des matières organiques afin de faciliter les opérations suivantes :

- L'oxydation de composés minéraux comme le manganèse.
- L'élimination des goûts et les odeurs et l'oxydation de la matière organique.

1-3- Débourbage :

C'est une opération de pré-décantation des matières en suspension (concentration = 2 g /l) pour éviter d'engorger les ouvrages de pompage et de traitement par les boues.

- Débourbeurs : formes rectangulaires ou circulaires avec ou sans racleurs de boues.
- Pour une concentration supérieure à 3 g/l, on ajoute des réactifs pour améliorer le rendement du décanteur.



Figure 4: Débourbeur

1-4- Aération :

L'aération de l'eau consiste à mettre en contact de façon optimale de l'eau et de l'air dans le but est l'élimination des gaz en excès, la lutte contre les odeurs indésirables et l'oxydation de certains composés réducteurs.



Figure 5: Cascade d'aération

2) Traitement :

Surveillée et protégée, l'eau brute à l'état actuel ne représente encore qu'une matière première, qui va être transformée, élaborée, pour devenir conforme aux normes définies par la réglementation. Les caractéristiques des eaux brutes sont extrêmement variées. Il existe un certain nombre de procédés élémentaires destinés à les traiter.

Le traitement complet de l'eau brute comprend généralement 5 étapes :

2-1- Flocculation –coagulation :

La coagulation réside dans la formation des particules aisément séparables de l'eau au niveau de la décantation et de la filtration. Elle vise les particules colloïdales et les suspensions fines, mais également des substances dissoutes ou de grosses molécules hydrophiles en dispersion stable.

Elle consiste à introduire dans l'eau un produit capable de donner naissance à un précipité volumineux très absorbant qui est en général un hydrate métallique.

Les réactifs coagulants les plus communément employés sont :

- Le sulfate d'alumine : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
- Le chlore ferrique : $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- Le sulfate ferreux oxydé par le chlore : $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Le polymère comme adjuvant de la floculation.

Cette opération se fait au niveau d'un répartiteur qui fait répartir l'eau brute sur les six décanteurs.

2-2- Décantation :

La décantation est une phase très importante dans le cycle de traitement de l'eau de surface, elle doit permettre d'éliminer à l'aide d'une floculation préalable toutes les matières colloïdales donnant à l'eau brute son aspect trouble.



Figure 6: Décanteur

La décantation dépend de nombreux facteurs :

- La dimension, la forme et le poids du floc.
- La viscosité et par conséquent la température de l'eau.
- La vitesse de débordement.
- La vitesse d'écoulement.
- La profondeur du bassin.

Ces décanteurs sont conçus pour traiter une eau brute ayant un taux de MES inférieure à 2 g/l. L'eau décantée est acheminée vers les filtres par l'intermédiaire des goulottes.

2-3- Filtration :

C'est une opération qui permet d'éliminer les matières en suspension non décantées en les faisant passer dans des filtres à sable pour aboutir à une eau pure. Ce traitement doit réduire la turbidité de l'eau à des valeurs de préférences inférieures à 0,5 NTU.

Les filtres de la station de traitement sont des filtres à sable d'une hauteur de 1 mètre.

Chaque filtre est équipé d'un pupitre de lavage.

Leur lavage se fait en automatique ou en manuel après chaque colmatage en trois phases :

- 1 – phase air pendant 3 mn
- 2 – phase air+ eau dite de barbotage pendant 10 mn
- 3 – phase eau dite de rinçage pendant 15 mn.



Figure 7: filtre à sable

2-4- Désinfection :

C'est une stérilisation par chloration qui permet de détruire ou d'éliminer les micro-organismes pathogènes susceptibles de transmettre des maladies et de porter atteinte à la santé des consommateurs.

V. Traitement par filtration:

1) Historique :

C'est la plus appliquée dans les opérations de traitement de l'eau, qu'elle soit à usage industriel ou domestique.

C'est en 1804 qu'un écossais, du nom de John Gibb, a conçu et construit pour la première fois un filtre à sable expérimental pour sa blanchisserie de Daisley. Produisant plus d'eau "traitée" qu'il n'en avait besoin, il commença à en vendre le surplus à la population. Par la suite, lui-même et d'autres techniciens perfectionnèrent cette méthode, à tel point qu'en 1829 fut construite pour la première fois une installation de filtration de l'eau, destinée à la consommation de la ville de Londres, sous la direction d'un nommé James Simpson. Depuis, cette méthode de traitement commença à se proliférer dans le monde industrialisé de l'Europe de l'époque. Elle a prouvé son efficacité par suite de nombreuses épidémies qui ont ravagé certaines populations consommant de l'eau non filtrée et épargnant pendant la même période d'autres populations consommant la même eau, mais filtrée. C'est le cas de l'épidémie de choléra de 1892, dont près de la moitié de la population de Hambourg a été victime,

consommant les eaux de l'Elbe à l'état brut, et dont est sortie indemne la population d'Altona, procédant à la filtration de ces eaux.

Des suites des découvertes de Pasteur et autres, des examens biologiques sur plusieurs échantillons ont donné des résultats confirmant l'amélioration de la qualité bactériologique de l'eau après filtration. Cette technique fut alors largement adoptée comme moyen de "traiter" l'eau avant consommation, et gagna du terrain tout en s'améliorant au fil du temps grâce aux progrès techniques. Il s'en est suivi la naissance des filtres rapides et la transformation dans la plupart des cas de la filtration seulement en une étape du traitement de l'eau après la décantation et d'autres stades de pré-traitement et avant la stérilisation et d'autres stades de post-traitement.

De nos jours encore, la filtration demeure une étape indispensable dans une chaîne de traitement d'eau potable.

2) Différents types de filtres :

La filtration 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. Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent en surface et dans la masse filtrante. Il faut donc nettoyer ce milieu de façon régulière. Un filtre aura donc des cycles de filtration d'autant plus longs que les traitements préalables auront été efficaces [6].

2-1- Filtres lents à sable:

Ce sont des systèmes physiques efficaces très facile à mettre en place. Ils possèdent l'avantage majeur de ne pas utiliser des produits chimiques. La mise en œuvre de la filtration lente permet d'atteindre de bons résultats comme il est rapporté par [7] dont l'élimination de Cu, Cr, Pb et Cd a atteint 99.6, 97.2, 100 et 96,6% respectivement. En plus, ils sont assez efficaces pour le traitement des matières en suspension et inorganiques, ainsi que pour la réduction des populations bactériennes.

Ils sont utilisés pour les eaux peu turbides, ne nécessitent pas un pré-traitement autre qu'une simple décantation sans coagulation-floculation. Ils ne nécessitent pas un système de lavage mais uniquement un pelage de la couche supérieure.

2-2- Filtres rapides:

Comme les filtres lents, les filtres rapides sont constitués de bassins à ciel ouvert, contenant le sable filtrant. Les filtres rapides reçoivent généralement de l'eau pré-traitée provenant de décanteurs pour achever l'opération entamée par ces derniers. Ils jouent alors un rôle essentiellement de tamisage éliminant les flots résiduels.

Ce sont les filtres les plus utilisés, le lit filtrant est formé généralement d'une couche de sable où les grains les plus fins se trouvent à la partie supérieure [8].

L'eau passe en 1er lieu à travers les couches de fines particules puis progressivement à travers les particules de plus en larges dimensions au fond du lit, avec le résultat que la majorité des particules sont retenues à la surface.

Le lavage de ces filtres rapides se fait en sens inverse de la filtration initiale en utilisant l'eau propre et l'air sur pressé.

2-3- Filtration sur charbon actif:

Le charbon actif est utilisé sous forme de filtre, et ses performances dépendent de la profondeur du filtre ainsi que du taux d'échange. L'adhésion des matières à filtrer sur la surface solide est réalisée sans réaction chimique. Le charbon actif est le composé les plus adsorbant connu actuellement, qui peut être régénéré. Ses origines peuvent être minérales ou végétales. L'argent et le mercure sont totalement éliminés de l'eau à traiter par le charbon actif [9].

Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre avec des pores de quelques micromètres de dimension, soit sous forme de grain (tableau 1).

Tableau 1: Les caractéristiques du charbon actif [10]

Caractéristique	Description
Diamètre Effectif	Poudre :8-9 μm ;granules :0,55-1,05 mm. Augmentation du taux d'adsorption et des pertes de charge lorsque la grosseur des grains diminue.
Surface d'adsorption	De 850 à 1500 m ² /g. Plus cette surface est grande plus le charbon activé est efficace.
Nombre de mélasse	Il est associé à la capacité du charbon activé d'absorber les impuretés de masses moléculaires élevées.
Densité brute	Evolution du volume de charbon activé utilisé.

2-4- Osmose inverse :

L'osmose inverse (figure 8) peut être performante pour éliminer les métaux lourds en faible concentration, bien que dans des conditions aérobies, les oxydes métalliques peuvent boucher les membranes. De plus, l'osmose inverse est une méthode très couteuse, ainsi elle est utilisée pour éliminer le sel des eaux de mer [11]

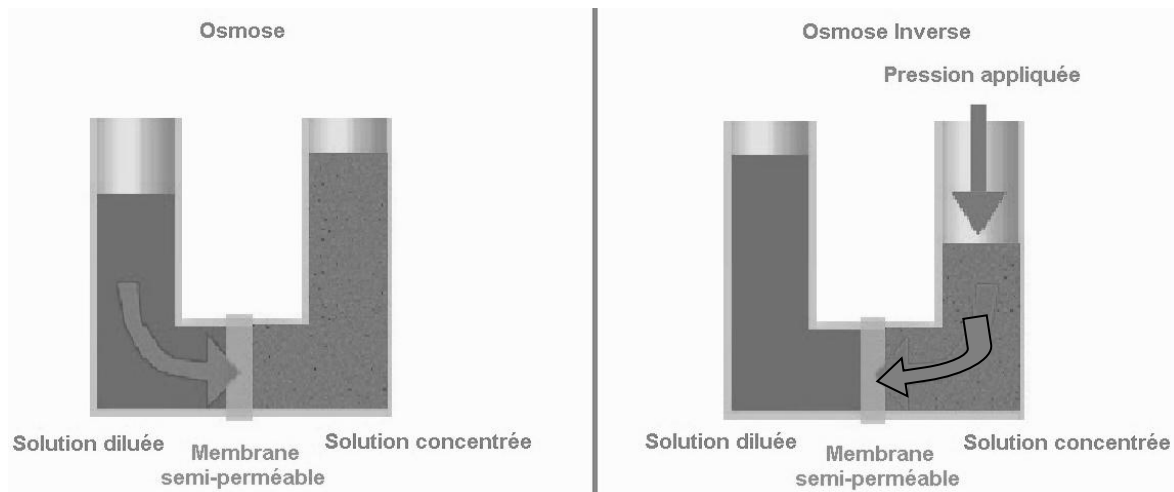


Figure 8: Principe d'osmose inverse

Chapitre II:
Matériels et
méthodes



I. Echantillonnage :

1) Principe :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donné. L'échantillon doit être homogène, représentatif et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau.

