



## *Sommaire*

Liste des figures .....	6
Liste de tableau .....	7
Nomenclature .....	9
Abstract .....	10
Résumé .....	11
Introduction .....	11
CHAPITRE I : PRODUCTION DE L'EAU POTABLE .....	14
I. Introduction .....	14
II. Origine des eaux brutes .....	15
II.1 Eaux de pluie .....	15
II.2 Eaux de surface .....	15
II.3 Eaux souterraines .....	16
II.4 Eaux de mer .....	17
III. Techniques de traitement de l'eau .....	17
IV. Description générale d'une chaîne classique de traitement d'eaux de surface .....	19
IV.1 Prétraitement .....	20
IV.1.1 Dégrillage et tamisage .....	20
IV.1.2 Le dessablage et le débouage .....	20
IV.2 Préoxydation .....	20
IV.3 Traitement de clarification .....	21
IV.3.1 Coagulation-floculation .....	21
IV.4 Décantation .....	23
IV.5 La filtration .....	23
IV.6 Traitement de désinfection .....	24
IV.7 Affinage .....	24
V. conclusion .....	24
CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA VILLE DE KHENIFRA .....	26



I.	Introduction.....	26
II.	Situation géographiques.....	27
III.	La géologie de la ville de Khénifra.....	27
IV.	Climatologie de la région.....	28
V.	Hydrologie et hydrogéologie de la région .....	29
V.1	Hydrologie du bassin d'Oum Errabia à Khénifra.....	29
V.2	Hydrogéologie .....	30
VI.	Conclusion .....	33
CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA STATION DE TRAITEMENT DES EAUX POTABLE DE KHENIFRA .....		
I.	Présentation de l'entreprise.....	35
I.1	Historique .....	35
I.2	Organigrammes de la direction régionale et du secteur de production .....	37
II.	Les eaux d'alimentation de la ville de Khénifra.....	38
III.	Station de traitement Khénifra .....	39
III.1	La station existante.....	40
III.2	Nouvelle station de traitement.....	43
III.2.1	Origines des eaux à traiter.....	44
III.2.2	Ouvrage de brise charge.....	45
III.2.3	RMC1.....	46
III.2.4	Arrivée des eaux dans l'usine .....	46
III.2.5	Répartition et mélange rapide M1.....	47
III.2.6	Débourbeurs .....	49
III.2.7	Répartition et mélange rapide M2.....	50
III.2.8	Les flocculateurs .....	51
III.2.9	Les décanteurs.....	52
III.2.10	Les filtres.....	53
III.2.11	Station de déminéralisation .....	54
CHAPITRE IV : RESULTATS EXPERIMENTAUX .....		
I.	Introduction.....	61
II.	Demande en chlore .....	62



II.1	Procédures expérimentales .....	62
II.1.1	Préparation des solutions .....	62
II.1.2	Description de l'essai .....	62
II.2	Résultats et discussion.....	63
III.	Essais de coagulation-floculation.....	65
III.1	Procédures expérimentales .....	65
III.1.1	Préparation des solutions .....	65
III.1.2	Description des essais de floculation .....	65
III.2	Résultats et discussion.....	66
IV.	Caractérisation de l'eau filtrée et microfiltrée .....	72
IV.1	Procédures expérimentales .....	72
IV.1.1	Description des essais .....	72
IV.2	Résultats et discussion.....	73
V.	La matière organique .....	74
V.1	Procédures expérimentales .....	74
V.1.1	Description de l'essai d'oxydabilité.....	74
V.2	Résultats et discussion.....	74
VI.	Devenir des boues issues des décanteurs .....	75
VI.1	Procédures expérimentales .....	75
VI.1.1	Description de l'essai .....	75
VI.2	Résultat et discussion .....	76
VII.	Quelques paramètres de qualité physico-chimique et organique des eaux aux différentes étapes de traitement au cours des mois février, mars, avril, et mai .....	77
	Conclusion générale.....	786
	Références bibliographiques : .....	79



## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Schéma classique d'une station de potabilisation des eaux de surface .....	20
<b>Figure 2:</b> Coagulation-floculation (HERNANDEZ DE LEON, 2006) .....	23
<b>Figure 3:</b> Carte des domaines structuraux du Maroc (M.SAADI 1982) .....	28
<b>Figure 4:</b> Carte géologique de la région de Khénifra prise de la carte géologique du Maroc .....	29
<b>Figure 5:</b> Bassin versant de l'Oum Errabia à Khénifra bassin hydrogéologique .....	32
<b>Figure 6:</b> Site des sources de l'Oum Errabia .....	33
<b>Figure 7:</b> Chaîne de traitement de la station de Khénifra .....	39
<b>Figure 8:</b> Schéma synoptique de station de traitement existante .....	40
<b>Figure 9:</b> Grilles N°1 de la station de traitement existante .....	40
<b>Figure 10:</b> Grilles N°2 de la station de traitement existante .....	40
<b>Figure 11:</b> Mélangeur1 .....	41
<b>Figure 12:</b> Mélangeur2.....	41
<b>Figure 13:</b> Partie amont des débourbeurs .....	41
<b>Figure 14:</b> Partie aval des débourbeurs .....	41
<b>Figure 15:</b> Décanteurs –floculateurs statique .....	42
<b>Figure 16:</b> Les filtres à sable monocouches .....	42
<b>Figure 17:</b> Schéma synoptique de la nouvelle station de traitement des eaux .....	43
<b>Figure 18:</b> Alimentation en eau de la station de Khénifra .....	45
<b>Figure 19:</b> Prise d'eau + brise charge .....	45
<b>Figure 20:</b> Le piquage qui permet d'amener l'eau vers la station de traitement .....	45
<b>Figure 21:</b> Vanne AH-VPR-1100 .....	46
<b>Figure 22:</b> Débitmètre .....	47
<b>Figure 23:</b> Crépine.....	47
<b>Figure 24:</b> Les chloromètres .....	48
<b>Figure 25:</b> Répartition / mélange M1 .....	48
<b>Figure 26:</b> Mélange M1 vers débourbeur 1 .....	49
<b>Figure 27:</b> Débourbeur .....	50
<b>Figure 28:</b> Coagulateur M2 .....	51
<b>Figure 29:</b> Pompe doseuse de sulfate .....	51
<b>Figure 30:</b> Floculateurs .....	52
<b>Figure 31:</b> Décanteur .....	53
<b>Figure 32:</b> Pompes de recirculation des boues .....	53
<b>Figure 33:</b> Filtres à sable bicouches .....	54
<b>Figure 34:</b> Filtre au cours de lavage .....	54
<b>Figure 35:</b> Traitements supplémentaires pour la protection des membranes d'osmose .....	54
<b>Figure 36:</b> Pompes doseuses du séquestrant .....	55



Figure 37: Schéma de fonctionnement des microfiltres et leurs principaux composés .....	55
Figure 38: Les microfiltres .....	56
Figure 39: Les osmoseurs .....	58
Figure 40: Représentation graphique (29/04/2014) ( $cl_2$ résiduel) = f ( $cl_2$ ajouter) .....	62
Figure 41: L'évolution de la turbidité, la charge bactérienne et de la demande en chlore au cours des mois (février, mars, avril et mai) .....	62
Figure 42: L'évolution du chlore résiduel en fonction du temps de contact .....	63
Figure 43: L'évolution du chlore résiduel en fonction de la température .....	63
Figure 44: Représentation de la turbidité et d'oxydabilité d'eau brute et les dose du coagulant et du floculant au cours des mois (février, mars, avril, mai) .....	65
Figure 45: le comportement d'eaux brutes coagulées et l'influence de la boue sur cette coagulation .....	66
Figure 46: L'influence de la recirculation de la boue sur les turbidités des eaux, décantée, filtrée et traitée .....	67
Figure 47: Courbe d'étalonnage de la pompe de recirculation des boues .....	68
Figure 48: Variation de la turbidité de l'eau décanté et filtrée en fonction du pourcentage de vernier da la pompe de recirculation.....	69
Figure 49: Variation de la teneur en MO des eaux brute, filtrée et microfiltrée .....	73
Figure 50: Variation du volume de boue décantée en fonction du temps .....	84

## Liste de tableau

Tableau 1: Modules mensuels interannuels de l'Oum Errabia à Khénifra (en m <sup>3</sup> /s) pour diverses périodes (A.BENTAYEB et CLAUD LECLERC, 2013).....	29
Tableau 2: Crues de l'Oum-Errabia à Khénifra (A.BENTAYEB et CLAUD LECLERC, 2013)30	
Tableau 3: Crues de l'Oum Errabia à Khénifra selon leur fréquence (A.BENTAYEB et CLAUD LECLERC, 2013).....	30
Tableau 4: Les caractéristiques géométriques et hydrauliques des ressources qui alimente la ville .....	38
Tableau 5: Les dimensions des débourbeurs.....	49
Tableau 6: suivie de la qualité de l'eau à différent étape de traitement en différent débit de recirculation des boues.....	70
Tableau 7: Valeurs repères pour SDI.....	72
Tableau 8: Caractéristiques de l'eau filtrée et microfiltrée .....	73
Tableau 9: Teneur en MO .....	74
Tableau 10: Quelque paramètre physico-chimique de l'effluent avant et après traitement....	76



---

<b>Tableau 11:</b> Quelques paramètres de qualité physico-chimique et organique des eaux aux différentes étapes de traitement.....	77
--	----



## Nomenclature

**CF:** Coliformes fécaux

**Cl<sub>2</sub>R:** Chlore résiduel

**IS:** Indice de saturation

**MES:** Matière en suspension

**MO:** Matière organique

**NTU:** Nephelometric Turbidity Unit (unité néphélométrique de turbidité)

**ONEE:** Office nationale de l'eau et d'électricité

**SF:** Streptocoques fécaux

**SPD:** Sous produits de désinfection

**TA:** Titre alcalimétrique

**TAC:** Titre alcalimétrique complet

**TDS:** Total des solides dissous

**TH:** Titre hydrotimétrique

**THM:** Trihalométhanes

**SDI:** Silt density Index



## Abstract

The water treatment station of the city Khénifra is considered among the largest water treatment stations in Morocco because it has the ability to produce a global rate that equals 650 l / s.

It consists of two processing chains, existing and can produce a flow of 150 l / s, and a new one which can produce a flow rate of 460 l / s, the station was built to meet the shortfall drinking water given the population growth of the population. This new station is equipped with a demineralization unit (osmosis inverse) to reduce the chloride level (due to the nature of the terrain traversed by the water) and other minerals in the water.

To protect the membranes of the station specific treatment should be the standard treatment in the standards. This study therefore aims to optimize the process water. So we made an optimization of reagents (chlorine, coagulant and flocculant). In a second step, we have also performed before optimization level recirculated sludge flocculator. The sludge permits a particularly good water clarification by creating a support and also to promote the flocs settling.

**Keywords:** treatment plant, drinking water, conventional treatment, specific treatment, demineralization plant, membrane, sludge recirculation, optimization of treatment.





## Résumé

La station de traitement des eaux de la ville de Khénifra est considérée parmi les plus grandes stations de traitement des eaux au Maroc car elle a la capacité de produire un débit globale qui égale 650 l/s.

Celle-ci est constituée de deux chaînes de traitement, une existante et peut produire un débit de 150 l/s, et une nouvelle qui peut produire un débit de 460 l/s, cette 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 (osmose invers) afin de diminuer le taux de chlorure (du à la nature du terrain traversée par ces eaux) et d'autres minéraux dans l'eau.

Afin de 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 l'optimisation du traitement des eaux.

Aussi nous donc avons opéré une optimisation des réactifs (chlore, coagulant et floculant). Dans un deuxième temps, nous avons pu aussi réaliser une optimisation des boues recirculées au niveau des floculateur. Les boues ont notamment permis une bonne clarification des eaux en créant un support pour les floes et favoriser aussi la décantation.

Durant ce stage, nous avons aussi réalisé un suivi du SDI de l'eau microfiltrée ainsi que les essais de valorisation de boue.

**Mots clés :** station de traitement, eau potable, traitement classique, traitement spécifique, unité de déminéralisation, membrane, recirculation des boues, optimisation des traitements.

## Introduction

L'eau est un bien indispensable à la vie et à la santé. Or, l'accès à une eau potable sûre et saine est un droit fondamental dont sont encore privées plus d'un milliard d'êtres humains. Chaque année, près de 3,5 millions de décès dans le monde sont encore directement imputables à l'insuffisance d'eau et d'assainissement.





La politique de l'eau au Maroc vise à une utilisation rationnelle de ressources limitées pour faire face aux besoins d'une population croissante qui devrait atteindre 43 millions vers 2020 avec une consommation moyenne accrue par habitant. En ce qui concerne la qualité de l'eau, les stratégies prennent en compte des impératifs spécifiques tel que :

- Le contrôle régulier de la qualité de l'eau suivant un programme précis,
- Le contrôle des rejets domestiques, industriel et agricole,
- La spécification d'objectifs de qualité à moyen terme,
- La mise en œuvre de projets pilote de démonstration.

Trois secteurs essentiels à l'économie nationale, sont les principaux utilisateurs de l'eau : L'eau potable/ industrielle, l'agriculture et l'énergie.

Le secteur agricole est le plus gros consommateur (92%), la desserte d'eau potable et les industries consomment environ (8%) des ressources et les consommations pour l'énergie sont insignifiantes.

Le contexte hydrologique du Maroc est caractérisé par une irrégularité marquée de la disponibilité en eau, aussi bien sur le plan temporel. Ces caractéristiques imposent la construction de grands ouvrages de stockage pour régulariser les débits et les grands adducteurs pour le transport de l'eau de régions déficitaires mais où les possibilités de valorisation sont prometteuses.

Le Maroc est ainsi actuellement engagé dans les études de faisabilité de nouveaux transferts entre bassins versants.

La définition précise de la qualité de l'eau potable livrée à l'alimentation humaine permet de protéger la santé du consommateur. A l'échelle nationale le ministère de la santé publique contrôle la qualité de l'eau potable, les organismes producteurs et/ou distributeurs de l'eau potable assurent la surveillance de la qualité de l'eau qu'ils produisent et/ou distribuent.

ONEE organisme public chargé de la production d'eau potable à l'échelle nationale au niveau urbaine effectue le contrôle et la surveillance de la qualité de l'eau sur tout son réseau d'approvisionnement public en eau de la source de prélèvement jusqu'au consommateur.

Le traitement de l'eau par coagulation flocculation est d'usage très répandu. Ce traitement permet de réduire la couleur et la turbidité normalement causées par les contaminants organiques, inorganiques et biologiques à un niveau acceptables pour l'eau potable. Les coagulants utilisés peuvent être de nature organique ou inorganique.

Le but principal de cette étude porte sur le suivi des paramètres de qualité et l'optimisation des étapes de la clarification de la Station de Traitement des Eaux Potables de Khénifra.



Dans le premier chapitre, nous décrivons les principales étapes du traitement des eaux de surface. Nous insistons sur l'étape de clarification par coagulation-floculation qui constitue un traitement fondamental pour une eau destinée à la consommation.

Le deuxième chapitre concerne la présentation de la ville de Khénifra, notamment, son hydrologie, Hydrogéologie et climatologie.

La description de la station de traitement des eaux potable de Khénifra est détaillée au troisième chapitre.

Le dernier chapitre regroupe les résultats expérimentaux ainsi que les interprétations.



## **CHAPITRE I : PRODUCTION DE L'EAU POTABLE**

### **Introduction**

L'objectif du traitement est de protéger les consommateurs de microorganismes pathogènes et d'impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé. L'eau qui coule au robinet, reflète les deux préoccupations permanentes que sont la santé publique et le confort et le plaisir de boire.



Les services de l'eau (ONEE, Collectivités, Sociétés privées...) doivent disposer d'une eau brute suffisante de bonne qualité pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Le traitement va consister à prévoir une chaîne ou filière de traitements dans le but de rendre l'eau conforme aux limites et aux références de qualité.

## Origine des eaux brutes

Il existe quatre sources principales d'eaux brutes: les eaux de pluie, les eaux de surface, les eaux souterraines et les eaux de mer. Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction Eau- milieu environnant.

### Eaux de pluie

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme les sels de magnésium et de calcium ; elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques. La distribution des pluies dans le temps ainsi que les difficultés de captage font que peu de municipalités utilisent cette source d'eau.

### Eaux de surface

On peut répartir ces eaux en trois catégories : eaux de rivière (partie amont), eaux de rivière (partie aval) et eaux de lac. La dureté de toutes les eaux de surface est modérée.

- ***Les eaux de rivières (partie amont) :***

L'amont d'une rivière est général situé dans une région montagneuse, où la densité de Population faible et les industries pratiquement inexistantes. Les principales caractéristiques de ces eaux sont présentées ci-dessous :

- turbidité élevée : le régime des rivières étant torrentiel, les eaux transportent de grandes quantités de matières en suspension.
- contamination bactérienne faible : la pollution causée par l'homme ou l'industrialisation y est pratiquement inexistante.
- Température froide : Ces eaux proviennent soit de sources, soit de fonte de neige et des glaciers.



- Indice de couleur faible : Ces eaux n'ont pas eu le temps de dissoudre des matières végétales, principales sources de couleur.

- ***Les eaux de rivières (partie aval) :***

L'aval d'une rivière est en général situé dans une région où la population est dense, l'agriculture développée et les industries sont plus ou moins nombreuses. Les eaux y sont donc habituellement de moindre qualité et plus difficiles à traiter qu'en amont. Les principales caractéristiques de ces eaux sont présentées ci-dessous :

- Contamination bactérienne élevée, Cette contamination est surtout imputable au déversement des égouts domestique et agricoles.
- Contamination organique et inorganique élevée. Les eaux usées domestiques, agricoles et industrielles contiennent de grandes quantités de matières organiques et inorganiques.
- Indice de couleur pouvant être élevé. Dans beaucoup de cas, les eaux ont eu le temps de dissoudre des matières végétales qui les colorent.

Signalons que le débit et la qualité des eaux de rivière (amont et aval) peuvent varier en peu de temps. C'est pourquoi les usines de purification doivent être suffisamment complexes pour réagir rapidement à toute modification des caractéristiques des eaux de rivière.

- ***Eau de lac***

On peut considérer un lac comme un bassin naturel de décantation dont la période de rétention est longue. La turbidité de l'eau y est donc faible et la contamination bactérienne habituellement peu importante. Les caractéristiques de lac varient très lentement au cours de l'année, à l'exception de deux courtes périodes au printemps et l'automne. Durant ces périodes, la différence de température entre les eaux de surface et les eaux profondes peut provoquer un renversement des eaux du lac et augmenter ainsi brusquement la turbidité.

## **Eaux souterraines**

Les eaux souterraines enfouies dans le sol, sont habituellement à l'abri des sources de pollution. Puisque les caractéristiques de ces eaux varient très peu dans le temps, les usines de purification n'ont pas à résoudre les problèmes dus aux variations brusques et importantes de la qualité de l'eau brute. Les principales caractéristiques des eaux souterraines sont présentées ci-dessous :

- Turbidité faible : Les eaux bénéficient d'une filtration naturelle dans le sol.



- Contamination bactérienne faible : Le très long séjour dans le sol, la filtration naturelle et l'absence de matières organique ne favorisent pas la croissance des bactéries.
- Température constante : Les eaux souterraines sont à l'abri du rayonnement solaire et de l'atmosphère.
- Indice de couleur faible : Les eaux souterraines ne sont pas en contact avec les substances végétales, sources de couleur.
- Débit constant : Contrairement à celles des eaux de rivière, la qualité et la quantité des eaux souterraines demeurent constantes durant toute l'année.
- Dureté souvent élevée : Les eaux peuvent être en contact avec des formations rocheuses contenant des métaux bivalents ( $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ , etc.) responsables de la dureté.
- Concentration élevée de fer et de manganèse : ces métaux souvent présents dans le sol, sont facilement dissous lorsque l'eau ne contient pas d'oxygène dissous.

## Eaux de mer

Les eaux de mer sont une source d'une eau brute qu'on n'utilise que lorsque il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations en sels dissous ; c'est ce qu'on appelle la salinité, celle-ci des eaux de mer varie de 33000 à 37000 mg/l.

