



كلية العلوم  
والتقنيات - مراكش  
FACULTÉ DES SCIENCES  
ET TECHNIQUES - MARRAKECH

*Département des Sciences de la Terre  
Laboratoire de Géoressources  
(URAC 42)*



*Licence Es Sciences et Techniques  
Eau & Environnement*

**SUIVI DU TRAITEMENT DES EAUX POTABLES  
DE LA STATION DE KHENIFRA EN AMONT DE  
LA DEMINERALISATION PAR OSMOSE  
INVERSE. KHENIFRA- BENI MELLAL, (MAROC)**

**Réalisé par :**

ATTAHAR Wissal

**Soutenu :**

le 25 Juin 2018

**Devant le Jury composé de :**

Pr. Ali RHOJJATI :

(FST- Marrakech), Encadrant

M. Ahmed BELKHIRI :

(ONEE-Branche Eau), Encadrant

Pr. Abdelfattah BENKADDOUR :

(FST- Marrakech), Examineur

**ANNEE UNIVERSITAIRE : 2017-2018**

## REMERCIEMENTS

« Louange à Dieu, Seigneur des mondes sans qui rien ne saurait exister »

Il m'est agréable de m'acquitter d'une dette de reconnaissance auprès de toutes les personnes dont l'intervention au cours de ce projet a favorisé son aboutissement. Tout d'abord, je tiens à exprimer ma gratitude, si grande qu'elle puisse être, à mes chers parents pour tous leurs sacrifices qu'ils ont consentis et le soutien qu'ils m'ont prodigué tout au long de ma vie. Je tiens à exprimer mes sincères remerciements dans un premier temps ainsi que toutes mes reconnaissances à mon encadrant Monsieur A.RHOJJATI ainsi à Monsieur A.BENKADDOUR qui m'ont fait bénéficier de leurs savoir-faire, et de leurs disponibilités et surtout leurs judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Je tiens aussi à remercier très vivement le chef de secteur de production Monsieur M.FARHAOUI pour son accord de passer le stage au sein du Laboratoire de l'ONEE à Khénifra sans oublier le chef d'unité de production Monsieur H.CHORFI et mes remerciements vont également à mon encadrant au Laboratoire Monsieur A.BELKHIRI, ainsi que Monsieur B.OUHBAL et Madame J.MAFROUD qui m'ont bien encouragé, et à tout le personnel de l'ONEE pour les précieuses et confortables conditions. Mes vifs remerciements sont aussi adressés non seulement comme devoir mais par un grand respect et gratitude profonde à mes chers professeurs et notre responsable de filière Eau et Environnement Madame Y.BOURGEOINI. Je désire remercier aussi toutes les personnes avec lesquelles j'ai eu le plaisir de collaborer et qui ont pu par la même occasion de m'aider durant toute la durée d'apprentissage.

## TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	
LISTE DES GRAPHIQUES	
LISTE DES PHOTOS	
LISTE DES TABLEAUX	
ACRONYMES	
RESUME	
INTRODUCTION GENERALE .....	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	3
I.1. Présentation de la ville de Khénifra.....	3
I.1.1. Cadre géographique.....	3
I.1.2. Cadre géologique.....	4
I.1.3. Cadre Climatique.....	5
I.1.3. Hydrologie .....	7
I.1.4. Hydrogéologie.....	7
Chapitre II : Présentation de la station de traitement de l'eau potable de Khénifra et Méthodologie du traitement de l'eau potable .....	8
II.1. Office National de l'Eau et l'électricité (ONEE – Branche Eau).....	8
II.2. Station de Traitement de Khénifra .....	11
II.3. Description d'Oued Oum Errabia .....	12
II.4. Description du Barrage Tanafnit.....	14
Chapitre III : Processus de Production de l'eau potable.....	15
II.1. Méthodologie du traitement des eaux.....	15
II.1.1. Traitement Classique .....	15
II.1.2. Traitement Spécifique .....	23
II.1.3. Désinfection.....	28
Chapitre IV : Analyses des Eaux.....	29
IV.1. Analyses Physico-chimiques.....	29
IV.1.1. Demande en Chlore .....	29
IV.1.2. Jar Test ou essai de Coagulation et Flocculation.....	31
IV.1.3. Température .....	31
IV.1.4. Potentiel d'Hydrogène (pH).....	32

IV.1.5.Turbidité.....	33
IV.1.6. Conductivité .....	33
IV.1.7.Chlore Résiduel.....	34
IV.1.8.Alcalinité de l'eau ( TA et TAC) .....	34
IV.1.9.Duereté Totale et Classique .....	35
IV.1.10.Oxydabilité .....	36
IV.1.11.Oxygène dissous.....	37
IV.1.12.Essai d'agressivité .....	38
IV.1.13.Chlorures .....	39
IV.1.14.Sulfates .....	39
IV.1.15.Nitrates.....	40
IV.1.16.Analyse par Kits .....	42
IV.2. Analyses Bactériologiques.....	43
IV.2.1. Eaux traitées .....	43
IV.2.2. Eaux Brutes .....	45
CHAPITRE IV : SUIVI ET INTERPRETATION DE LA CONDUCTIVITE DE L'ENTREE A LA SORTIE DE LA STATION .....	51
CONCLUSION GENERALE.....	54
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	i

## LISTE DES GRAPHIQUES

Figure 1: Délimitation de la province de Khénifra .....	3
Figure 2 : Aperçu géologique de la province de Khénifra (JIRARI, 2016) .....	4
Figure 3 : Carte des isohyètes du Moyen Atlas Central entre 1933 et 1963 (Benkaddour, 1993) .....	6
Figure 4 : Organigramme présentant les quatres divisions régionales de l'ONEE .....	9
Figure 5 : Organigramme de la Direction Régionale Centre Sud à Meknès (DR7) .....	10
Figure 6 : Délimitation de la station du traitement des eaux potables de Khénifra (Google Map, 2018) .....	12
Figure 7 : Barrage de Tanafnit.....	14
Figure 8 : Principe général de fonctionnement d'un filtre à sable .....	21
Figure 9 : Phénomène de l'osmose inverse .....	23
Figure 10 : Pompes doseuses du séquestrant en amont des microfiltres .....	25
Figure 11 : Structure d'une membrane d'osmose inverse.....	26
Figure 12 : Représentation graphique du $(Cl_2 \text{ résiduel}) = f(Cl_2 \text{ ajouté})$ .....	30
Figure 13 : Courbe d'étalonnage.....	42
Figure 14 : Histogramme montrant la conductivité (en $\mu S$ ) de chaque eau depuis l'entrée jusqu'à la sortie (le 02/05/2018) .....	53

## LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Fleuve d'Oued Oum Errabiâ .....	13
Photo 2 : Injection des récatifs en amont des débourbeurs dans l'ouvrage de mélange rapide .....	17
Photo 3 : Débourbeur de la station de traitement des eaux potables de Khénifra .....	17
Photo 4 : Ouvrages de floculation de la station de Khénifra .....	19
Photo 5 : Ajout du polymère dans l'ouvrage de floculation .....	19
Photo 6 : Décanteurs de la station .....	20
Photo 7 : Filtre de la station de traitement de Khénifra .....	21
Photo 8 : filtre au cours du lavage.....	22
Photo 9 : Osmoseurs de la station.....	27
Photo 10 : pH-mètre .....	32
Photo 11 : Turbidimètre .....	33
Photo 12 : Spectrophotomètre .....	41
Photo 13 : Solutions de nitrites après ajout du NED.....	41

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristique de la masse filtrante utilisée à la station de Khénifra .....	20
Tableau 2 : Mesure de l'absorbance des [Nitrates] par spectrophotométrie .....	41
Tableau 3 : Concentrations des échantillons à partir de la courbe d'étalonnage.....	42
Tableau 4 : Résultat d'un exemple de dénombrement des coliformes.....	47
Tableau 5 : Table de mac crady du nombre le plus probable.....	49
Tableau 6 : Paramètre de conductivité ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) des eaux aux différentes étapes de traitement du moi 05/2018 .....	52

## ACRONYMES

μS	microsiemens
BL	Bouillon Lauryl
CF	Coliformes Fécaux
Cl <sub>2</sub> R	Chlore Résiduel
EDTA	Acide éthylène Diamine Tétra-Acétique
IS	Indice de Saturation
MES	Matière en Suspension
MO	Matière Organique
ONEE	Office Nationale de l'Eau et d'électricité
SF	Streptocoques Fécaux
TA	Titre Alcalimétrique
TAC	Titre Alcalimétrique Complet
TH	Titre Hydrotimétrique
VMR	Valeur Maximale Requise

## RESUME

La station de traitement des eaux de la ville de Khénifra est considérée parmi les plus grandes stations de traitement des eaux au Maroc. Elle a la capacité de produire un débit global d'environ 650 l/s. Celle-ci est constituée de deux chaînes de traitement, une existante produisant un débit de 150 l/s, et une nouvelle pouvant produire un débit de 460 l/s. La station a été construite afin de répondre à l'insuffisance en eau potable vu la croissance démographique de la population. Cette nouvelle station est équipée d'une unité de déminéralisation via un procédé d'osmose inverse afin de diminuer le taux des sels (dû à la nature du terrain traversée par ces eaux) et d'autres minéraux dans l'eau. Pour protéger les membranes de la station de traitement spécifique, il faut que le traitement classique soit dans les normes. Cette étude a donc pour but le suivi et interprétation du traitement des eaux.

**Mots clés :** station de traitement, eau potable, traitement classique, traitement spécifique, unité de déminéralisation, membrane, suivi et interprétation des traitements.

## INTRODUCTION GENERALE

La province de Khénifra, située au Moyen Atlas central marocain, enregistre, en plus des importantes chutes de neiges que reçoivent ses reliefs, des précipitations dont la moyenne annuelle varie entre 400 et 700 mm. Ce qui influence positivement et fortement sur le niveau de ses réserves d'eau souterraines et de surface. En fait, cette province constitue un réservoir d'eau important, au vue de ses zones montagneuses et des nombreux oueds et cours d'eau la traversant, comme oued Oum Errabiâ et ses affluents (Chbouka et Srou) et aussi les oueds Krou, Ksiksou et Boukhmira. Sans oublier les grandes sources d'eau telles les sources d'Oum Errabiâ et les lacs naturels comme Aguelmam Azegza, Tiguelmamine, Ouiouane et Aguelmame Abekhane. (HERRADI, 2018)

Oued Oum Errabiâ se trouve dans le cause moyen atlasique. De structure tabulaire faillée, le Moyen Atlas est essentiellement formé de calcaires et de dolomies liasiques reposant sur des argilites triasiques (BENKADDOUR et al., 2008) ce qui exprime un effet sur la qualité qui se traduit par la salinisation des sols et la pollution par les sels et les chlorures des eaux de cet Oued qui représente la seule ressource en eau potable de la population rurale du périmètre.

La salinité d'eau n'a pas l'air de prendre fin provoquant ainsi des manifestations dans plusieurs localités où les habitants se sont plaints de la mauvaise qualité de l'eau potable qui leur est servie. De ce fait, c'est un problème persistant.

Pour cela, l'ONEE-Branche Eau, organisme publique chargé de la production d'eau potable à l'échelle nationale au niveau urbaine, effectue d'énormes efforts pour améliorer la qualité et la distribution de l'eau potable dans les régions de Khénifra. Parmi ces efforts, la réalisation et la mise en exploitation d'une station de déminéralisation qui s'avère donc nécessaire pour diminuer le taux de salinité des eaux du réservoir principal Oued Oum Errabiâ. Dont le procédé adopté au sein de la station de Khénifra est la technologie de l'osmose inverse dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau saumâtre.

En conclusion, la déminéralisation au Maroc reste une solution incontournable parmi d'autres pour la mobilisation des ressources en eau, dans un contexte de rareté des ressources conventionnelles. (JARIRI, 2009)

De différentes études ont été achevées concernant la station de déminéralisation de Khénifra entre autres, un mémoire de Master intitulée « l'optimisation des traitements des eaux » qui a pour but d'opérer une optimisation des réactifs (chlore, coagulant et flocculant) et réaliser une optimisation des boues recirculées au niveau du flocculateur.

Alors que l'objectif de ce mémoire est l'étude du traitement des eaux potables de la station de Khénifra en amont de la déminéralisation en osmose inverse en montrant la valeur inéluctable qu'ajoute cette technique.

Pour atteindre cet objectif, nous devons suivre le paramètre de la conductivité de l'eau brute jusqu'à l'eau traitée pendant une période de temps et interpréter finalement les résultats.

Ce mémoire se compose principalement de deux parties :

- ✓ La première partie : qui est relatif à l'étude bibliographique, contient deux chapitres :  
Dans le premier chapitre nous allons tout d'abord présenter le cadre général de la station puis la méthodologie de traitement de l'eau brute et les différentes analyses faites au laboratoire.
  
- ✓ La deuxième partie : Suivi et interprétation du paramètre de la conductivité de l'entrée de la station à la sortie.

## CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

### I.1. Présentation de la ville de Khénifra

#### I.1.1. Cadre géographique

La ville de Khénifra est une ville du Moyen Atlas central marocain, nommée elle aussi la « ville rouge » ou « Khénifra la zaïane » ; aux couleurs rougeâtres, bâtie sur les deux rives basaltiques de l'Oum Errabia et le dir (= piémont : versant septentrional entre plateau central et le Moyen Atlas) et la partie ouest du Moyen-Atlas, capitale des Zayanes, une tribu amazighe appartenant jadis à la confédération des Aït Oumalous. Elle se situe à 300 km de Marrakech sur la route nationale N°8 entre Azrou et Beni Mellal. Avec une superficie globale de 12 320 km<sup>2</sup>, selon le nouveau découpage, elle fait partie de la région Béni Mellal-Khénifra instaurée en 2015. Elle regroupe l'ancienne région de Tadla-Azilal et les provinces de Khénifra, de Khouribga et de Fquih Ben Salah. Elle est sur un site remarquable, à l'endroit où l'oued Oum Errabia la traverse du nord vers le sud et fait un double méandre encaissé.



Figure 1: Délimitation de la province de Khénifra

### I.1.2. Cadre géologique

La ville de Khénifra est implantée en bordure méridionale des causses appartenant au domaine de la meseta marocaine, de structure sensiblement tabulaire dans leur ensemble. Cette région présente une suite complexe de déformation. Les terrains primaires se rencontrent d'abord au pied du Moyen Atlas. Ils comprennent surtout des schistes et des quartzites, avec des conglomérats autuniens (Permien inférieur) dans la région de KHENIFRA, quelques couches calcaires, et des basaltes permo-triasiques. Ces terrains sont donc peu perméables.