Les échantillons ont été prélevés au niveau de captage de la station de traitement de la ville de Targuist. Un relevé hebdomadaire des échantillons d'eau est effectué durant toute la période de stage, soit au total de 14 échantillons, entre 16 février 2015 et 26 Mai 2015. Selon les recommandations de l'OMS, nous avons prélevé l'eau dans des flacons en polyéthylène, un volume de 5 litres destinés aux analyses physico-chimiques, à partir de la résurgence principale, et d'une façon aseptique dans des flacons en verre stériles pour l'analyse des paramètres bactériologiques, conditionnés et conservés avant d'être réceptionnés au laboratoire pour l'analyse.



Figure 9: Echantillonnage en période d'étiage



Figure 10: Echantillonnage en période de crue

II. Préparation des colonnes :

1) Description de la colonne :

Une colonne de 12 cm de diamètre et de 60 cm de hauteur, avec deux membranes de porosité différentes sur laquelle le sable est déposé (1^{ère} colonne), et le sable et le charbon actif (2^{ème} colonne).



Figure 11: Description des colonnes de filtration

2) Colonne de sable :

Les grains de sable forment une couche qui est traversée par l'eau et va arrêter par simple effet de tamisage des particules les plus grosses entre les grains. Des particules plus petites seront également retenues par effet de paroi sur la surface des grains au fur et à mesure du cheminement de l'eau dans le filtre.

La filtration sera monocouche, et sur sable homogène, dont la granulométrie est de 0,95 mm. Le coefficient d'uniformité du sable ne doit pas dépasser la valeur de 1,6. Nous avons garnie la première colonne avec une quantité du sable lavé plusieurs fois avec de l'eau. La figure14 décrit les différentes caractéristiques de cette colonne.

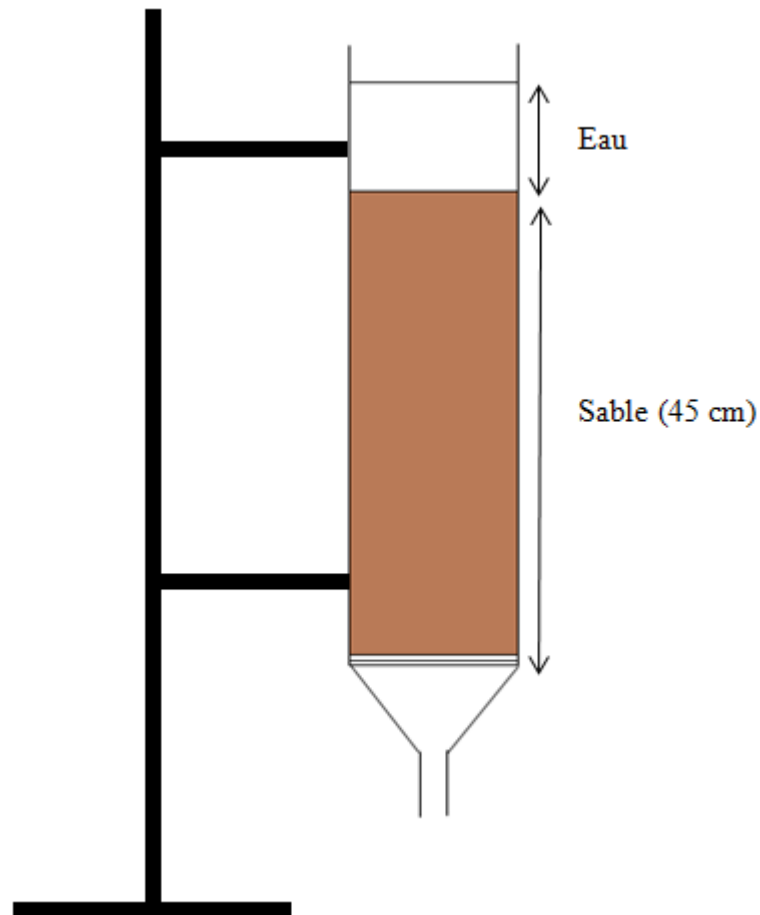


Figure 12: Caractéristiques de la colonne de sable

3) Colonne de sable et charbon actif :

Le charbon actif est connu par sa capacité épuratrice, alors il est utilisé seulement comme témoin pour le comparer avec les autres supports étudiés, dont les granules sont très fins et la surface d'échange est importante (tableau 4).

Le charbon est composé d'une structure silicoalumineuse. Nous avons utilisé le charbon actif poudre dont les granules sont très fins et la surface d'échange est importante.

Nous avons garnie la deuxième colonne (figure 14) avec une quantité du charbon actif poudre, d'où la figure 13 décrit les différentes caractéristiques de cette colonne.

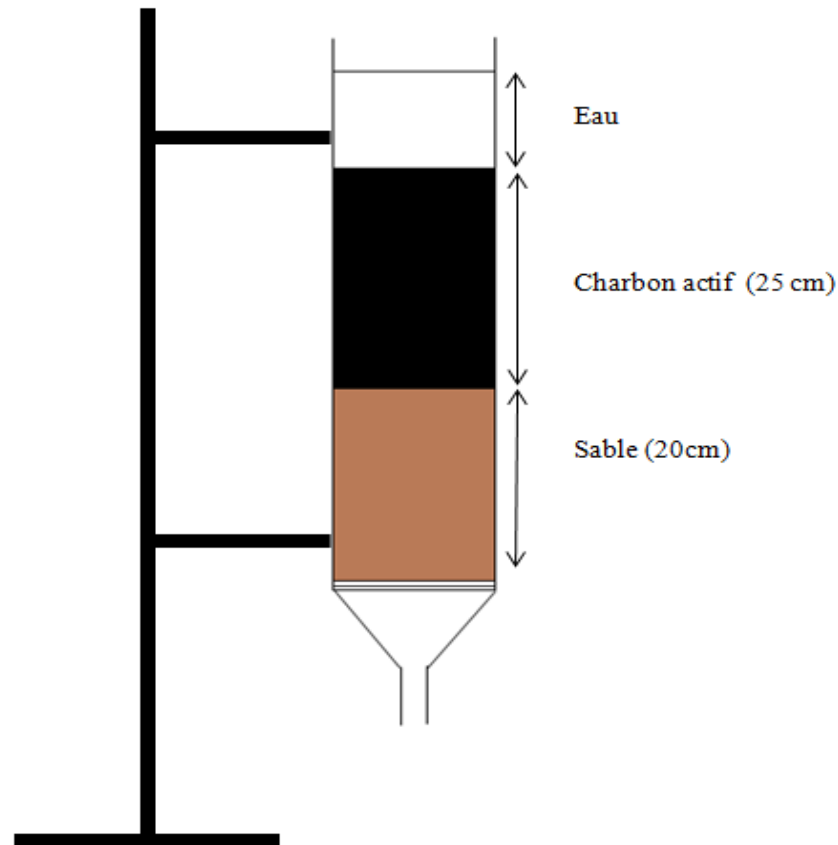


Figure 13: Caractéristiques de la colonne de sable et charbon actif

4) Fonctionnement des colonnes :

Une fois les deux colonnes sont établis, nous avons pulvérisé l'effluent brute chaque jour. Tous les jours, les filtrats de chaque support sont recueillis et analysés afin de déterminer la performance de dépollution de chaque support.

VI. Méthodes d'analyses :

Les paramètres physicochimiques et bactériologiques ont été analysés sur l'eau brute et le filtrat de chacune des deux colonnes. Les mesures de turbidité par un turbidimètre, la température et le pH par un pH-mètre, la conductivité électrique et l'oxygène dissous ont été réalisées à l'aide d'un analyseur multi-paramètres conductivité /Oxygène dissous. Le fer le

manganèse et l'ammonium sont mesurés par kits. Les méthodes utilisées sont : la volumétrie pour l'oxydabilité, les bicarbonates, les chlorures, le calcium et la dureté totale. La spectrophotométrie d'absorption moléculaire pour les nitrates, les nitrites et les orthophosphates.

1) Paramètres physico-chimiques :

3-3- Turbidité :

Ce test permet de déterminer la turbidité de l'eau. Elle est due à la présence des matières en suspension finement divisées (argile, limon, micro-organismes). Une turbidité élevée donne une mauvaise apparence à l'eau traitée et peut nuire à la santé. L'unité c'est N.T.U.

La turbidité est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Elle est mesurée par un turbidimètre.



Figure 14 : Turbidimètre

1-1- Température :

La température joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, elle conditionne les équilibres de dissociations.

Elle agit sur la conductivité électrique et le pH, elle influe sur la densité, la viscosité, la tension de vapeur saturante à la surface, la solubilité de gaz, les réactions chimiques et biochimiques, l'effet catalytique des enzymes et la teneur en oxygène dissous.

La température doit être mesurée in situ. Le pH-mètre possède une Sonde de température intégrée.

1-2- Oxygène dissous :

L'oxygène dissous dans l'eau est mesurable par méthode électrochimique à l'aide d'un oxymètre.

1-3- Conductivité électrique:

La conductivité électrique d'une eau est la conductance (inverse de la résistance) d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques, elle est fonction de la concentration totale en ions, de leur mobilité, de leur valence, de leur concentration relative et de la température. L'unité de la conductivité électrique est le ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

La mesure de la conductivité est basée sur le principe du pont de whentstone qui mesure la résistance R (en ohms), d'une colonne d'eau de section S (en cm^2) et de longueur l (en centimètre) entre deux électrodes en platine disposées parallèlement.



Figure 15: Conductimètre – Oxymètre

1-4- pH :

Le pH est un facteur important pour le traitement de l'eau, il donne une idée sur l'acidité ou la basicité d'une solution, il est déterminé par les quantités d'ions H^+ ou OH^- présentes dans la solution.

$$\text{PH} = -\log [\text{H}^+]$$

Le pH est mesuré à l'aide d'un appareil appelé le pH-mètre.



Figure 16: pH-mètre

1-5- Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet:

Les valeurs relatives du TA (Titre alcalimétrique) et TAC (Titre alcalimétrique complet) permettent de connaître les doses d'hydroxydes, de carbonates ou de bicarbonates.

➤ Mode opératoire :

TA : A 100 ml d'échantillon on ajoute quelques gouttes de phénolphthaléine :

Si la coloration est rose (TA # 0), on dose alors à l'aide du HCL (N /10) jusqu'à décoloration. S'il n'y a pas de coloration rose et à un $\text{pH} \leq 8.3$ (TA=0) on passe à TAC.

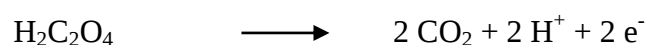
TAC : A 100 ml de l'échantillon, on ajoute trois gouttes de méthyle-orange (Hélianthine), il se développe en une coloration jaune qui sera dosé par HCL (N /10) jusqu'au virage jaune orangée. Pour l'eau traitée, on ajoute avant la phénolphthaléine deux gouttes de Na_2SO_3 pour éliminer le chlore [12].