## Techniques de traitement de l'eau

Pour atteindre les objectifs de potabilisation et d'élimination des matières organiques, les traitements conventionnels, mis en œuvre sur les usines de production d'eau potable à partir d'eaux de surface, correspondent à des modifications physiques, physico-chimiques, chimiques et biologiques. Les principaux procédés de traitement interviennent au cours du prétraitement, traitement de clarification, traitement de désinfection et affinage.

Au cours de ce chapitre, nous décrivons donc les principales étapes du traitement des eaux de surface. Nous insisterons sur l'étape de clarification par coagulation-floculation qui constitue un traitement fondamental pour une eau destinée à la consommation.

### ✓ *Procédés physiques*

Ces procédés consistent à faire passer l'eau à travers des filtres et tamis, à la laisser décanter, à la filtrer sur des matériaux classiques (sable) ou adsorbants (charbons actifs) et, parfois, à utiliser de l'air sous pression pour faire remonter diverses matières à la surface (flottation).



### ✓ *Procédés physico-chimiques*

Par l'ajout de réactifs, on parvient à une coagulation des matériaux en suspension, qui sont éliminés par la suite.

### ✓ *Procédés chimiques*

Certains éléments chimiques (chlore, ozone, gaz désinfectant) sont utilisés pour agir sur les métaux et pour détruire les germes. Enfin, des procédés de neutralisation ou d'acidification permettent de contrôler le pH de l'eau.

### ✓ *Procédés biologiques*

Certaines cultures bactériennes mises en contact avec l'eau éliminent des éléments indésirables.

### ✓ *Technique de traitement spécifique (des Eaux salées)*

Les eaux de mer sont caractérisées par leurs concentrations élevées en sels dissous, donc le traitement consiste à diminuer cette concentration pour avoir une eau de salinité acceptable. La méthode utilisée dans ce cas est le dessalement de l'eau de mer qui est un procédé permettant de traiter de l'eau salée ou saumâtre afin de la rendre potable ou utilisable pour l'irrigation. Cette technique est généralement moins rentable que le traitement des sources d'eau douce, qu'il s'agisse des eaux de surface ou des nappes souterraines. Cependant, elle est utilisée dans certaines régions du monde où les sources d'eau douces sont inexistantes ou insuffisantes pour répondre aux besoins de la population ou de la production agricole. Il existe 2 filières de dessalement :

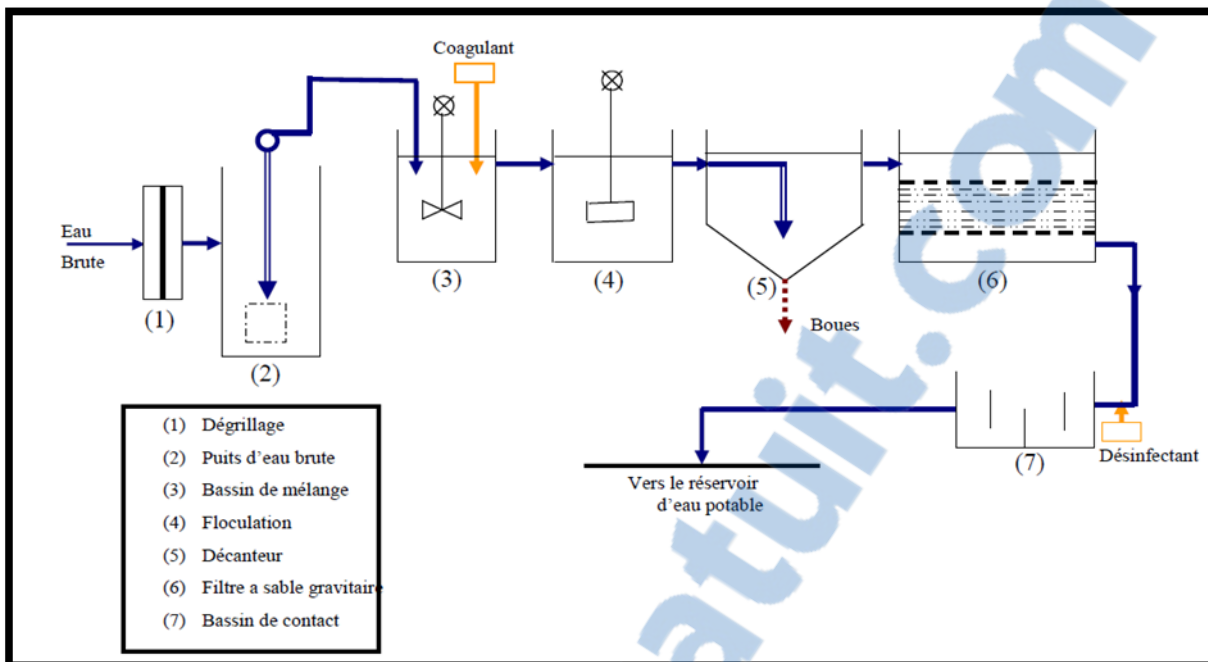
#### ➤ *Filière thermique (Distillation)*

La distillation consiste à évaporer l'eau de mer, soit en utilisant la chaleur des rayons solaires, soit en la chauffant dans une chaudière. Seules les molécules d'eau s'échappent, laissant en dépôt les sels dissous et toutes les autres substances contenues dans l'eau de mer. Il suffit alors de condenser la vapeur d'eau ainsi obtenue pour obtenir une eau douce consommable.

#### ➤ *Filière membranaire :*

**L'électrodialyse** : est utilisée pour les eaux saumâtres. Le sel se dissout dans l'eau en ions négatifs (-) et en ions positifs (+), qui sont mis en mouvement par un courant électrique à travers des membranes anionique (-) et cationique (+), ce qui diminue la quantité de sel dans l'eau.





en gaz dissous, en matières en suspension et organiques, ainsi qu'en plancton. Elles sont très sensibles à la pollution minérale et organique.

Le principal objectif d'une station de production d'eau potable est de fournir un produit qui satisfait à un ensemble de normes de qualité à un prix raisonnable pour le consommateur.

L'efficacité du traitement adopté dépendra de la façon dont sera conduite l'exploitation de l'usine de traitement. Pour atteindre l'objectif souhaité, l'exploitant devra d'une part respecter certains principes élémentaires pour assurer le contrôle du processus de traitement et le contrôle de l'eau traitée, et d'autre part disposer d'un certain nombre de moyens technique et humains (VALENTIN, 2000).

Le schéma classique d'une station de potabilisation d'une eau de surface est généralement constitué des phases suivantes (fig.1) :

- Prétraitement
- préoxydation
- Traitement de clarification
- Traitement de désinfection.
- Affinage.



## Prétraitement

Les eaux brutes doivent généralement subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement comportant un certain nombre d'opérations physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments, dont la nature ou la dimension constituerait un gêne pour les traitements ultérieurs. Les opérations de prétraitement peuvent comporter un dégrillage, un dessablage, un tamisage ou un débouage.

Selon la qualité de l'eau brute, une station de traitement peut comporter une ou plusieurs de ces opérations (DEGREMONT, 1989 ; BEAUDRY, 1984 ; VALIRON, 1984).

### *Dégrillage et tamisage*

Ils arrêtent mécaniquement les corps flottants grossiers d'une dimension supérieure à celle des mailles ou à l'espacement des barreaux. Les grilles et le tamis doivent être régulièrement nettoyés.

### *Le dessablage et le débouage*

Ils retiennent les particules minérales et une partie des limons dans le but de protéger les équipements et d'éviter la surcharge des décanteurs.

## Préoxydation

L'oxydation est une opération essentielle à tout traitement des eaux. A l'issue du prétraitement, on a une eau relativement propre mais qui contient encore des particules colloïdales en suspension. Celle-ci peut être faite de trois façons différentes:

- Ajout du chlore (préchloration).
- Ajout du dioxyde de chlore.
- Ajout d'ozone (préozonation).

La préchloration est effectuée avant le procédé de clarification. Le chlore est le réactif et le plus économique, mais il a comme inconvénient de former avec certains micropolluants des composés organochlorés de type chloroforme ou des composés complexes avec les phénols, de type chlorophénol dont le goût et l'odeur sont désagréables (CIDF-L. DES EAUX, 2000). Le chlore ou ses dérivés sont fréquemment utilisés afin d'assurer la désinfection de l'eau potable. Malgré la production de sous-produits de désinfection (SPDs) tels que les THMs, la chloration représente un progrès majeur dans le traitement de l'eau et la protection de la santé publique. En effet, le chlore



assure la destruction ou l'inactivation de nombreux microorganismes pathogènes. De plus, sa rémanence dans le réseau de distribution prévient l'apparition de maladies d'origine hydrique (GALAL-GORCHEV, 1996). En raison de la forte réactivité du chlore, l'utilisation de ce réactif comme désinfectant induit également la transformation d'un certain nombre de micropolluants tels que les pesticides ou les cyanotoxines. Les SPDs générés et leur toxicité potentielle doivent donc être examinés avec attention.

Enfin, l'ozone est un oxydant qui non seulement a l'avantage de détruire les matières organiques en cassant les chaînes moléculaires existantes, mais également a une propriété virulicide très intéressante, propriété que n'a pas le chlore. Généralement utilisé en désinfection finale, cette technique peut être mise en œuvre en oxydation. Elle peut aussi être employée pour l'amélioration de la clarification. L'un des avantages d'une préozonation est l'oxydation des matières organiques, et une élimination plus importante de la couleur. Un autre avantage est la diminution du taux de traitement (taux de coagulant) dans les procédés de clarification. En somme, la préozonation est une solution de substitution à la préchloration. On évite ainsi les problèmes liés aux sous-produits de la chloration. Néanmoins ce procédé ne résout pas tous les problèmes car certaines algues résistent à l'ozone. De plus, son coût reste beaucoup plus élevé que celui du chlore. (NALCO, 1993).

## Traitement de clarification

Clarifier une eau, c'est la débarrasser de toutes les particules colloïdales et en suspension qui ont échappé au prétraitement et qui donnent à l'eau une turbidité et une couleur indésirable. Elle s'effectue par : Coagulation-floculation, décantation et filtration.

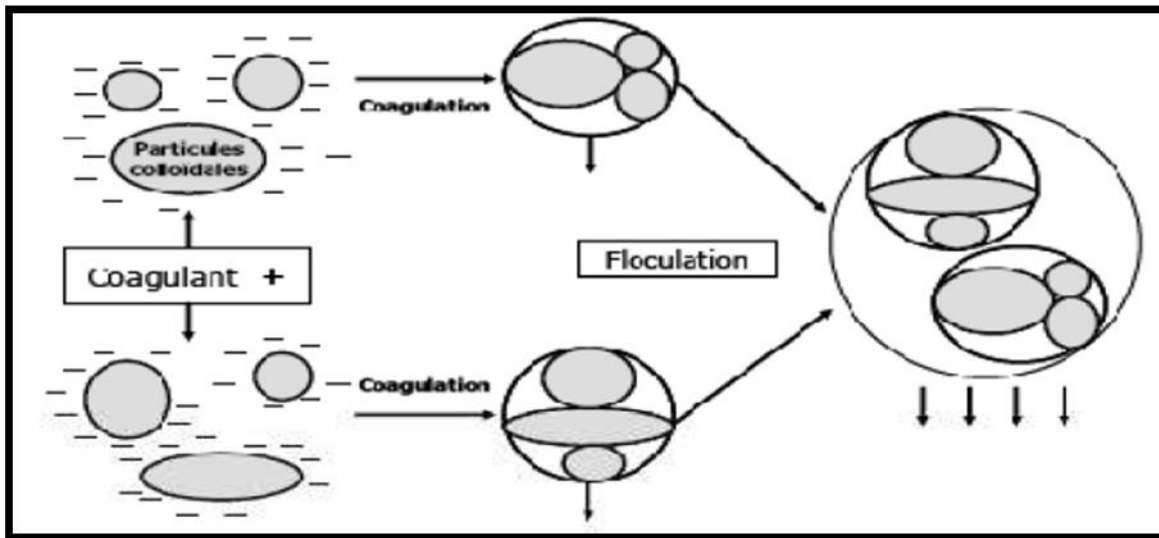
### *Coagulation-floculation*

#### *Définition*

Le procédé de coagulation floculation consiste à ajouter à l'eau un coagulant et un électrolyte permettant de transformer la suspension colloïdale en des particules plus importantes et aptes à sédimenter. Cette transformation est le résultat de deux actions distinctes : (DEGREMONT, 1989; PACKHAM F et RATNAYAYKA. D, 1992)

➤ La déstabilisation des particules par neutralisation de leurs charges électriques, connue sous le nom de « coagulation ».





a  
formati  
on de  
flocons  
,  
dépend  
ante du  
transpo  
rt et de  
la mise

en contact des particules déstabilisées constitue « la floculation ».

#### *Mécanisme de la coagulation-floculation*

On peut considérer qu'il existe quatre grands mécanismes qui agissant individuellement ou ensemble dans la coagulation floculation (fig.2) (EDELIN, 1992 ; DESJARDINS, 1991; VIGOURET, 1985 ; BETTERO et LARTIGES, 1992).

- ✓ Réduction de l'épaisseur de la couche ionique : transportée par les particules, par augmentation de la force ionique de la solution.
- ✓ Neutralisation des charges ioniques : par ajout d'un réactif chimique contenant des contre ions du colloïde.
- ✓ Pontage entre les particules : par utilisation des polymères de haut poids moléculaire.
- ✓ Piégeage des particules : par formation de polymères d'hydroxydes minéraux volumineux.

**Figure 2:** Coagulation –Floculation (HERNANDEZ DE LEON, 2006)



## Décantation

### Définition

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des MES et des colloïdes (rassemblé sous forme de floc après une étape de coagulation floculation). Il est bien connu que les particules en suspension sédimentent en fonction de leur taille, donc pour obtenir une bonne décantation, il est nécessaire d'augmenter le diamètre des particules d'où l'utilité du phénomène de coagulation-floculation. (DEGREMONT, 1989). La technique de décantation a évolué depuis les décanteurs statiques jusqu'aux appareils modernes qui possèdent une zone de réaction où l'on met en contact l'eau brute et ses réactifs avec les boues déjà existante.

### Types de décanteurs

Il y a plusieurs types de décanteurs dont les plus utilisés sont les décanteurs rectangulaires :

- Décanteurs statiques (circulaires ou rectangulaires, raclés ou non raclés...)
- Décanteurs dynamiques à contact de boue : la séparation s'obtient par contact avec un lit fluidisé de boues préformées
- Décanteur lamellaire : Ce type de décanteur est muni de plaques parallèles, inclinées d'un angle. Il existe deux types : à contre courant, et à co- courant.

## La filtration

La filtration est un procédé de séparation solide/liquide qui utilise le passage à travers un milieu poreux (filtre ; le plus courant est le sable) qui retient les particules en suspension dans l'eau brute ou l'eau prétraitée (floculée et décantée). A mesure que les particules solides atteignent la couche filtrante, elles se déposent et absorbent les matières minérales ou organiques qui arrivent ultérieurement (KEMMER, 1984). Ceci peut conduire à la formation d'un film biologique. Avec le temps, il y a diminution du diamètre des pores du filtre, on dit qu'il y a colmatage. Pour la filtration à grand débit, on utilise les matériaux granuleux (sable, anthracite) ; on distingue deux grands types de filtration qui se différencie par la vitesse de filtration.  $V = Q/S$  ( $V$  = Débit qui passe au travers du filtre / Surface horizontale du filtre)



- Filtration lente qui a l'avantage d'être une opération facile mais présente plusieurs inconvénients tels que la nécessité d'une grande surface et l'exigence d'une eau dont la turbidité est faible, la vitesse de filtration est environ 7 m/j et ne dépasse pas 10 m/j.
- Filtration rapide : où la vitesse est supérieure à 3 m/h (72m/j).

## Traitement de désinfection

L'objectif de cette phase de traitement est la destruction des germes pathogènes en vue de l'obtention d'une eau bactériologiquement pure. On procède physiquement par l'addition de réactifs tels que le chlore et ses dérivés, l'ozone, le brome et l'iode (DEGREMENT., 1991). Le chlore est le plus fréquemment utilisé comme désinfectant final, avant refoulement de l'eau dans le réseau ; il permet d'achever la désinfection de l'eau et de protéger le réseau contre les développements bactériens vu son effet rémanent (MOUCHET., 1991, DESJARDINS., 1991). Le chlore présente en outre l'intérêt d'éliminer l'ion ammonium lorsque le taux de traitement atteint ce qu'on appelle le point critique ou break point. Il a donc été longtemps utilisé en prétraitement, mais cette pratique tend maintenant à être abandonnée car, en réagissant avec les substances organiques présentes dans l'eau, le chlore conduit à la formation de composés organohalogénés indésirables (chlorophénols, trihalométhanes) (DE LAAT et al. 1982, MOUCHET., 1991, ACHOUR S et MOUSSAOUI K., 1993).

## Affinage

Pour un perfectionnement de la qualité de l'eau traitée, on procède à l'affinage visant à éliminer les micropolluants qui existent déjà dans l'eau ou qui se sont formés au cours du traitement (cas des halométhanes) et qui n'ont pas été totalement abattus par la coagulation floculation. En outre, il améliore les qualités organoleptiques de l'eau (saveur, odeur, limpidité). Les traitements d'affinage de l'eau font intervenir des procédés d'ozonation, de filtration sur charbon actif ou de filtration sur membranes (ultrafiltration ou nanofiltration).

## V. conclusion

Pour qu'une eau de surface soit potable, elle doit subir plusieurs modifications physico-chimiques et parfois biologiques. Différentes étapes de traitement sont alors agencées en filières de potabilisation (prétraitement, clarification, désinfection...).





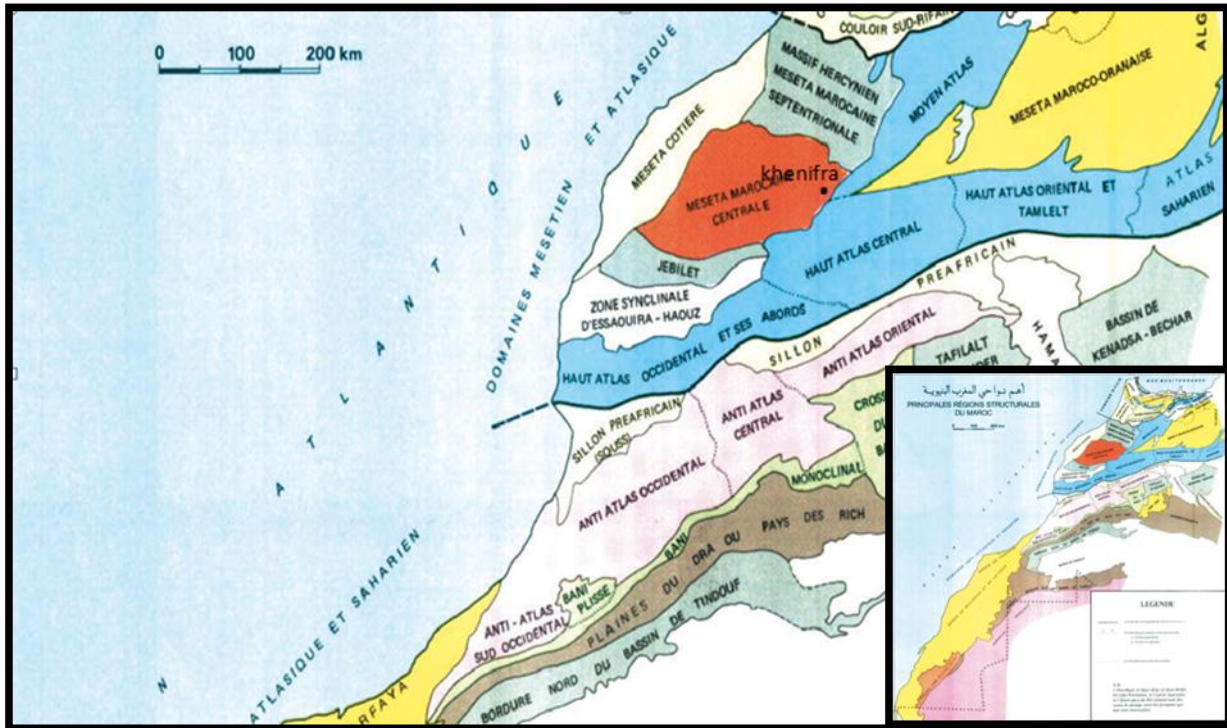
## **CHAPITRE II :** **PRESENTATION DE LA VILLE DE KHENIFRA**

### **Introduction**

La ville de Khénifra est sur un site remarquable, à l'endroit où l'oued Oum-Errabia fait un double méandre encaissé. L'origine du nom de Khénifra est interprétée différemment. Selon une première version, Khénifra est la dérivation du verbe amazigh « khanfar » qui signifie « agresser », en raison d'un fait historique. À un moment donné, la ville a été prise de force par le tribu Zayane



Ait Bouhaddou. Pour manifester leur hégémonie sur la ville, les Zayanis firent de Khénifra une zone de contrôle pour les non-Zayanis. Ils établirent un système « douanier » pour les transitaires qui furent obligés de payer une taxe. Lors de l'instabilité politique, les caravanes du Makhzen venant de Marrakech à Fès, sont contraintes de payer une rançon pour assurer la sécurité du transit.



