



Licence Sciences et Techniques (LST)
Technique d'Analyse et Contrôle de Qualité
« TACQ »

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Contrôle de la salinité de l'eau de la station de
traitement KHENIFRA par mesure de la
conductivité**

Présenté par :

◆ ZAHIDI Souhail

Encadré par :

- ◆ Mr OUHBAL Ibrahim (ONEE Khenifra)
- ◆ Pr KHALIL Fouad (FST Fès)

▣ **Soutenu Le 06 Juin 2017 devant le jury composé de :**

- Pr KHALIL Fouad (FST Fès)
- Pr HAOUDI Amal (FST Fès)
- Pr EL HASSANI Abdelhadi (FST Fès)

Stage effectué à l'ONEE KHENIFRA

Année Universitaire 2017 / 2018

DEDICASE

- A mes chers parents qui ont voulu que je sois toujours le meilleur.
- A Mr Fouad KHALIL, mon professeur encadrant ainsi que, Mr OUHBAL Ibrahim mon encadrant de stage, et à Mr Ahmed BELKHIRI ; Melle Jamila MAFROUD, pour leurs informations.
- A toute personne qui a participé de près ou de loin pour l'accomplissement de ce modeste travail.

MERCI

SOMMAIRE

Liste des abréviations	5
INTRODUCTION	6
I. Présentation de l'ONEE.....	8
II. Chaîne de traitement de l'eau	10
1. Les prétraitements.....	10
2. Les traitements	12
III. Analyse de contrôle de la qualité de l'eau	16
▣ Analyses physico-chimiques	16
1. Le potentiel d'hydrogène	16
2. La turbidité	17
3. La conductivité.....	18
4. La dureté de l'eau	18
5. le calcium	19
6- Détermination de l'alcalinité de l'eau : TA et TAC.....	20
7- L'oxydabilité au permanganate de potassium	21
8. Dosage de l'oxygène dissous	22
9. la demande en chlore.....	23
10- L'ammonium	24
11- Les nitrates	25
12- les chlorures	26
▣ Analyse de traitements	27
1. JAR TEST : essai de floculation	27

2. La demande en chlore	29
IV. La conductivité aux différents ouvrages de traitements.....	32
1/-La conductivité et la salinité.....	32
- La conductivité	32
- La salinité.....	32
2/- L'origine de la salinité d'oued OumRbiaa.....	33
- Hydrogéologie.....	33
3/-Contrôle de la conductivité aux différents ouvrages du traitement.....	34
CONCLUSION	37

LISTE DES ABREVIATIONS :

- **TACs : Titre Alcalimétrique de saturation**
- **ONEE : L'Office National de l'Électricité et de l'Eau potable**
- **pH : Potentiel Hydrogène**
- **TA : Titre Alcalimétrique**
- **TAC : Titre Alcalimétrique complet**
- **T_b : Tombée de Burette**
- **pH_s : pH de saturation**
- **MES : Matières en suspension**
- **TH : titre hydrotimétrique**
- **MO : matières organiques**

INTRODUCTION :

L'eau est un facteur essentiel pour la vie, l'hygiène et le développement, cependant elle peut devenir un facteur de maladies quand sa qualité est altérée, c'est pour cela qu'on ne peut jamais consommer une eau brute, on doit procéder à des opérations de traitement que nous allons entamer dans cette présentation.

La production d'eau potable se fait par l'exploitation d'une multitude de sources :

- Les eaux souterraines ;
- Les eaux de surfaces ;
- Les eaux de mer.

Une eau potable doit être agréable à boire, claire, avoir une bonne odeur et un bon goût. Elle doit contenir un minimum de sels minéraux dissous (de 0,1 à 0,5 g /l) qui sont par ailleurs indispensables à l'organisme sans pour autant corroder les canalisations. L'eau brute destinée à la consommation humaine est prélevée dans un cours d'eau dans une nappe souterraine et ensuite acheminée vers une usine de production d'eau potable où elle subit divers traitement physico-chimiques et bactériologiques pour être potable.

Durant mon stage, effectué au sein de l'Office National de l'Électricité et de l'Eau potable (ONEE KHENIFRA) – branche eau, nous nous sommes intéressés, dans un premier temps, aux analyses physico-chimiques de l'eau, et dans un deuxième temps, au contrôle de la conductivité dans différents ouvrages.