1-6- Oxydabilité :

L'indice permanganate d'une eau correspond à la quantité d'oxygène exprimé en mg/l cédée par l'ion permanganate (MnO_4^-) et consommé par les matières oxydables contenues dans un litre d'eau dans les conditions définies par la présence norme :

Principe : Les matières oxydables contenues dans l'eau à analyser sont oxydées par un excès de permanganate de potassium en milieu acide et à chaud pendant 13 min, ensuite le permanganate de potassium (KMnO_4) est réduit par l'acide oxalique en excès, et on effectue un dosage en retour de cet excès par le permanganate de potassium (KMnO_4).

On peut avoir les réactions suivantes :



La réaction de dosage est :



➤ Mode Opératoire :

Dans un ballon on met 100 ml d'eau à analyser plus 2 ml de l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré plus 10 ml de KMnO_4 (N/100). Puis le ballon est mis au bain marie à 100 °C pendant 13 mn, après on ajoute 1 ml d'acide oxalique ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) (N/10) et on titre avec le KMnO_4 (N/100) jusqu'à l'apparition d'une faible teinte rose [13].

1-7- Titre hydrométrique:

Le titre hydrométrique (T.H) ou la dureté de l'eau, est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium. La dureté s'exprime en mg/L ou en degré français (symbole : °F). Le TH est mesuré par complexation du calcium et magnésium avec le sel disodique et de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) en présence d'un indicateur coloré [12].

1-8- Matière en suspension (MES) :

✓ Principe :

Un échantillon représentatif est filtré à travers une membrane filtrante en fibre de verre ayant une porosité nominale de 1,5 µm, préalablement rincée et séchée à 105°C. Les matières retenues sur le filtre sont séchées à 105°C puis pesées avec le filtre. La masse des matières en suspension est obtenue en faisant la différence entre la masse du filtre incluant les résidus séchés et la masse initiale du filtre, tout en tenant compte du volume filtré [13].

1-9- Chlorure :

Les chlorures sont dosés en milieu acide avec une solution de nitrate mercurique en présence d'un indicateur de pH et d'acide nitrique.

A 100 ml d'échantillon à analyser, on ajoute 5 gouttes d'indicateur de pH et des gouttes en excès d'acide nitrique HNO_3 N/3 jusqu'à l'obtention d'une coloration jaune foncé. Puis, on fait le dosage avec une solution de HgNO_3 (N/10) [13].

1-10- Sulfate :

L'ion sulfate est précipité dans l'acide chlorhydrique contenant de chlorure de baryum d'une manière telle qu'il se forme des cristaux de sulfate de baryum de taille uniforme. L'absorbance de la suspension de sulfate de baryum est mesurée au néphélométrie, ou par transmission au spectromètre.

➤ Mode opératoire :

On met 100 ml d'eau à analyser dans un erlenmeyer de 250 ml, avec 5 ml d'acide chlorhydrique 5 ml, tout en maintenant l'agitation de 0,5 g de cristaux de chlorures de baryum pendant exactement 1 minute à une vitesse constante et on remplit immédiatement la cellule du turbidimètre afin de mesurer la turbidité. La turbidité obtenue donne la concentration SO_4 , dans la solution grâce à une courbe d'étalonnage faite à partir de la solution standard des sulfates [13].

1-11- Manganèse, Fer, Ammonium :

Le manganèse, le fer total et l'ammonium sont déterminés par kit.

1-12- Nitrate :

Le principe de dosage des nitrites se base sur la formation d'un complexe paranitro-salicylate de sodium en présence du salicylate de sodium. Ce complexe est coloré en jaune et absorbe la lumière à 435 nm.

1-13- Nitrites :

Le dosage des nitrites est réalisé avec le réactif de Zambelli, avec l'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique, en présence d'ion ammonium, de phénol et les ions NO_2^- , il y a formation d'un complexe coloré jaune, d'où l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites. La lecture au spectrophotomètre est effectuée à 415 nm.

1-14- Ortho phosphates :

En milieu acide et en présence du molybdate d'ammonium, les orthophosphates donnent un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage spectrophotométrique à une longueur d'onde de 882 nm.

2) Paramètres bactériologiques :

2-1- Pour l'eau brute:

Pour l'eau brute, les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux sont dénombrées sur un milieu de culture liquide.

On utilise la méthode MPN (the Most Probabl Number), ou NPP (le nombre le plus probable). Il s'agit d'une technique de dénombrement indirecte par calcul statistique après répartition de l'inoculum dans un milieu de culture liquide, et en tenant compte du nombre respectif de culture positive ou négative obtenue. Elle est applicable à toutes les eaux et en particulier les eaux riches en matières en suspension et en nombre élevé de germes, c'est le cas des eaux brutes. Cette méthode comporte deux étapes : le test présomptif et le test confirmatif.

Avantages : Parmi les avantages, il faut citer la possibilité de l'utiliser quand nous avons une présence de substances colmatantes. Dans ce type de méthode les bactéries se multiplient librement dans le milieu liquide.

Pour cela on utilise deux types de milieux de culture : Lauryl (pour la recherche des coliformes fécaux), et Roth (pour la recherche des streptocoques fécaux).

∞ Test présomptif:

↪ Principe :

Cette méthode dite : NPP, consiste à ensemencher, une série de 3 tubes contenant le milieu de culture Lauryl double et une cloche en verre, par 10 ml de l'échantillon, puis ensemencher une autre série de 3 tubes contenant le milieu de culture Lauryl simple et une cloche par tube, par 1 ml de l'échantillon, et une troisième série contenant Lauryl simple et une cloche, par 0,1 ml de l'échantillon. La même chose pour le milieu de culture Roth double et simple, mais sans mettre les cloches, puis on incube dans l'étuve à 44°C pendant 48heures.

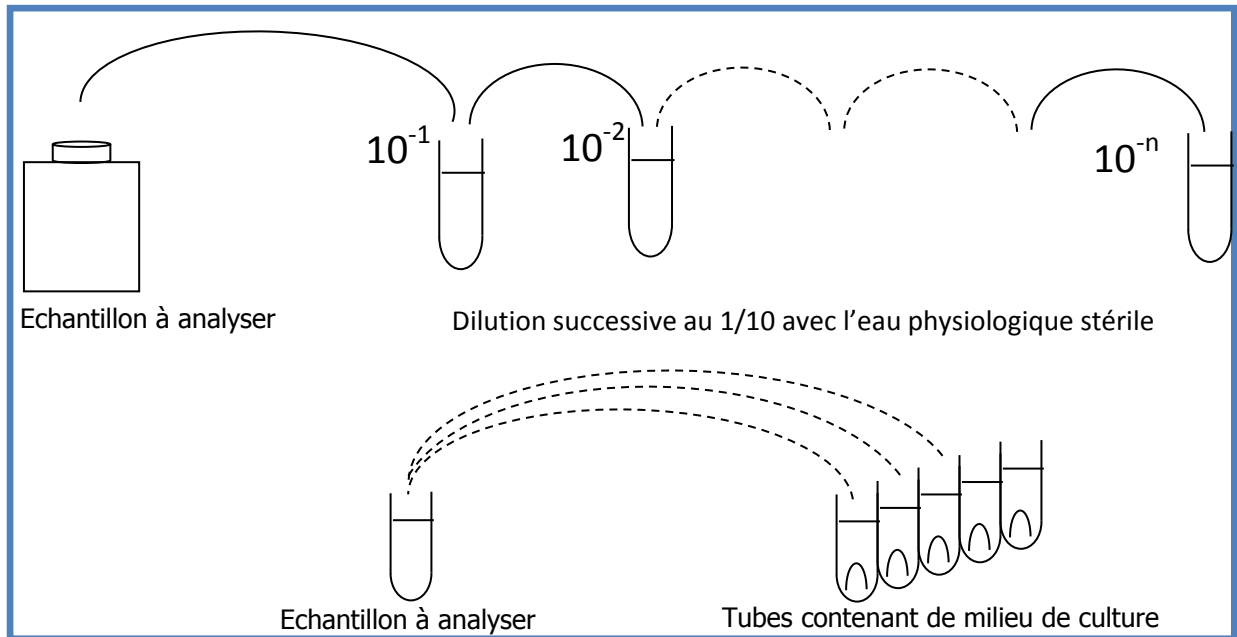


Figure 17: schéma explicatif de la méthode du nombre le plus probable (Test présomptif)

↳ Lecture des résultats :

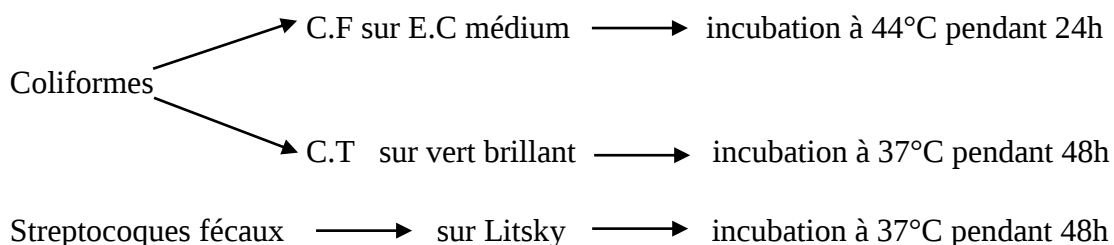
Sont comptés positifs les tubes caractérisés par un développement bactérien important (trouble) et un dégagement de gaz.

S'il y a présence de gaz+ trouble → Coliformes

S'il y a présence de trouble → Streptocoques fécaux

∞ Test confirmatif (repiquage) :

On agite avec précaution les tubes positifs du test présomptif, avec une anse stérile ou une pipette pasteur stérile et on transfère une population bactérienne prélevée des tubes au bouillon lactosé bilié au vert brillant, ECM et Litsky selon la bactérie qu'on veut la tester.



↳ Lecture des résultats :

Les résultats d'analyse pris en considération sont ceux du test confirmatif, la table de Mac Crady (voir annexe) nous donne le NPP pour les dilutions 10 ml, 1 ml et 0,1 ml. Les résultats sont exprimés en nombre de germe pour 100 ml d'eau.

2-2- Pour l'eau filtrée :

Pour l'eau filtrée, les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux sont dénombrées sur milieux de culture solide en utilisant la méthode de la membrane filtrante.

∞ Méthode de la membrane filtrante (MF) :

↳ Principe :

C'est la méthode applicable à toutes les eaux et en particulier à celles qui ne contiennent qu'une faible quantité de matière en suspension et un nombre relativement faible en germes.

Cette méthode consiste à filtrer un volume d'échantillon plus au moins grand (100 ml) d'eau à travers une membrane stérile de porosité 0,45µm. Les germes sont retenus sur la membrane. Celle-ci est alors déposée sur le milieu de culture sélectif et différentiel qui est incubé pendant 48 h à une température requise (selon la bactérie recherchée), permettant la croissance des colonies.

Avantages : cette méthode a l'avantage de ne pas donner lieu à des chocs thermique et d'être particulièrement favorable à des bactéries aérobies strictes. Elle permet aussi l'orientation du diagnostic sur la base de l'aspect, la couleur et la forme des colonies formées.

Inconvénient : un colmatage rapide de la membrane pour les eaux chargées.