Ses coordonnées Lambert sont :

X = 474.880 m NGM

Y = 260.265 m NGM

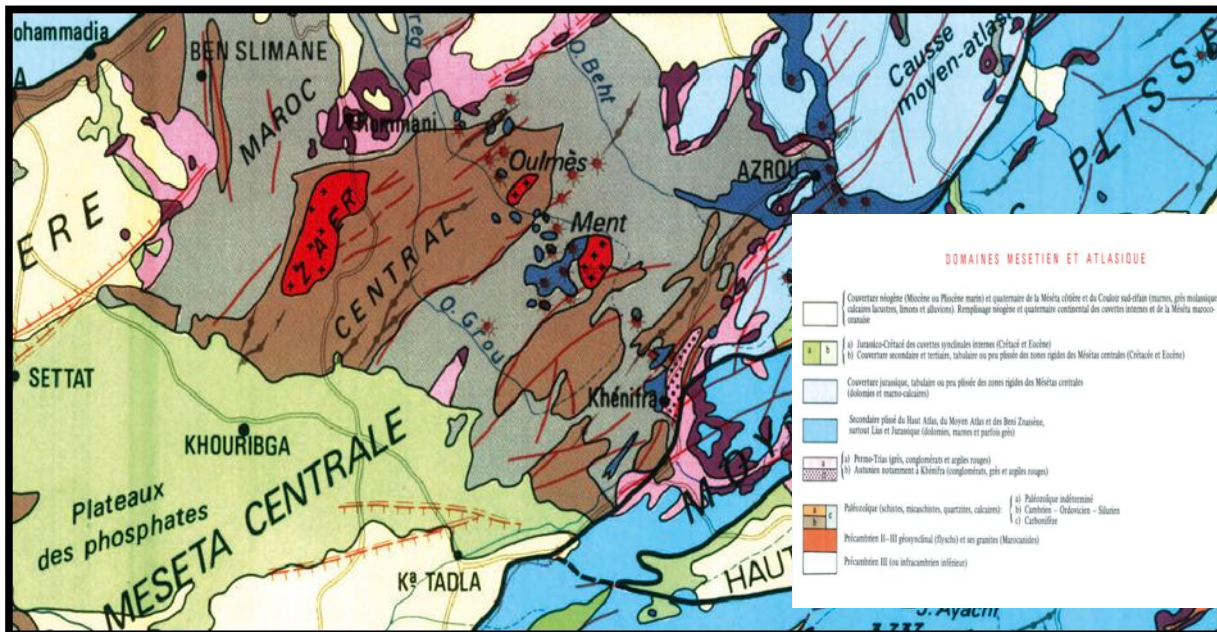
Z = 825 à 890 m NGM

La ville est traversée du Nord au Sud par l'oued Oum-Errabia.

## La géologie de la ville de Khénifra

Khénifra est implantée en bordure méridionale des causses appartenant au domaine de la meseta marocaine (fig.3), 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 4:** carte géologique de la région de Khénifra prise de la carte géologique du Maroc (M.SAADI 1982)

## Climatologie de la région

Le climat de la région est de type continental, avec des forts écarts de température, semi-aride à tendance subhumide, humide pour les saisons pluvieuses ou aride pour les saisons sèches. Le même contraste se fait sentir sur les températures.

Khénifra, comme pour l'ensemble du moyen atlas tabulaire, est connue par ses fortes précipitations du mois de décembre, après un mois de novembre déjà fortement chargé. Un deuxième maximum de précipitations, plus faible que celui de décembre, s'y enregistre au mois de mars. La pluviométrie moyenne annuelle se situe entre 600 et 700 mm.



Les vents sont généralement moyennement forts, chauds en été et froids en hiver. Ils s'établissent dans des directions sud-ouest. Ils présentent un certain inconvénient pour l'agriculture et l'arboriculture, rendant indisponible la mise en place de brise-vent.

## Hydrologie et hydrogéologie de la région

### Hydrologie du bassin d'Oum Errabia à Khénifra

La partie supérieure du bassin d'Oum Errabia comporte les contreforts du moyen atlas. L'altitude moyenne de cette région est de 1350 m, alors que les plus hauts sommets atteignent une altitude de 2400 m. la région du moyen atlas intéressée par le haut bassin d'Oum Errabia est la plus riche en précipitations. La pluviométrie moyenne annuelle s'élève à 800 mm en amont de Khénifra mais elle dépasse 900 mm/an sur le plateau calcaire d'Ajdir où se situe le bassin hydrogéologique qui prolonge souterrainement le bassin hydrologique. La superficie du bassin versant à Khénifra est de 1086 km<sup>2</sup> pour le bassin hydrologique seul, mais de 2300 km<sup>2</sup> si l'on ajoute le bassin hydrogéologique qui le prolonge vers le N-E.

Oum Errabia a pour origine l'oued Fellat au mont Serroual (2 108 m), à la limite avec le bassin de l'oued Srou (affluent rive gauche d'Oum Errabia). Avec son affluent de rive droite l'oued Admer Izem, l'oued Fellat est le collecteur principal de la plus haute région du bassin (synclinale de Bekrit). L'

sources » ou de l'oued Bou  
abondantes  
caractérisé  
Les crues  
précipitation

origine	D.R.E. 1966 (Mme GIVCOVIC)	ORSTROM SOFRELEC- 1970	D.R.E. 1970
période	1933-1963	1936-1970	1953-1958 1963-1970
janvier	22,7	24,9	27,5
février	27,7	27,9	28,5
mars	29,2	27,7	32,1
avril	25,4	63,6	30,4
mai	18,8	17,4	19,1
juin	13,6	14,1	15,7
juillet	11,3	12,3	14,1

**Tableau 1:** Modules mensuels interannuels de l'Oum Errabia à Khénifra (en m<sup>3</sup>/s) pour diverses périodes (A.BENTAYEB et CLAUD LECLERC, 2013)

octobre	12,5	10,5	10,1
novembre	15,5	15,6	14,8
décembre	22	21,1	22,8
année	18,3	18,4	20,4





Débit maximal en (m3/s)	débit moyen maximal en m3/s pendant				
	6H	12H	24H	48H	4 jours
202	189	176	153	134	102
392	372	348	301	279	215
629	603	563	486	459	357
861	827	772	669	635	426
1095	1055	982	850	811	634

Année	Débit maximal en (m3/s)	débit moyen maximal en m3/s pendant				
		6H	12H	24H	48H	4 jours
1954-55	107	98,6	91,4	80,2	68	59,8
1963-64	420	406	382	342	335	291
1965-66	196	196	196	196	196	196
1966-67	56,1	51,1	45,1	43	31,5	23,8
1967-68	170	159	137	112	84	61
1968-69	258	243	239	212	198	140
1969-70	503	477	432	354	274	224

**Tableau 2:** Crues de l'Oum-Errabia à Khénifra (A.BENTAYEB et CLAUD LECLERC, 2013)

## Hydrogéologie

**Tableau 3:** Crues de l'Oum Errabia à Khénifra selon leur fréquence (A.BENTAYEB et CLAUD LECLERC, 2013)

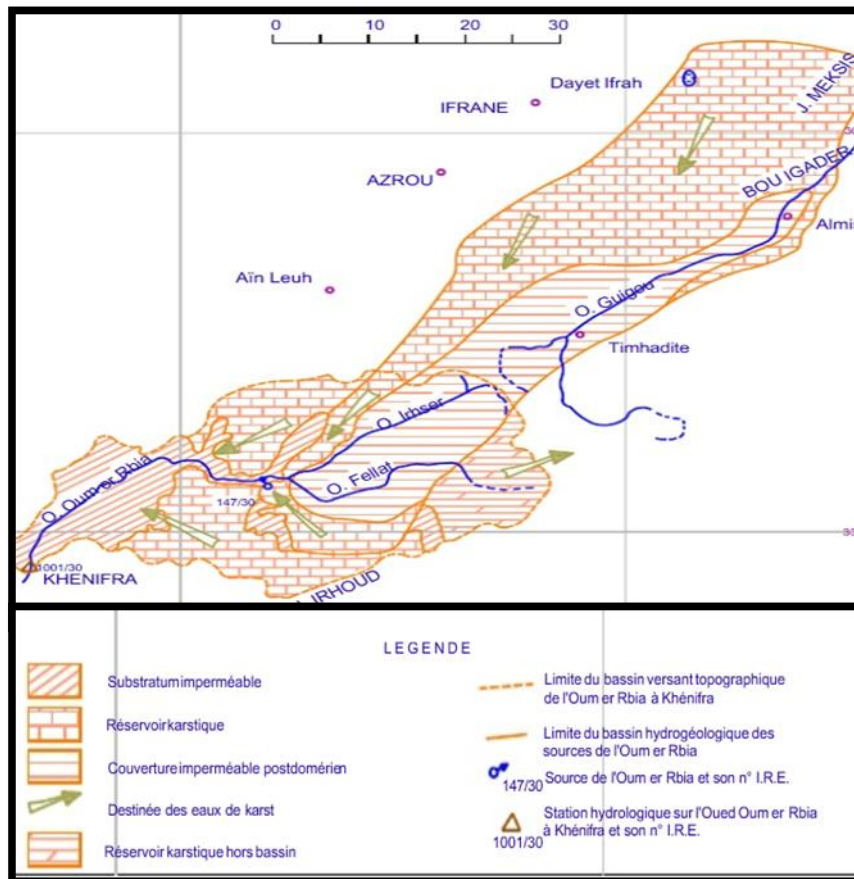
Le potentiel hydraulique souterrain de la région réside dans le karst calcaire du moyen atlas.

Les principales exutoires de ces eaux souterraines sont périphérique et de nature divers :

- Source d'Oum Errabia ;
- 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 argile rouge contribue à rendre inutilisables les nappes qui circulent à leur contact. Les basaltes permo-triasique ont une perméabilité variant avec leur degré d'altération et de fissuration mais qui est rarement élevée.

L'oued Oum Errabia est alimenté de façon permanente par les sources de même nom (n°I.R.E. 147/30) (fig.5). Le bassin hydrogéologique des sources a une superficie de 1020 km<sup>2</sup>.il s'étend depuis leur émergence jusqu'au pied du jbel Meksis. Sa limite NW est la limite SE des bassins d'Aïn-Leuh et d'Aïn-Leuh c'est-à-dire le horst de Michlène et son prolongement jusqu'à Ouïouane.



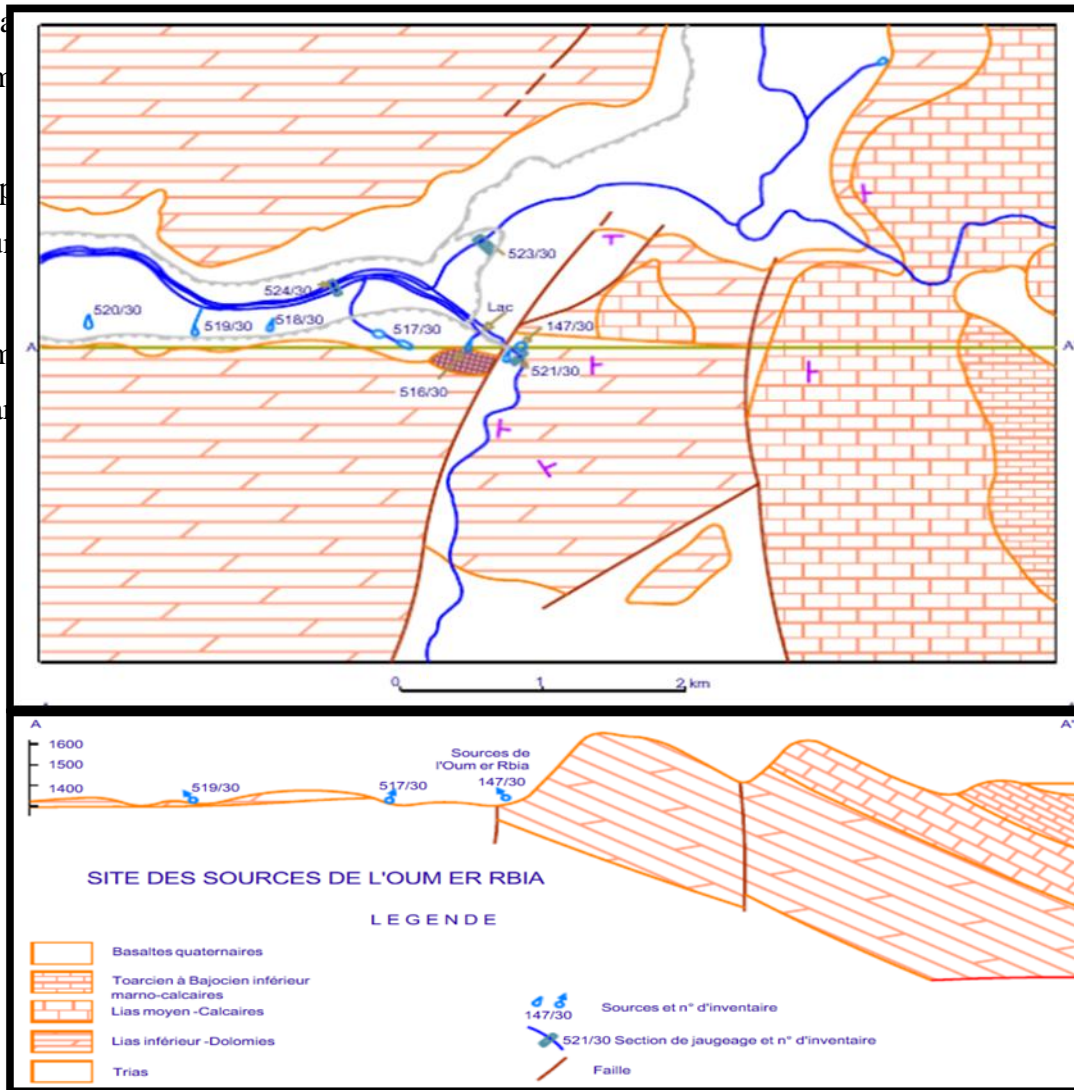
**Figure 5: Bassin versant de l'Oum Errabia à Khénifra bassin hydrogéologique (A.BENTAYEB et CLAUD LECLERC, 2013)**

Au Nord, sa limite passe par l'anticlinal de koudiat Afourgah et se prolonge vers l'Est jusqu'au jbel Meksis. Le réseau hydrogéologique dont le seul exutoire paraît être les sources d'Oum Errabia, est aux trois quarts inclus dans le haut bassin versant de l'oued Guigou. Les eaux infiltrées

ont une destinée SW pendant que les eaux ruisselées vont avec le Guigou vers le NE. Au site des sources de l'Oum Errabia (fig6), le Lias inférieur est mis en contact avec le Trias par une faille SW-NE. Du compartiment ouest sortent des sources de faible débit mais très salées, à une cote très supérieure à celle des sources de l'Est, au contact Lias-Trias ou plus bas pour certaines qui transitent au travers des éboulis de pente. Les sources du compartiment sont dénommées sources de l'Oum

Erra  
com  
en p  
sou  
par  
com  
cha

de celles du  
bit de l'oued  
net pour ces  
nt constitués  
es issues du  
yenne assez





---

## Conclusion

La province de Khénifra s'intègre à la fois dans le haut atlas, le moyen atlas et le plateau central, ce qui explique son relief accidenté où alternent la montagne et les plateaux dont l'altitude est très variable. La région de Khénifra a toujours été considérée comme le château du Maroc. En effet les plus importants fleuves du pays y prennent naissance, notamment l'Oum Errabia, le Moulouya, le Grou...



**CHAPITRE III :**  
**PRESENTATION DE LA STATION DE TRAITEMENT DE L'EAU**  
**POTABLE DE KHENIFRA**





## Présentation de l'entreprise

### Historique

La régie d'exploitations industrielles (R.E.I) qui a été créée par le DAHIR du 12 Safar 1348 (10/07/1929) et devenu par la suite en 1972 l'Office Nationale d'Eau Potable (O.N.E.P) qu'est un établissement public à caractère industriel et commercial pour la gestion de l'eau potable, doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière et placé sous la tutelle du ministère de l'équipement.

Il se repose sur trois axes stratégiques :

- ✓ Pérenniser, Sécuriser et renforcer l'AEP en milieu urbain.
- ✓ Généraliser l'accès à l'eau potable en milieu rural.
- ✓ La gestion de l'assainissement liquide.

### *Ces missions :*

Les missions principales de l'Office vont de la planification et de l'approvisionnement en eau potable jusqu'à sa distribution en passant par les phases ; étude, conception, réalisation, gestion, exploitation des unités de production, de distribution et d'assainissement liquide et enfin du contrôle de la qualité des eaux jusqu'à la protection de la ressource.

Depuis 24/04/2012 l'office national de l'eau potable (ONEP) et l'office national de l'électricité (ONE) ont fait une fusion pour donner l'office national de l'électricité et de l'eau potable (ONEE), depuis ce jour l'ONEP a devenu l'office national de l'électricité et de l'eau potable – branche eau (ONEE - branche eau) qui est :

- Le 1<sup>er</sup> producteur de l'eau potable avec 80% de la production nationale soit près de 1 milliard de m<sup>3</sup>/an.



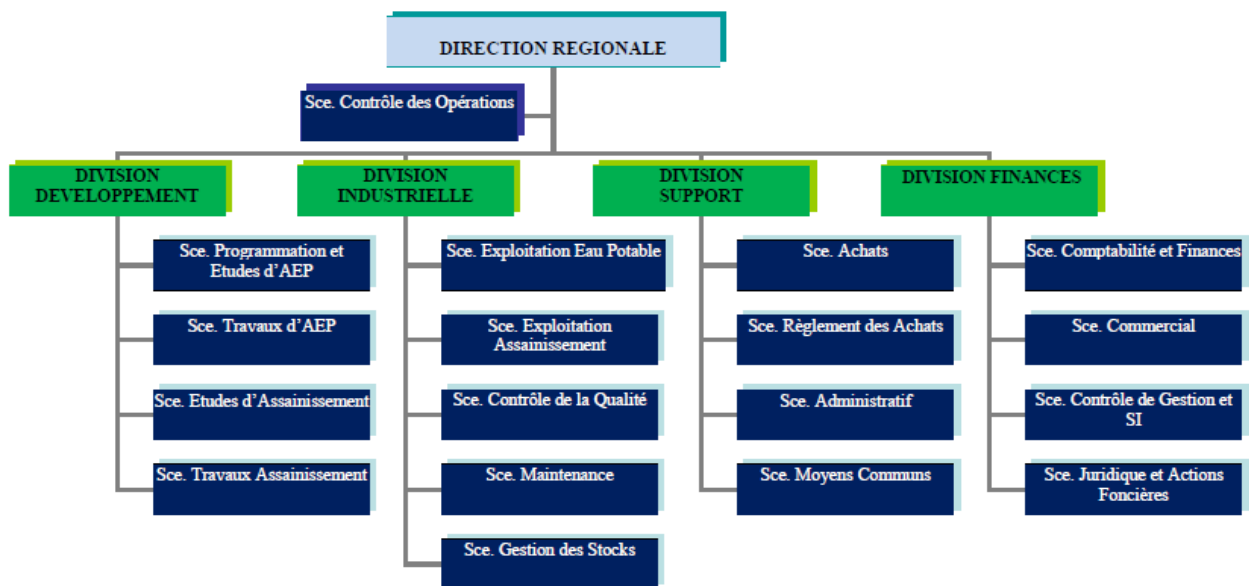
- Le 1<sup>er</sup> distributeur d'eau potable au Maroc avec près de 1.5 million de clients répartis sur plus de 600 communes.
- Un acteur majeur dans la gestion du service de l'assainissement liquide avec près de 82 villes et localités desservies.