- Le rapport est présenté ainsi comme suit :
- **La présentation de l'ONEE branche eau**
- **La chaine de traitement de l'eau brute**
- **Les analyses physico-chimiques :**

Turbidité, Potentiel d'hydrogène, Conductivité, Chlore résiduel, Température, Titre Alcalimétrique TA, Titre Alcalimétrique complet TAC, Titre hydrométrique TH et enfin l'oxydabilité

- **Contrôle de la conductivité aux différents ouvrages**

I- PRÉSENTATION DE L'ORGANISME :

L'Office National de l'Électricité et de l'Eau potable (ONEE) est le pilier de la stratégie énergétique et bras armé de l'Etat dans le secteur de l'eau et de l'assainissement au Maroc. Depuis le milieu des années 1990, l'Office est sur tous les fronts : généralisation de l'accès à l'électricité et à l'eau potable, épuration des eaux usées et développement du service de l'assainissement liquide, modernisation et élargissement des réseaux de production, de commercialisation et de distribution des ressources électriques et hydrauliques, lutte contre le gaspillage et implémentation de nouveaux instruments et techniques d'économies de l'eau et d'électricité...

L'ONEE, né du regroupement en 2012 de l'Office National de l'Électricité (ONE) créée en 1963 et l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) créée en 1972, s'investit pleinement dans de grands projets structurants pour le Maroc, le dotant d'infrastructures de production, transport et de distribution d'électricité et d'eau ainsi que d'épuration des eaux usées indispensables au développement durable du pays.

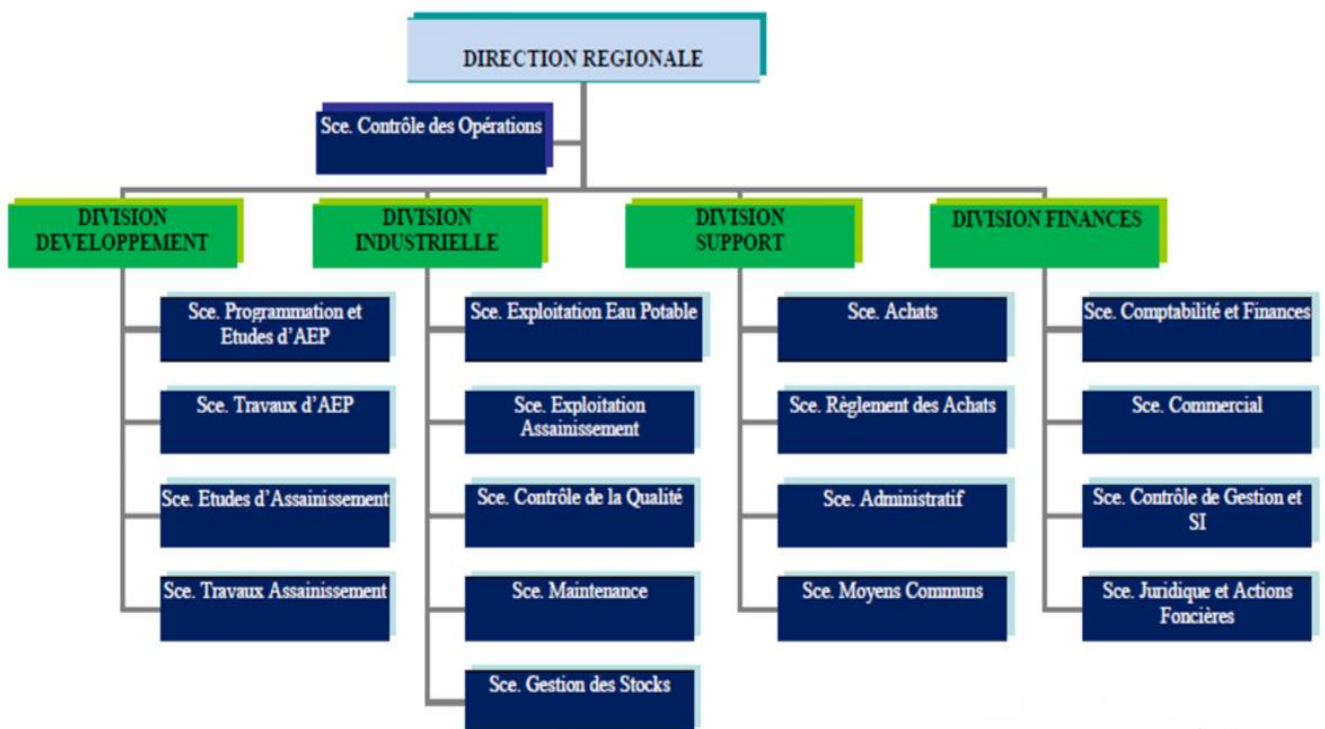
Mission principale de l'ONEE :

Le dahir n°172103 d'avril 1972, énumère les principales tâches de l'ONEE comme suite :

- **Planifier** : l'approvisionnement en eau potable du royaume et la programmation des projets.
- **Etudier** : l'approvisionnement en eau potable et assurer l'exécution des travaux des unités de production et de distribution.
- **Gérer** : la production d'eau potable et assurer la distribution pour le compte des communes qui le souhaitent.
- **Contrôler** : la qualité des eaux.