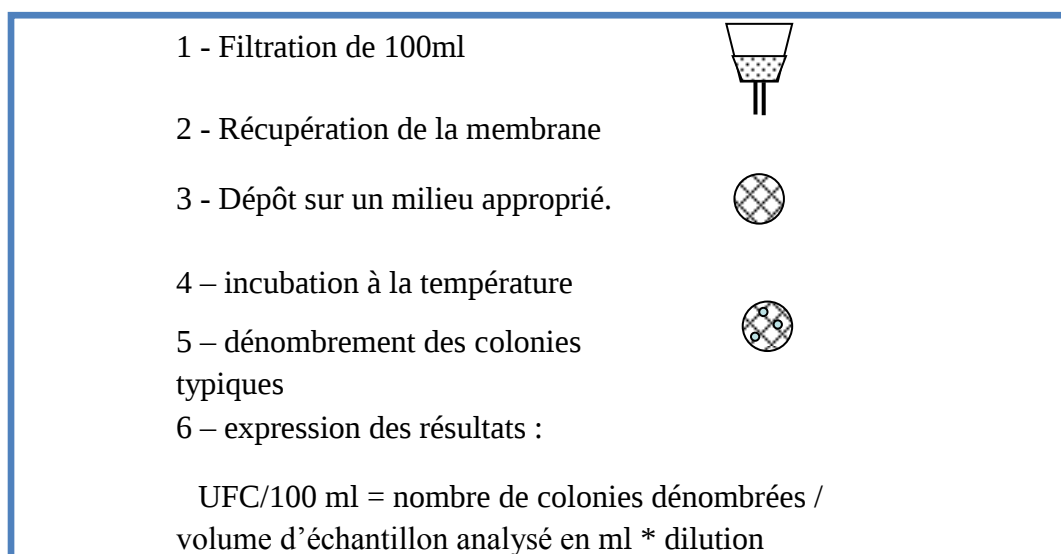


Figure 18: Schéma explicatif de la méthode de membrane filtrante

↳ **Incubation :**

- **Coliformes totaux :** Sur le milieu de culture Tergitol 7 TTC, à une température de $36 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant $21\text{h} \pm 3$ heures.
- **Coliformes fécaux (*Escherichia coli*) :** Sur le milieu de culture Tergitol 7 TTC, à une température de $44 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pendant 21 ± 3 heures.
- **Streptocoques fécaux :** Sur le milieu de culture Slanetz, à une température de $36 \pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 24 - 48 heures.

↳ **Lecture des résultats :**

- Coliformes (CT, CF) $\longrightarrow$ Colonies jaunes ou jaunes orangés avec halo jaune.
- Streptocoques fécaux $\longrightarrow$ Colonies rouges, violettes ou roses.

Alors pour le dénombrement de la flore mésophile aérobie totale dans l'eau brute et traitée, nous avons utilisé la méthode d'incorporation en gélose nutritive en utilisant des dilutions pour l'eau brute.

✂ **Méthode d'incorporation en gélose nutritive :**

↳ **Principe :**

Cette méthode consiste à mélanger dans une boîte de pétri, de 90 mm de diamètre, 1 ml d'échantillon (dilué ou non) et 15ml de milieu gélosé, fondu et ramené à une température de 45°C .

Cette technique peut donc provoquer un choc thermique préjudiciable au développement des bactéries habituées à vivre dans des eaux de température basse. Elle peut par contre aider, dans certains milieux sélectifs, à la sélection de bactéries supportant aisément des températures élevées.

↳ **Incubation :**

L'échantillon est incorporé en gélose (extrait de levure), puis incubée à 37°C pendant 48 heures.

Tableau 2: Tableau résumant les analyses bactériologiques

<u>Type d'eau à analyser</u>	<u>Milieu de culture</u>	<u>Support de culture</u>	<u>Type de bactérie recherchée</u>	<u>Méthode de dénombrement</u>	<u>Durée d'incubation</u>	<u>Température d'incubation</u>
<u>Eau filtrée</u>	Tergitol	Boite de pétrie de diamètre 60 mm	Coliformes totaux	Membrane filtrante (MF)	48 heures	37°C
	Tergitol	Boite de pétrie de diamètre 60 mm	Coliformes fécaux	Membrane filtrante (MF)	24 heures	44°C
	Slanetz	Boite de pétrie de diamètre 60 mm	Streptocoques fécaux	Membrane filtrante (MF)	24 heures	37°C
	Gélose nutritive (Agar)	Boite de pétrie de diamètre 100 mm	FMAT	Incorporation en gélose	48 heures	37°C
<u>Eau brute</u>	Lauryl	Tube avec cloche	Coliformes	NPP	48 heures	37°C
	Roth	Tube	Streptocoques fécaux	NPP	48 heures	37°C
	Gélose nutritive (Agar)	Boite de pétrie de diamètre 100 mm	FMAT	Incorporation en gélose	48 heures	37°C

Chapitre III:

*Résultats et
discussions*



I. Caractéristiques de l'eau brute :

1) Paramètres physico-chimiques :

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau brute sont présentés dans le tableau 3 :

Tableau 3: Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau brute

Paramètres	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne	Norme
Turbidité (NTU)	1.5	7,5	3.65	≤ 1
Température (°C)	8	12	10	Acceptable
Oxygène dissous (mg/l)	7,22	10,94	8,89	$5 < O_2 < 8$
Oxydabilité (mg/l)	2	3,05	2,59	2
Conductivité électrique (µS/cm)	548	590	566	2700 à 20°C
pH	7,49	8,2	7,72	$6,5 < pH < 8,5$
TA (°F)	0	0	0	-----
TAC (°F)	13	15	14,5	-----
TH (°F)	24,2	26,8	25	30
MES (g/l)	0	0,5	0,1	-----
Chlorures (mg/l)	39,05	46,15	42,6	500
Sulfates (mg/l)	96,52	119,1	107,34	200
Manganèse (mg/l)	0	0,04	0,03	0,5
Fer (mg/l)	0	0	0	0,3
Ammonium (mg/l)	0,05	0,06	0,055	0,5
Nitrates (mg/l)	0,4	1,67	0,96	45
Nitrites (mg/l)	0,004	0,05	0,02	0,1
Orthophosphates (mg/l)	0,009	0,065	0,03	0,4

La turbidité est un paramètre physique très important pour le contrôle de qualité des eaux. Nous avons trouvé des valeurs très élevées au niveau du captage de la station de traitement de barrage JOUMOUA Targuist oscillant entre 1,5 NTU en Mai 2015 et 1400 NTU en Février 2015. Ces teneurs de turbidité enregistrées dépassent largement la valeur limite acceptable pour les eaux destinées à la consommation humaine qui est de 1 NTU [14].

Pendant la saison des pluies, avec le phénomène de ruissellement, les eaux de pluies apportent avec elles des boues, des débris végétaux, de cadavres d'animaux, etc. rendant ainsi l'eau du barrage très boueuse et contient des matières en suspension.

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, du régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc [15]. La mesure des teneurs en MES au niveau des échantillons prélevés au niveau du captage de la station de Targuist montre des teneurs maximales égales à 0,5 g/L. Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution.

Nous avons constaté que les valeurs de turbidité et des matières en suspension en période de crue (hiver) ont été élevées par rapport à celles de la période d'estivage. Ceci est dû à des pluies abondantes qui entraînent une très forte érosion des roches au voisinage du fleuve (lessivage des sols). Cette remarque est en accord avec plusieurs études effectuées par des chercheurs [16], [17], [18].

L'oxygène est un excellent indicateur de la qualité de l'eau. C'est un facteur clé, sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution. La solubilité de l'oxygène dans l'eau est liée à plusieurs facteurs, en particulier : la température, la pression atmosphérique et la salinité. L'oxygène dissous est aussi fonction de l'origine de l'eau. Dans notre étude, l'évolution saisonnière de l'oxygène dissous montre des concentrations plus élevées en période humide que celles en période sèche.

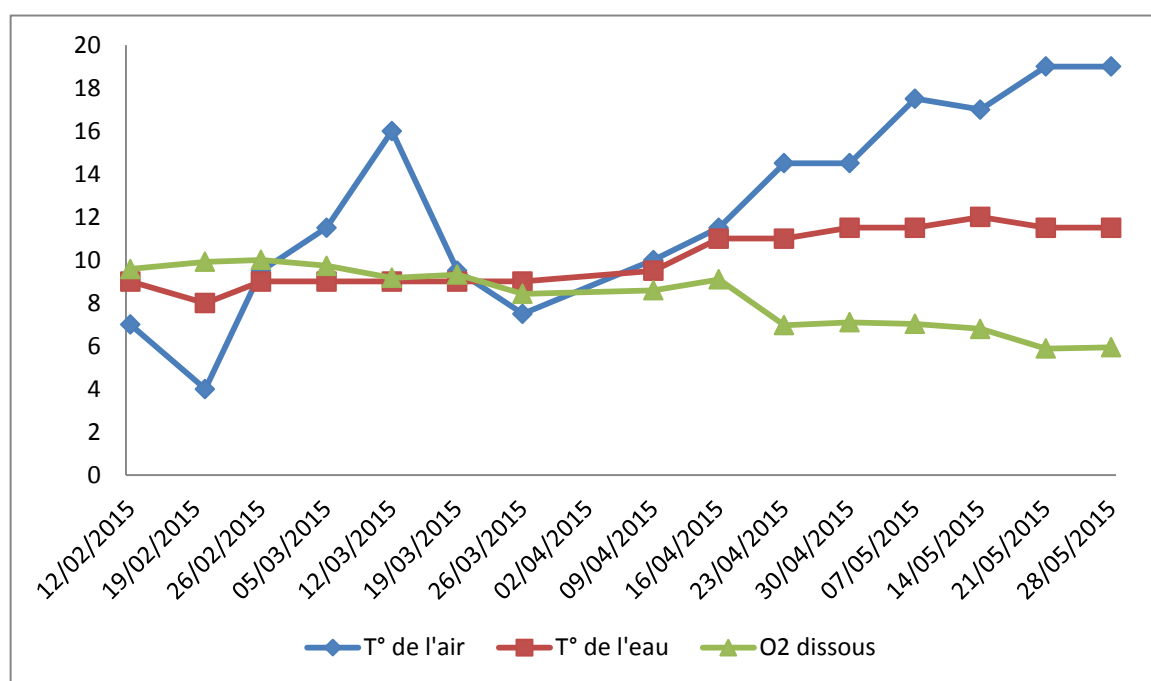


Figure 19: Evolution de l'effet de la température sur la solubilité de l'oxygène dissous

En effet, les teneurs en oxygène dissous varient entre 7,22 mg/l et 10,94 mg/l avec une valeur moyenne de 8,89mg/l (figure 20) et qui sont des valeurs dépassent celles des caractéristiques des eaux destinées à la consommation humaine (5 à 8mg/l). Ceci est essentiellement dû à la diminution de la température de l'eau ; car une eau froide contient une grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude [19]. En outre, les fortes vitesses des vents engendrent un brassage continu de la masse d'eau et par conséquent un enrichissement de la phase dissoute en oxygène dissous pendant la saison hivernale. Durant la saison estivale, nous avons remarqué une diminution de l'oxygène dissous.