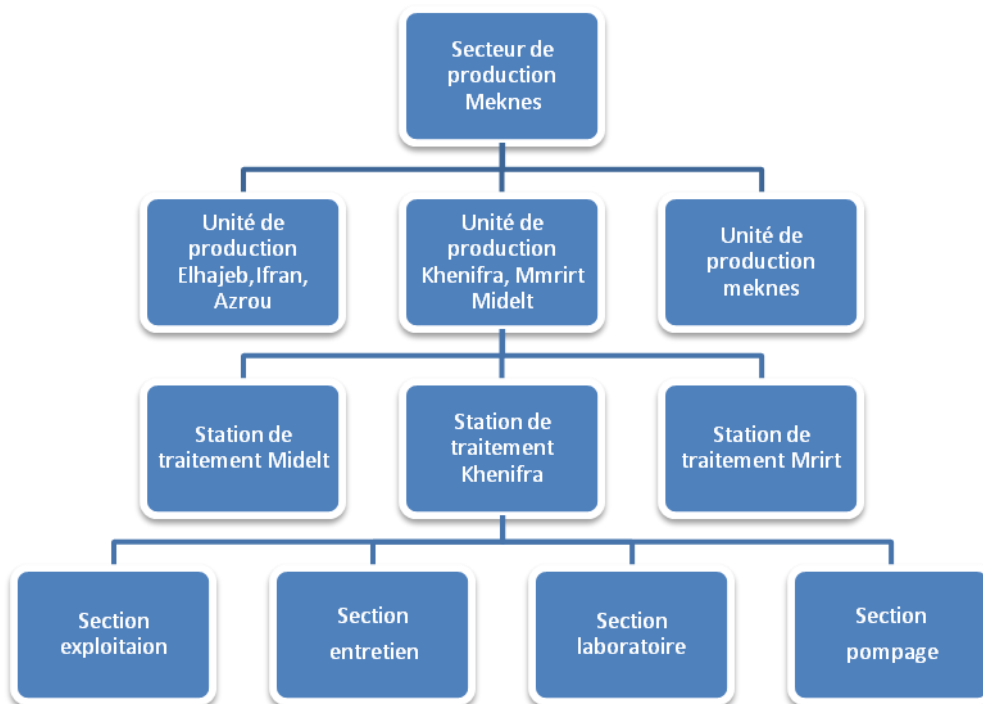
Avec 10 directions régionales :

- ✓ DRC : Direction Régionale de la Côte atlantique
- ✓ DR1 : Direction Régionale du Sud (Agadir)
- ✓ DR2 : Direction Régionale de Tensift (Marrakech)
- ✓ DR3 : Direction Régionale du Centre (Khouribga)
- ✓ DR4 : Direction Régionale du Nord-Ouest (Kenitra)
- ✓ DR5 : Direction Régionale du Centre-Nord (Fès)
- ✓ DR6 : Direction Régionale de l'Oriental (Oujda)
- ✓ DR7 : Direction Régionale du Centre-Sud (Meknès)
- ✓ DR8 : Direction Régionale des provinces Sahariennes (Laâyoune)
- ✓ DR9 : Direction Régionale du Nord (Tanger)



## Organigrammes de la direction régionale et du secteur de production





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

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

- ✓ Stations de traitement de l'eau d'oued Oum Errabia ;
- ✓ Sources Ain Aknous (IRE 515/30) ;
- ✓ Ain Arougou (IRE249/29) ;
- ✓ Puits n° IRE1428/29 équipée pour 10 l/s ;
- ✓ Puits n° IRE 1414/29 équipée pour 10 l/s.

Les caractéristiques géométriques et hydrauliques de ces ressources sont présentées dans le tableau suivant :

**Tableau 4:** Les caractéristiques géométriques et hydrauliques des ressources qui alimente la ville

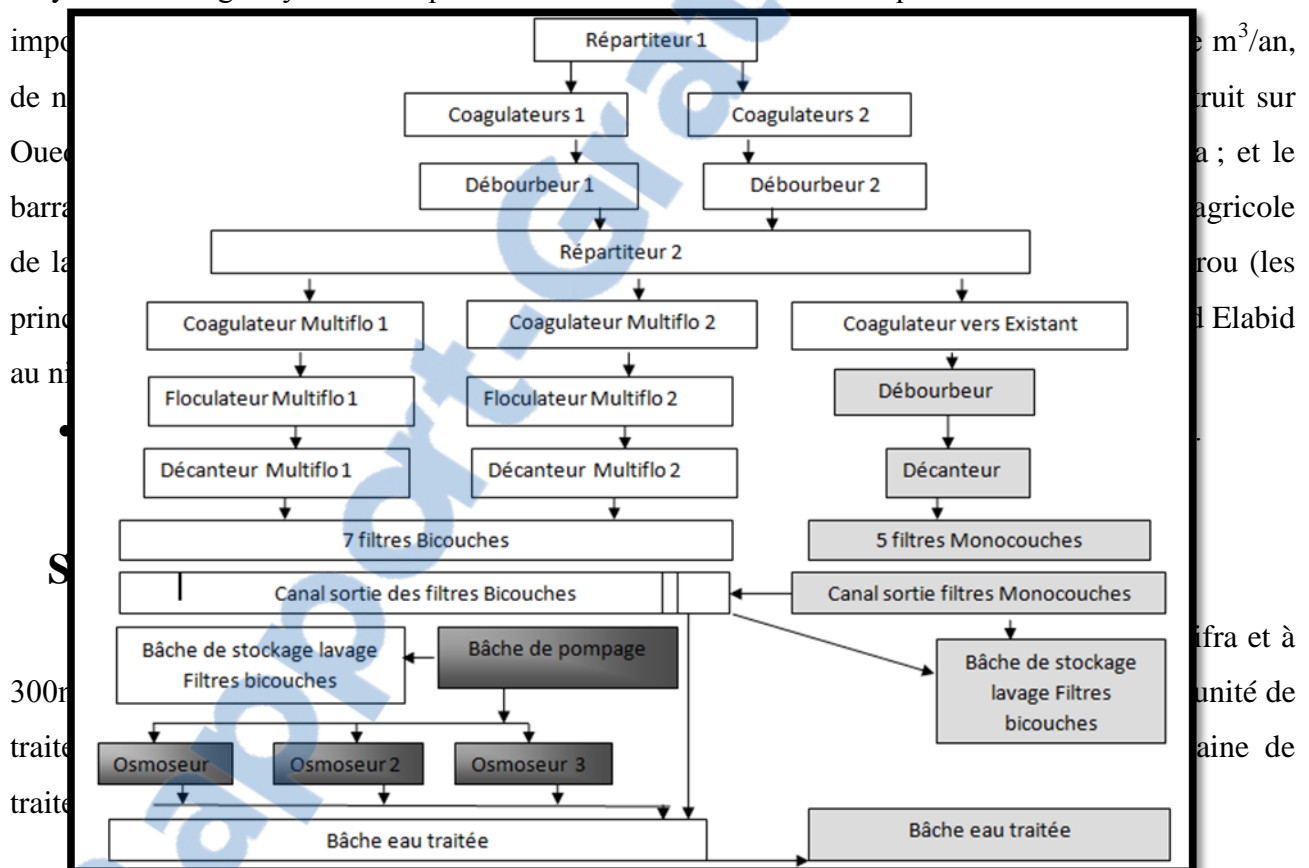
Désignation	Ain Arougou	Puits n° IRE1428/29	Puits n° IRE 1414/29	Stations de traitement
Coordonnées				
X	485.260	475.050	475.200	475.00
Y	258.750	261.960	261.500	262.550
Z	1170	845	843	850
Date de mise en	1930	1979	1979	1987 pour la

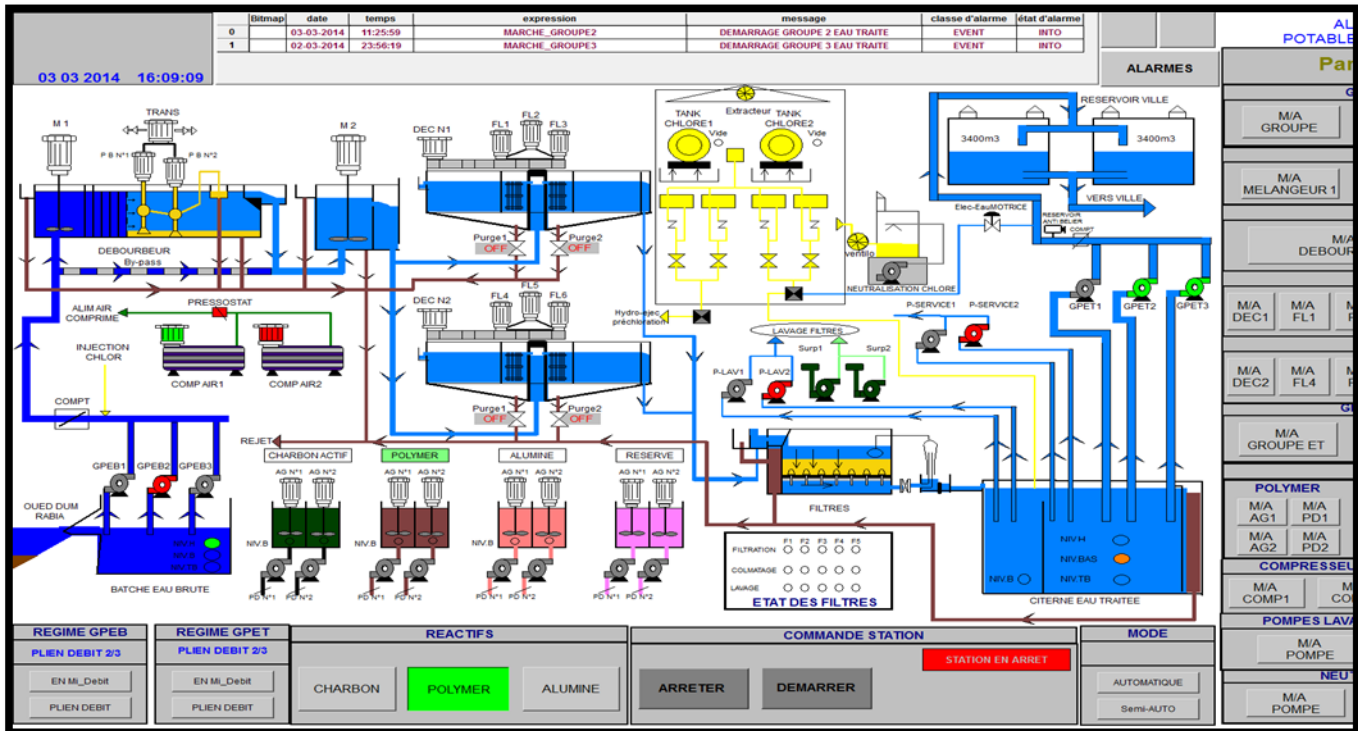


service				station existante, et 2013 pour la nouvelle station
---------	--	--	--	---

- **Oued Oum Errabia:**

C'est le 2<sup>ème</sup> fleuve marocain en termes de longueur. Il prend sa source à une altitude de 1240 m dans le Moyen Atlas à 40 km de la ville de Khénifra et à 26 km de la ville de M'irt. L'Oued Oum Errabia, d'une longueur 500km prend sa source dans le moyen atlas et se jette dans l'Océan Atlantique à environ 16 km de la ville d'El Jadida (Azemmour). Il reçoit plusieurs affluents dont les principaux sont l'Abid et le Tessaout. Il assure l'approvisionnement en eau potable de plusieurs grandes villes d'un volume annuel de 240 millions de m<sup>3</sup> et permet une production moyenne d'énergie hydroélectrique de 1 680 millions KWH/an. Ce qui en fait une ressource d'une





## La station existante

La station existante a une capacité de 150 l/s et constituée des principaux ouvrages (fig.8) suivant :

**Figure 8:** Schéma synoptique de station de traitement existante

➤ **2 grilles :** la 1<sup>ère</sup> grille placée à l'entrée du canal permet l'élimination des matières

volantes (branches, herbes, etc.) et la 2<sup>ème</sup> grille permet le nettoyage des matières fines. L'eau brute permet de remplir les grilles commandées par un système électrique.





**Figure 9:** Grilles N° 1 de la station de traitement existante

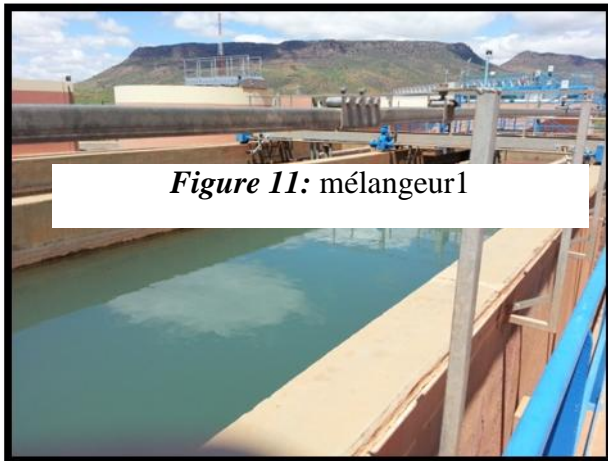


**Figure 10:** Grilles N°2 de la station de traitement existante



un en  
chacun  
tateur  
égale  
à 4m et la hauteur est de 3m (fig.11 et 12).

**Figure 12:** mélangeur2



**Figure 11:** mélangeur1



rectangulaires  
25 m, la  
hauteur de 3m.  
l'élimination  
suspension  
2g/l, chacun  
d'extraction  
racleur (fig.13



dont la longueur est de  
largeur de 4m et la  
Ils permettent  
des matières en  
lorsqu'elles dépassent  
est équipé d'une pompe  
des boues et d'un pont  
et14).

➤ Deux

décanteurs-

**floculateurs** : de forme circulaire à type racleur dont le diamètre est de 17m et la hauteur est de 3.6m, le volume d'eau de la zone de floculation égale à  $100\text{m}^3$  l'eau décantée est acheminée vers les filtres par l'intermédiaire de goulottes (fig.15).

**Figure15:** Décanteurs –floculateurs statique



➤ Cinq filtres à

base de ces filtres il

- ✓ 1<sup>ère</sup> vid
- ✓ 2<sup>ème</sup> uti
- ✓ 3<sup>ème</sup> uti

Le lavage des filtres

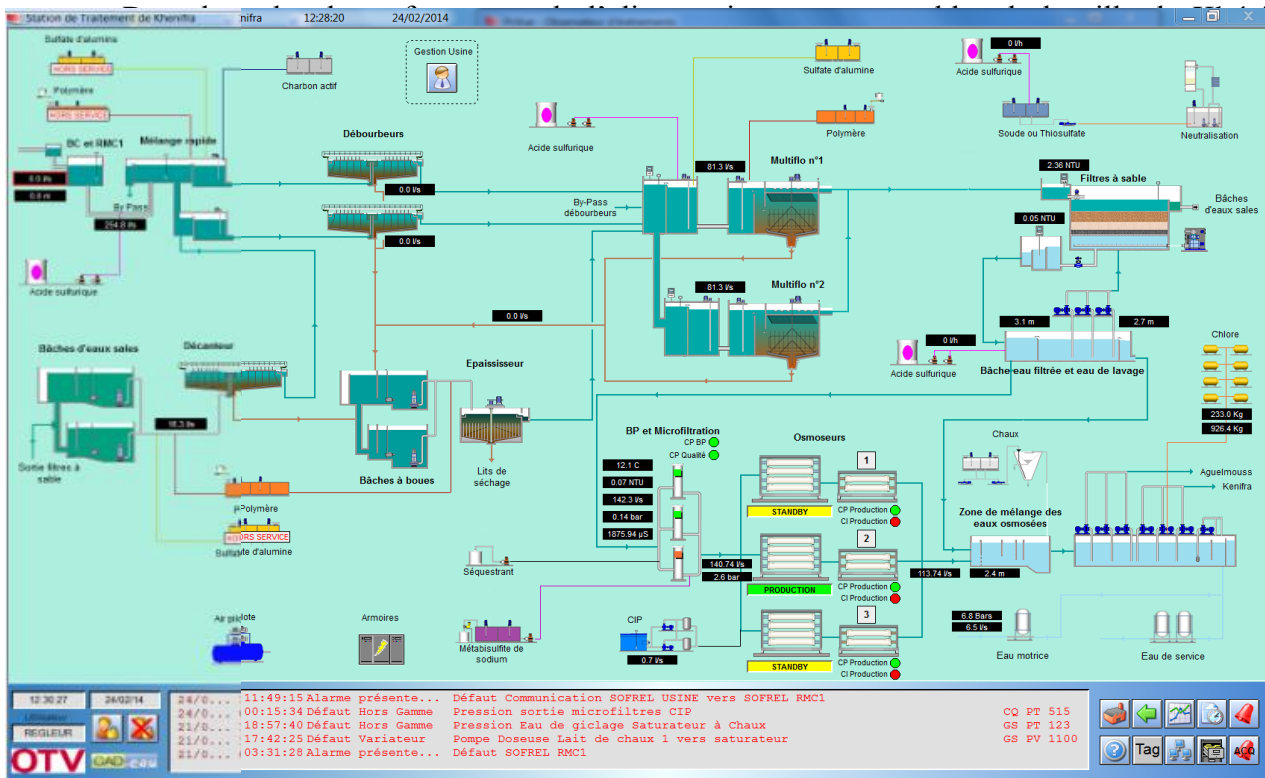
et de hauteur de 2.5m) à la  
10 cm de gravier et 1m de

eau de sable ;

est de 0.5NTU.



- **Une salle de réactifs** : Les solutions de réactifs injectées par les pompes doseuses dans les ouvrages de traitement sont préparées dans des bacs par un agent. Les doses sont déterminées au préalable par le laborantin après analyse de la qualité des eaux des ouvrages. Les eaux traitées sont acheminées vers les réservoirs de distribution de la ville de Khénifra par des pompes à axes horizontal dont les débits unitaire est de 75 l/s.
- **Un réservoir d'eau traitée** : d'une capacité de 1000m<sup>3</sup>

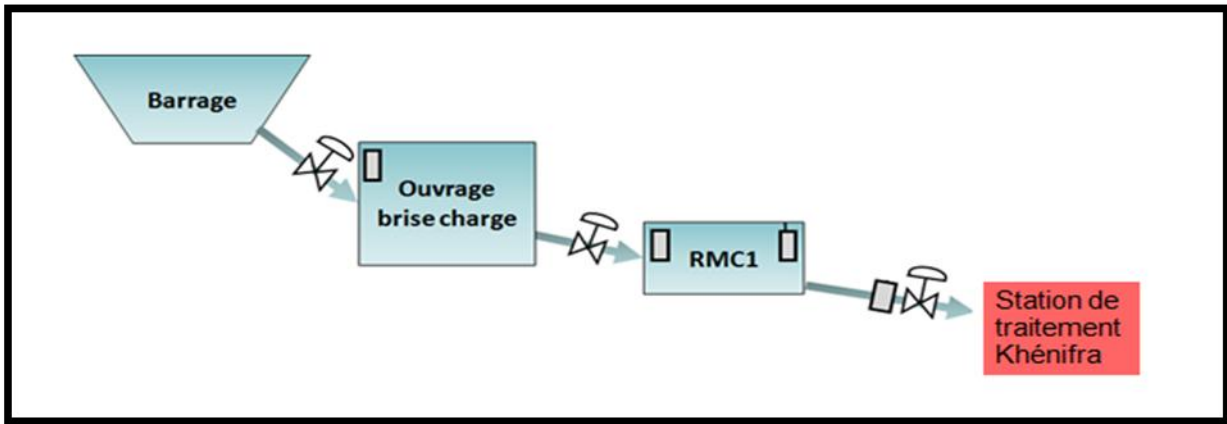




Dès que l'eau brute arrive à la station de traitement de l'eau potable de Khénifra, par la conduite de 11km qui relie le point de collecte d'eau brute à EL Borj (barrage Tanafnit) avec la station de traitement de Khénifra, elle subit une préoxydation dans le **répartiteur 1** par l'ajout d'un oxydant fort pour augmenter l'efficacité de la coagulation/Floculation. Ensuite elle passe aux **débourbeurs** pour réduire la matière en suspension (MES en eau débourbée est entre 0,1 g/l et 1 g/l). Après l'eau débourbée retourne au **répartiteur 2** pour favoriser la formation des colloïdes par injection d'un coagulant fort (sulfate d'alumine  $Al_2(SO_4)_3$ ) sous une agitation intense. Puis l'eau arrive au **floculateur** pour former des floes par l'ajout d'un flocculant (Polyélectrolyte), 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 (1/3 de l'eau filtrée) passe vers les microfiltres puis vers les osmoseurs et l'autre partie passe directement vers la citerne. Enfin les 2/3 de l'eau filtrée et 1/3 de l'eau osmosée et mélangée dans la **citerne** où on élimine toute forme pathogène par l'ajout de la dose adéquate du désinfectant, pour être dirigé à la distribution.