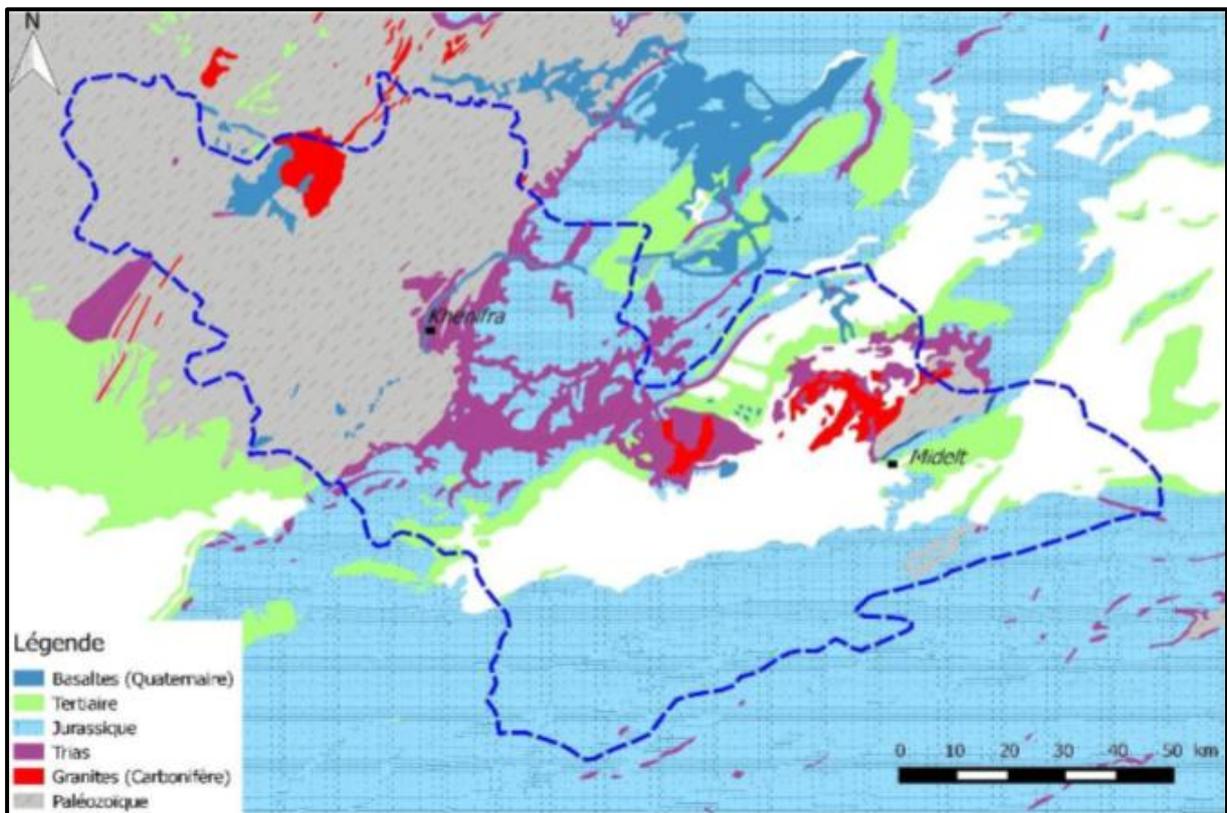


Figure 2 : Aperçu géologique de la province de Khénifra (JIRARI, 2016)

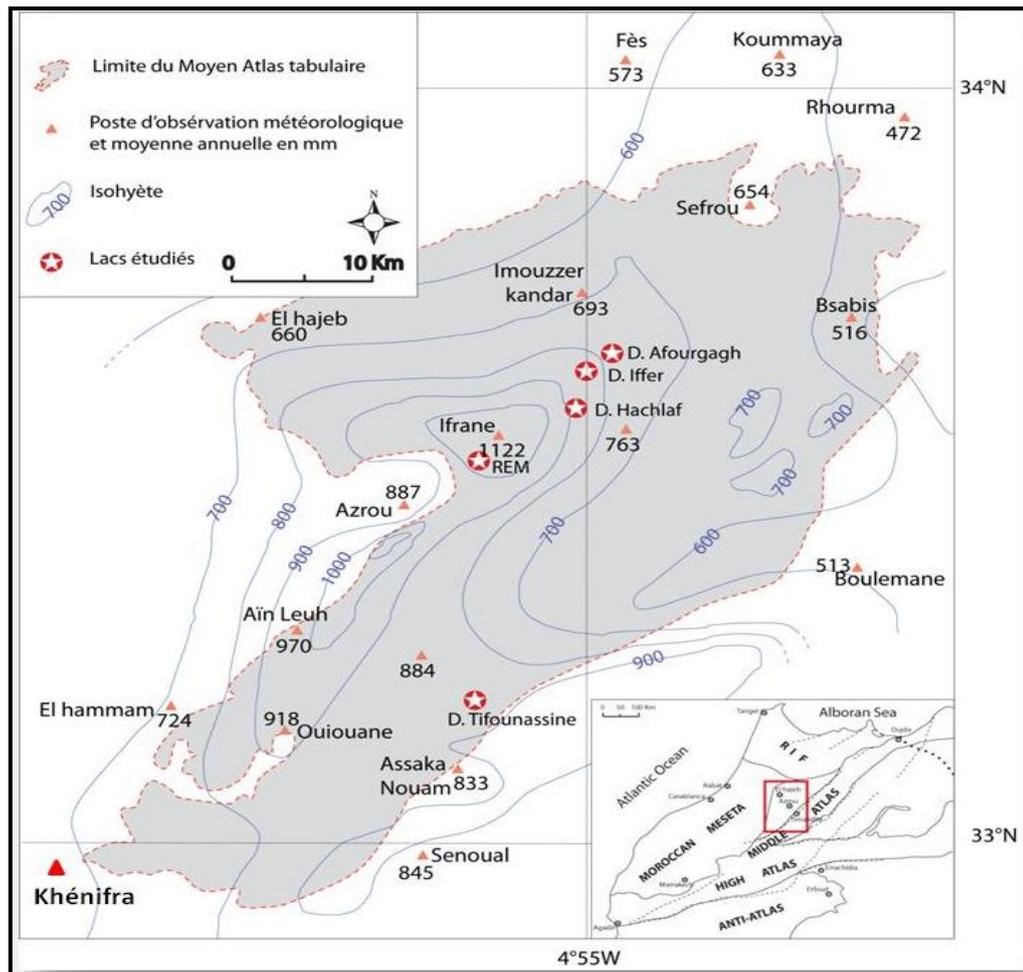
La situation géographique, l'altitude et l'exposition aux influences atlantiques de cette zone étudiée lui confèrent un climat humide et froid, classé comme climat continental de montagne méditerranéenne. À un hiver rigoureux succède un été très chaud. La principale saison des pluies est comprise entre novembre et mars avec une moyenne des précipitations de 1150 mm/an. Il constitue la zone la plus arrosée au Maroc et offre tous les étages de végétation reconnus dans la région méditerranéenne avec de larges étendus de forêts représentées par plusieurs essences arborescentes notamment le chêne (*Quercus Ilex* et *Quercus Rotundifolia*), le cèdre de l'Atlas (*Cedrus Atlantica*) et le pin d'Alep (*Pinus Alipensis*). (BOUTAHRINE, 2014)

### **I.1.3. Cadre Climatique**

Le climat qui règne dans le Moyen Atlas est de type méditerranéen de montagne, il se caractérise par un climat humide et froid. Ce climat particulier du Moyen Atlas est dû essentiellement à sa position altitudinale, sa situation géographique et son exposition aux influences marines (Martin, 1981). Les nuages venant de l'ouest donnent des précipitations abondantes (pluie, neige) au contact du Moyen Atlas. La barrière naturelle que forme la chaîne Atlasique crée une dissymétrie sur le plan climatique : la façade atlantique exposée aux vents venant du NW est plus arrosée ; quant à la façade SE qui est soumise à l'influence du climat saharien.

#### **I.1.3.1. Précipitations**

Les précipitations au niveau du Moyen Atlas peuvent être sous diverses formes (pluies ou neige) selon l'altitude. Généralement la neige apparaît à partir de 1200 m ; mais cette limite connaît des fluctuations altitudinales selon les années. Les mesures pluviométriques effectuées dans une vingtaine de stations réparties dans le Moyen Atlas tabulaire, entre 1933 et 1963, ont permis de tracer les isohyètes de la figure 3.



**Figure 3 : Carte des isohyètes du Moyen Atlas Central entre 1933 et 1963 (Benkaddour, 1993)**

### I.1.3.2. Températures

Le Moyen Atlas est une région où la température est principalement influencée par l'altitude, elle est plus basse par rapport aux plaines et plateaux avoisinants (plaine de Saïs et plateau de Moulouya) ayant des températures moyennes annuelles plus élevées : 17,8 °C à Fès et Meknès (altitude de 400 à 530 m) et 17,3 °C à Khénifra (750 m d'altitude). En général, la température est caractérisée non seulement par sa variabilité d'un point à l'autre, mais aussi par de grands écarts entre les températures maximales et minimales journalières, mensuelles ou annuelles. La température moyenne annuelle sur l'ensemble des Causses est de 12 °C. La moyenne annuelle des températures minimales relevées au cours de la saison des pluies (d'Octobre à Mai) est de 3,8 °C à Ifrane, 6,9 °C à Imouzzère et 9,4 °C à Azrou. Alors que dans les régions voisines, la moyenne annuelle des températures minimales sont plus élevées : 11,1 °C à Fès, 10,8 °C à Meknès et 9,1 °C à Khénifra.

### I.1.3. Hydrologie

La région de Khénifra est dotée d'un réseau fluvial important, avec notamment le fleuve Oum Errabià et ses affluents qui est le 2e fleuve marocain en terme de longueur. Il prend sa source à une altitude de 1 240 m dans le Moyen Atlas à 40 km de la ville de Khénifra. Au niveau de Khénifra il serpente dans une direction nord-sud dans un lit de rivière étroit à travers la ville, et alimente la ville en eau potable.

### I.1.4. Hydrogéologie

Le potentiel hydraulique souterrain de la région réside dans le karst calcaire du moyen atlas. Les principaux exutoires de ces eaux souterraines sont périphériques et de nature divers :

- ✓ Source d'Oum Errabià ;
- ✓ Emergence de bordures au contact du lias (calcaire) et de son substratum triasique (argile rouge et sel).

Ces complexes détritiques permo-triasique sont imperméables, salés et gypsifères. Les argiles rouges contribuent à rendre inutilisables les nappes qui circulent à leur contact. Les basaltes permotriasique ont une perméabilité variant avec leur degré d'altération et de fissuration mais qui est rarement élevée.

## Chapitre II : Présentation de la station de traitement de l'eau potable de Khénifra et Méthodologie du traitement de l'eau potable

### **II.1. Office National de l'Eau et l'électricité (ONEE – Branche Eau)**

L'office nationale de l'eau potable (ONEP) a été créé en 1972 par le dahir 1-72-103 du safar 1392, c'est un établissement semi-public à caractère commercial et industriel, il est doté de l'autonomie financière et soumis au contrôle du ministère des finances et sous la tutelle du ministère de l'équipement. L'ONEE-branche eau est un acteur principal dans le secteur de l'eau potable et de l'assainissement au Maroc il assure la planification, la production et la distribution des ressources hydriques du pays. L'office national de l'eau potable au Maroc (ONEP) est devenu après sa fusion avec l'office national de l'électricité (ONE) (loi 40/09), l'office national d'électricité et de l'eau potable (ONEE-Branche eau), le projet de fusion a été matérialisé par un décret le 12 avril 2012 et entré en vigueur le 23/04/2012.

#### **Organisation de L'ONEE :**

La direction générale de l'ONEE se trouve à Rabat (DG) chaque région à une direction régionale (DR). Les différentes directions régionales sont :

DRC : direction régionale de la côte atlantique

DR1 : Direction Régionale Agadir

DR2: Direction Régionale Tensift Al Haouz à Marrakech

DR3: Direction Régionale à Khouribga

DR4: Direction Régionale Nord-Ouest à Kenitra

DR5: Direction Régionale Centre Nord à Fès

DR6 : Direction Régionale à Oujda

DR7: Direction Régionale Centre Sud à Meknès

DR8: Direction des Province Saharienne à Laâyoune

DR9 : Direction régionale du Nord

Organigramme de L'ONEE :