L'oxydabilité est un paramètre important permettant de caractériser la pollution globale d'une eau par des composés organiques. Nous avons remarqué que les teneurs d'oxydabilité de l'eau brute sont comprises entre 2 mg/l et 3,05 mg/l, et qui sont hors normes Marocaines de l'eau d'alimentation humaine (2 mg/l). Les concentrations enregistrées en période humide sont inférieurs à celles de la saison sèche. Ces concentrations peuvent être considérées comme une forme de pollution qui nécessite un traitement.

La conductivité électrique est l'expression de la charge dissoute, elle permet d'évaluer la minéralisation globale par la quantité d'ions en solution. La conductivité est également en fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Pour ce paramètre, les valeurs disponibles ne présentent pas de teneurs assez importantes, et oscillent entre 548 $\mu\text{S/cm}$ et 590 $\mu\text{S/cm}$ ce qui place l'eau brute de la station dans la grille excellente en se référant à la norme Marocaine fixée à 2700 $\mu\text{S/cm}$.

Le pH est un paramètre important, car il donne une idée sur la concentration du CO_2 dissous. Il permet d'évaluer indirectement l'agressivité chimique des eaux [20]. Les valeurs obtenues révèlent que le pH est légèrement neutre à alcalin ; elles varient de 7,49 en 8,2 avec une valeur moyenne (7,72) caractéristique des eaux où la vie se développe de manière optimale.

Le titre alcalimétrique complet (TAC) dans l'eau est dû essentiellement à la présence des ions hydrogénobicarbonates (HCO_3^-). Les résultats d'analyses de l'eau brute montrent que la teneur moyenne en bicarbonates est de 14,5°F.

La dureté totale (TH) de l'eau est due aux ions métalliques dissous polyvalent. Une valeur trop faible entraîne la corrosion, une valeur trop élevée entraîne l'entartrage. Le TH des

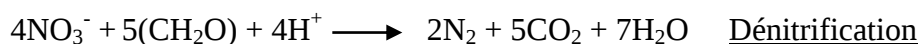
échantillons d'eau brute varie entre 24,2°F et 26,8°F. Durant toute la période d'étude, la TH de l'eau brute est inférieure à la norme Marocaine qui est de 30°F.

L'ion sulfate résulte de la combinaison du soufre à l'oxygène. Il existe à l'état naturel dans certains minéraux tel le gypse et la baryte. Les teneurs moyennes oscillent entre 96,52 et 1119,1 mg/l qui ne dépassent pas la norme Marocaine fixée à 200 mg/l.

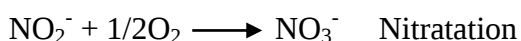
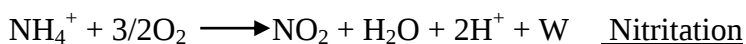
Les chlorures sont largement répandus dans la nature, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils représentent environ 0,05 % de la lithosphère [22]. Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Les valeurs moyennes en chlorures évoluent de la même manière que la conductivité électrique pour la quasi-totalité des points de mesure, les concentrations obtenues oscillent entre 39,05 mg/l et 46,15mg. Ces teneurs restent largement inférieures aux normes Marocaines fixées à 500 mg/l pour l'eau d'alimentation humaine. Ce qui permet de classer ces eaux dans la grille excellente des eaux de surface.

La teneur en fer total est nulle, aussi pour le manganèse et l'ammonium qui sont des teneurs faibles avec une valeur moyenne respectivement 0,04 mg/l et 0,055 mg/l, et qui sont des valeurs inférieures à la norme Marocaine.

Les concentrations moyennes calculées en nitrates et en nitrites au cours de la période d'étude sont très faibles avec une valeur moyenne respectivement 0,96 mg/l et 0,05 mg/l ; et qui sont largement inférieures à la norme Marocaine de l'eau d'alimentation humaine fixée à 45 mg/l pour les nitrates et 0,1 mg/l pour les nitrites. La présence de concentrations plus faibles de nitrate dans les eaux de surface est attribuable à la dilution par le ruissellement, à l'absorption par les plantes et aux processus de dénitrification. Cela peut être expliqué ainsi par l'absence des activités humaines.



Aussi on remarque que la concentration en nitrate (NO_3^-) est supérieure à celle de nitrite (NO_2^-) et d'ammonium (NH_4^+), qui pourrait être due à la nitrification :



Ces réactions sont effectuées par des bactéries nitreuses et nitriques.

Les teneurs dans l'eau brute en orthophosphates sont très faibles et sont au-dessous du seuil tolérable par la norme Marocaine et qui est de 0,4 mg/l. les eaux de surfaces contiennent très peu de phosphates en absence d'intervention humaine. La teneur naturelle en PO_4^{3-} des cours d'eau est inférieure à 0,025 mg/l qui dépend principalement de la nature du substratum géologique [21].

2) Paramètres bactériologiques:

Les résultats des analyses bactériologiques de l'eau brute au niveau du captage de de la station de traitement Targuist sont présentés dans le tableau 4 :

Tableau 4: Résultats des analyses bactériologiques de l'eau brute

Paramètres	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne	Norme (VMA)
FMAT (UFC/ml)	$1,7 \cdot 10^2$	$1,65 \cdot 10^3$	$8,1 \cdot 10^2$	20
Coliformes fécaux (CF/100 ml)	4	43	14	0
Coliformes totaux (CT/100 ml)	9	93	64	0
Streptocoques fécaux (St/100 ml)	0	23	6,1	0

Pour tous les échantillons d'eau brute analysés tout au long de la période de stage, l'abondance de la flore mésophile aérobie totale, les coliformes totaux et fécaux et les streptocoques fécaux sont largement supérieure à la norme Marocaine.

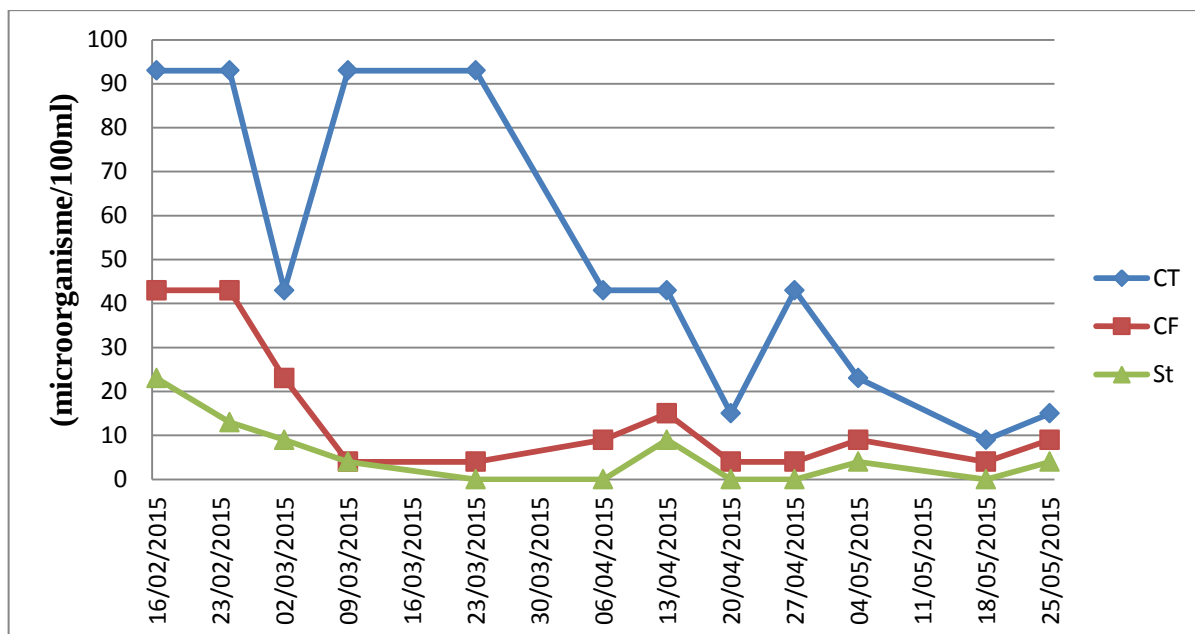


Figure 20: Evolution des paramètres bactériologiques de l'eau brute

CT : Coliformes totaux

CF : Coliformes fécaux

St : Streptocoques fécaux

Nous remarquons que le nombre de bactéries augmente considérablement en période de crue (Figures 21). Les crues jouent un rôle déterminant dans le processus de contamination. La quantité de micro-organismes présents dans les eaux augmente avec la pluviométrie, bien qu'aucune étude n'ait, jusqu'à présent, pu établir une simple loi modélisant formellement ces deux paramètres [23]. Le lessivage des sols par les eaux de ruissellement peut être néanmoins une raison principale pour la mobilisation des biomasses des sols.

D'après la caractérisation physico-chimique, et microbiologique de l'effluent brute au niveau du captage de la station de traitement du barrage Joumoua de la ville Targuist, Nous avons constaté que cet effluent répond aux normes en termes de conductivité électrique, du pH, des orthophosphates, des chlorures, des sulfates, de manganèse, de fer, d'ammonium et des nitrates. Mais il ne répond pas aux normes de point de vue Turbidité, Oxygène dissous, Oxydabilité, nitrites et paramètres bactériologique qui ont des concentrations très élevées. D'où vient la nécessité d'un traitement pour éviter tous les risques sanitaires.

II. Caractéristiques de l'eau filtrée :

1) Filtration sur sable :

1-1- Paramètres physico-chimiques:

Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau filtrée sur sable sont présentés dans le tableau 5 :

Tableau 5: Résultats d'analyses physicochimiques de l'eau filtrée sur sable

Paramètres	Valeur moyenne d'eau brute	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne	Norme (VMA)	Taux d'abattement
Turbidité (NTU)	3,65	0,3	6,85	0,69	≤ 1	81%
MES (g/l)	0,1	0	0	0	—	100%
Température (°C)	10	8,2	14	12,3	Acceptable	—
Oxygène dissous (mg/l)	8,89	8,28	10,39	9,34	$5 < O_2 < 8$	—
Oxydabilité (mg/l)	2,59	0,56	2	1,5	2	42%
Conductivité électrique ($\mu S/cm$)	566	560	605	577	2700 à 20°C	—
pH	7,72	7,23	7,87	7,64	$6,5 < pH < 8,5$	—
TA (°F)	0	0	0	0		—
TAC (°F)	14,15	13,9	14,33	14,09		—
TH (°F)	25	24,4	26,9	25,1	30	—
Chlorures (mg/l)	42,6	39,18	46,24	42,87	500	—
Sulfates (mg/l)	107,34	86,84	126,55	111,64	200	—
Manganèse (mg/l)	0,03	0	0,02	0	0,5	100%
Fer (mg/l)	0	0	0	0	0,3	
Ammonium (mg/l)	0,055	0	< 0,05	0	0,5	100%
Nitrates (mg/l)	0,961	0,372	1,221	0,086	45	91%
Nitrites (mg/l)	0,02	0,001	0,016	0,006	0,1	70%
Orthophosphates (mg/l)	0,03	0	0,03	0,012	0,4	60%

D'après les valeurs mesurées des analyses physico-chimiques des différents échantillons des filtrats, et leurs comparaisons avec les normes Marocaines des eaux potables, Nous constatons que :

La température de l'eau filtrée varie entre 8,2 °C et 14 °C avec une valeur moyenne de 12,3 °C.