#### *Origines des eaux à traiter*

Du barrage Tanafnit El Borj une conduite arrive jusqu'à l'usine de production d'électricité à El Borj et Sur cette conduite, juste avant l'usine de production d'électricité, un piquage permet d'amener l'eau vers la station de traitement des eaux Khénifra. L'alimentation de la station se fait gravitairement depuis ce piquage. L'eau passe par un ouvrage de brise charge puis par un réservoir tampon de mise en charge nommé RMC1. Ces deux ouvrages se trouvent à El Borj. A partir de RMC1, l'eau s'écoule toujours par gravité, vers la station de traitement (fig.18, 19 et 20).



**Figure 18:** Alimentation en eau de la station de Khénifra



**Figure19:** Prise d'eau + brise charge

Ouvrage  
L'ouvrage  
bassin de



de brise charge  
de brise charge est un  
stockage constitué

**Figure 20:** Le piquage qui permet d'amener l'eau vers la station de traitement



d'une seule cuve. Il est situé juste en aval de la vanne de limitation (utilité pour limiter le débit



l'entrée de l'ouvrage afin de réguler le niveau d'eau dans celui-ci.

#### *Arrivée des eaux dans l'usine*

L'arrivée des eaux dans l'usine se fait par gravité à partir de RMC1. La vanne de régulation (AH VPR 1100) (fig.21) à l'entrée de l'usine est gérée à partir d'un débitmètre (fig.22), juste à côté de celui-ci dans la conduite il y a une crépine (fig.23) qui arrête le passage des grande particules. Le débit cible à l'entrée de l'usine est défini par calcul à partir du nombre d'osmoseurs que l'exploitant veut mettre en fonctionnement et des paramètres de réglage de l'usine.



**Figure 21:** Vanne AH-VPR-1100

**Figure 22:** Débitmètre

**Figure 23:** Crépine

répartition  
répartition  
brute entre les  
ainsi que le  
des eaux  
débourbeur.  
dans deux  
mélange



### Répartition et mélange rapide M1

L'ouvrage de  
permet d'assurer une  
équitable du débit d'eau  
2 files de débouage  
conditionnement amont  
admisses sur le  
L'eau brute est admise  
cuves agitées de  
rapide M1 où sont

réalisées les injections de Chlore pour la préchloration à l'amont du débouage.

#### Préchloration

L'injection du chlore est réalisée dans les mélangeurs rapides. Cependant, en cas de by-pass des déboueurs, l'injection peut se faire en sortie des déboueurs, dans le répartiteur, par un simple jeu de vannes manuelles. La dose de chlore à injecter en préchloration est à définir au laboratoire. La quantité de chlore injecté est régulée par les chloromètres (fig.24, 25 et 26), un pour chaque déboueur.

$$QCl \text{ (kg/h)} = \frac{(\text{tx de traitement (mg/L)} \times (\text{Qeaux brutes (L/s)} + \text{nbre déboueurs})) \times 3,6}{1000}$$

**QCl** : débit de la pompe de chlore

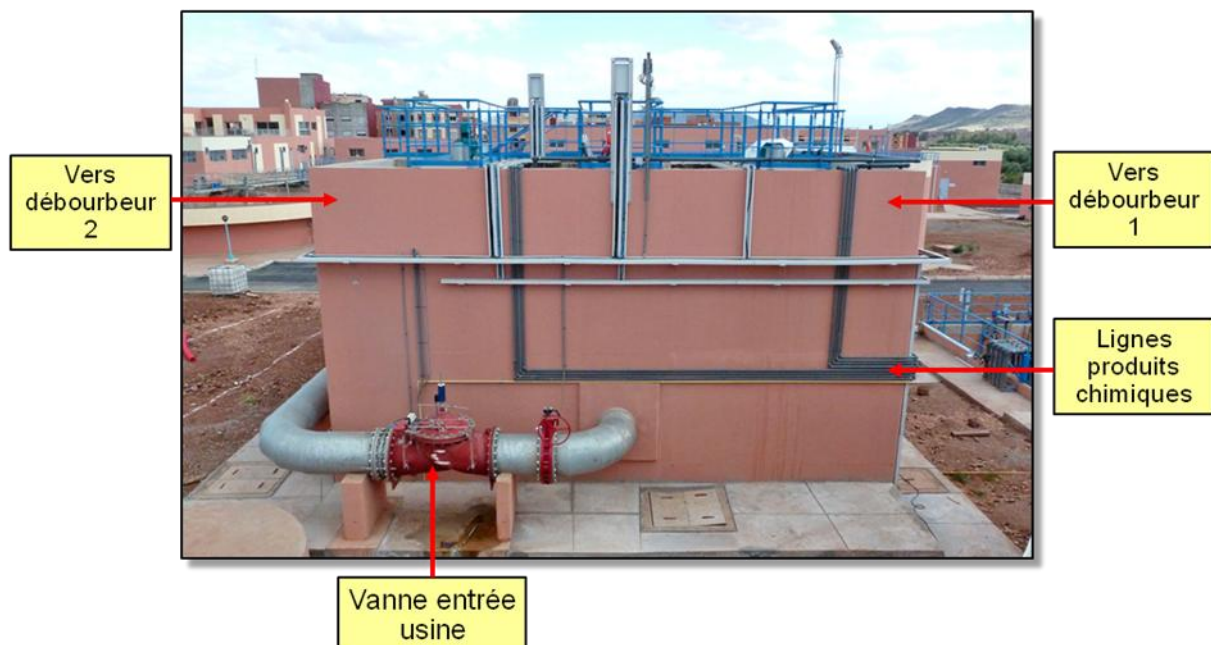
**tx de traitement** : taux de traitement, déterminer par essai de demande en chlore

**Qeaux brutes** : débit de l'eau brute à l'entrée de la station

**Figure 24:** Chloromètres

➤ Caractéristiques des cuves de mélange rapide M1 :

- Débit de dimensionnement total  $2500 \text{ m}^3/\text{h}$  avec  $\text{MES} = 20 \text{ g/l}$
- Dimensions de chaque cuve  $L = l = 3,4 \text{ m}$  Hauteur liquide =  $3,7 \text{ m}$
- Volume unitaire utile :  $42,77 \text{ m}^3$
- Débit unitaire  $1250 \text{ m}^3/\text{h}$
- 1 agitateur par cuve (BL-AA-1100 / 2100)
- Temps de contact au débit maximum : 2 minutes



**Figure 25:** Répartition / mélange M1



Figure 26: Mélange M1 vers débourbeur 1

### Débourbeurs

Le débourbeur est un ouvrage de décantation cylindro-conique équipé d'un racleur permettant d'évacuer le principal des boues qui arrive sur l'usine. Cet ouvrage peut être by-passé dans le cas où les eaux d'entrées sont assez propres pour passer directement sur le flocculateur. La fonction de débourbage est assurée uniquement lorsque la concentration en MES de l'eau brute dépasse 2 g/l (fig.27). Lorsque la concentration en MES dans l'eau brute est inférieure à 2 g/l, les débourbeurs servent de bassin de contact pour la préchloration.

Les boues sont extraites par soutirage vers le traitement des boues ou vers le rejet selon la quantité de boues à extraire. La mise hors service d'un débourbeur doit s'accompagner de la mise en place de batardeaux en amont du mélangeur correspondant sur site.

Tableau 5: Les dimensions des débourbeurs

Dimensionnement des débourbeurs	Unité	Valeur
Nombre	u	2
Vitesse au débit nominal	m/h	1.5
Hauteur d'eau totale	m	5
Débit nominal d'eau débourbée total	l/s	694
	m <sup>3</sup> /h	2 500
Débit nominal unitaire	m <sup>3</sup> /h	1 250
Surface unitaire utile	m <sup>2</sup>	840
Diamètre au miroir retenu	m	33,00
Volume utile unitaire	m <sup>3</sup>	4 538
Temps de séjour	h	3.6





**Figure 27:** Débourbeur

*Répartition et mélange rapide M2*

Après l'étape de débouillage / préchloration, les eaux sont dirigées vers le répartiteur 2 puis vers M2 où est injecté un coagulant avec agitation rapide.

*Sulfate d'alumine*

L'injection de sulfate d'alumine est réalisée dans les mélangeurs rapides. Le débit d'injection est calculé comme suit :

$$Q_{\text{sulfate}} \left( \frac{L}{h} \right) = \frac{(tx \text{ de traitement (mg/L)} \times (Q_{\text{eaux brutes (L/s)} \div \text{nbre débourbeurs})} \times 3,6)}{C_{\text{sulfate}} \left( \frac{g}{l} \right)}$$

Avec

**Q<sub>sulfate</sub>** : débit de la pompe doseuse du sulfate,

**tx de traitement** : taux de traitement, déterminer par coagulation floculation,

**Q<sub>eaux brutes</sub>** : débit de l'eau brute à l'entrée de la station,

**C<sub>sulfate</sub>** : concentration du sulfate.





**Figure28** : Coagulateur M2



**Figure29** : Pompe doseuse de sulfate

### *Les flocculateurs*

C'est là où on injecte un polymère et où les floccs formés grossissent; une agitation lente permet de maintenir les floccs en suspension (fig.30).

### *Polymère*

L'injection de polymère est réalisée dans les flocculateurs. Le débit d'injection est calculé comme suit :

$$Q_{poly} (L/h) = \frac{(tx \text{ de traitement } (mg/L) \times (Q_{eaux \text{ brutes } (L/s) / \text{nbre débourbeurs}) \times 3,6)}{C_{polymère} (g/L)}$$

Avec

**Q<sub>poly</sub>** : débit de la pompe doseuse du polymère

**tx de traitement** : taux de traitement, déterminé par coagulation floculation

**Q<sub>eaux brutes</sub>** : débit de l'eau brute à l'entrée de la station

**C<sub>polymère</sub>** : concentration du polymère





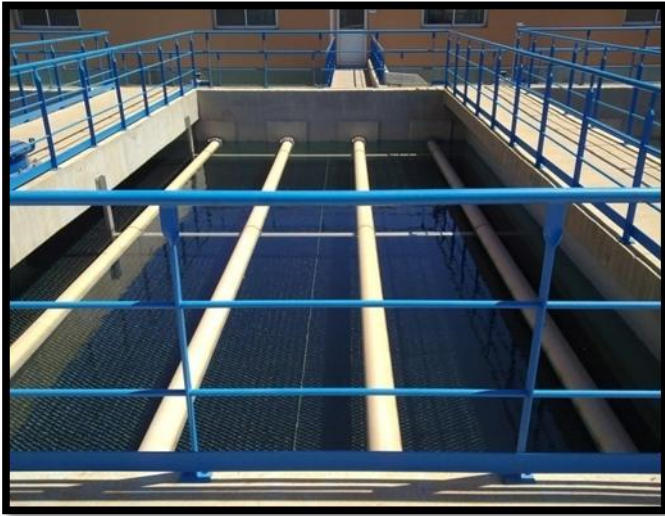
**Figure 30: Flocculateurs**

#### *Les décanteurs*

Après l'opération de floculation, les eaux sont dirigées 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 qui consistent à utiliser des plaques inclinées par un angle de  $60^\circ$  afin d'assurer l'évacuation rapide des boues, et proche les unes des autres pour accroître d'un facteur de 15.4 la surface de décantation disponible par d'ouvrage. L'eau claire, quant à elle, est recueillie en partie supérieure par un système de goulottes perforées (fig31). 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 bache 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 (fig.32) 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.



**Figure 31:** Décanteur



**Figure 32:** Pompes de recirculation des boues

Si les décanteurs présentent énormément de boues, un nettoyage sera nécessaire. De façon générale, les lamelles doivent être nettoyées une fois par mois.

#### *Les filtres*

Les filtres à sables sont utilisés pour la production d'eau potable. Ce processus permet de séparer les matières en suspension de l'eau traitée. La station de traitement contient 7 filtres installés un à côté de l'autre. Chaque filtre est constitué d'un bassin rectangulaire en béton armé divisé en deux compartiments horizontaux par un faux plancher situé à quelques décimètres au-dessus du radier. Le matériau filtrant repose sur ce faux plancher et constitue un lit dont l'épaisseur est fonction de la qualité de l'eau à filtrer et de la vitesse de filtration (fig33).

Le matériau filtrant est composé par :

- ❖ une couche supérieure constituée de pierre ponce sur 0,8m d'épaisseur (taille effective 1,2 mm) ;
- ❖ une couche intermédiaire de sable sur 0,8m d'épaisseur (taille effective entre 0,6 et 0,8mm) ;
- ❖ une couche inférieure de gravier support sur 0,1m d'épaisseur (taille effective 5mm).



Le plancher drainant sur lequel repose le gravier est uniformément percé d'orifices munis de



buselures.

Un lavage des filtres doit être réalisé lorsque la capacité de rétention du filtre est atteinte (fig.34). Ce dernier se fait en 4 phases successives

- Abaissement du plan d'eau du filtre ;
- Décolmatage à l'air ;
- Lavage à l'Air et à l'eau à faible débit ;

**Figure 33:** Filtres à sable bicouches

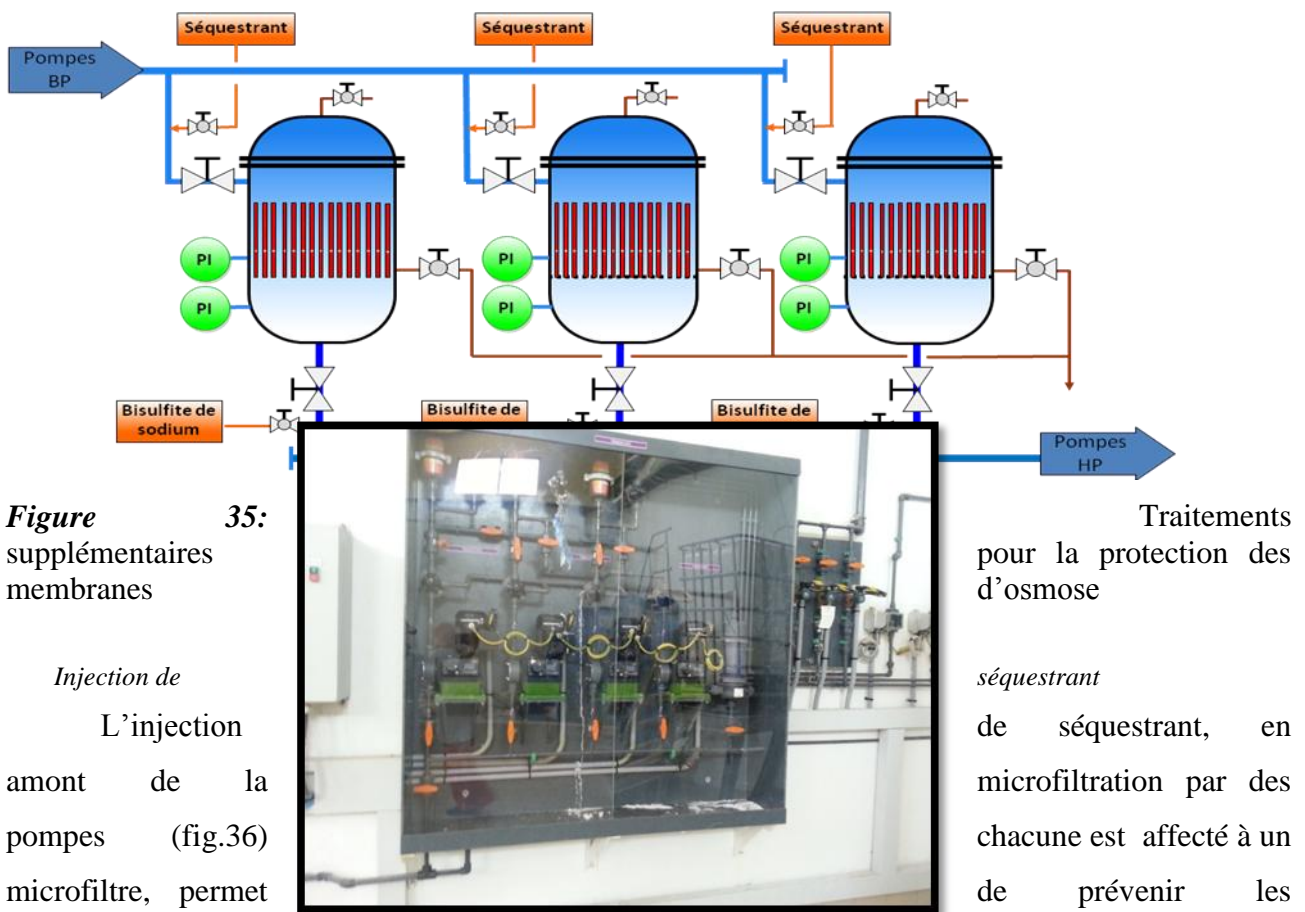
**Figure 34:** Filtre au cours de lavage

- Rinçage à l'eau seul à grand débit.

#### *Station de déminéralisation*

Après le pompage BP l'eau filtrée destinée à être déminéralisée reçoit 3 traitements supplémentaires destinés à protéger les membranes d'osmose inverse :

- Injection de séquestrant
- Filtration de sécurité (fig.35)
- Injection de bisulfite de sodium



**Figure 35:**  
supplémentaires  
membranes

L'injection  
amont de la  
pompes (fig.36)  
microfiltre, permet  
précipitations de carbonate et de sulfate sur les membranes.

Le débit de séquestrant à injecter est calculé comme suit :

$$Q_{\text{séquestrant}} \text{ (L/h)} = \frac{[(\text{tx de traitement (mg/L)} \times Q_{\text{alim osm}} \text{ (L/s)} \times 3,6 + C C_{\text{séquestrant}} \text{ (g/L)})]}{\text{nbre microfiltres}}$$

avec

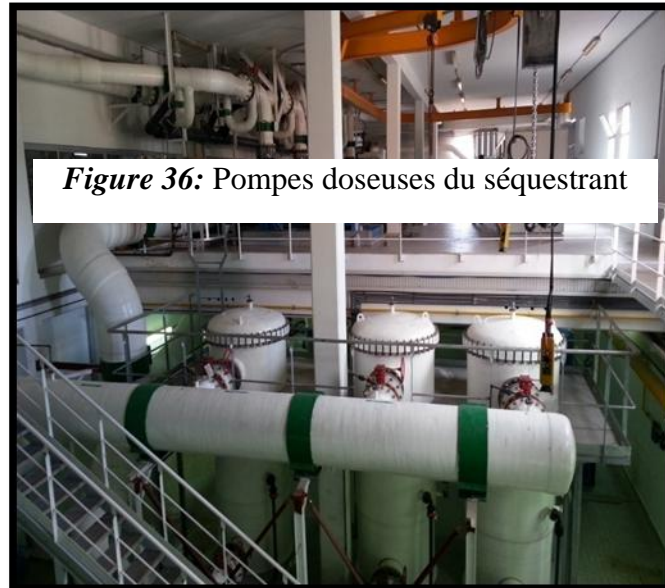
**Q<sub>Séquestrant</sub>**: débit de la pompe doseuse du séquestrant

**tx de traitement** : taux de traitement

**Q<sub>alim osm</sub>**: débit de l'eau brute à l'entrée de la station

**C<sub>séquestrant</sub>** : concentration du séquestrant

Le débit de séquestrant est ensuite régulé via un régulateur PID et mesuré par les débitmètres.