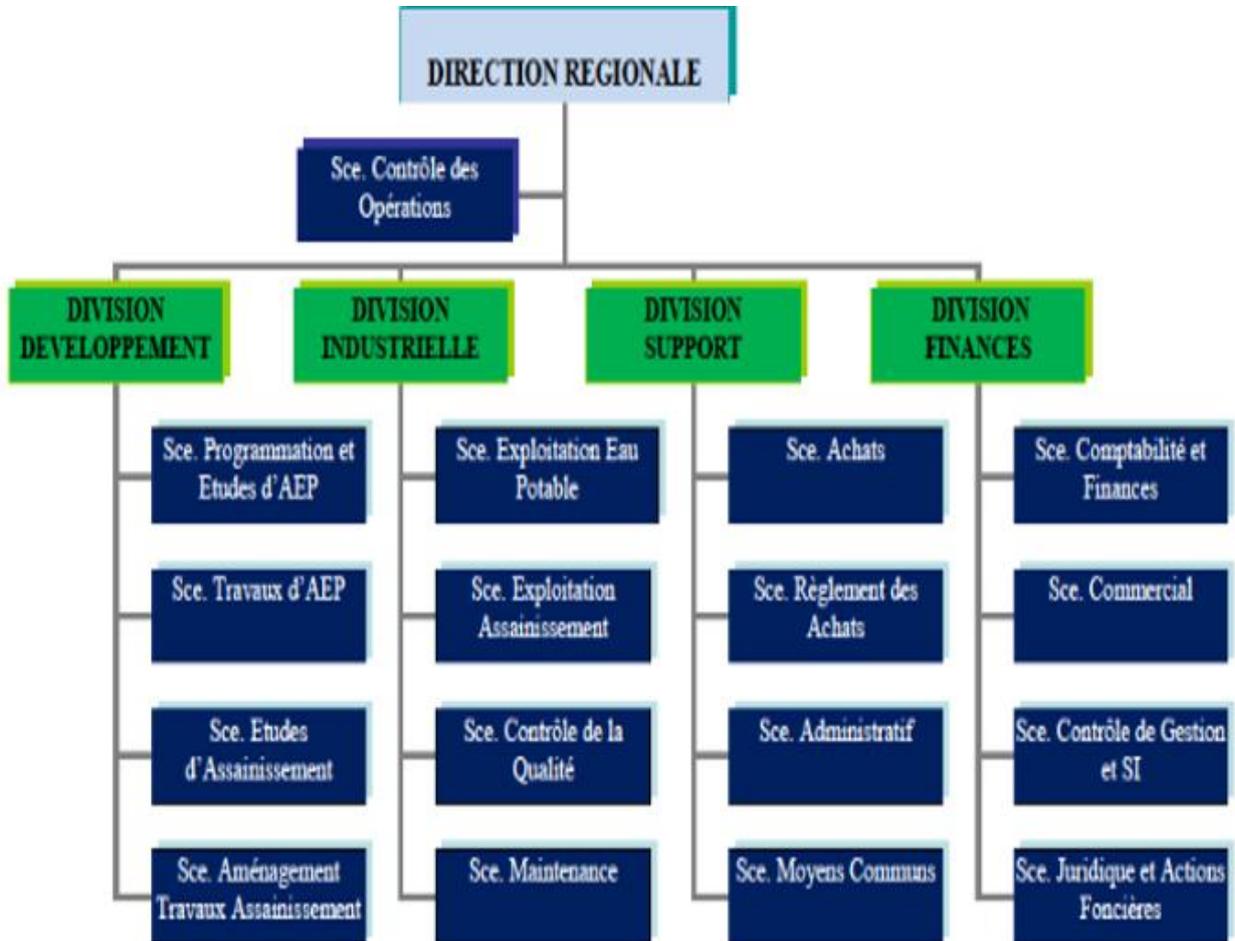
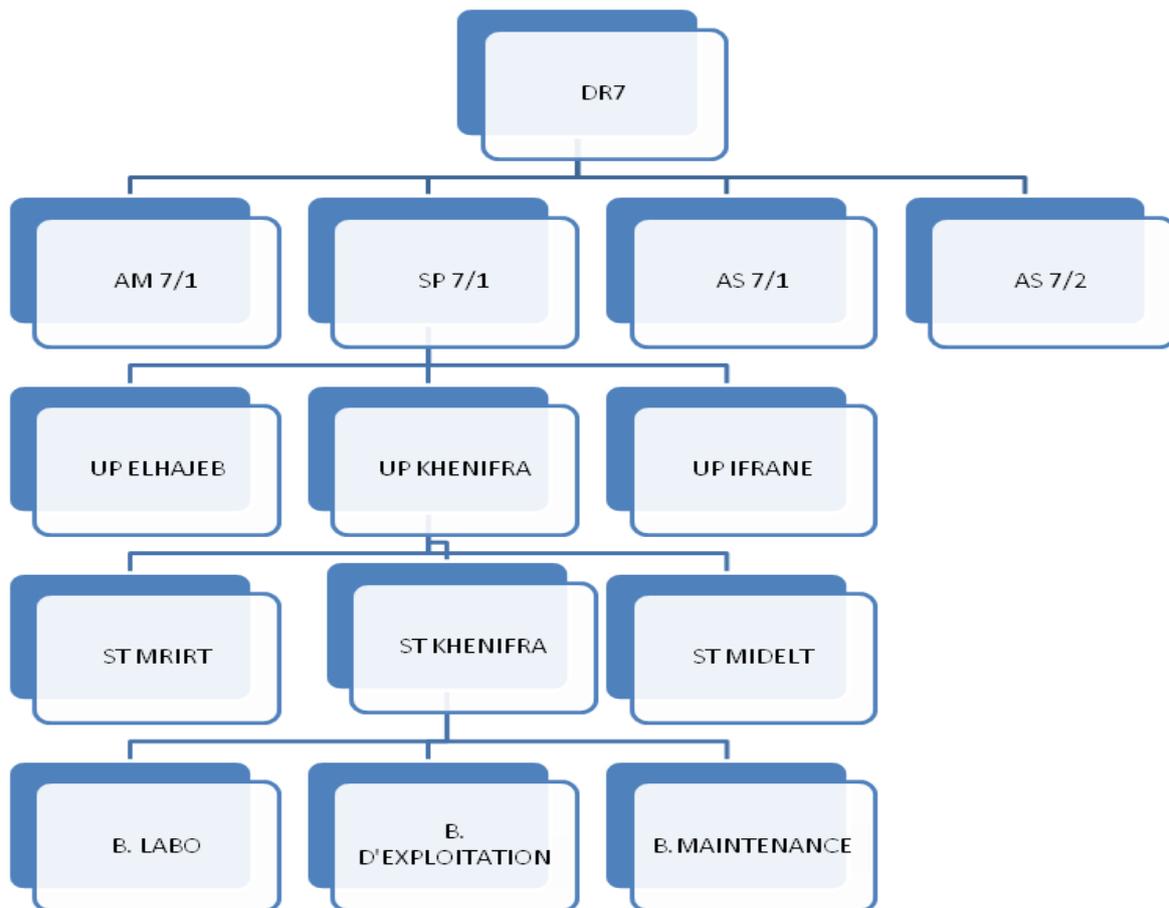


Figure 4 : Organigramme présentant les quatre divisions régionales de l'ONEE



**Figure 5 : Organigramme de la Direction Régionale Centre Sud à Meknès (DR7)**

**Missions de L'ONEE :**

Planification :

- ✓ De l'approvisionnement en eau potable à l'échelle du Royaume.
- ✓ Programmation des investissements : eau potable et assainissement liquide.

Etudes & Equipement :

- ✓ Des projets d'approvisionnement en eau potable / Assainissement liquide.
- ✓ Suivi et réception des travaux.

Gestion pour le compte des communes :

- ✓ Du service d'eau potable.
- ✓ Du service d'assainissement liquide dans les villes où il assure la distribution de l'eau potable.

### Contrôle de la qualité :

- ✓ Des eaux produites et distribuées
- ✓ Des eaux susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation en eau potable

### Participation et assistance :

- ✓ Aux études menées par les départements ministériels en liaison avec le secteur de l'eau potable et de l'assainissement liquide
- ✓ A l'élaboration des projets de textes législatifs et réglementaires en rapport avec les missions de l'Office.

### **Les axes stratégiques de l'Office pour l'activité eau sont :**

- ✓ Pérennisation, renforcement et sécurisation des infrastructures d'eau potable en milieu urbain.
- ✓ Généralisation de l'accès à l'eau potable en milieu rural.
- ✓ Maintenance et amélioration des performances des installations existantes.
- ✓ Intervention active dans le secteur de l'assainissement liquide dans le cadre de la préservation de l'environnement.

## **II.2. Station de Traitement de Khénifra**

La station de traitement de Khénifra est réalisée en 1987, elle est installée près de la rive de l'oued Oum Errabià et se charge du traitement de l'eau brute afin qu'elle soit potable et respecte les normes marocaines. Son but est d'assurer un débit d'eau potable de 450l/s d'eau traitée présentant une teneur de chlorures  $< 250\text{mg/l}$  à partir d'une eau brute présentant une teneur  $\leq 866\text{mg/l}$ . Ses moyens sont : une filière de traitement classique + station de déminéralisation par osmose inverse qui s'est installée en 2013. Mélange de l'eau osmosée avec de l'eau issue du traitement classique.

En plus de l'alimentation de la ville de Khénifra, la station alimente en eau potable d'autres villages parmi eux : Agelmous, Kafnssour, Hadibouhsoussen, Sidi boàbad et un projet est en train de se mettre en évidence pour que cette station alimente Moulay bouâza et d'autres régions.



**Figure 6 : Délimitation de la station du traitement des eaux potables de Khénifra  
(Google Map, 2018)**

### **Les eaux d'alimentation de la ville de Khénifra :**

La ville de Khénifra est alimentée à partir de quatre ressources qui sont :

- ✓ Oued Oum Errabiâ qui alimente le barrage Tanafnit ;
- ✓ Ain Arougou (IRE249/29) ;
- ✓ Puits n° IRE1428/29 équipée pour 10 l/s ;
- ✓ Puits n° IRE 1414/29 équipée pour 10 l/s.

### **II.3. Description d'Oued Oum Errabia**

Oum Errabiâ est le deuxième fleuve marocain après oued Sebou à partir de son débit, de sa longueur, de son profondeur et de sa surface, sa source (à une altitude de 1240 m) se trouve dans le Moyen Atlas à 40 km de la ville de Khénifra et à 26 km de la ville de Mrirt. Il a une longueur de 600 km et débouche sur l'océan Atlantique à Azemmour (région d'Abda-Doukkala). Par son débit non négligeable 117 m<sup>3</sup>/s, de nombreux barrages y sont construits, les plus connus sont Bin El Ouidane, construit sur Oued El Aabid, du côté d'Azilal, près de la ville de Beni Mellal et à 120 km de Khénifra, et le barrage Maachou à l'embouchure de l'Oum Errabiâ.

Ce fleuve contribue au développement agricole de la plaine de Tadla et celle d'Abda-Doukkala. Les affluents d'Oum rabià sont oued Srou (les principaux affluents sont oued Chbouka et oued ouaoumana). Sur le plan hydrologique, la province de Khénifra constitue un grand réservoir d'eau.



**Photo 1 : Fleuve d'Oued Oum Errabiâ**

**Étymologie :**

Selon la tradition orale, la nomination d'Oum Errabiâ, signifiant "Mère du printemps" vient des 40 petites sources (douces et salées, qui alimentent le fleuve). L'autre version mythologique est que l'Oum Errabiâ a juré de sacrifier par noyade 40 personnes par an, depuis la source jusqu'à l'embouchure.

**Caractéristiques d'Oued Oum Errabiâ :**

Longueur	: 600 Km
Bassin	: 32000 Km <sup>2</sup>
Débit moyen	: 117 m <sup>3</sup> /s
Débouche	: Océan Atlantique

#### II.4. Description du Barrage Tanafnit

Le barrage Tanafnit El Borj est construit en aval de l'oued Oum Errabià à 30 km de Khénifra (Nord-Ouest du Maroc) et de 15 km de la ville de Mirt.

C'est le premier barrage hydroélectrique construit au village de Tanafnit, en amont des sources de l'Oum Errabià dont le coût est estimé à 934 millions de Dirham marocain.

La réalisation du complexe implique la création d'un barrage, l'amélioration des infrastructures routières de la région et engendrera des emplois temporaires de l'équivalence de 90 000 hommes-jours. Situé dans la province de Khénifra, se trouvant à 40 km environ au Nord-Est de la ville de Khénifra, cet aménagement bénéficie d'une importante régularisation naturelle grâce aux sources d'Oum Errabià qui assurent à l'oued des débits d'étiage particulièrement soutenus.

D'une puissance installée de 40 MW et une production moyenne annuelle de 215 GWh par an, l'aménagement de Tanafnit consiste à turbiner les débits de cette source pour les restituer juste à l'amont de l'aménagement hydroélectrique El Borj.



Figure 7 : Barrage de Tanafnit

## Chapitre III : Processus de Production de l'eau potable

Dès que l'eau brute arrive à la station de traitement de l'eau potable de Khénifra, par la conduite de 11km qui relie le point de collecte d'eau brute à EL Borj (barrage Tanafnit) avec la station de traitement de Khénifra, elle subit un pré chloration dans le répartiteur 1 par l'ajout du chlore. Ensuite elle passe aux débourbeurs pour réduire la matière en suspension. Après l'eau débourbée retourne au répartiteur 2, on commence le traitement par injection d'un coagulant (sulfate d'alumine  $Al_2(SO_4)_3$ ) sous une agitation intense pour former des floccs. Puis l'eau arrive au décanteur multiflo où on peut ajouter un flocculant (Polyélectrolyte) si nécessaire, les doses sont déterminées au laboratoire par l'essai Jar Test, et de l'eau bouée, sous l'effet d'une agitation lente. Ensuite elle traverse des lamelles inclinées, du bas vers le haut des décanteurs lamellaires, ce qui implique seulement le passage de l'eau (les boues sont retenues par les lamelles). Après la décantation on a recours à la filtration, l'eau décantée parvient aux filtres à sable du haut vers le bas afin d'éliminer de l'eau, les impuretés les plus fines.

Puis une partie de cette eau passe vers les microfiltres puis vers les osmoseurs et l'autre partie passe directement vers la citerne. Enfin la partie de l'eau filtrée non osmosée et l'eau osmosée sont mélangées dans la citerne où on élimine toute forme pathogène par une simple désinfection, pour être dirigé à la distribution.

### **II.1. Méthodologie du traitement des eaux**

En général, le traitement complet d'une eau destinée à l'alimentation humaine consiste en l'élimination des matières en suspension et des matières organiques qui existent dans l'eau brute.

Les étapes à suivre pour le prétraitement de l'eau d'oued Oum Errabià sont :

#### **II.1.1. Traitement Classique**

##### **II.1.1.1. Dégrillage**

Le dégrillage permet de séparer et d'évacuer les matières volumineuses transportées par l'eau brute (branche d'arbre, bouteilles, etc.), il se place à l'entrée de la station où se trouvent les installations de prélèvement de l'eau brute.

### II.1.1.2. Pré-chloration

La pré-chloration a plusieurs objectifs :

- ✓ Amélioration de la floculation par action sur les matières organiques adsorbées sur les MES.
- ✓ Elimination des algues.
- ✓ Diminution de la couleur.
- ✓ Diminution éventuelle du taux du coagulant.
- ✓ Elimination partielle des mauvais goûts.
- ✓ Plus grande sûreté dans la désinfection.

Les taux de traitement à employer correspondent généralement au point critique, déterminés par analyse au laboratoire

Une pré-chloration trop importante peut engendrer la formation de composés indésirables ; organochlorés, halométhanés.

Surtout le chlore étant destructif pour les membranes d'osmose inverse, il est indispensable de maîtriser le taux de chlore en pré-chloration.

### II.1.1.3. Débourbage

Le débourbeur est un ouvrage de décantation cylindro-conique (Photo.3) équipé d'un racleur permettant d'évacuer le principal des boues qui arrive sur l'usine. Cet ouvrage peut être *by-passer* dans le cas où les eaux d'entrées sont assez propres pour passer directement sur le décanteur.

Deux ouvrages de mélange rapide sont placés en amont des débourbeurs dans lesquels on injecte les réactifs de coagulation/floculation si nécessaire.

La fonction de débourbage est assurée uniquement lorsque la concentration en MES de l'eau brute dépasse 2 g/l.

Lorsqu'elle est inférieure, les débourbeurs servent de bassin de contact pour la pré-chloration.

Les boues sont extraites par soutirage vers le traitement des boues ou vers le rejet selon la quantité de boues à extraire.

Selon la quantité de l'eau et le choix de l'opérateur différents réactifs peuvent être injectés en amont des débourbeurs dans l'ouvrage de mélange rapide (Photo.2) :

- Acide sulfurique.
- Sulfate d'alumine.
- Polymère.
- Charbon actif.