La turbidité de l'eau varie de 0,3 à 1,2 NTU avec un taux d'abattement de 81%. La turbidité est pratiquement éliminée par le filtre de sable avec une teneur moyenne 0,69 NTU inférieure à la norme Marocaine (<1 NTU). Cependant, en 20 Février 2015 où la turbidité de l'eau brute atteint 1400 NTU (crue). Nous avons une réduction de turbidité avec un taux d'abattement très élevé (99%) à une valeur de 6,58 NTU qui dépasse la norme. Donc le filtre de sable n'est pas pu éliminer une très forte turbidité.

La teneur en matières en suspension des filtrats est nulle avec un taux d'abattement de 100%. Cet abattement est dû principalement à des processus physiques (filtration et sédimentation) et au tamisage au niveau du massif filtrant [24].

Les pH de tous les échantillons des filtrats oscillent entre 7,31 et 7,87 avec une teneur moyenne de 7,84. La valeur du pH est restée presque constante. Une légère baisse de 0,1 à 0,2 unités a été constatée dans certaines mesures et qui pourrait provenir d'erreurs de manipulation.

L'eau filtrée atteint des valeurs de conductivité électrique élevées par rapport à l'eau brute, avec une moyenne de 577 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Cette augmentation de la conductivité électrique après filtration est due probablement à un lessivage important des sels contenus dans le sable. La conductivité électrique moyenne de l'eau filtrée a augmenté de 11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ par rapport à l'eau brute. Cette augmentation est plutôt faible. On peut conclure qu'elles ont des propriétés électriques qui sont conformes à la norme Marocaine (<2100 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La filtration sur sable a un effet négligeable sur ce paramètre [25].

Les concentrations des filtrats en d'oxygène dissous augmentent par rapport à sa valeur initiale dans l'eau brute en moyenne de 8,89 mg/l à 9,34 mg/l qui dépassent la norme Marocaine. Cette augmentation est liée à l'oxygénation de filtre à sable, ainsi que l'effet de la température sur la solubilité de l'oxygène qui augmente en période estivale, permettant aux

bactéries aérobies de proliférer et d'assurer la minéralisation ou l'oxydation de la matière organique.

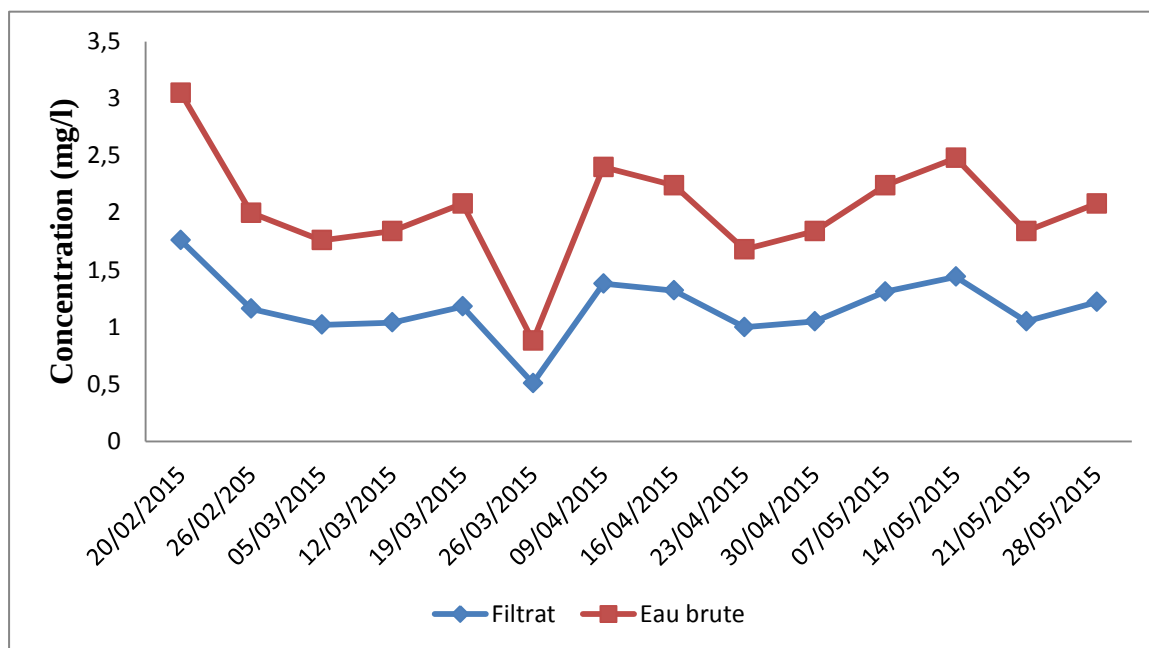


Figure 21: Evolution de l'oxydabilité de l'eau brute et filtrée en fonction du temps

Toutes les valeurs de la teneur en oxydabilité dans les filtrats ont chuté avec un taux d'abattement de 42%. Ce qui indique que l'assimilation de la matière organique par les bactéries prend place dans le filtre à sable. La réduction de l'oxydabilité fait intervenir des phénomènes physiques par rétention de la matière organique sur les sables, et par des phénomènes biologiques de dégradation de la matière organique particulaire et dissoute par la flore bactérienne.

La dureté totale et le titre alcalimétrique complet du filtrat restent quasiment identiques à celle de l'eau brute. Donc le filtre à sable n'a aucun effet sur la dureté et l'alcalinité de l'eau. Ce qui révèle les filtres lents n'éliminent pas les substances alcalines naturelles des eaux de surface qui sont en solution.

La concentration des sulfates augmente par apport à sa valeur initiale (avant filtration) de quelques milligrammes (0,4 mg/l en moyenne). Cette légère augmentation pourrait être due à la silice contenue dans le sable.

Durant tous les essais, la concentration en ions chlorures est restée presque identique entre l'eau brute et le filtrat. Ceci est probablement dû à la faible teneur en chlorures qui varie de 39,05 à 42,6 mg/l dans l'eau brute.

Le manganèse est éliminé totalement de l'eau brute par filtration sur sable, cette élimination est liée à l'aération du filtre de sable ce qui permet l'oxydation du manganèse et sa précipitation dans le sable.

L'élimination des ions NH_4^+ est efficace avec un taux d'abattement de 100% durant toutes les expériences de filtration. Ce qui montre que le filtre à sable permet une réduction complète des ions ammonium. Cela peut être L'élimination biologique de l'ammonium (nitrification) qui s'effectue en deux étapes, mettant en œuvre deux types de bactéries aérobies et autotrophes (c'est-à-dire consommatrices de carbone minéral), qui transforment l'ion ammonium en nitrites, puis en nitrates.

Les nitrates et les nitrites sont éliminés avec un taux d'abattement très important de 91% pour les nitrates et de 70% pour les nitrites. Pourtant, Nous constatons que les teneurs en nitrates sont supérieures à celles des nitrites et ammonium.

La réduction des phosphates est très importante (60%), avec des teneurs qui sont toujours inférieures à la norme Marocaine (<0,4mg/l). Ceci est dû à l'activité des microorganismes qui assimilent les orthophosphates.

1-2- Paramètres bactériologiques :

Le tableau 6 représente les résultats d'analyses bactériologiques des eaux filtrés sur sable :

Tableau 6: Résultats d'analyses bactériologiques de l'eau filtrée sur sable

Paramètres	Valeur moyenne d'eau brute	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne	Normes	Taux d'abattement
FMAT (UFC/ml)	$8,1 \cdot 10^2$	9	$4,8 \cdot 10^2$	41	20	94,9%
Coliformes fécaux (CF/100ml)	14	0	1	$\ll 1$	0	99,9%
Coliformes totaux (CF/100ml)	64	1	6	4	0	93,7%
Streptocoques fécaux (St/100ml)	6,1	0	1	$\ll 1$	0	99,9%

Nous remarquons sur ce tableau, qu'après la filtration sur sable, une réduction de la flore mésophile aérobie totale (indicateurs de pollution hygiénique) d'un taux de 94,9% avec une concentration moyenne de 41 UFC/ml qui dépasse la norme.

Les résultats des analyses effectuées sur l'eau filtrée montrent une forte diminution de la concentration en coliformes totaux depuis le début du fonctionnement de la colonne, avec un rendement de 93,7%.

Le tableau montre qu'après la filtration sur sable, la teneur en coliformes fécaux est en moyenne inférieure à 1CF/100ml avec un rendement de 99,9% allant jusqu'à 100%. En effet, ce système de filtration réduit presque totalement les coliformes fécaux quelle que soit leur concentration dans l'eau brute. C'est le cas aussi pour les streptocoques fécaux qui sont éliminés rapidement avec une moyenne légèrement inférieure à 1 St/100ml, et un taux d'abattement de 100%.

En effet, le sable a un pouvoir épurateur important que ce soit sur le plan physicochimique ou microbiologique [26]. Cependant, la teneur en TAC et de TH n'a pas été modifiée (tableau 5). De même, de point de vue bactériologique l'eau pourrait être contaminée le long de la manipulation. L'élimination des germes pourrait être due à leurs adsorptions sur le sable et sur le biofilm formé dans la colonne.

2) Filtration sur sable et charbon actif :

2-1- Paramètres physico-chimiques:

Le tableau 7 représente les résultats obtenus par filtration :

Tableau 7 : Résultats des analyses physicochimiques de l'eau filtrée sur sable et charbon actif

Paramètres	Valeur moyenne d'eau brute	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne	Norme (VMA)	Taux d'abattement
Turbidité (NTU)	3,65	0,4	11	0,98	≤ 1	73%
MES (g/l)	0,1	0	0	0	—	100%
Température (°C)	10	8,2	14	12,3	Acceptable	—
Oxygène dissous (mg/l)	8,89	8,14	10,37	9,11	$5 < O_2 < 8$	—
Oxydabilité (mg/l)	2,59	0,4	1,3	0,8	2	69%
Conductivité électrique ($\mu S/cm$)	566	509	548	527	2700 à 20°C	7%
pH	7,72	7,29	7,9	7,51	$6,5 < pH < 8,5$	—
TAC (°F)	14,5	3,25	3,75	3,62	—	75%
TH (°F)	25	16,94	18,76	17,5	30	30%
Chlorures (mg/l)	42,6	28,4	46,15	39,49	500	7%
Sulfates (mg/l)	107	89,84	111,97	111,64	200	6%
Manganèse (mg/l)	0,03	0	0,02	0	0,1	100%
Fer (mg/l)	0	0	0	0	0,3	—
Ammonium (mg/l)	0	0	$< 0,05$	$< 0,05$	0,5	100%
Nitrates (mg/l)	0,961	0,022	0,085	0,042	45	95%
Nitrites (mg/l)	0,02	0	0,005	0,002	0,1	90%
Orthophosphates (mg/l)	0,03	0	0,009	0,002	0,4	93%

D'après ces résultats, on peut dire que :

La valeur de la turbidité de l'eau filtrée est très faible par rapport à celle de l'eau brute avec un taux d'abattement de 73%. Cela révèle que le filtre à sable + charbon actif est efficace pour éliminer les matières en suspension qui présentent un taux d'abattement de 100% en période de crue (mois de Février), dont la teneur chute de 0,5 g/l à 0 g/l. Ceci est expliqué par la structure poreuse du sable et charbon actif qui pourrait retenir tous les polluants en les piégeant simplement dans ses pores par adsorption, et aussi par leurs granules fines. Plus les granules sont fines plus l'adsorption est bonne.