**Figure 36:** Pompes doseuses du séquestrant

*Filtration de*

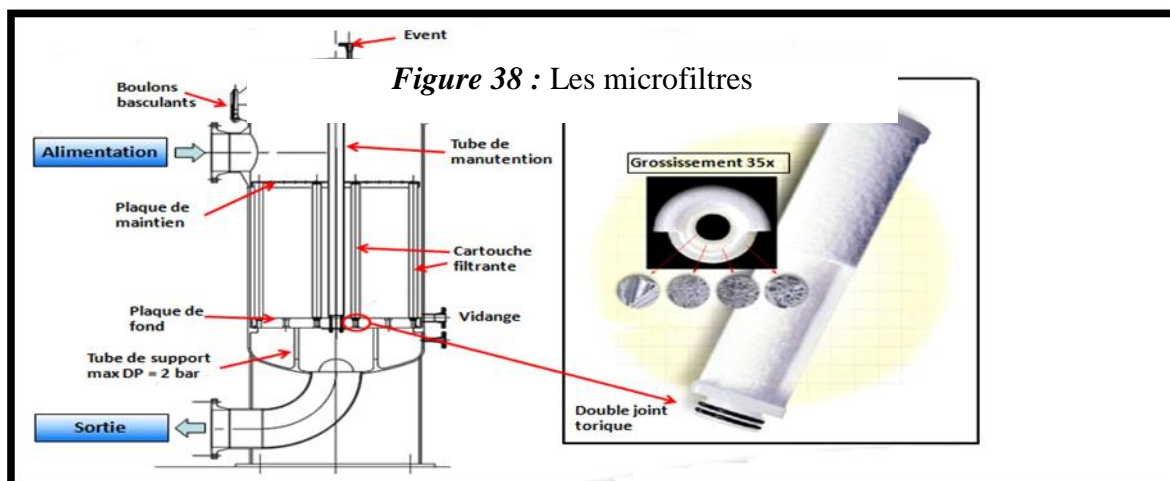
Un groupe de sécurité (fig.37 et fig.38) est installé sur le refoulement des pompes BP pour fonction de

*sécurité ou microfiltration*

de trois filtres de 38) (microfiltres dont la taille est de 5 micromètres) collecteur commun de pompes BP; Ils ont stopper les arrivées

accidentelles de particules dans les membranes en cas de défaillance du prétraitement. La pression de calcul des corps de filtres est de 5 bars. Chaque microfiltre renferme 224 cartouches 5 $\mu$ m (Référence PALL Claris 50), la pression différentielle maximale sur ces cartouches est de 2 bars.

**Figure 37 :** schéma de fonctionnement des microfiltres et leurs principaux composants



**Figure 38 :** Les microfiltres



#### *Injection de bisulfite*

Une injection de bisulfite de sodium est réalisée en continu en aval de chaque microfiltre par des pompes dont chacune est affecté à un microfiltre, afin d'éliminer le chlore résiduel contenu dans l'eau d'alimentation, ou le chlore choc. L'élimination du chlore a pour but de protéger les membranes dont le matériau s'oxyde en présence de chlore. Le débit de bisulfite est ensuite régulé via un régulateur PID et mesuré par les débitmètres. Le débit de bisulfite à injecter est calculé comme suit :

$$Q_{\text{bisulfite}} \text{ (L/h)} = \frac{[(\text{tx de traitement (mg/L)} \times Q_{\text{alim osm}} \text{ (L/s)} \times 3,6) \div C_{\text{Cbisulfite}} \text{ (g/L)}]}{\text{nbre microfiltres}}$$

**Qbisulfite:** débit de la pompe doseuse du séquestrant

**tx de traitement :** taux de traitement

**Qalim osm:** débit de l'eau brute à l'entrée de la station

**Cbisulfite :** concentration du séquestrant

#### **III.2.11.4 Osmose inverse**

La station de déminéralisation contient trois osmoseurs en parallèle chaque osmoseur a un débit d'alimentation égale à 141 l/s, le taux de conversion est de 81% et chaque osmoseur produit un débit de 114 l/s. Les osmoseurs sont alimentés à partir d'une bache de pompage par un double pompage (fig.39):

- 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.



Une régulation de pression corrigée par une régulation de débit. La pression requise à l'entrée des osmoseurs varie en fonction de la température, de la salinité de l'eau, et de l'âge des membranes.

Chaque osmoseur est composé de deux étages. Le premier étage de filtration est composé de 52 tubes, Tandis que le deuxième étage de filtration est composé de 23 tubes. Il n'y a pas de pompage ni de pression au niveau du premier étage. On augmente la pression du concentrat à l'aide d'une vanne de maintien de pression. Ainsi, les taux de conversion restent constants, la vanne sortie de perméat est maintenue constante. La mesure de ce débit est de 100 l/h. Chaque osmoseur est équipé de 100 l/h de données à archiver.



- Mesure de pression concentrat sortie 1er étage
- Mesure pression perméat 1er étage amont throttling
- Mesure pression perméat 1er étage aval throttling
- Mesure pression concentrat sortie 2ème étage
- Mesure pression perméat 2ème étage
- Mesure pression alimentation osmoseur
- Mesure de conductivité perméat 1er étage
- Mesure de conductivité perméat 2ème étage

En sortie de chaque osmoseur, les perméats de 1er et 2ème étages sont collectés et alimentent (avec la pression résiduelle) la cuve d'eau osmosée. Cette cuve a deux rôles :

- Lors de l'arrêt de l'osmoseur : réalimenter en eau osmosée les membranes qui subissent le phénomène d'osmose naturelle (et non « inverse »).
- 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.



### ✓ 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

En fonction de ces choix, l'automate indique en supervision les positions ouvert ou fermée de chaque vanne manuelle, l'opérateur va en local manipuler les vannes. Dès que les fins de course de chaque vanne correspondent à la configuration requise, l'autorisation de lavage est donnée par l'automate. Le démarrage des pompes de lavage est possible.

Le nettoyage des membranes se fait avec des solutions chimiques acides puis basiques. Les solutions sont préparées dans une petite cuve équipée d'un agitateur, puis transvasées dans la grande cuve de CIP grâce à la pompe.

Dans la cuve de CIP, les réactifs sont dilués et chauffés grâce à la résistance chauffante. Deux pompes, dites « pompes CIP », sont affectées à ce nettoyage et permettent de recirculer la solution de lavage sur les membranes puis de retourner la solution dans la cuve de CIP.

Entre les pompes CIP et les membranes, deux microfiltres, protègent les membranes des impuretés.



Les pompes CIP sont équipées de variateurs de fréquence, il y a deux pompes dont une de secours. La variation de fréquence permet de s'adapter au débit nécessaire à l'étage 1 ( $506 \text{ m}^3/\text{h}$ ) ou l'étage 2 ( $230 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Lorsque le nettoyage chimique est terminé, les eaux sales concentrées dans la cuve CIP sont évacuées grâce à la pompe de réactifs dont le maillage est modifié manuellement : elle aspire alors dans la cuve CIP et refoule vers l'égout.



## **CHAPITRE IV :** **RESULTATS EXPERIMENTAUX**

### **Introduction**

Le traitement de l'eau par coagulation flocculation est d'usage très répandu. Ce traitement permet de réduire la couleur et la turbidité normalement causées par les contaminants organiques,

*Rapport-gratuit.com*



LE NUMERO 1 MONDIAL DU MEMOIRE

Faculté des Sciences et Techniques - Fès

☒ B.P. 2202 – Route d'Imouzzer – FES

☎ 212 (0) 535 60 29 53 Fax : 212 (0) 535 60 82 14



inorganiques et biologiques aux niveaux acceptables pour l'eau potable. Les coagulants utilisés peuvent être de nature organique ou inorganique.

Le but principal de cette étude porte sur le suivi des paramètres de qualité et l'optimisation des étapes de la clarification de la Station de Traitement des Eaux Potables de Khénifra, par la détermination, dans une première étape, du point break dans l'étape de la préchloration, puis par la détermination de la dose optimale du sulfate d'aluminium (Coagulant) et de l'adjuvants et enfin par l'utilisation de quelques traitements parallèles, notamment la recirculation des boues.

## Demande en chlore

### Procédures expérimentales

#### *Préparation des solutions*

Une solution du chlore dosée dans un milieu acide (acide acétique) dans le quel 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 tombée de burette est multiplier 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 au boue d'une demi-heure la dose du chlore résiduelle total, on constate que cette dose résiduelle au lieu d'augmenter régulièrement a une allure tel que schématisée dans la fig.40.

Ce ci est due à ce que le chlore produit d'abord des composés d'addition avec les matières organique de l'eau, composée qui son eux même détruits par une dose de chlore plus forte. Le point optimale est la dose de chlore actif introduite pour laquelle il ne subsiste plus de composés d'adition chlorée dans l'eau et aussi la dose pour laquelle les gouts sont minimales et la décoloration la plus complète .

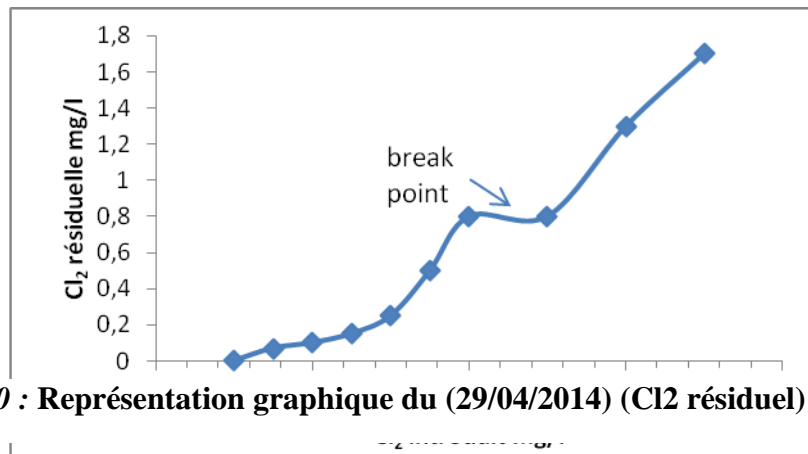


Figure 40 : Représentation graphique du (29/04/2014) ( $\text{Cl}_2$  résiduel) = f ( $\text{Cl}_2$  ajouter)

## Résultats et discussion

Les courbes de la fig.41 présentent l'évolution de la turbidité, la charge bactérienne (CF, SF) et de la demande en chlore au cours des quatre mois (février, mars, avril et mai). Comme le montre le graphique, il y a une concordance entre la turbidité, la charge bactérienne de l'eau brute et la demande en chlore. Cependant la demande en chlore n'est pas régit seulement par la turbidité et la charge bactérienne, il y a d'autres paramètres qui interviennent comme la température et l'intensité de la lumière comme il est montré sur les fig.41 et 42.

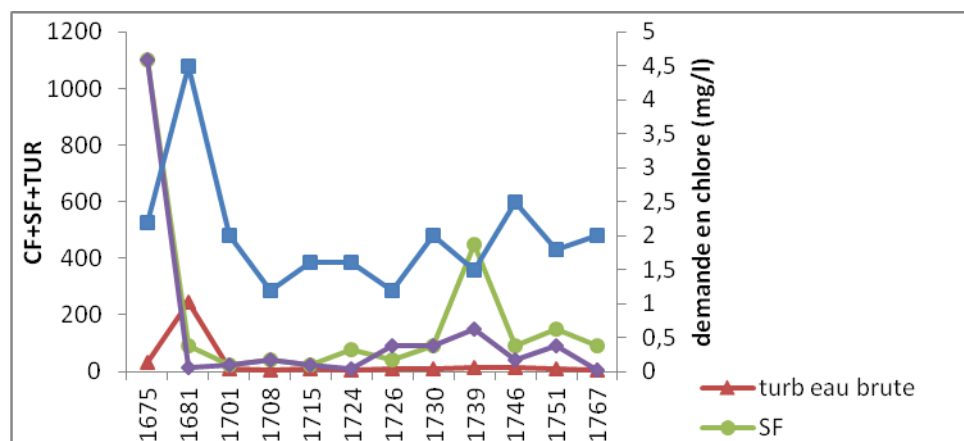
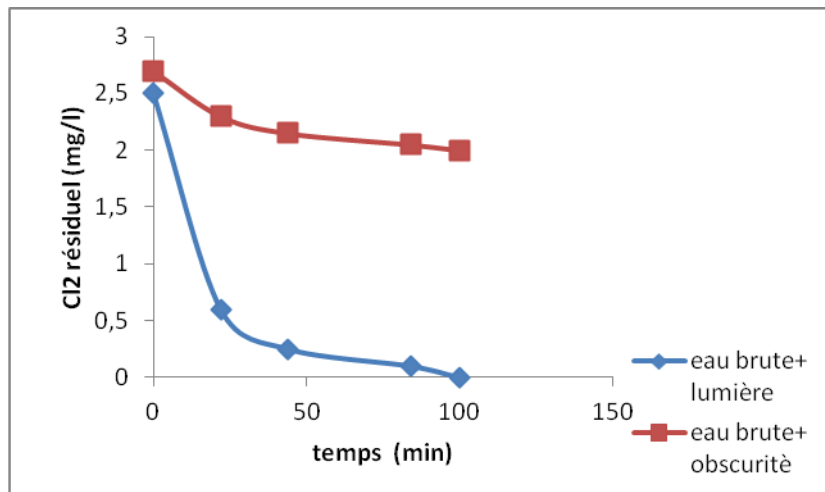
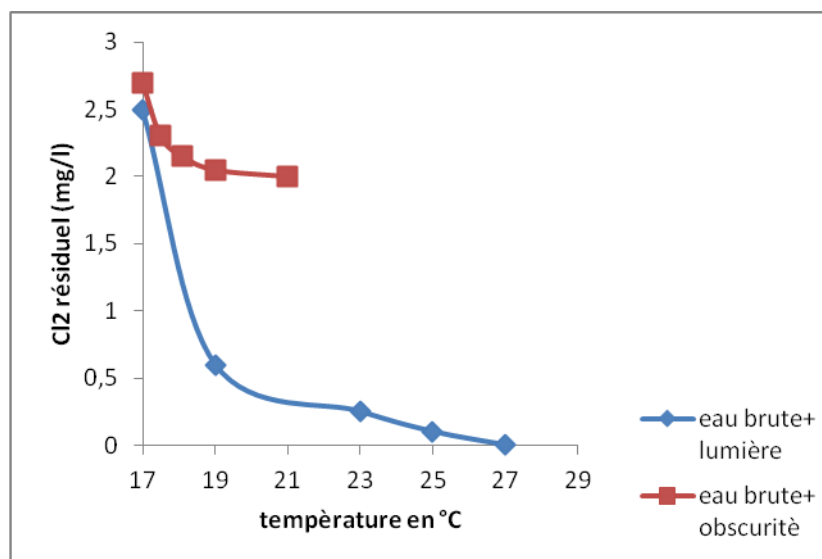


Figure 41: L'évolution de la turbidité, la charge bactérienne et de la demande en chlore au cours des mois (février, mars, avril et mai)



**Figure 42:** L'évolution du chlore résiduel en fonction du temps de contact



**Figure43:** L'évolution du chlore résiduel en fonction de la température

Les deux fig.42 et 43 montrent l'évolution de la consommation du chlore en fonction du temps de contact et de la température après 2 heures de temps. Les consommations en chlore sont suivies au cours d'un temps de contact allant jusqu'à 2 heures. Les résultats obtenus montrent que les consommations en chlore évoluent en fonction du temps et de la température selon deux étapes distinctes, une étape





rapide qui se prolonge jusqu'à un temps de contact de 44 minute et une étape lente au cours de laquelle la consommation en chlore augmente progressivement jusqu'à un temps de 100 minute.

Les résultats des essais de chloration obtenus montrent que la réactivité chlore/substances contenues dans l'eau est appréciable et peut varier en fonction des différents paramètres réactionnels appliqués au cours de la chloration notamment, la température, l'intensité de la lumière et le temps de chloration.

## Essais de coagulation-floculation

### Procédures expérimentales

#### *Préparation des solutions*

Le réactif coagulant utilisé est le sulfate d'aluminium ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$ ) pour lequel une solution mère de 10 g/l est préparée périodiquement dans l'eau distillée.

Le réactif floculant utilisé est le poly électrolyte pour lequel une solution mère de 1 g/l est préparée périodiquement dans l'eau distillée.

Les boues utilisées sont issue des décanteurs

#### *Description des essais de floculation*

Les essais de coagulation-floculation ont été conduits selon le protocole bien connu du « Jar-Test » sur un floculateur 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 béchers contenant 500 ml d'eau à examiner. Les essais de floculation comportent trois phases :

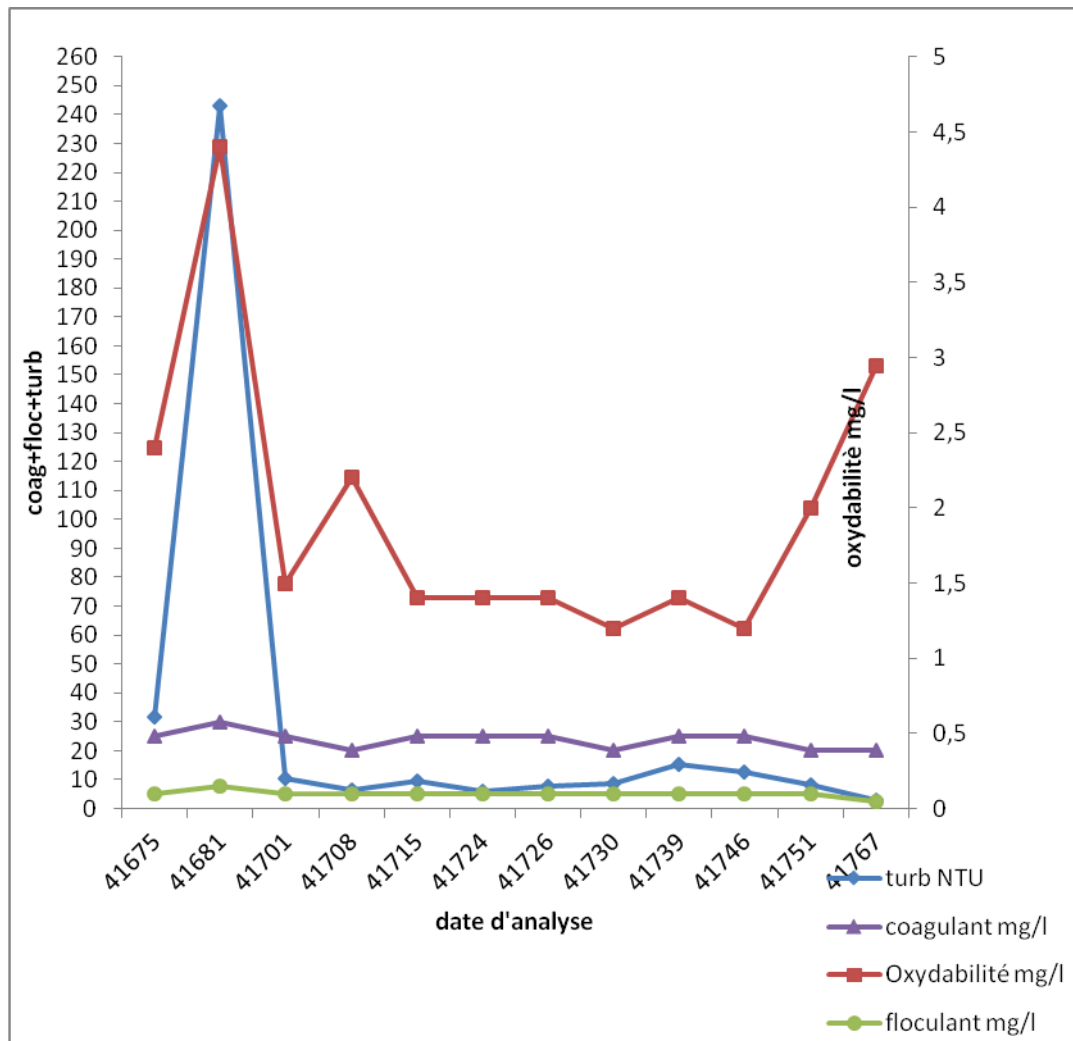
Une phase brève (2 min) d'agitation rapide (120 tr/min), pendant laquelle on procède à l'introduction du coagulant.