**Photo 2 : Injection des réactifs en amont des débourbeurs dans l'ouvrage de mélange rapide**



**Photo 3 : Débourbeur de la station de traitement des eaux potables de Khénifra**

#### II.1.1.4. Chaîne de Clarification

La clarification permet d'éliminer les MES (matières en suspension) minérales et organiques d'une eau brute ainsi qu'une partie des matières organiques dissoutes, et fraction floculable. Suivant les concentrations des différents éléments indésirables, plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre entre autres celles utilisés dans la station de Khénifra dont :

##### II.1.1.4.1. Coagulation

Les substances indésirables les plus difficiles à éliminer dans les eaux sont celles qui possèdent une très petite taille (particules colloïdales causant la turbidité) et celles qui sont dissoutes (matières organiques causant la coloration de l'eau). Ces substances portent habituellement une charge électrique négative qui empêche les particules de s'agglomérer les unes aux autres pour former des particules plus volumineuses (flocs). Le but de la coagulation est de neutraliser les charges de ces substances afin de favoriser la formation d'agglomérats. Pour ce faire, on introduit habituellement dans l'eau un produit chimique chargé positivement, le sulfate d'aluminium. Un jar-test doit être réalisé régulièrement (dès que la qualité de l'eau brute change significativement) afin de déterminer les taux optimum d'acide et de sulfate d'alumine.

##### II.1.1.4.2. Flocculation

Afin d'assurer une bonne agglomération et précipitation, il faut ajouter un flocculant tel que le polymère dilué par la boue et accompagné d'une agitation lente, l'agglomérat obtenu donc avec une taille satisfaisante sédimentera dans le bassin. Un test visuel de la taille des flocs, doit être réalisé quotidiennement et un Jar-test régulièrement afin de déterminer le dosage optimum de polymère. Une concentration de boues minimum (10g/l) doit être maintenue dans le flocculateur, via la recirculation, afin d'augmenter l'efficacité de la flocculation. La vitesse de l'agitateur doit permettre un bon mélange, éviter la décantation mais ne surtout pas être trop rapide pour ne pas casser les flocs.



**Photo 4 : Ouvrages de floculation de la station de Khénifra**

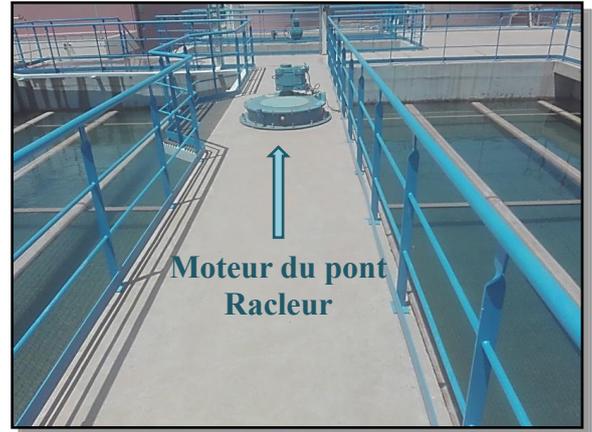


**Photo 5 : Ajout du polymère dans l'ouvrage de floculation**

#### II.1.1.4.3. Décantation

Après l'opération de floculation, les eaux sont dirigées, par gravité vers l'étage de décantation physico-chimique, qui vise la séparation plus poussée de l'eau et des matières en suspension. La station de traitement contient deux décanteurs lamellaires où les boues vont se déposer sur la partie inférieure des plaques inclinées afin d'assurer aux boues une évacuation rapide. L'eau claire, quant à elle, est recueillie en partie supérieure par un système de goulottes crantées (Fig. 11). Dans la partie inférieure de l'ouvrage, les boues décantées sont concentrées grâce à un racleur circulaire. Elles sont ensuite soutirées :

- ✓ Soit gravitairement si la concentration des boues est inférieure à 30 g/l. Dans ce cas les boues sont envoyées vers la bêche à boues puis renvoyées vers l'épaississeur.
- ✓ Soit par pompage si leur concentration dépasse 30 g/l. Dans ce cas, elles sont envoyées directement vers le rejet. Une partie des boues épaissies est recirculée via une pompe de recirculation dans l'ouvrage de floculation afin d'augmenter l'efficacité de la floculation en offrant un support (boues déjà floculées) pour les floccs en constitution.



**Photo 6 : Décanteurs de la station**

#### II.1.1.4.4. Filtration

Les filtres à sable sont utilisés pour la production d'eau potable. Ce processus permet de séparer les matières en suspension de l'eau traitée en se percolant dans une masse filtrante composée de :

**Tableau 1 : Caractéristique de la masse filtrante utilisée à la station de Khénifra**

MASSE FILTRANTE		
COUCHE	EPAISSEUR(m)	GRANULOMETRIE (mm)
Gravier	0.1	5
Sable	0.8	0.6
Pierre ponce	0.8	1.2

#### **Constitution d'un filtre :**

- ✓ Couche filtrante : pierre ponce et sable.
- ✓ Lit support : graviers.
- ✓ Planche et crépines.
- ✓ Vannes.
- ✓ Vasque et régulation de niveau.

### Principe de fonctionnement :

Chaque filtre est constitué d'un bassin rectangulaire en béton armé divisé en deux compartiments horizontaux par un faux plancher. Le matériau filtrant repose sur ce dernier et constitue un lit dont l'épaisseur est fonction de la qualité de l'eau à filtrer et de la vitesse de filtration.

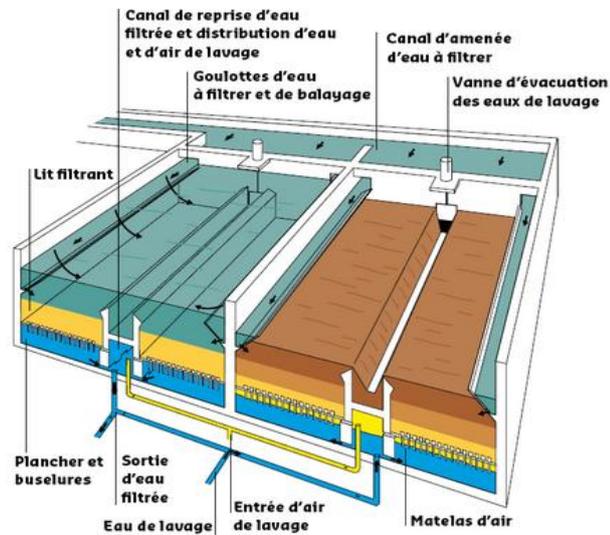


Figure 8 : Principe général de fonctionnement d'un filtre à sable

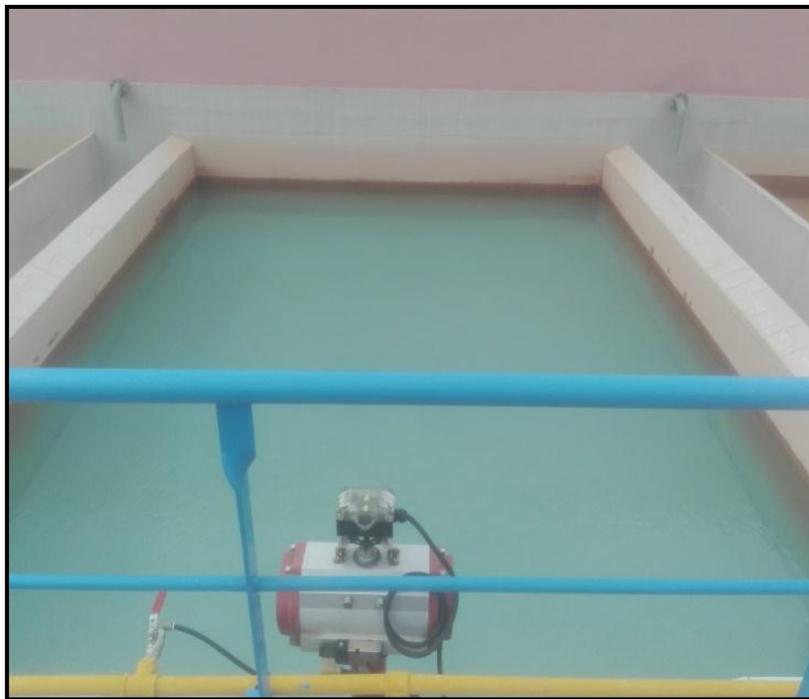
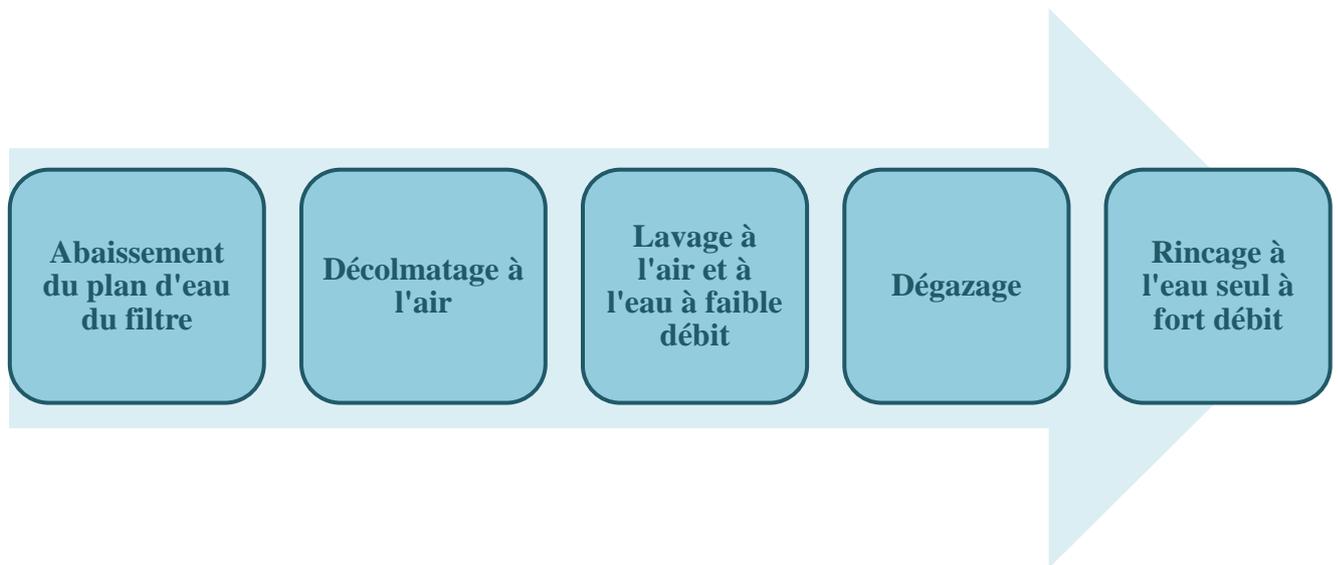


Photo 7 : Filtre de la station de traitement de Khénifra

Cette filtration entraîne une rétention des matières en suspension qui colmate le lit filtrant.

Un lavage périodique de la masse filtrante permet d'évacuer les matières en suspension afin de maintenir une qualité d'eau dans les phases de filtration.

Ce nettoyage s'effectue au moyen d'un contre-courant d'eau et d'air suivant un cycle prédéfini qui comporte 5 phases distinctes :



**Photo 8 : filtre au cours du lavage**

### II.1.2. Traitement Spécifique

La station de Khénifra dispose comme traitement spécifique : **LA DEMINERALISATION PAR OSMOSE INVERSE** qui est un mécanisme de traitement de l'eau très efficace. À ses débuts, elle était uniquement utilisée pour dessaler l'eau de mer, mais de nos jours la grande capacité de purification de ce système est également utilisée pour la purification de l'eau à des niveaux domestiques et industriels.

#### Principe de cette Méthode :

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration. Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes. Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique. Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène de l'osmose inverse.

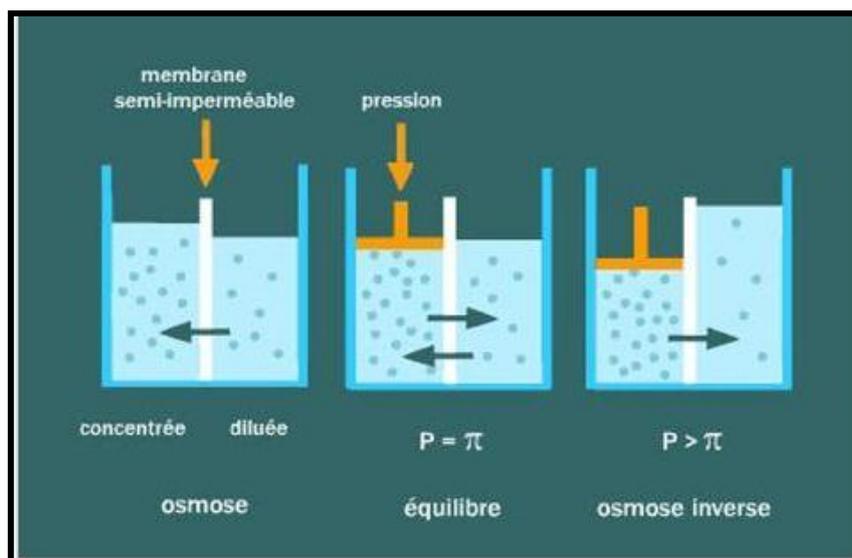


Figure 9 : Phénomène de l'osmose inverse

### II.1.2.1. Processus du traitement spécifique

Une partie de l'eau filtrée doit subir ensuite une importante étape afin d'améliorer sa saveur, Après le pompage à basse pression, assurant la régulation du débit d'entrée de l'osmoseur, l'eau filtrée destinée à être déminéralisée reçoit 3 prétraitements supplémentaires destinés à protéger les membranes d'osmose inverse :

#### **Injection du séquestant en amont de chaque microfiltre:**

- Pour prévenir les précipitations de carbonate et de sulfate sur les membranes.

#### **Les microfiltres:**

- Groupe de 3 microfiltres qui ont pour objectif de stopper les arrivées accidentelles de particules dans les membranes en cas de défaillance du prétraitement.