La conductivité électrique des filtrats de la colonne à sable et charbon actif varie entre 509 et 548 $\mu S/cm$ qui sont conformes aux normes ($< 2100 \mu S/cm$), avec un taux d'abattement faible de 7%. Cette réduction peut être expliquée par l'adsorption des sels par charbon actif.

Le pH est toujours inférieur à celui enregistré à l'entrée. Les valeurs varient autour de la neutralité avec une tendance vers l'alcalinité. Elles oscillent entre 7,47 et 7,72 avec une moyenne de 7,63, tout en respectant la norme marocaine.

Pour l'oxygène dissous les teneurs obtenues enregistrées à la sortie de la colonne sont nettement supérieures à celles de l'entrée. Ceci est dû à la présence de l'oxygène de l'eau dans le filtrat. Le faible taux d'O₂ dissous enregistré à l'entrée, caractérisant une arrivée d'eau riche en matières organiques et inorganiques dissoutes [27]. Au cours de notre expérimentation, la teneur en oxygène dissous au niveau des eaux traitées a tendance à diminuer. Ceci est lié à la faible solubilité de l'O₂ lorsque la température s'élève.

L'oxydabilité a subi un taux d'abattement important de l'ordre de 62%, ceci pourrait s'expliquer par la formation du biofilm dans la colonne.

Le manganèse est éliminé complètement de l'eau brute par oxydation.

Les valeurs de TAC et de TH diminuent avec un rendement de 75% et 30% respectivement, ce qui indique que le charbon actif adsorbe de la matière minérale de l'eau brute (Les ions hydroxydes, carbonates et hydrogénocarbonates) par sa structure riche en silice et en aluminium.

Ainsi, les teneurs en sulfates et en chlorures sont réduites dans l'eau après la traversée du filtre avec des rendements de 7% et 6% respectivement.

Concernant les nitrates, les nitrites et l'orthophosphates, le filtre de sable et charbon actif a permis d'avoir des taux d'abattement très élevés : 95 %, 90 % et 93 % pour les nitrates, les nitrites et l'orthophosphates respectivement.

Cela pourrait être expliqué par la structure silicoalumineuse du charbon. Cette structure riche en silice, en aluminium et en fer et qui sont chargés positivement, vont piéger les ions chargés négativement (NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, OH⁻, HCO₃²⁻, CO₃²⁻, SO₄²⁻, Cl⁻...) par des liaisons chimiques.

2-2- Paramètres bactériologiques :

Les résultats d'analyses bactériologiques sont représentés dans le tableau 8 :

Tableau 8: Résultats des analyses bactériologiques sur sable et charbon actif

Paramètres	Valeur moyenne d'eau brute	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur moyenne	Normes	Taux d'abattement
FMAT (UFC/ml)	8,1 10 ²	10	1,65 10 ²	81	20	90%
Coliformes fécaux (CF/100ml)	14	0	2	1	0	92%
Coliformes totaux (CF/100ml)	64	30	92	45	0	89%
Streptocoques fécaux (St/100ml)	6,1	0	2	<1	0	91%

Les résultats obtenus montrent une grande différence entre les valeurs des paramètres de l'eau brute et de l'eau filtrée. Le filtre à sable et charbon actif ont permis d'avoir des rendements importants: 90%, 92%, 89%, 91% pour la flore mésophile aérobie totale, les coliformes fécaux, les coliformes totaux et les streptocoques fécaux respectivement. Ce qui montre le pouvoir important du sable et charbon actif à éliminer les microorganismes.

On peut conclure que la combinaison des deux constituants (sable et charbon actif) a permis de bien épurer l'eau brute. Elle permet d'extraire les polluants organiques et minéraux d'une manière satisfaisante. Cependant en terme bactériologique, l'eau n'est pas purifiée complètement des micro-organismes potentiellement dangereux ce qui nécessite un traitement supplémentaire par désinfection.

III. Comparaison des taux d'abattement des deux colonnes :

Le tableau 9 et les figures 23 et 24 mettent en évidence l'évolution des taux d'abattement des paramètres physicochimiques et bactériologiques sur les deux supports (le sable et le sable plus charbon actif).

Tableau 9: Comparaison entre les taux d'abattelements des paramètres physicochimiques et bactériologiques dans les deux colonnes

Paramètres	Taux d'abattement de colonne de sable	Taux d'abattement de colonne sable et charbon actif
Turbidité	81%	73%
MES	100%	100%
Oxygène dissous	—	—
Oxydabilité	42%	69%
Conductivité	—	7%
TAC	—	75%
TH	—	30%
Chlorures	—	7%
Sulfates	—	6%
Manganèse	100%	100%
Ammonium	100%	100%
Nitrates	91%	95%
Nitrites	70%	90%
Orthophosphates	60%	93%
FMAT	94,9%	90%
Coliformes fécaux	99,9%	92%
Coliformes totaux	93,7%	89%
Streptocoques fécaux	99,9%	91%

D'après ces résultats, on constate qu'à part la turbidité, et les paramètres bactériologiques, le filtre à sable et charbon actif présente toujours les meilleurs taux d'abattelements.

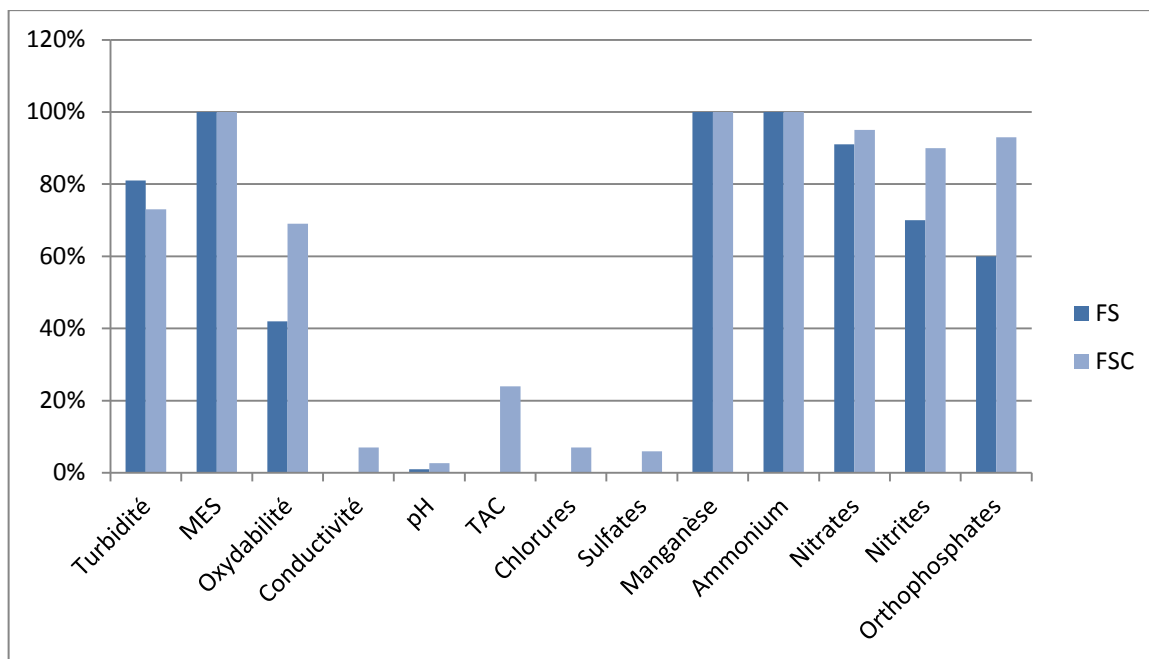


Figure 22: Taux d'abattement des paramètres physicochimiques dans les deux colonnes de filtration

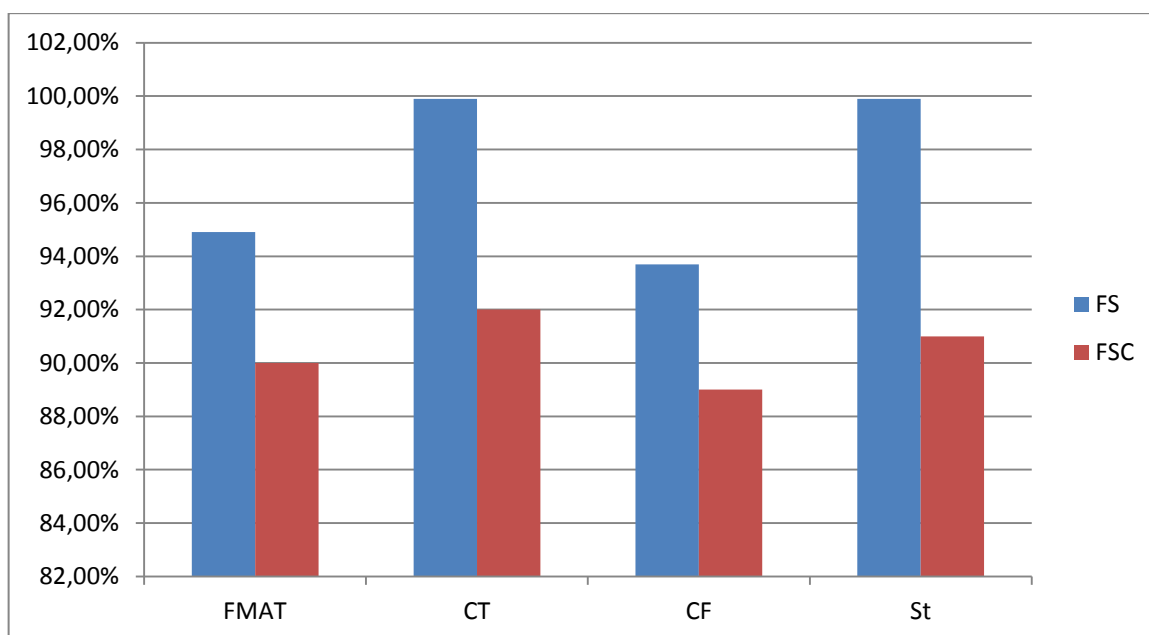


Figure 23: Les taux d'abattement des paramètres bactériologiques pour les deux colonnes

FMAT : Flore mésophile aérobie totale ; FS : Filtration sur sable

CT : Coliformes totaux ; FSC : Filtration sur sable et charbon actif

CF : Coliformes fécaux

St : Streptocoques

Le filtre à sable a permis d'éliminer d'avantage la turbidité et les bactéries. En effet, le sable permet de réduire les FMAT à 90%. Les coliformes totaux, les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux sont aussi éliminés avec un taux d'abattement de 92%, 83%, 91% respectivement qui sont des rendements supérieures aux ceux obtenus par filtration sur sable et charbon actif.