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 béchers. Le surnageant est récupéré pour être filtré sur un papier filtre, pour mesurer le pH et la turbidité du filtrat ainsi que d'autres paramètres.



## Résultats et discussion



### ✓ Optimisation des réactifs sulfate d'alumine et le polyélectrolyte

Comme la qualité de l'eau brute change au cours du temps, on a réalisé pour chaque analyse l'optimisation de la dose en coagulant et floculant. Les analyse représentées sur la figure 52 correspond donc aux valeurs des optimales pour les sulfates et l'adjuvant ainsi que l'évolution de la turbidité et de l'oxydabilité de l'eau brute au cours des quatre mois (février, mars, avril, mai).

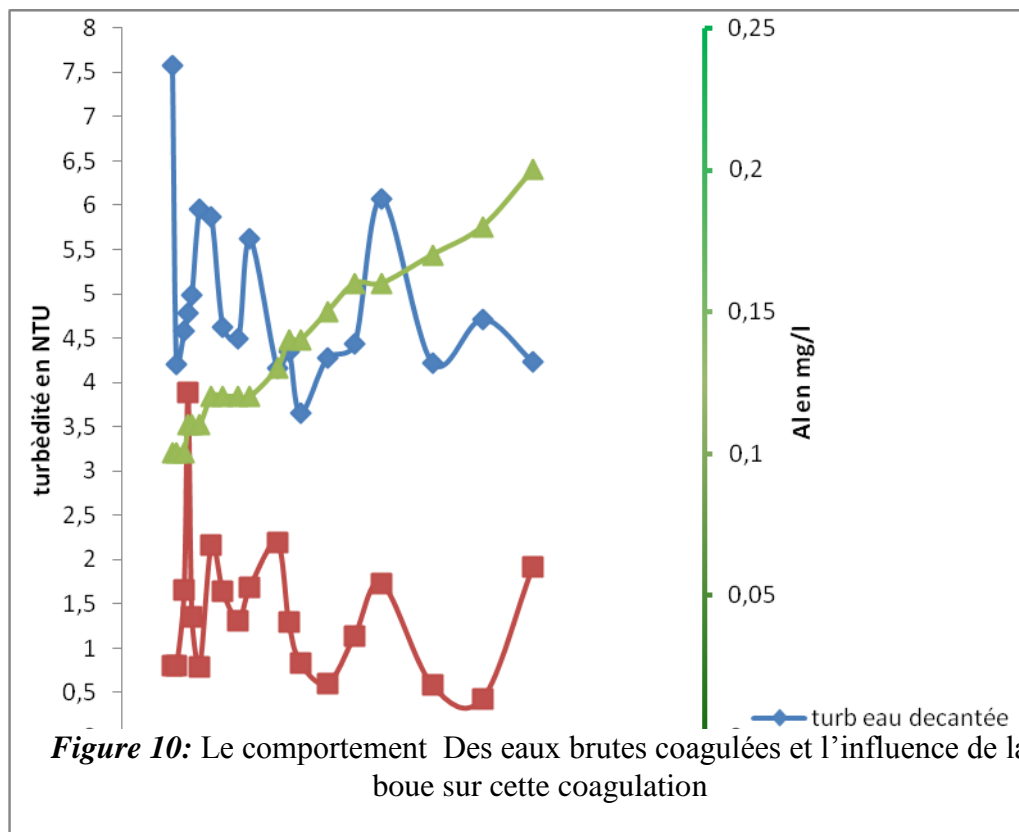


**Figure 44 :** Représentation de la turbidité et d'oxydabilité d'eau brute et les dose du coagulant et du floculant au cours des mois (février, mars, avril, mai)

La teneur en matières en suspension des eaux est fonction de la nature du terrain traversé. Les valeurs des matières en suspension en période de crue (hiver) sont élevées par rapport à celles de la période d'étiage. Ceci est dû à des pluies abondantes qui entraînent une très forte érosion des terrains au voisinage du fleuve Oum Errabia, et c'est le cas pour la date 11/02 où la turbidité atteint une valeur de 243NTU. Cette turbidité a été accompagnée par une augmentation de la teneur en matière organique comme on le constate sur la fig.44. Cela nécessite une dose importante de sulfate d'alumine (30mg/l dans ce cas là) et de polyélectrolyte (0.15mg/l). Pour les autres analyses la dose optimal du sulfate reste entre 20et 25mg/l tandis que la dose du floculant et entre 0.05 et 0.1. En effet un excès de polymère augmentera « artificiellement » le colmatage des filtres et des membranes d'osmose. Les doses optimales de sulfate d'aluminium varient suivant la qualité de l'eau brute ce qui exigerait un contrôle continu de cette qualité (surtout la turbidité et matière organique).

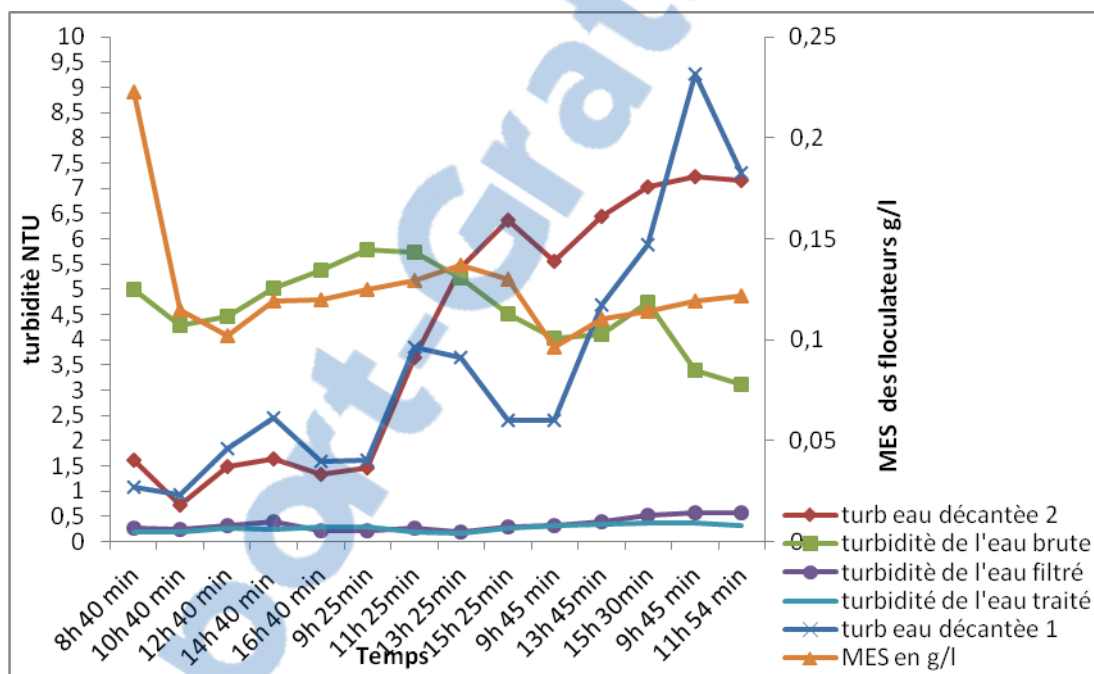
✓ *Optimisation de la quantité de la boue nécessaire pour avoir une bonne clarification de l'eau à l'échelle du laboratoire (jar-test)*

Les résultats présentés dans la fig.45, indiquent le comportement d'eau brute coagulée. En phase floculation on a ajouté des dose différentes de la boue afin d'augmenter l'efficacité de la floculation. On constate que la concentration d'aluminium dans l'eau augment, avec l'augmentation de la quantité de boue ajoutée. D'autre part, on remarque qu'il y a pas une corrélation entre la MES de la boue et la turbidité de l'eau quel soit décantée ou filtrée. Il est à noter que à une valeur de 0.093g/l de MES, la turbidité de l'eau décanté est inférieur à 5 et celle de l'eau filtrée inférieure à 0.5.



✓ **L'arrêt de la recirculation des boues au niveau de la station de traitement et son influence sur la turbidité des eaux décantées et filtrées**

La fig.46 montre l'effet de l'arrêt de la recirculation des boues issue des décanteurs sur la turbidité eau décantée, filtrée et traitée. Comme il montre le graphe, lorsque la teneur en MES de l'eau flocculée diminue la turbidité de l'eau décantée, filtrée et aussi traitée augmente. Ceci présente un effet sur les décanteurs et les filtres à sable ce qui entraîne une augmentation de la fréquence de lavage de ces derniers. Signalons que le lavage est accompagné par un gaspillage d'énergie, l'eau et aussi de main d'œuvre. Il est donc primordial d'effectuer cette recirculation pour diminuer le coût de production.



**Figure 11:** L'influence de la recirculation de la boue sur les turbidités des eaux, décantée, filtrée et traitée

✓ **Optimisation de la quantité de la boue et du débit de recirculation nécessaire pour avoir une bonne clarification de l'eau à l'échelle de la station**

La pompe de recirculation des boues ne dispose pas un débitmètre. Cependant mais sur le vernier qui lui est attaché on peut lire des pourcentages. La courbe de la fig.47 représente le débit de la pompe de recirculation en fonction du pourcentage de vernier.

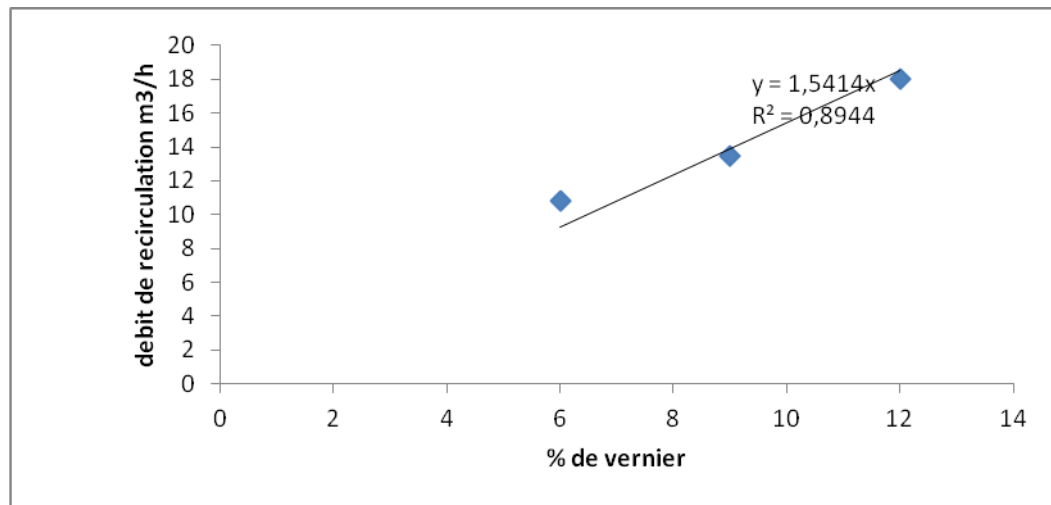


Figure 47: Courbe d'étalonnage de la pompe de recirculation des boues

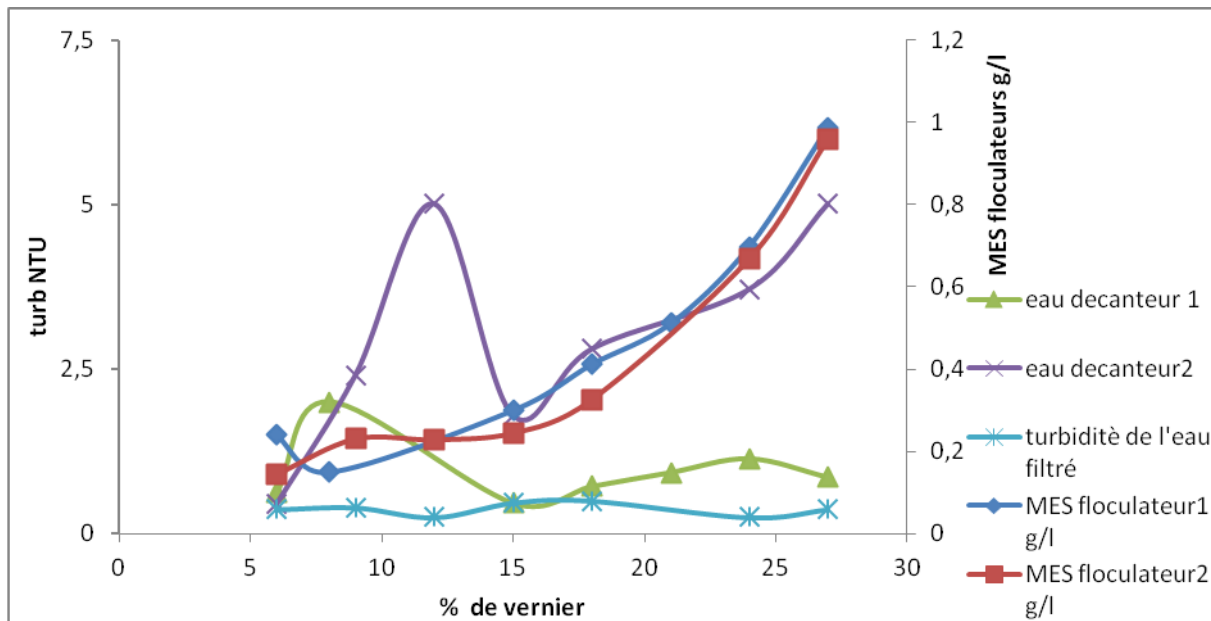
Le tableau 6 représente le suivi de la qualité de l'eau à différentes étapes de traitement à différents débits de recirculation des boues.

Tableau 6: suivi de la qualité de l'eau à différentes étapes de traitement en différents débits de recirculation des boues

DATE	HEUR	dose des sulfat e	deman de en chlore mg/l	debit d'exploit ation l/s	% de vernié de la pompe de recirculation des boue		turbidi té de l'eau brute	turbidité de l'eau décanaté		turbidi té de l'eau traité	T air en °C	turbidi té de l'eau filtré	floculeur			boue recirculée			floculateur			boue recirculée			
					1	2		1	2				PH	MES en g/l	% de la	PH	MES en	AL en	PH	MES n en	% de la	PH	MES en g/l	AL en mg/l	
11/04/2014	10h 00mir	25	1,8	245,2	8	6	12,3	1,18	0,85	0,4	14	0,35	7,4	0,11	0,015	7,12	3,41	0,1	7,29	0,113	0,01	7,09	3,43	0,09	
	12h 00mir			246,8			11,47	1,5	1	0,4	16	0,35	7,39	0,13	0,2	7,14	3,49	0,1	7,3	0,123	0,2	7,11	3,44	0,09	
	14h 00mir			245,3			10,02	2	1,45	0,45	18	0,4	7,41	0,15	0,4	7,19	3,5	0,1	7,34	0,145	0,3	7,13	3,47	0,1	
14/04/2014	10h 30mir	25	2	273,4	18	12	8,38	0,95	1,98	0,21	14	0,47	7,28	0,223	3	7,06	4,46	0,12	7,29	0,218	2	7,08	4,49	0,11	
				234			9,56	1,37	5,74	0,28	19	0,34	7,36	0,23	6	7,15	5,7	0,13	7,43	0,22	4	7,13	5,65	0,11	
				273,3			8,35	0,72	5,02	0,3	18	0,47	7,24	0,412	7	7,17	6,68	0,14	7,32	0,229	5	7,17	6,68	0,12	
17/04/2014	10h 45mir	25	2	257	24	15	12,5	1,3	2,82	0,15	13	0,4	7,31	0,231	9	7,19	5,58	0,09	7,48	0,238	3	7,18	5,65	0,09	
							14h 04mir	14,8	0,59	2,1	0,25	17	0,34	7,38	0,289	9,5	7,2	5,64	0,09	7,38	0,24	4,5	7,21	5,67	0,12
							16h 12mir	17,2	1,14	1,8	0,15	20	0,25	7,32	0,698	10	7,18	5,65	0,1	7,3	0,245	6	7,16	5,61	0,14
18/04/2014	11h 50mir	25	2	244,2	21	18	6,12	0,73	0,78	0,28	19	0,38	7,38	0,222	4	7,17	5,57	0,1	7,35	0,235	6	7,23	5,65	0,1	
				14h 45mir			4,6	0,73	2,13	0,3	21	0,33	7,24	0,431	7	7,2	5,63	0,11	7,31	0,26	7	7,23	5,66	0,1	
				16h 30mir			4,39	0,93	2,81	0,22	18	0,5	7,18	0,511	9	7,21	6,68	0,12	7,28	0,326	8	7,11	5,67	0,1	
21/04/2014	11h 45mir	25	2,5	265	6	24	7,19	1,09	1,28	0,3	19	0,23	7,46	0,234	0,01	7,17	5,56	0,1	7,34	0,232	8	7,18	4,56	0,1	
							15h 07mir	5,16	0,62	3,72	0,29	17	0,37	7,33	0,24	0,4	7,18	5,57	0,12	7,45	0,668	10	7,17	5,07	0,2
22/04/2014	13h 30mir	25	2,5	249	15	9	4,42	0,95	3,24	0,33	19	0,36	7,37	0,3	4,4	7,27	5,68	0,1	7,44	0,212	0,01	7,34	5,6	0,09	
				234			4,3	0,47	2,41	0,46	13	0,25	7,35	0,24	5,9	7,28	5,42	0,12	7,46	0,231	0,4	7,32	5,7	0,1	
23/04/2014	11h 35mir	25	2,5	266,7	27	27	5,52	1,37	3,35	0,46	20	0,32	7,47	0,547	15	7,33	5,69	0,15	7,5	0,535	13	7,29	6,85	0,15	
				17h 02mir			259,27	4,3	0,86	5,02	0,22	12	0,37	7,46	0,987	20	7,34	5,84	0,18	7,51	0,958	18	7,33	7,01	0,18



La figure 48 représente la variation de la turbidité de l'eau décanté et filtrée en fonction du pourcentage de vernier de la pompe de recirculation (débit de recirculation des boues).



On constate que l'augmentation du débit de recirculation entraîne une augmentation de la

**Figure 48:** Variation de la turbidité de l'eau décanté et filtrée en fonction du pourcentage de vernier de la pompe de recirculation

MES dans les flocculateurs, ce qui favorise la décantation des floc avec une grande vitesse. Cependant lorsque cette concentration dépasse le seuil, la turbidité de l'eau décantée et de l'eau filtrée augmente. Comme dit précédemment la turbidité de l'eau décantée est régit aussi par les paramètres température et propreté des décanteurs. En effet une diminution de la température de l'eau entraîne une augmentation de sa viscosité ; et par la suite des difficultés de décantation des flocs. D'autre part si les décanteurs contiennent beaucoup de boue entre les lames ça entraîne une augmentation de la turbidité de cette eau. En ce qui concerne la recirculation il est souhaitable de la réaliser avec un faible débit afin d'utiliser un minimum d'énergie ainsi diminuer le coût de production. Pour augmenter la concentration de MES c'est mieux de jouer sur la pompe de l'épuration des boues ceci revient à trouver une durée de cadence précise pour maintenir la concentration de MES nécessaire dans les flocculateurs afin d'augmenter l'efficacité de la floculation.





Si on recircule une concentration importante de boue, il y aura une consommation maximale du chlore au niveau du flocculateur ce qui entraînera une diminution et parfois disparition des traces de chlore au niveau des décanteurs. D'un autre côté les décanteurs se chargeant en boues exigent un lavage dans une période de temps faible. Pour augmenter le rendement et minimiser le coût de production, une concentration de boues minimum (0.2g/L) doit être maintenue dans les flocculateurs, via la recirculation, afin d'augmenter l'efficacité de la floculation.

## Caractérisation de l'eau filtrée et microfiltrée

### Procédures expérimentales

#### *Description des essais*

*Le SDI (Silt density Index) est équivalent à l'indice de colmatage ou fouling index (méthode de mesure extraite de la norme NF S93-310) :*

Grace au kit de mesure du Fouling Index (ensemble comprenant embouts de raccordement, détendeur régulateur de pression, manomètre, vanne d'isolement, support de membrane), le SDI permet de déterminer l'encrassement d'une membrane de porosité 0,45 µm et de 47 mm de diamètre par filtration de l'eau au travers de cette membrane à une pression de 2,1 bars. La filtration de l'eau en continue se fait avec des mesures à différents intervalles de temps et de volumes.