#### **Injection de bisulfite de sodium en continu en aval de chaque microfiltre:**

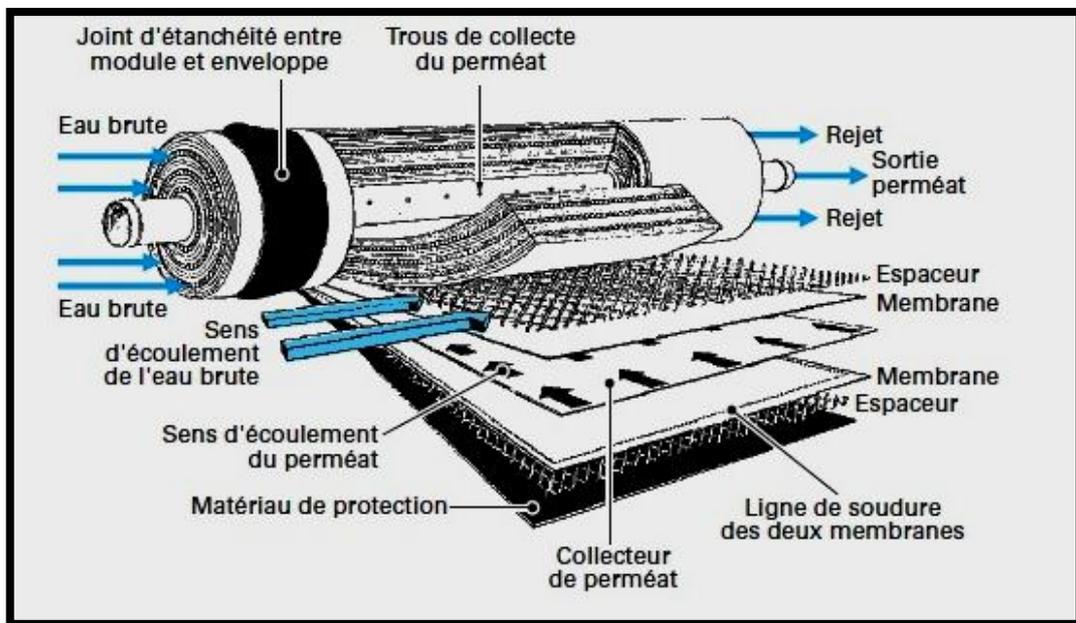
- Pour éliminer le chlore résiduel contenu dans l'eau à osmoser (eau filtrée), afin de protéger les membranes dont le matériau s'oxyde en présence de chlore



**Figure 10 : Pompes doseuses du séquestrant en amont des microfiltres**

### **II.1.2.2. Station de déminéralisation**

Après l'élimination de toutes les matières en suspension, l'effluent prétraité passe à la station de déminéralisation qui contient trois osmoseurs en parallèle. Sur la station de Khénifra, chaque osmoseur est composé de 2 étages de tubes de pression installés en mode « série-rejet », comprenant 52 tubes au 1er étage et 23 tubes au second étage. Chaque tube renferme 7 membranes reliées entre elles par un interconnecteur.



**Figure 11 : Structure d'une membrane d'osmose inverse**

Les osmoseurs sont alimentés à partir d'une bêche de pompage par un double pompage (photo 9):

- ✓ Les pompes BP sont équipées de variateurs de fréquence, elles doivent maintenir une pression constante sur le collecteur d'aspiration des pompes HP
- ✓ Les pompes HP sont équipées de variateurs de fréquence, elles doivent maintenir un débit d'alimentation fixe de chaque osmoseur et une pression à l'entrée des osmoseurs située dans une gamme définie (fonction de la température et de la salinité). Chaque osmoseur est équipé d'une mesure de débit d'entrée et d'une mesure de pression d'entrée. Il s'agit d'une double régulation.



**Photo 9 : Osmoseurs de la station**

En sortie de chaque osmoseur, le perméat du 1er étage est mélangé avec celui du 2ème étage pour alimenter la cuve d'eau osmosée, cette cuve a deux rôles :

- ✓ En fonctionnement, elle est maintenue pleine, le perméat est routé par débordement vers la bêche d'eau traitée. Lorsque l'osmoseur est arrêté, la cuve permet de réalimenter en eau osmosée les membranes qui subissent le phénomène d'osmose naturelle.
- ✓ L'alimentation de la cuve générale (1 seule cuve pour toute l'usine) dite de CIP (« Cleaning In Place ») en eau osmosée : cette cuve servira au nettoyage des membranes : nettoyage chimique ou flush au perméat.

### **II.1.2.3. Nettoyage chimique des membranes**

Les membranes se colmatent au fur et à mesure de la filtration, le colmatage est révélé par une augmentation de la pression nécessaire à l'entrée des osmoseurs pour passer le même débit. En fonction de la température de l'eau, de la salinité, et de l'âge des membranes, on définit la gamme de pression de fonctionnement des osmoseurs (pression entrée osmoseurs). Si l'on sort de cette gamme de pression, un nettoyage chimique est nécessaire. Le nettoyage chimique est une opération qui se fait manuellement sur ordre de l'exploitant. L'opérateur renseigne dans l'automate :

- ❖ L'osmoseur qui doit être nettoyé.
- ❖ L'étage qui doit être nettoyé.
- ❖ Le sens de nettoyage choisit : amont vers aval ou aval vers l'amont.

#### II.1.2.4. Impact de cette technique

Comme chaque technique de traitement de l'eau, l'osmose inverse présente des points forts et des points faibles, qui vous permettront d'évaluer s'il s'agit de la bonne technique pour vos besoins :

##### **Points forts :**

L'osmose inverse respecte l'environnement c'est un procédé qui ne produit pas et n'utilise pas de produits chimiques,

Ce système nécessite peu de puissance. Il fonctionne parfaitement sous l'effet de la pression du réseau d'eau de la distribution publique.

Les osmoseurs sont de petite taille et donc peu encombrants. Cela est pratique pour les petits espaces, par exemple en appartement,

Le goût de l'eau purifiée est un autre avantage distinctif de l'osmose inverse. Puisqu'elle n'utilise aucun produit chimique, la saveur est vraiment pure et dénuée de tout résidu indésirable. Pour finir, ce système filtre les bactéries et les éléments microscopiques.

##### **Points faibles :**

Le traitement d'osmose inverse consomme de l'eau. En effet, une partie de l'eau filtrée est rejetée avec les résidus indésirables; Certains sels minéraux peuvent aussi être enlevés durant le processus car il n'y a pas de système de tri dans les minéraux filtrés;

Le processus d'osmose inverse est un peu lent, car très minutieux,

L'installation du système doit être effectuée par un professionnel.

#### II.1.3. Désinfection

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau, Elle permet d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes de l'eau.

La désinfection des eaux comporte deux étapes importantes, correspondant à deux effets différents d'un désinfectant donné.

**Effet bactéricide** : capacité de détruire les germes en une étape donnée du traitement,

**Effet rémanent** : c'est un effet du désinfectant qui se maintient dans le réseau de distribution et qui permet de garantir la qualité bactériologique de l'eau.

## **Chapitre IV : Analyses des Eaux**

### **IV.1. Analyses Physico-chimiques**

#### **IV.1.1. Demande en Chlore**

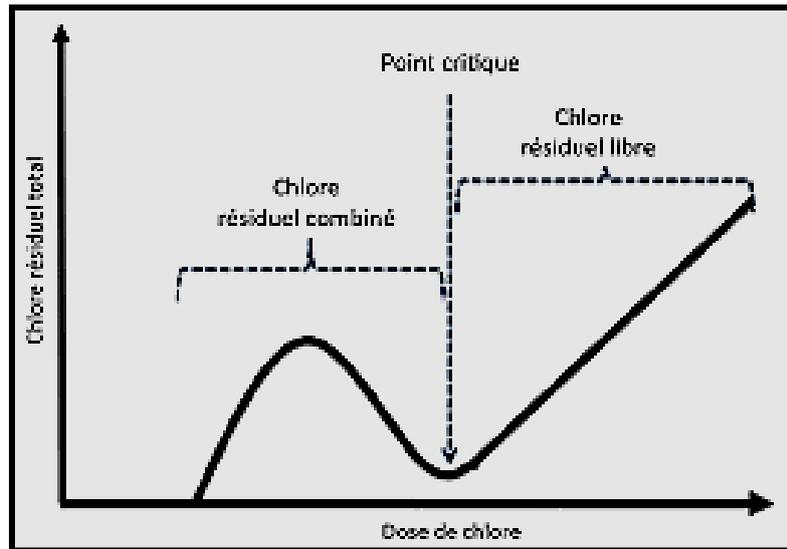
C'est la quantité de chlore nécessaire pour la désinfection de l'eau brute.

#### **Préparation des solutions :**

Une solution du chlore dosée dans un milieu acide (acide acétique) dans lequel les hypochlorites sont décomposés avec dégagement de chlore. Celui-ci oxyde les iodures, l'iode libéré est ensuite dosé par une solution de thiosulfate N/10. Lors du dosage la tombé de burette est multipliée par la valeur 3.55 pour obtenir le degré de javel dans la solution chlorée en mg/ml. A partir de cette solution mère, une solution fille dont la concentration est de 0.1mg/ml est préparée dans l'eau distillée ; c'est la solution qui on va ensuite utiliser.

#### **Description de l'essai :**

Si on introduit dans un échantillon d'eau des doses croissantes de chlore et que l'on recherche à la boue d'une demi-heure la dose du chlore résiduelle total, on constate que cette dose résiduelle au lieu d'augmenter régulièrement à une allure tel que schématisée dans la fig.40. Ceci est dû à ce que le chlore produit d'abord des composés d'addition avec les matières organiques de l'eau, composés qui sont eux même détruits par une dose de chlore plus forte. Le point optimal est la dose de chlore actif introduite pour laquelle il ne subsiste plus de composés d'addition chlorée dans l'eau et aussi la dose pour laquelle les goûts sont minimales et la décoloration la plus complète.



**Figure 12 : Représentation graphique du ( $\text{Cl}_2$  résiduel) = f ( $\text{Cl}_2$  ajouté)**

**Mode opératoire :**

- ❖ Contrôle du degré chlorométrique de l'eau de javel:

Dans un erlenmeyer, on met :

- 1) 1 mL d'eau de javel commercial,
- 2) 10 mL d'iodure de potassium KI (9N),
- 3) 10 mL de la solution acide acétique  $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$  (9N),
- 4) 10 gouttes d'empois d'amidon,

Le titrage se fait par le thiosulfate de sodium  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (N/10).

- ❖ Calcul de la concentration de la solution chlorée utilisée :

$$C \text{ massique (mg/l)} = 3.55 \cdot T_b$$

On mélange la solution d'hypochlorite, ou d'eau de chlore avec de l'eau distillée de façon à avoir une solution étalon à 0.1 mg/l.

On prépare 10 flacons en verre de 150 ml de volume que l'on numérote, on introduit dans chaque flacon 100 ml d'eau à analyser. Puis avec une burette, on ajoute des quantités

(croissantes de flacon en flacon) connues de solution chlorée étalon, de façon à avoir des concentrations choisies en chlore actif.

Après avoir bouché et agiter les flacons, on les abandonne à l'obscurité pendant 30 mn. Après, on dose le chlore résiduel en introduisant des réactifs colorimétriques habituels (EDTA, orthotolidine, DPD). On trace la courbe de concentration de chlore résiduel au bout de 30 mn en fonction de la concentration choisie en chlore actif introduit.

#### **IV.1.2. Jar Test ou essai de Coagulation et Flocculation**

L'objectif de cet essai est de déterminer la nature et les doses probables des réactifs permettant de clarifier l'eau dans la station de traitement, ces analyses doivent être effectuées sur l'eau brute et l'eau traitée: pH, TAC, TA, oxydabilité, turbidité. Ces paramètres nous donnent une première idée sur les résultats obtenus après traitement.

#### **Description des essais de flocculation :**

Les essais de coagulation-flocculation ont été conduits selon le protocole bien connu du « JarTest » sur un flocculateur à 4 agitateurs avec une vitesse de rotation individuelle variant entre 0 et 200 tr/min. Cet appareil permet d'assurer une agitation rigoureusement identique pendant une même période ; dans une série de béciers contenant 500 ml d'eau à examiner. Les essais de flocculation comportent trois phases : Une phase brève (2 min) d'agitation rapide (120 tr/min), pendant laquelle on procède à l'introduction du coagulant. Une phase longue (20 min) d'agitation lente (40 tr/min), pendant laquelle se produit la formation du floc. Une phase de décantation (30 min) durant laquelle le floc déstabilisé est entraîné vers le fond des béciers. Au cours du test, la qualité et la taille des floccs sont observées ainsi que la vitesse de décantation. A la fin du test, l'eau décantée est analysée (turbidité, pH, oxydabilité), puis filtrée afin de déterminer la turbidité, le TAC, et le pH de saturation. La dose choisie pour les essais de jar test réalisés est la dose la plus faible qui permet d'atteindre une eau de qualité à savoir une turbidité en eau décantée < 5 NTU, une turbidité d'eau filtrée < 0.5 NTU et une oxydabilité en eau traitée < 2 mg/L.

#### **IV.1.3. Température**

La température de l'eau doit être connue avec une bonne précision. En effet, celle-ci joue un rôle dans la solubilité des sels, surtout des gaz, la valeur du pH permet de déterminer l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. En général, le milieu entourant à une influence

sur la température de l'eau, ainsi la température des eaux superficielles est en relation étroite avec celle de l'air.

La température est indiquée sur le conductimètre. L'unité de la température est le degré Celsius (°C) ou le kelvin. La variation de la température a une grande influence sur la qualité de l'eau :

- ✓ Une température supérieure à 15°C favorise le développement des micro-organismes dans les canalisations.
- ✓ Intensifie l'odeur, la saveur et la couleur.
- ✓ Réduit la densité et la viscosité.
- ✓ Accélère les réactions chimiques et biochimiques.
- ✓ Favorise le développement des algues.
- ✓ Accélère la corrosion et la dissolution des métaux lourds.
- ✓ Diminue l'effet du chlore résiduel.

#### IV.1.4. Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH d'une eau ou le degré de son acidité ou alcalinité est en relation étroite avec la concentration des ions hydrogènes présents dans cette eau. On mesure le pH en introduisant les électrodes du pH-mètre dans l'eau à examiner.



**Photo 10 : pH-mètre**

#### IV.1.5.Turbidité

##### Définition :

La turbidité, paramètre organoleptique, mesure la capacité optique d'une eau à absorber ou/et à diffuser de la lumière, elle est due à la présence des matières en suspension.

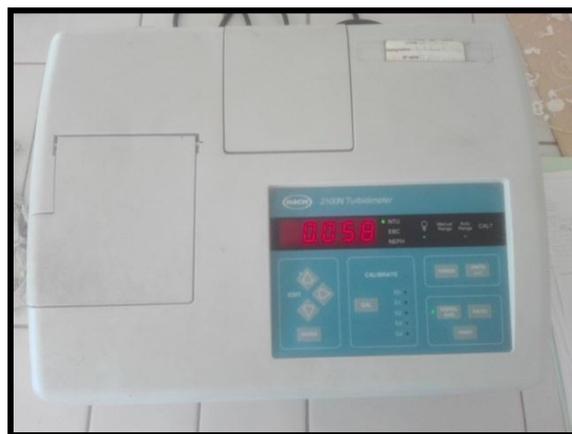
##### Principe :

La méthode néphélométrie est basée sur la comparaison de l'intensité de lumière diffractée par l'échantillon à celle d'un étalon de référence dans les mêmes conditions.