L'ajout du charbon actif au sable, a provoqué une légère augmentation de la turbidité et des germes après filtration, par comparaison avec la filtration su sable seul.

CONCLUSION

L'objectif de la présente étude est basé sur la contribution au traitement des eaux de surface par filtration en utilisant l'eau brute de barrage Joumoua de ville Targuist, avec deux filtres, à savoir, un filtre à sable et un filtre à sable plus charbon actif.

Pour cela, un suivi analytique a été fait pendant 14 semaines à raison d'un échantillonnage par semaine au laboratoire de station de traitement Targuist au sein de l'Office National de l'électricité et de l'eau potable et au laboratoire de Biotechnologie à la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz de Fès.

Les résultats obtenus dans notre travail sont les suivants :

- ✓ Réduction de la turbidité et de la matière en suspension dans les deux filtres.
- ✓ Réduction de l'oxydabilité.
- ✓ Réduction de la dureté et de l'alcalinité dans le filtre à sable plus charbon actif.
- ✓ Réduction de la conductivité, des chlorures et de sulfates dans le filtre à sable et charbon actif.
- ✓ Elimination totale des ions manganèse et ammonium dans les deux filtres.
- ✓ Réduction des nitrates, des nitrites et d'orthophosphates.
- ✓ Abattement des germes totaux, des coliformes totaux, des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux.

Dans la présente étude, la réduction de la turbidité et des germes par le filtre avec du sable plus charbon actif a été inférieure à celle réalisée par le filtre avec sable.

En résumé, dans le cadre de ce projet, le filtre avec sable et charbon actif a permis d'obtenir de meilleures résultats que le filtre avec sable, pour la majorité des paramètres étudiés, à l'exception de l'enlèvement de la turbidité et de germes. Ce qui confirme la capacité épuratrice du charbon actif connue à l'échelle internationale, à adsorber les polluants par sa structure silicoalumineuse et poreuse, mais son coût reste très élevé et se colmate rapidement.

L'abattement bactérien est aussi important mais insuffisant. Les eaux traitées issues des deux filtres sont encore chargées en germes totaux, coliformes totaux, coliformes fécaux, et streptocoques fécaux. Par conséquent, l'eau filtrée ne répond pas aux normes Marocaines des eaux d'alimentation humaines. Ce qui s'avère donc indispensable de passer à un traitement par désinfection.

PERSPECTIVES

Il reste encore certaines expérimentations afin d'améliorer la présente étude:

- l'augmentation du nombre de couches utilisées dans la colonne de filtration par la combinaison des sables à différents granulométries avec le charbon actif.
- Utiliser le charbon actif en solution après filtration sur sable.
- Tester d'autres méthodes pour une meilleure élimination des particules colloïdales et en suspension des eaux brutes, par exemple en apportant de faibles quantités de réactifs de coagulation-floculation avant la filtration.
- Faire les analyses des métaux lourds et de pesticides.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : Charte européenne de l'eau adoptée par le conseil de l'Europe, 1980.
- [2] : RHIDOUANI. A : « Impact des inondations sur la qualité physico-chimique des eaux de Mennasra». Thèse doctorat, Faculté des sciences –Kenitra-.
- [3] : <http://www.lenntech.fr/eaux-souterraines/pollution-sources.htm#ixzz2uRKOdY2f>
- [4] : VILAND M., MONTIEL A. (2001). Eau et santé, guide pratique pour les intervenants en milieu rural africain. pS-Eau, collection Etudes et travaux, éditions du GRET, Ministère des Affaires Etrangères.
- [5] : Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Eau et biodiversité, Forum mondiale de l'eau, Etat de l'eau en France, 20 Janvier 2012.
- [6] : Eau de Paris, Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris, Traitement de potabilisation des eaux de surface Filtration, Conf2006/66.
- [7]: Nur Muhammad, (1989). Removal of Heavy Metals by Slow Sand Filtration Loughborough University of Technology.
- [8]: Lausanne, octobre (1983). La filtration lente sur sable.
- [9]: ZERHOUNI, 2003. Traitement des eaux urbaines par préchloration
- [10] : Naidja L. (2010). Elimination du colorant orange II en solution aqueuse par voie photochimique et par adsorption. Univ. Mentouri.Constantine.Algérie.
- [11]: Degremont. 1991. Water Treatment Handbook Water treatment handbook .sixth edition
- [12]: N° 11- Agence Financière de bassin Seine_Normandie. (1983). Des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires.
- [13]: ONEE_Branche eau, documentations et archives.
- [14]: Norme Marocaines. (2006). Qualité des eaux d'alimentation humaine.
- [15]: OULD MOHAMEDDOU E, (2006). Evaluation de la qualité physicochimique et métallique des eaux du fleuve Sénégal: cas du Delta Mauritanien localisé dans la ville de Rosso. Mémoire DESA Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail Maroc.

- [16]: Azzaoui S., (1999), Les métaux lourds dans le bassin versant du Sebou; Géochimie, sources de pollution et impact sur la qualité des eaux de surface. Thèse Doctorat, Univ. Ibn Tofail, Kenitra, 138p.
- [17]: MAKHOUKH M., SBAA M., BERRAHOU A., VAN CLOOSTER M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental), 9, 149-169
- [18]: ABDOULAYE D., OUSMANE T., OULD SID'AHMED OULD KANKOU M., IBNO NAMR K. (2013). Turbidité et matière en suspension dans l'eau : Application à l'évaluation des métaux contenus dans l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal.
- [19]: HÉBERT S., LÉGARÉ S. (2000). Suivi de la qualité des rivières et petits cours d'eau, Québec, Canada.
- [20]: GARTET A., GARTET J., GARCIA C.C. (2001). Hydrochimie des eaux , dissolution spécifique et salinité des cours d'eau dans le bassin de l'oued Lbène, Papeles de geographia, 34, 146 -161.
- [21]: MEYBECK M., KUUSISTO E., MAKELA A., MALKKI E. (1996). A practical guide to the design and implementation of fresh water quality studies and monitoring programme, E & F.N. Spon, Water quality Monitoring. In : J. Bartram, R. Balance, London. 9-34
- [22]: SANTE CANADA, SANTE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU MIEU DU TRAVAIL (2008). Le chlorure, <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/chloride-chlorure/index-fra.php>.
- [23]: CRETEUR X. (1998). Pollution microbienne des eaux : origine et mécanismes. Mémoire D.U., Eau et Environnement, D.E.P., Univ. De Picardie Jules Verne, Amiens, France, 60 p.
- [24]: ACHAK M., A. HAFIDI, N. OUAZZANI, S. SAYADI et L. MANDI (2009a). Low cost bio-sorbent "banana peel" for the removal of phenolic compounds from olive mill wastewater: kinetic and equilibrium studies. J. Hazardous Mater., 166, 117–125.
- [25] : A. Maazouzi, A. Ketteb, A. Badri. (2007). Etude de procédés de filtration sur sable de la région de Béchar en pré traitement de l'eau potable.
- [26]: MOUHIR L ; CHOUKRALLAH R ; SERGHINI A, FEKHAOUI M ET FADLI D. (2001). Performances épuratoires d'un système de traitement par infiltration-percolation et dénitrification en milieu semi-aride au Maroc. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la vie, 2001, n°23, 83-88
- [27]: HAZOURLI S., BOUDIBA L., ZIATI M. (2006). Caractérisation de la pollution aractérisation de la pollution des eaux residuaires de la zone Industriels d'Elhadjar, Annaba.

ANNEXE 1 : COMPOSITION DES MILIEUX DE CULTURE

✓ Tergitol-7 agar

Peptone pancréatique de viande.....	10g/l
Extrait de viande.....	5g/l
Extrait autolytique de levure.....	6g/l
Lactose.....	20g/l
Tergitol -7.....	0,1g/l
Bleu de bromothymol.....	0,05g/l
Agar agar bactériologique.....	10g/l

✓ Gélose Slanetz:

Tryptose.....	20g/l
Extrait autolytique de levure.....	6g/l
glucose.....	2g/l
Phosphate di potassique.....	4g/l
Azide de sodium.....	0,4g/l
Agar agar bactériologique.....	10g/l

✓ E.C.Médium

Tryptose.....	20g/l
lactose.....	5g/l
Sels biliaires n°3.....	1,5g/l
Phosphate dipotassique.....	4g/l
Phosphate monopotassique.....	1,5g/l
Chlorure de sodium.....	5g/l

✓ **Gélose PCA**

Tryptose.....	5g/l
Extrait de levure.....	2,5g/l
Glucose.....	1g/l
Agar agar bactériologique.....	15g/l

✓ **Lauryl sulfate de sodium**

Tryptose.....	20g/l
lactose.....	5g/l
Phosphate dipotassique.....	1,5g/l
Phosphate monopotassique.....	4g/l
Chlorure de sodium.....	1,5g/l
Lauryl sulfate de sodium.....	5g/l

✓ **Bouillon lactosé bilié au vert brillant**

Tryptone.....	10g/l
Bile de boeuf bactériologique.....	20g/l
Lactose.....	10g/l
Vert brillant.....	0,0133g/l

✓ **Milieu Litsky**

Poly peptone.....	20g/l
Glucose.....	5g/l
Phosphate dipotassique.....	2,7g/l
Phosphate monopotassique.....	2,7g/l
Azide de sodium.....	0,3g/l
Ethyl-violet.....	0,0005g/l

✓ **Milieu de Rothe**

Tryptone.....	45g/l
Extrait de viande.....	7,5g/l
Glucose de sodum.....	7,5g/l
Azide de sodium.....	0,2g/l

ANNEXE 2: TABLE DE MAC CRADY - LECTURE DES INDICES NPP – 3 TUBES

Pour trois séries de trois tubes chacuneensemencées avec respectivement 10ml, 1ml, et 0,1ml.
Les résultats sont exprimés en nombre de germe pour 100ml d'eau.

Concentration			Résultats
+ forte	Moyenne	+ faible	
0	0	0	< 3
0	0	1	3
0	1	0	3
0	1	1	6.1
0	2	0	6.2
0	3	0	9.4
1	0	0	3.6
1	0	1	7.2
1	0	2	11
1	1	0	7.4
1	1	1	11
1	2	0	11
1	2	1	15
1	3	0	16
2	0	0	9.2
2	0	1	14
2	0	2	20
2	1	0	15
2	1	1	20
2	1	2	27

Concentration			Résultats
+ forte	Moyenne	+ faible	
2	2	0	21
2	2	1	28
2	2	2	35
2	3	0	29
2	3	1	36
3	0	0	23
3	0	1	38
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	1	3	160
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	2	3	290
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1100
3	3	3	> 1100