Mode de calcul :

Le pouvoir encrassant est donné par la relation :  $P (\%) = 100 * (1 - t_0 / t)$

L'indice de colmatage est donné par la relation :  $IC = P (\%) / T$

T = temps total de la mesure = 15 min.

**Tableau 7:** Valeurs repères pour SDI

<b>0 à 3</b>	Eau non colmatante peut être utilisée directement sans traitement spécifique
<b>3 à 6</b>	Eau peu colmatante nécessite l'utilisation d'un traitement physique: Préfiltres
<b>6 à 20</b>	Eau très colmatante Traitement d'eau plus poussé obligatoire: MFT, UF Coagulation floculation.



## Résultats et discussion

Le tableau 8 présente quelques caractéristiques de l'eau filtrée et microfiltrée.

Dans la plupart des cas, la turbidité de l'eau filtrée est supérieure à celle de l'eau microfiltrée. Ceci est logique puisqu'on suppose qu'une grande partie de la MES est retenue par les microfiltres. Cependant dans d'autre cas on remarque que la turbidité de l'eau filtrée est inférieure à celle de l'eau microfiltrée. Ceci est anormale mais peut être du à l'injection des réactifs (séquestrant et bisulfite) à l'entrée des microfiltres.

A partir des résultats du tableau on remarque que la concentration d'Al dans l'eau filtrée est supérieure à celle de l'eau microfiltrée. La microfiltration diminue donc la teneur de l'eau en aluminium. Pour le pH de ces eaux, il est à peu près le même avec une diminution mineure de celui-ci après microfiltration ce qui peut être dû à l'injection des réactifs.

Le SDI a été mesuré à la sortie des microfiltres afin d'évaluer le pouvoir colmatant de cette eau et pour éviter le colmatage de la membrane d'osmose. Le SDI reste entre 0 et 3, donc cette Eau est non colmatante et peut être utilisée directement sans traitement spécifique. Signalons que en date du 25/04/2014 le SDI a atteint une valeur de 3.85 reflétant aussi une eau peu colmatante qui nécessite l'utilisation d'un traitement physique, comme les Préfiltres.

Le chlore de l'eau filtrée reste entre 0.1 et 1 tandis qu'au niveau de l'eau microfiltrée, il a une valeur de 0. En effet, le chlore est éliminé par bisulfite pour éviter la perforation des membranes d'osmose.

**Tableau 8:** Caractéristiques de l'eau filtrée et microfiltrée



## La matière organique

### Procédures expérimentales

#### Description de l'essai d'oxydabilité

La matière organique totale a été évaluée par la méthode de l'oxydabilité au permanganate de potassium ( $\text{KMnO}_4$ ) (RODIER, 1996), en milieu acide à chaud vu sa rapidité. L'eau est portée à ébullition en présence d'une solution de permanganate de potassium à N/80 dont l'excès est dosé après 10 minutes d'ébullition. La différence du volume à analyser et du volume de  $\text{KMnO}_4$  utilisé pour le titrage de l'eau distillée (témoin) va donner la teneur de  $\text{KMnO}_4$  en  $\text{mg O}_2/\text{l}$ .

### Résultats et discussion

D'après la figure 49, on voit que l'oxydabilité des eaux brutes est de l'ordre de 2  $\text{mg/L}$ . On remarque que celle-ci chute en passant de l'eau brute à l'eau microfiltrée, chose qui est logique. En effet on suppose qu'une grande partie de la matière organique est retenue par les filtres à sable, puis augmente après le passage de l'eau dans les microfiltres. Ceci est dû à l'injection du séquestrant en

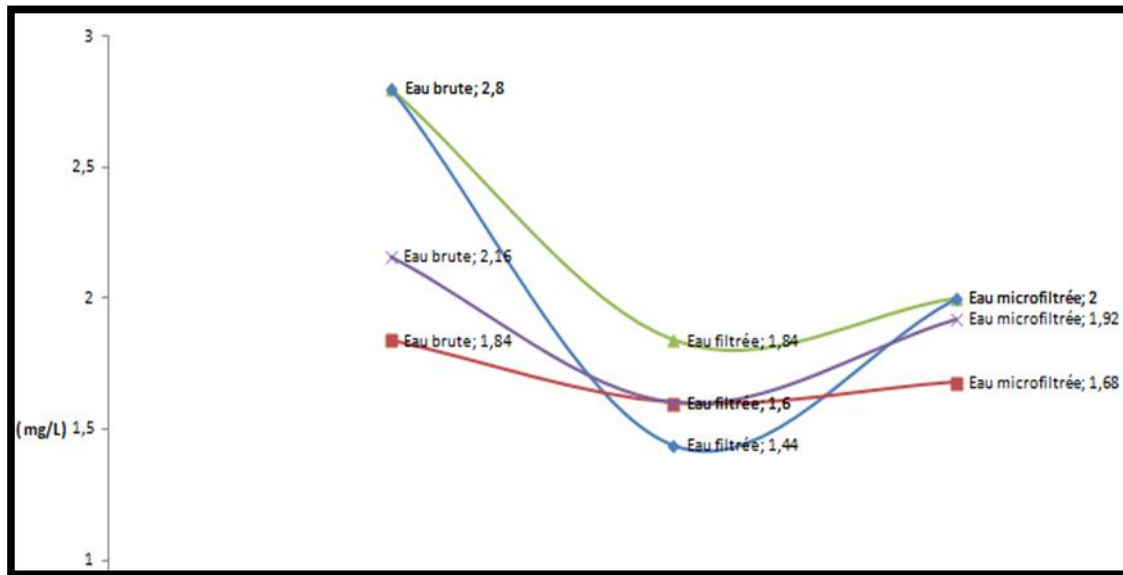
date	Turbidité		Al $\text{mg/l}$		PH		cl2		SDI
	Eau filtrée	Eau microfiltrée	Eau filtrée	Eau microfiltrée	Eau filtrée	Eau microfiltrée	Eau filtrée	Eau microfiltrée	
05/02/2014	0,48	0,29	0,09	0,07	7,54	7,45	0,2	0	2,5
06/02/2014	0,49	0,35	0,07	0,04	7,4	7,37	0,6	0	2,52
07/02/2014	0,39	0,25	0,08	0,03	7,69	7,51	0,1	0	0,76
26/02/2014	0,36	0,28	0,08	0,04	7,76	7,61	0,6	0	1,9
07/03/2014	0,33	0,18	0,08	0,06	7,13	7,33	0,7	0	2,33

Tableau 9: Teneur en MO

échantillon	Eau brute	Eau brute + séquestrant	Eau filtrée	Eau filtrée + séquestrant	Eau microfiltrée	Eau microfiltrée + séquestrant	permeat I	permeat I+ séquestrant	concentrat II
MO $\text{mg/l}$	2,8	-	1,84	-	2	-	-	-	-
	2,8	-	1,44	-	2	-	-	-	-
	1,84	-	1,6	-	1,68	-	-	-	-
	2,16	-	1,6	-	1,92	2,08	-	-	-
	2	2,4	1,44	1,52	-	-	0,96	1,08	3,39
24/04/2014	0,48	0,32	-	-	-	-	-	0	2,45
25/04/2014	0,27	0,4	-	-	-	-	-	0	3,85
28/04/2014	0,45	0,32	-	-	-	-	-	0	2,47
30/04/2014	0,22	0,27	-	-	-	-	-	0	0,95



amont de la microfiltration, comme montré sur le tableau 9. Le concentrat est très riche en matière



organique  
que ca  
est du à  
l'élimination  
de  
celle-ci  
du  
perméa  
t par les  
membres

et son accumulation au niveau du concentrat et aussi à l'accumulation du séquestrant au niveau de cette dernière.

## Devenir des boues issues des décanteurs

Les boues issues des décanteurs sont traitées par hydratation sur les lits de séchages mais leur devenir reste inconnu. Dans l'optique de trouver une valorisation de ces boues, J'ai réalisé au sein du laboratoire de Chimie Appliquée à la FST Fès des essais de traitement de déchets textiles avec ces boues.

## Procédures expérimentales

### Description de l'essai

L'essai de coagulation-floculation de l'effluent des textiles a été conduit selon le protocole

**Figure 49:** Variation de la teneur en MO des eaux brute, filtrée et microfiltrée

bien  
connu du

« Jar-Test ». Dans un bécher contenant 400 ml d'effluent textile à examiner et 200ml de la boue dont la MES est égale à 6.5g/l. Cet essai comporte trois phases :



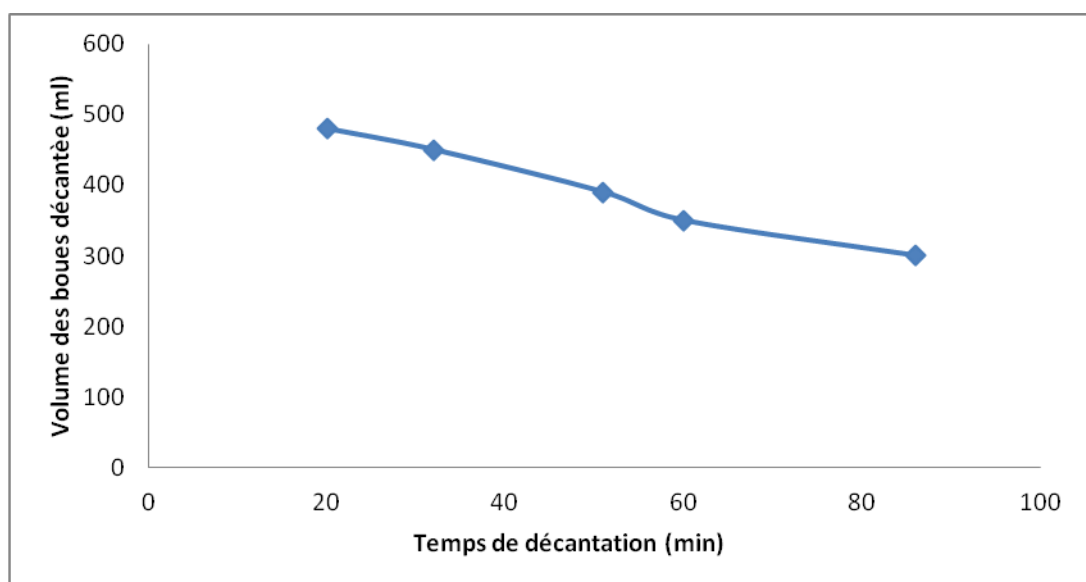
Une phase brève (10 min) d'agitation rapide (200 tr/min), pendant laquelle on procède à l'introduction de la boue issue des décanteurs.

Une phase longue (20 min) d'agitation lente (30 tr/min), pendant laquelle se produit la formation du floc.

Une phase de décantation (100 min) durant laquelle le floc déstabilisé est entraîné vers le fond des béciers. Le surnageant est récupéré pour effectuer la mesure du pH et de la turbidité.

## Résultat et discussion

Le tableau N° 10 représente les paramètres physico-chimiques de l'effluent avant et après traitement. On remarque une chute de la turbidité qui passe d'une valeur de 220 NTU à une valeur de 43.6 NTU ce qui montre l'efficacité de ces boues (boue issue des décanteurs) dans le traitement des eaux usées.



**Tableau 10:**  
Quelques paramètres physico-chimiques de l'effluent avant et après traitement

Le graphe 50 montre l'évolution du volume de boue décantée en fonction du temps. On remarque un rabattement du volume de boue au cours du temps. Par manque de temps on n'a pas pu réaliser une étude jar test complète, le but étant au début de tester l'efficacité des

**Figure 50:** L'évolution du volume de boue décantée en fonction du temps

b





oues. Pour exploiter ces boues dans ce domaine il est nécessaire de réaliser des études approfondis sur le temps de décantation de ces boues aussi leur caractéristiques physico-chimiques...

## Quelques paramètres de qualité physico-chimique et organique des eaux aux différentes étapes de traitement au cours des mois février, mars, avril, et mai

Lorsque la turbidité de l'eau brute est importante le déboureur joue son rôle dans l'élimination d'une grande partie de la MES tandis que lorsque la turbidité de l'eau brute est faible le déboureur permet d'assuré un grand temps de contact entre le chlore et l'eau pour oxydée la MO afin d'évitée le développement des algues dans les ouvrage. Comme il montre le tableau ci dessous la qualité de cette eau reste acceptable et ne présente aucun effet indésirable sur la santé.

**Tableau 11:** Quelques paramètres de qualité physico-chimique et organique des eaux aux différentes étapes de traitement

	PH	Turb NTU	Cl <sub>2</sub> R	cond us/cm	chlor ure m/lg	odeu r	coul eur	TH meq /l	TA d°f	TAC d°f	MO mg/l	O <sub>2</sub> dissou t mg/l	Al mg/l	Fer mg/l	Mn mg/l	IS
Eau brute	8,23-8,01	243-2,94	-	1350-1998	259-447	0	0	5,4-6,12	1-7,5	21,5-23,5	4,4-1,6	8-9,44	0	0	0	-
Eau débou rée	7,63-8,26	40-1,30	1,4-0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-
Eau floculé e	7,24-7,68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Eau décant ée	7,10-7,82	0,71-5	1,2-0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2-0,14	-	-	-
Eau filtrée	7,31-7,83	0,19-0,5	1-0,2	1330-2019	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1-0,09	-	-	-
Eau microfi ltrée	7,23-7,72	0,16-0,5	0	1360-2032	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05-0,03	-	-	-



Eau osmosée	5,13-6,01	0,16-0,5	0	32-195	-	-	-	-	-	-	-	-	0,02-0,03	-	-	-
Eau traitée	6,69-7,66	0,13-0,5	1,4-0,6	596-1068	104,8-216,55	0	0	3,36-2,64	0	7,5-23	1,36-0,9	8-9,6	0,05-0,09	0	0	-0.23 et 1,61

## Conclusion générale

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

Ainsi chaque eau brute prélevée dans le milieu naturel présente un nombre plus ou moins important de paramètres à ajuster ou à éliminer, aux quels correspond une ou plusieurs techniques de traitement qui sont :

- Prétraitement
- préoxydation
- Traitement de clarification
- Traitement de désinfection.
- Affinage.

L'objectif de cette étude est donc l'optimisation de traitement des eaux de la station de Khénifra en amont de la déminéralisation, en optimisant des procédés de traitement intervenant dans une filière conventionnelle de potabilisation d'une eau de surface.

Ce travail nous a permis de faire une application des procédés classiques de potabilisation (coagulation-floculation) sur une eau de surface, l'eau de barrage d'Oum Errabia, qui alimente la station de traitement de Khénifra.

Tout au long de ce stage on a essayé de réaliser une optimisation des réactifs ainsi que les boues recyclées sans oublier de suivre les paramètres physico-chimiques de toutes les étapes de traitement, ainsi on essayé de trouver un devenir pour les boues recirculer.

La quantité du chlore injecté dépend de plusieurs paramètres ; température, charge bactérienne et turbidité. Pour la dose du sulfates et de l'adjuvant il dépend de la MES et de la turbidité. En ce qui concerne la recirculation de la boue, il faut maintenir une valeur de 0.2g/l dans les flocculateurs



pour atteindre notre l'objectif, cette recirculation s'effectue à l'aide des pompe, et le débit de recirculation doit être faible car on cherche à minimiser le cout de production donc c'est mieux de faire une optimisation de la durée de cadence de la pompe d'épuration.

Finalement les boues déshydratées au niveau des lits de séchage peuvent être utilisé dans le traitement des eaux usées

### Références bibliographiques :

- ✓ **ABDERHMANE BENTAYB ; CHAUDE LACLERC. (2013)**, *le cause moyen atlasique chapitre 21.*
- ✓ **ACHOUR S ; MOUSSAOUI K. (1993)**, *La chloration des eaux de surface algériennes et son incidence sur la formation de composés organohalogénés. Environmental technology, 14, 885-890.*
- ✓ **A.D. N'Diaye et al. (2013)**, *Turbidité et matières en suspension dans l'eau : Application a l'évaluation des métaux contenus dans l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°14, Juin 2013, pp. 93-105.*
- ✓ **BEAUDRY J.P. (1984)**, *Traitement des eaux. Ed Le Griffon d'Argile, Québec.*
- ✓ **BETTERO J. Y., LARTIGES, B. (1992)**, *Séparation liquide-solide par coagulation floculation: les coagulants/floculant, mécanismes d'agrégation, structure et densité des floes, mines et carrières-Industrie minérale- Les Techniques, 10, 37-43.*
- ✓ **BERLAND.J-M et JUERY.C, (2002)**, *Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, Office International de l'Eau SNIDE.*
- ✓ **CARDOT. (1999)**, *Les traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques. Ellipses Edition Marketing S.A.*
- ✓ **CIDF-Ldes Eaux. (2000)**, *CIDF Centre International De Formation. Principes généraux de traitement des eaux, Lyonnaise des Eaux, 2000.*
- ✓ **DE LAAT J. MERLET N, DORE M. (1982)**, *Chloration de composés organiques : Demande en chlore et réactivité vis-à-vis de la formation de trihalométhanes, Wat. Res., 16, 1437-1450.*



- ✓ **DESJARDINS R. LAVOIE J. LAFRANCE P. et PREVOSTE M. (1991)**, *Comparaison de l'évolution de la qualité de l'eau dans deux réseaux de distribution. Science et technique de l'eau*, vol 24 N° 04. pp 321-331.
- ✓ **DESJARDINS R. (1997)**, *Le traitement des eaux. Edition de l'Ecole Polytechnique de Montréal. France.*
- ✓ **DEGREMONT. (1989)**, *Mémento technique de l'eau, 9<sup>ème</sup> Ed., Ed. Lavoisier, Paris, Tome 1, 575-581.*
- ✓ **EDELINE M. F. (1992)**, *Epuración physico-chimique des eaux, 2<sup>ème</sup> édition, Ed. CEBEDOC, France.*
- ✓ **GALAL-GORCHEV, H., (1996)**, *Chlorine in water disinfection, Pure & Applied Chemistry 68, pp.1731-1735.*
- ✓ **HARRAT N. (2013)**, *Elimination de la matière organique naturelle dans une filière conventionnelle de potabilisation d'eaux de surface, thèse de doctorat en hydraulique, Algérie.*
- ✓ **HERNANDEZ DE LEON. (2006)**, *Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable, thèse de doctorat en Sciences Appliquées, Toulouse*
- ✓ **KEMMER F. N. (1984)**, *Manuel de l'eau, Edition technique et documentation, Lavoisier, Paris.*
- ✓ **MEGHZILI.B, MARSA.Z, MEDJRAM.S.M, (2008)**, *optimisation des étapes de clarification de la station de traitement de l'eau potable de la ville de Skikda. Article Sciences & Technologie A – N°27 Volume-B, pp. 71-78.*
- ✓ **HOCQUE V. (2011)**, *extension de la station de traitement de Khénifra, lot n°2 : prise d'eau et station de traitement et de déminéralisation, direction technique et ingénieur, ONEE.*
- ✓ **MOUCHET P, (1991)**, *les modalités de traitement des eaux brutes : quelle qualité d'eau ? quels procédés ?, S.T.P, PHARMA PRATIQUE 1 ? Page 136-148.*
- ✓ **NALCO. (1993)**, *Manuel de l'eau. Edt, Tec et Doc. ISBN 9782852062207.*
- ✓ *Norme marocaine relative aux eaux d'alimentation humaine, méthodes d'essais, janvier 1990.*
- ✓ **PACKHAM R.F., RATNAYAYKA, D. D. (1992)**, *Water clarification with aluminium coagulants, Water supply, 10, 4, 35-47.*



- 
- ✓ **VALENTIN, (2000)**, *Construction d'un capteur logiciel pour le contrôle automatique du procédé de coagulation en traitement d'eau potable. Thèse de doctorat, UTC/Lyonnaise des Eaux/CNRS, 2000.*
  - ✓ **VALIRON F. (1984)**, *Gestion des eaux. Alimentation en eaux, assainissement, presse de l'école nationale des ponts et chaussées, France.*
  - ✓ **VIGOURET, J. (1985)**, *Le potentiel zêta et son application dans le traitement de l'eau potable, T.S.M, 3, 91-95.*
  - ✓ **RODIER J. (2009)**, *L'Analyse de l'eau 9ème édition DUNOD, Paris.*