##### Matériel :

Pour mesurer la turbidité, on utilise le turbidimètre. L'unité de la turbidité est le NTU (unité turbidité nephelométrique).

**Norme: inférieur à 0.5 NTU**



**Photo 11 : Turbidimètre**

#### IV.1.6. Conductivité

##### Définition :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance (inverse de la résistance) d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métallique ou la capacité de l'échantillon de transmettre le courant. Elle est fonction de la concentration totale en ions, leurs mobilités, leurs valences, leurs concentrations relatives et de la température.

### **Mode opératoire :**

On remplit une cuve par l'échantillon bien homogénéisée, on introduit les électrodes dans l'échantillon et on mesure la conductivité de l'échantillon en siemens/cm ou  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### **IV.1.7.Chlore Résiduel**

Selon la valeur du pH, le chlore est sous forme d'acide hypochloreux ou d'hypochlorite. Pour savoir la concentration du chlore résiduel dans une eau, on remplit une cuvette de 10 ml par l'eau, puis on introduit un comprimé du DPD, après agitation, on obtient une coloration rose et on fait la lecture à l'aide du comparateur.

La concentration trouvée doit être entre 0.1 et 1 mg/l.

#### **IV.1.8.Alcalinité de l'eau ( TA et TAC)**

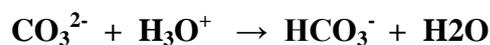
L'alcalinité d'une eau est sa teneur en ions hydroxyde ( $\text{OH}^-$ ) carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^{2-}$ ) elle est autant plus alcaline que son pH dépasse 7.

Dans la mesure de l'alcalinité on distingue deux types de titrage: le titrage alcalimétrique (TA) et le titrage alcalimétrique complet (TAC). [4]

##### **IV.1.8.1. Titre Alcalimétrique (TA)**

###### **Principe:**

Le titrage alcalimétrique correspond à la neutralisation des ions hydroxydes ( $\text{OH}^-$ ) et la transformation des ions carbonates ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) en ions hydrogénocarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) par un acide fort en présence d'indicateur coloré (phénophtaléine) selon les réactions suivantes:



Dans ce titrage on détermine la concentration des ions  $\text{OH}^-$  et la moitié de la concentration des ions  $\text{CO}_3^{2-}$ .

$$\text{TA (méq/l)} = [\text{OH}^-] + 1/2 [\text{CO}_3^{2-}]$$

### **Mode opératoire :**

On prend 100 ml d'un échantillon, on ajoute 3 à 4 gouttes de la phénophtaléine jusqu'à l'obtention de la première couleur de l'échantillon. Puis on dose par l'acide chlorhydrique jusqu'à la décoloration de l'échantillon.

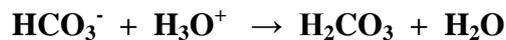
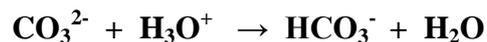
TA c'est la quantité ajoutée de HCl.

Si  $\text{PH} < 8,3$  TA=00.

### **IV.1.8.2. Titre Alcalimétrique Complet (TAC)**

#### **Principe :**

Le titrage alcalimétrique complet correspond à la neutralisation des ions hydroxyde ( $\text{OH}^-$ ), carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) et hydrogénocarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) par un acide fort (HCl) en présence d'indicateur coloré (hélianthine) selon les réactions suivantes:



Dans ce dosage on détermine la concentration des ions hydroxyde, carbonate et hydrogénocarbonate restants.

$$\text{TAC (még/l)} = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

### **Mode opératoire :**

On ajoute à l'échantillon de TA 3 à 5 gouttes d'hélianthine : la coloration devient jaune puis on titre par HCl jusqu'à ce que la coloration devienne orange.

TAC c'est la quantité ajoutée de HCl.

### **IV.1.9.Dureté Totale et Classique**

#### **Définition :**

La dureté d'une eau est la propriété de cette eau d'empêcher le savon de mousser, elle est due à la présence d'ions alcalino-terreux  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  qui forment des sels insolubles avec les acides gras des savons.

La dureté totale d'une eau est la concentration totale en ion calcium, magnésium et autres cations bivalents et trivalents dans cette eau.

La dureté calcique d'une eau est la concentration en ions calcium dans cette eau.

#### IV.1.9.1. Dureté Totale

A 100 ml d'eau à analyser, on ajoute 5ml de solution tampon, une petite spatule d'indicateur de noir d'éricrome T et on dose avec EDA jusqu'au virage du bleu royal.

#### IV.1.9.2. Dureté Calcique

A 100 ml d'eau à analyser, on ajoute 5ml de la solution de soude (NaOH), une petite spatule d'indicateur calcon (HHSNN) et on dose avec EDTA jusqu'au virage du bleu royal.

#### Résultats :

- **Dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH) :**

La dureté totale exprimée en méq/l par la formule :

$$\text{TH (méq/l)} = \text{Tb} \cdot 0.4$$

Norme:  $\text{TH} \leq 6 \text{ méq/L}$

- **Dureté calcique :**

La concentration en ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) exprimée en mg/l est donnée par la formule :

$$[\text{Ca}^{2+}] = \text{Tb} \cdot 8$$

#### IV.1.10. Oxydabilité

L'oxydabilité représente les matières oxydables qui peuvent être des matières minérales ou organiques.

#### Mode opératoire :

On met 100ml d'eau à analyser dans un ballon rodé ou un erlenmeyer rodé de 250 ml puis on ajoute :

### **1<sup>ère</sup> étape:**

- 2ml d'acide sulfurique concentré ( $H_2SO_4$ ),
- 10 ml de  $KMnO_4$  N/100,
- On chauffe au bain marie à  $100^\circ C$  pendant 13 min.

### **2<sup>ème</sup> étape :**

- Juste après, on ajoute 10 ml de  $Na_2C_2O_4$  (N/100), la solution devient incolore,
- Le titrage, en retour, se fait par permanganate de potassium (N/100), jusqu'à l'apparition d'une teinte rose.

### **Vérification :**

- On ajoute 10ml de  $Na_2C_2O_4$  (N/100), la solution devient incolore,
- Puis on fait le titrage par  $KMnO_4$  (N/100) jusqu'à l'apparition d'une couleur rose.

### **Résultats :**

$$M.O.(mg/L) = 0.8 * TB$$

TB : tombé de burette

Normes :  $VmR = 2mg/L$

### **IV.1.11.Oxygène dissous**

#### **Principe :**

L'oxygène dissous réagit avec l'hydroxyde de manganèse **Mn (OH)<sub>2</sub>** formé par l'addition du chlorure de manganèse et d'hydroxyde de sodium **NaOH**. L'hydroxyde de manganèse (2) permet, après acidification, d'oxyder l'iodure de potassium **KI** préalablement introduit avec libération d'une quantité équivalente d'iode. L'iode ainsi libéré est dosé à l'aide d'une solution titrée de thiosulfate de sodium (**Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**).

## Prélèvements :

- **Prélèvement du robinet**

On fixe un tube en caoutchouc très souple au robinet et l'autre extrémité est plongée au fond du flacon après avoir purgé l'air qu'il contient.

- **Prélèvement d'un oued ou un réservoir**

On utilise une pompe sans conduite d'aspiration et on refoule l'eau au fond du flacon de prélèvement en laissant couler de façon à renouveler au moins trois fois le volume du flacon.

## Mode opératoire :

- **Prise d'essai :** elle est constituée par la totalité de l'échantillon prélevé,
- **Fixation d'oxygène :** elle doit être effectuée sur les lieux mêmes du prélèvement, on introduit successivement à l'aide d'une pipette plongeant au fond du flacon 2ml de solution de chlorure de manganèse  $MnCl_2$  et 2 ml du réactif alcalin à l'iodure de potassium KI,
- **On agite et on laisse décanter le flacon avant d'être transporté au laboratoire,**
- **Dosage iodométrique :** on introduit à l'aide d'une pipette au fond du flacon 5 ml d'acide chlorhydrique concentré, puis on agite,
- **Titrage avec thiosulfate de sodium  $Na_2S_2O_3$  :** on prend 100 mL de la solution et on la dose avec le thiosulfate de sodium (N/50) jusqu'à décoloration du mélange en présence d'empois d'amidon.

## Résultats :

$$O_2 \text{ (mg/L)} = Tb * 1.6$$

Norme :  $5 \leq O_2 \leq 8$

### IV.1.12.Essai d'agressivité

#### Principe :

La détermination du pouvoir dissolvant d'une eau au carbonate de calcium se fait en déterminant l'augmentation de l'alcalinité et du pH.

### Mode opératoire :

Dans un flacon de 250ml, on introduit un volume d'eau inférieur à 250 ml, on ajoute quelques grammes de carbonate de calcium (le flacon doit être rempli sans bulles d'air). On agite pendant 3 heures, et on laisse reposer pendant 24 heures, puis on détermine le  $pH_s$  (saturé) dans le flacon avant filtration et on mesure le TAC.

### Résultats :

Pour savoir si l'eau est agressive ou incrustante, il faut calculer l'indice de saturation :

$$I_s = pH_0 - pH_s$$

Si  $I_s > 0$  l'eau est incrustante (riche en ions et anions)

Si  $I_s < 0$  l'eau est agressive (dépend de la teneur de carbonate de calcium)

### **IV.1.13.Chlorures**

#### Mode opératoire :

On prend 100ml d'eau brute, on ajoute 5 gouttes indicatrices de pH et quelques gouttes d'acide nitrique (N/3) jusqu'à l'apparition d'une coloration jaune, puis on ajoute un excès de 3 gouttes d'acide nitrique  $HNO_3$  et on fait le dosage avec le nitrate mercurique  $Hg(NO_3)_2$  (N/10) jusqu'à l'apparition d'une coloration violette foncée.

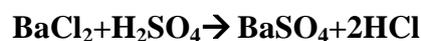
#### Résultats :

$$[Cl^-](mg/L) = 35.5 * T_b$$

### **IV.1.14.Sulfates**

#### Principe :

L'ion sulfate est précipité dans l'acide chlorhydrique contenant  $BaCl_2$  avec formation des cristaux de  $BaSO_4$  de taille uniforme selon la réaction suivante :



La mesure de l'absorbance de la suspension de **BaSO<sub>4</sub>** se fait par transmission au spectrophotomètre.

### **Mode opératoire :**

On met dans un erlenmeyer de 250ml, 100ml d'eau à analyser et exactement 5ml de **HCl** et on mélange, puis on ajoute 0.5 g de cristaux de **BaCl<sub>2</sub>** avec toujours agitation et on met simultanément le chronomètre en marche. On agite pendant 1 minute et on remplit immédiatement la cellule du spectrophotomètre afin de mesurer l'absorbance, à 30 secondes, à une longueur d'onde de 546 nm.

### **Résultats :**

L'absorption obtenue donne la concentration de **SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>** dans la solution grâce à une courbe d'étalonnage faite à partir de la solution standard de sulfate.

Norme : 200 mg/L.

## **IV.1.15.Nitrates**

### **Principe :**

Les nitrates sont presque quantitativement réduits en nitrite par du cadmium recouvert d'une couche de cuivre après traitement au sulfate de cuivre (**CuSO<sub>4</sub>**). Les nitrites produits forment avec l'acide sulfanilique, un composé diazoïque couplé avec le **N-(1naphtyl diamine 1,2éthane)**. Le NED donne une coloration rose caractéristique dont l'intensité est mesurée au spectrophotomètre à 540nm.

- **Préparation de la colonne :**

La préparation de la colonne consiste à laver 60g de cadmium ayant une granulométrie de 1.5mm qui est à l'intérieur de la colonne avec 400ml de la solution tampon diluée.

N.B: il ne faut jamais laisser la colonne à sec.

### **Mode opératoire :**

On vérifie si le pH est compris entre 7 et 9 si non on ajoute **HCl** ou **NaOH**, on ajoute après à 50mL de l'échantillon 1.25mL de la solution tampon. On percole l'échantillon à travers la colonne à un débit de 7 à 10ml/min, on jette les premiers 25mL et on récupère le

reste dans un flacon. On ajoute 1mL du réactif sulfanilique à 25ml récupérés et on laisse réagir pendant 2 à 8min, on ajoute 1mL du réactif NED et on mélange.



**Photo 12 : Spectrophotomètre**



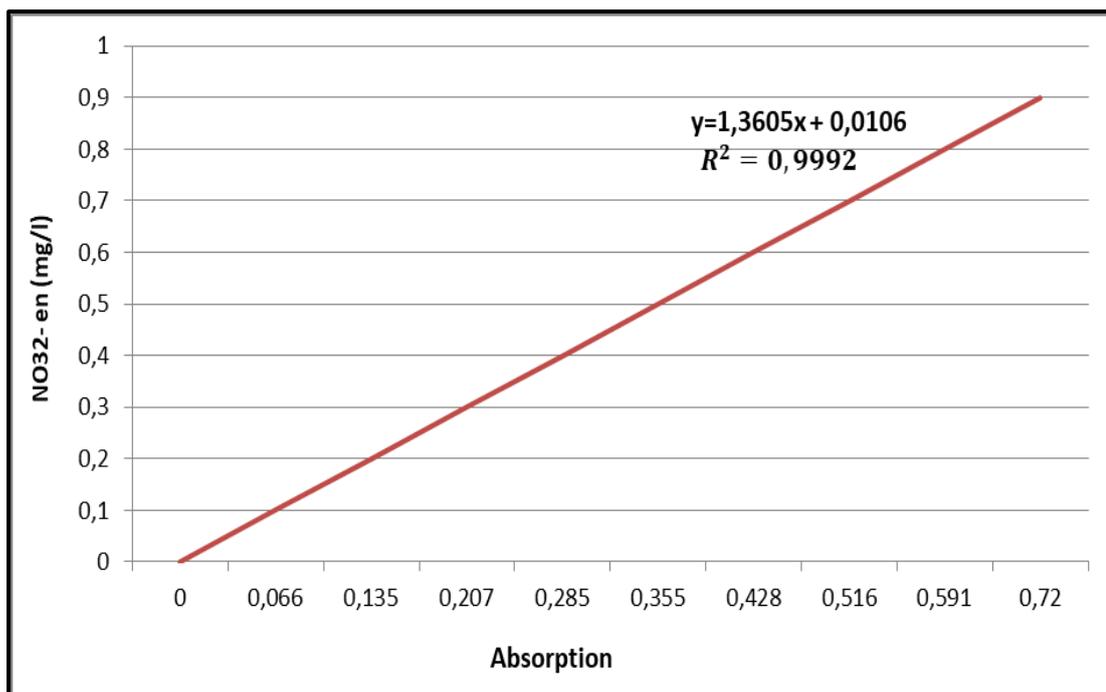
**Photo 13 : Solutions de nitrites après ajout du NED**

### **Résultats :**

On lit l'absorbance de l'échantillon, après 30 à 120mn, à  $\lambda=540\text{nm}$ , après on détermine la concentration de  $\text{NO}_3^-$  à l'aide de l'équation de Beer Lambert.

**Tableau 2 : Mesure de l'absorbance des [Nitrates] par spectrophotométrie**

Absorbance	[Nitrates] en (mg/l)
0	0
0,066	0,1
0,135	0,2
0,207	0,3
0,285	0,4
0,355	0,5
0,428	0,6
0,516	0,7
0,591	0,8
0,72	0,9



**Figure 13 : Courbe d'étalonnage**

- **Interprétation**

La courbe est sous forme d'une droite qui va pouvoir nous permettre de déterminer les concentrations souhaitées.

**Tableau 3 : Concentrations des échantillons à partir de la courbe d'étalonnage**

Echantillons	Dillution	ABS	Concentration (mg/l)
1	100	0,068	10,31
2	50	0,145	10,39
3	50	0,177	12,57

Normes :  $[\text{NO}_3^-]$  inférieur à 50 mg/L.

#### **IV.1.16. Analyse par Kits**

##### **IV.1.16.1. Manganèse (Mn)**

Pour déterminer la concentration de Manganèse, alors on utilise le kit de Mn, premièrement on va prendre 20mL de l'eau à analyser dans les deux tubes A et B, on ajoute toujours dans le tube A, 8 gouttes de Mn-1A, 4 gouttes de Mn-2A et on laisse le mélange reposer presque 2 minutes, puis on ajoute 4 gouttes de Mn-3A et on le laisse presque 5

minutes mais l'autre tube reste comme un témoin, après, on compare les couleurs entre ces deux tubes.

#### IV.1.16.2. Fer (Fe)

Pour le fer, on fait la même chose que le manganèse, dans les deux tubes A et B (témoin) de 20 ml, on met 6 mL d'échantillon et on l'ajoute 3 gouttes de Fe-AN, puis on le laisse reposer pendant 3 minutes, après, on compare les couleurs entre ces deux tubes.

#### IV.1.16.3. Aluminium (Al)

Pour l'aluminium on met 5 mL d'échantillon dans les deux tubes A et B (témoin) et on l'ajoute 1 micro cuillère (bouchon bleu) de Al-1A, 1 seringue (1.2 mL) de Al- 2A et 4 gouttes de Al-3A, puis on le laisse reposer pendant 7 minutes, après, on compare les couleurs entre ces deux tubes.

### IV.2. Analyses Bactériologiques

Dans toutes les stations de traitement, on effectue des analyses bactériologiques pour déterminer les différentes sortes de bactéries qui se trouvent soit dans l'eau brute ou l'eau traitée.

A cet effet, on utilise 3 méthodes:

- La méthode de la membrane filtrante (MF) pour les eaux traitées.
- La méthode du nombre le plus probable (MPN) pour les eaux brutes
- La méthode d'incorporation en gélose pour les eaux traitées.

#### IV.2.1. Eaux traitées

##### Définitions :

**Coliformes totaux :** les bactéries en bâtonnets, non sporogone, gram négative, aérobies ou anaérobie facultatif, capables de croître en présence de sels biliaires et de fermenter le lactose avec production d'acide (ou d'aldéhyde) et de gaz en 48 heures à la température de 37 °C.

**Coliformes fécaux:** les bactéries coliformes ayant les mêmes propriétés à 44°C que les bactéries coliformes fécaux.

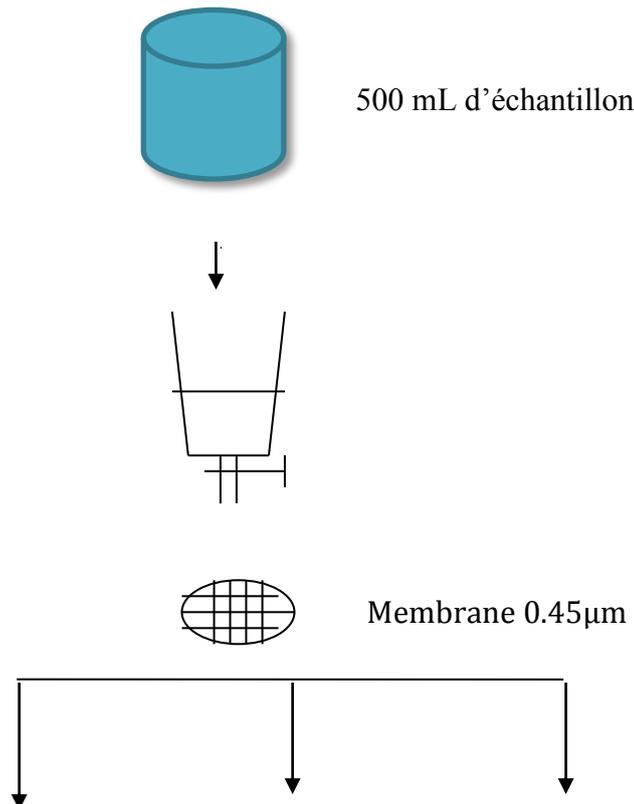
**Protocole expérimental :**

- Recherche et dénombrement des bactéries Coliformes dans les eaux traitées :

**MEMBRANE FILTRANTE**

**Principe :** La méthode dite de membrane filtrante consiste à filtrer un volume 100 ml de l'échantillon sur une membrane de 0.45µm de porosité qui est déposé ensuite sur un milieu sélectif avant incubation.

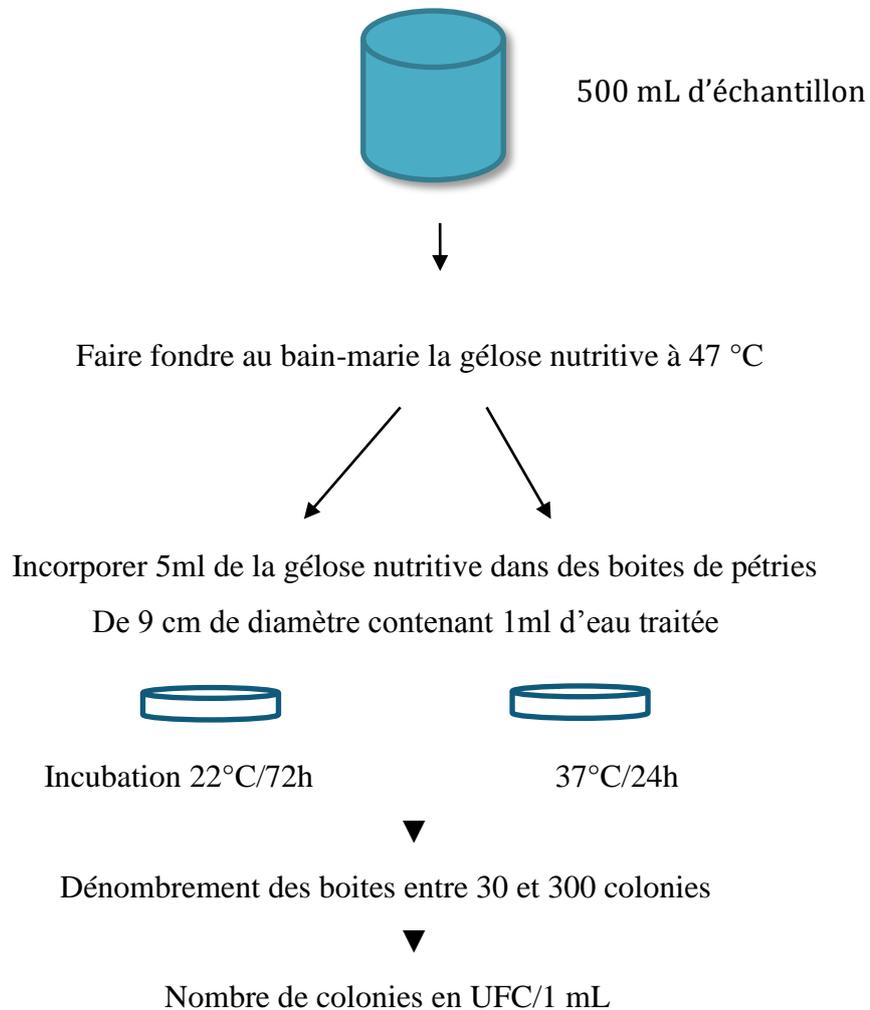
**Test présomptif**



<b>Bactéries</b>	Coliformes totaux	Coliformes fécaux	Streptocoques
<b>Milieu de culture correspondant</b>	Tergitol-7	Tergitol-7	Slanetz
<b>Temps et température d'incubation</b>	37°C/24h	44°C/24h	37°C/48h
<b>Résultats en cas de présence de bactéries</b>	Colonie jaune Marron rose	colonie jaune Halo jaune	colonie rouge Halo jaune

- Recherche et dénombrement des germes dans les eaux traitées :

### INCORPORATION EN GELOSE



Un test sélectif pour les deux méthodes n'est pas nécessaire puisque l'échantillon est une eau dans le réseau de distribution qui est nécessairement désinfectée dont on y trouve pas ces espèces.

Norme : VMA = 0

#### IV.2.2. Eaux Brutes

On cherche dans ce type d'eau :

- **Les coliformes totaux et coliformes fécaux.**
- **Les streptocoques fécaux.**

**Protocole expérimental :**

- Recherche et dénombrement des bactéries coliformes dans les eaux brutes:

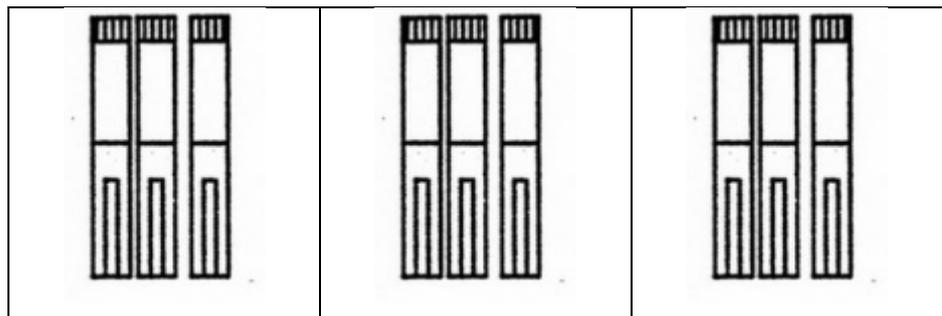
**NOMBRE LE PLUS PROBABLE (NPP)**

La méthode dite NPP consiste à ensemencer des séries de tubes avec un volume donné de l'échantillon à analyser ou de ses dilutions.

**Test présomptif**



500mL d'échantillon



<b>Volume à ensemencer</b>	10 mL	1mL	0.1mL
<b>Milieu de culture correspondant</b>	Bouillon Lauryl double concentration	Bouillon Lauryl simple	Bouillon Lauryl simple
<b>Incubation</b>	37°C/48h		

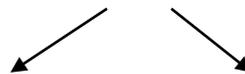
Dénombrement des tubes positifs :

**Tableau 4 : Résultat d'un exemple de dénombrement des coliformes**

Exemple : Dénombrement des Coliformes  Tube + = tube présentant de la culture et du gaz					
	Dilutions	$10^0$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$
Groupement des résultats	+++	+++	++-	+--	---
✈ Nombre correspondant	3	3	2	1	0

Test confirmatif

Tubes positives



Bactéries	Coliformes totaux	Coliformes fécaux
Ensemencement dans le milieu de culture correspondant	Vert brillant	E.C.medium
Incubation	37°C/48h	44°C/24h

Dénombrement des tubes positifs trouble + gaz



Lecture sur la table de Mac Crady

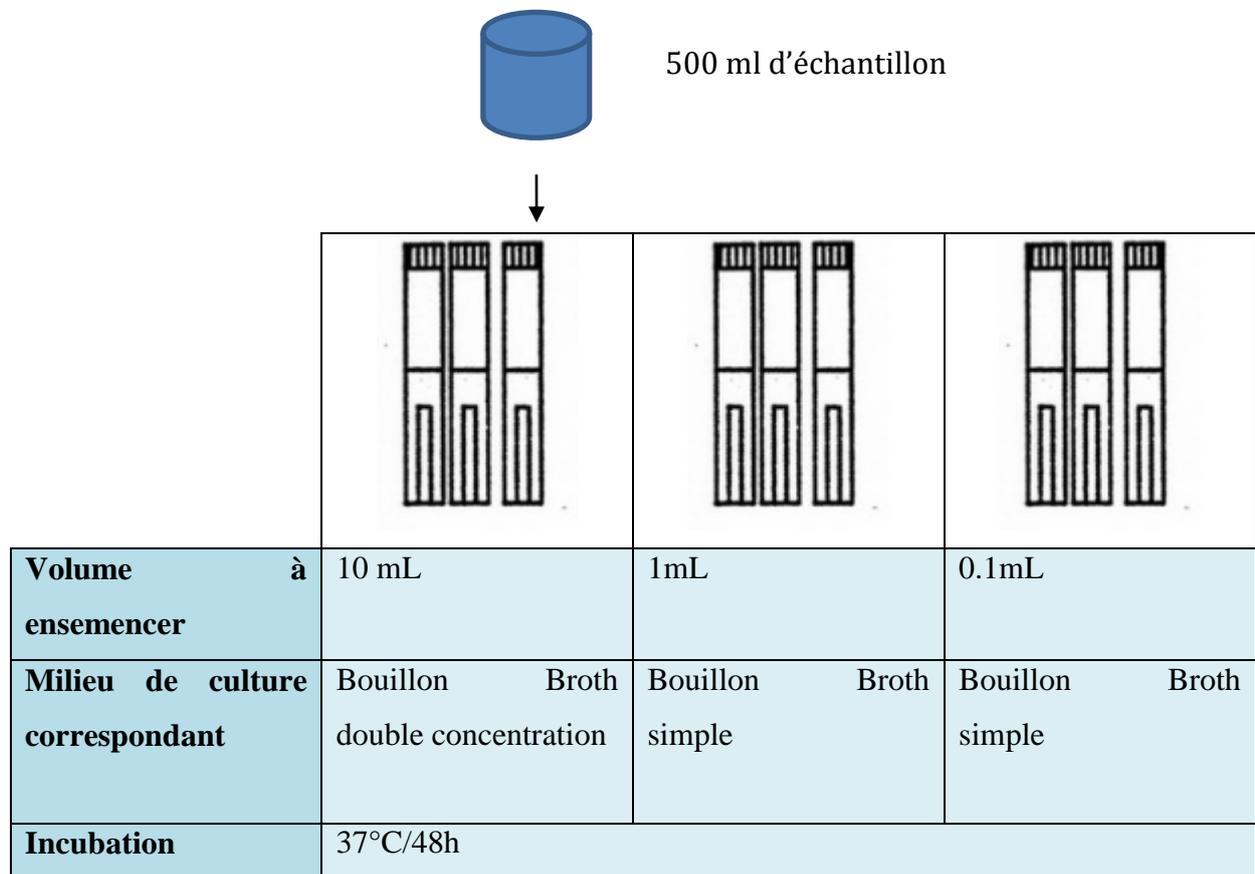


Nombre le plus probable (NPP)/1

- Recherche et dénombrement des bactéries des streptocoques dans les eaux brutes :

## NOMBRE LE PLUS PROBABLE

### Test présomptif



Dénombrement des tubes positifs :

Trouble et/ou dépôt.

### Test confirmatif

▼  
Repiquer les tubes positifs sur le milieu confirmatif Litsky

▼  
Incubation à 37°C/48h

▼  
Dénombrement des tubes positifs trouble + pastille violette

▼  
Lecture sur la table de Mac Crady

▼  
Nombre le plus probable (NPP)/100

## Résultats :

Les résultats d'analyse pris en considération sont ceux du test confirmatif. Le tableau de Mac Crady donne le nombre le plus probable pour les dilutions 10mL, 1mL et 0.1mL. Quand plus de trois séries de dilution sont utilisées, le résultat à considérer sera seulement celui de trois dilutions.

Si les dilutions utilisées sont 1mL, 0.1mL et 0.01mL, les résultats de la quatrième colonne seront multipliés par 10.

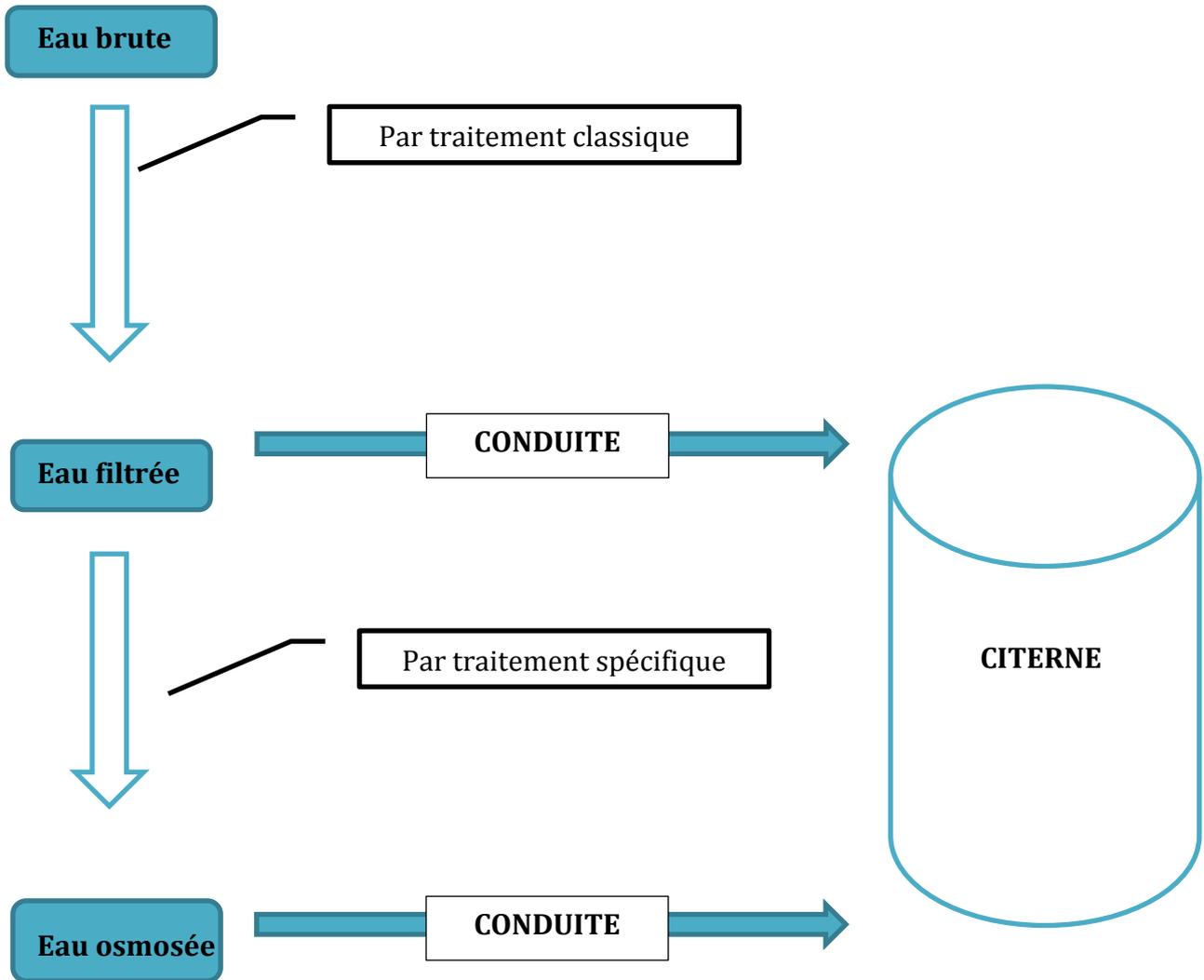
Si on a utilisé 0.1, 0.01 et 0.001, on multiplie par 100.

**Tableau 5 : Table de mac crady du nombre le plus probable**

Nombre de tubes donnant un résultat positif	Nombre de tubes donnant un résultat positif	Nombre de tubes donnant un résultat positif	NNP de bactéries dans 100 ml
3 tubes de 10 ml	3 tubes de 1 ml	3 tubes de 0,1 ml	
	0	1	3
0	1	0	3
1	0	0	4
1	0	1	7
1	1	0	7
1	1	1	11
1	2	0	11
2	0	0	9
2	0	1	14
2	1	0	15

2	1	1	20
2	2	0	21
2	2	1	28
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	110
3	3	3	>1100

CHAPITRE IV : SUIVI ET INTERPRETATION DE LA CONDUCTIVITE DE L'ENTREE A LA SORTIE DE LA STATION



**Tableau 6 : Paramètre de conductivité ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) des eaux aux différentes étapes de traitement du moi 05/2018**

DATE	CONDUCTIVITE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )				
	Eau brute	Eau filtrée	Eau osmosée	Eau microfiltrée	Eau traitée
02/05/2018	<b>1733</b>	<b>1688</b>	<b>1749</b>	<b>95.7</b>	<b>910</b>
03/05/2018	<b>1740</b>	<b>1739</b>	<b>1757</b>	<b>94</b>	<b>1090</b>
04/05/2018	<b>1760</b>	<b>1756</b>	<b>1760</b>	<b>65.2</b>	<b>1037</b>
07/05/2018	<b>1818</b>	<b>1815</b>	<b>1813</b>	<b>72</b>	<b>1270</b>
08/05/2018	<b>1820</b>	<b>1811</b>	<b>1819</b>	<b>72.5</b>	<b>1160</b>
09/05/2018	<b>1812</b>	<b>1836</b>	<b>1839</b>	<b>104</b>	<b>894</b>
10/05/2018	<b>1749</b>	<b>1785</b>	<b>1796</b>	<b>88.5</b>	<b>923</b>
11/05/2018	<b>1817</b>	<b>1812</b>	<b>1807</b>	<b>78</b>	<b>1110</b>
14/05/2018	<b>1898</b>	<b>1887</b>	<b>1885</b>	<b>114.7</b>	<b>1174</b>
15/05/2018	<b>1917</b>	<b>1928</b>	<b>1928</b>	<b>115</b>	<b>946</b>
16/05/2018	<b>1932</b>	<b>1922</b>	<b>1923</b>	<b>105</b>	<b>732</b>
17/05/2018	<b>1929</b>	<b>1932</b>	<b>1941</b>	<b>105</b>	<b>920</b>
18/05/2018	<b>1826</b>	<b>1846</b>	<b>1849</b>	<b>100</b>	<b>719</b>
21/05/2018	<b>1815</b>	<b>1803</b>	<b>1800</b>	<b>95.7</b>	<b>1087</b>
23/05/2018	<b>1896</b>	<b>1883</b>	<b>1902</b>	<b>98.8</b>	<b>840</b>
24/05/2018	<b>1930</b>	<b>1929</b>	<b>1809</b>	<b>91.9</b>	<b>764</b>
25/05/2018	<b>1943</b>	<b>1943</b>	<b>1930</b>	<b>107.3</b>	<b>833</b>
28/05/2018	<b>1963</b>	<b>1974</b>	<b>1934</b>	<b>89</b>	<b>1020</b>

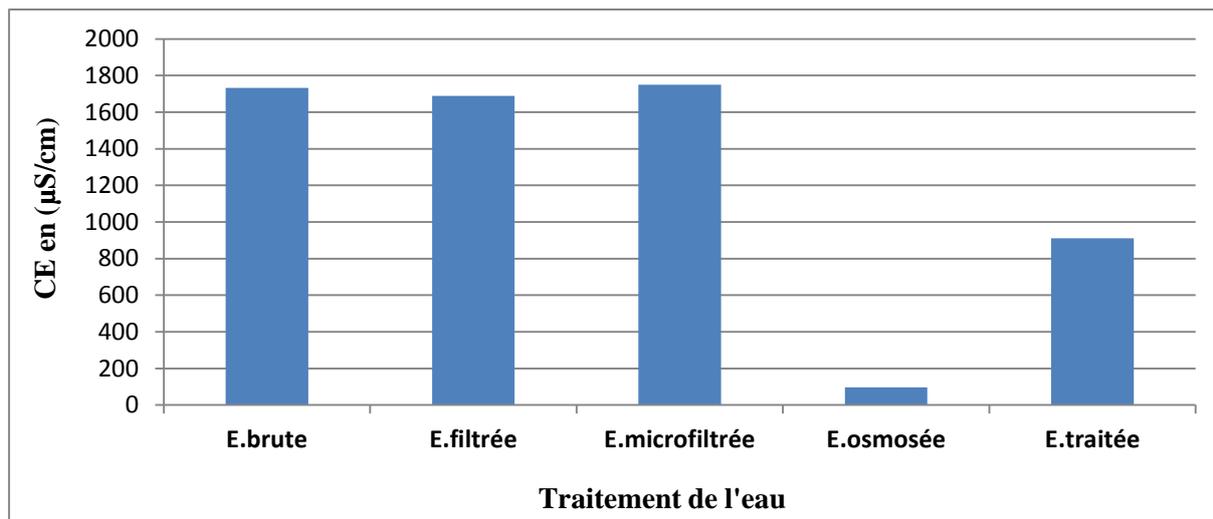


Figure 14 : Histogramme montrant la conductivité (en  $\mu\text{S}$ ) de chaque eau depuis l'entrée jusqu'à la sortie (le 02/05/2018)

### **Interprétation :**

Selon les différentes étapes que l'eau brute a subies en arrivant au stade de la microfiltration, on constate que sa conductivité demeure presque constante du fait que cette eau n'a subi qu'un traitement classique qui ne consiste qu'à clarifier l'eau, mais une fois passant par la station de déminéralisation, la variation de la conductivité a connu une chute très importante qui atteint les centaines. Cette eau osmosée donc est non potable (norme :  $V_{mR} = 110$ ) va être reminéralisée par l'eau filtrée qui va être à son tour diluée dans la citerne pour, finalement, obtenir une eau traitée respectueuse aux normes et au goût moins salé.

## CONCLUSION GENERALE

A l'issue de cette étude qui a porté essentiellement sur le suivi et l'interprétation des traitements des eaux potables en amont de la déminéralisation par osmose inverse, il ressort que la totalité des traitements utilisés sont conformes à la réglementation nationale en matière de potabilité de l'eau.

Cette déminéralisation a permis aux habitants de la ville de Khénifra et ses localités avoisinantes de bénéficier d'une eau renfermant les éléments nécessaires en sels minéraux et de minimiser le taux des chlorures.

En conclusion, les eaux de la ville de Khénifra sont considérées grâce à cette méthode comme bonnes à consommer. Il serait souhaitable de mener régulièrement ce type d'études ayant pour objectif d'améliorer encore la qualité et le goût de l'eau consommée par les habitants de Khénifra.

Si le procédé de l'osmose inverse - qui est en très forte progression – tient la quasi-totalité du marché, la recherche sur des nouvelles méthodes est très active.

Le challenge technique est de mettre au point un procédé plus économe en énergie, si possible renouvelable. En cherchant à se rapprocher de l'ultime limite de l'énergie minimum de dessalement, cela en étant respectueux de l'environnement.

L'ambition économique est que l'eau dessalée devienne enfin accessible aux populations pour qui les technologies actuelles restent encore hors de portée pour des questions de coût d'investissement.

De ce point des technologies solaires de petite capacité de production, éventuellement peu performantes mais à très faible coût d'investissement, peuvent tout à fait avoir leur place.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENKADDOUR A., RHOJJATI A., NOUR EL BAIT M., (2008).** *Hydrologie et Sédimentation actuelles au niveau des lacs Iffer et Aguelmam Azizga (Moyen Atlas, Maroc).* In H. Aouraghe, H.Haddoumi & El Hammouti (eds), *Le Quaternaire marocain son contexte méditerranéen. Actes de la quatrième rencontre des quaternaristes marocains (RSM4).* Oujda, 15-17 novembre 2007. Volume 1 : Géologie, Paléoenvironnements et Datations. Publications de la Faculté des Sciences d'Oujda, 108-118.
- BOUTAHRINE F., (2014).** *Optimisation des traitements des eaux potables en amont de la déminéralisation.* Mémoire Master, Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Maroc.
- JARIRI S., (2009).** *Expérience de l'Onep en matière de dessalement d'eau.* Revue HTE N°142, 88p.
- HAMOUCHE S., (2008).** *Dosage par spectromètre des dérives azotes :  $NH^{4+}$ ,  $NO^{2-}$ ,  $NO^{3-}$ .* Mémoire Licence, Faculté des Sciences et Techniques de Fès, Maroc.
- HERRADI J., (2018).** *Khénifra : Mobilisation autour des Ressources Hydriques.* Revue L'économiste du 25/03/2018, Ed 5222, Maroc.
- Monographie de la région de Béni Mellal-Khénifra** (Ministère de l'intérieur, Secrétariat Général, Division de l'urbanisme et de l'Environnement, Région Béni Mellal-Khénifra, 2015).