- **Assister** : en matière de surveillance de la qualité de l'eau.
- **Participer** : aux études, en liaison avec les ministères intéressés, des projets de textes législatifs et réglementaires nécessaires à l'accomplissement de sa mission.

L'Organigramme :



II - CHAINE DE TRAITEMENT DE L'EAU :

○ LES ÉTAPES DU PRÉTRAITEMENT ET DU TRAITEMENT DE L'EAU :

Les différentes étapes du prétraitement et traitement de l'eau sont présentées comme suit :

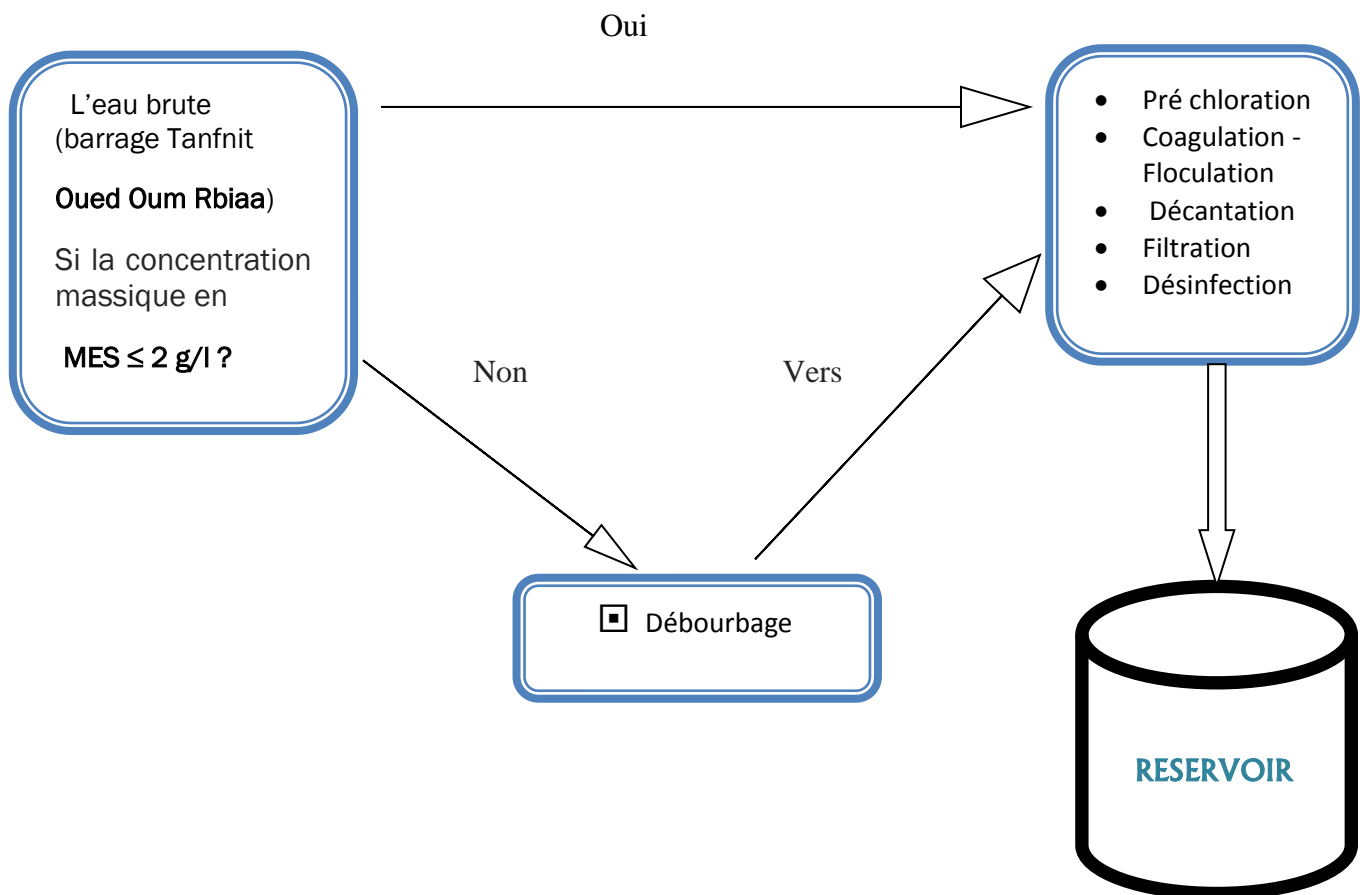


Figure 1 : Les étapes du prétraitement et du traitement des eaux de surface

Si les matières en suspension dépassent 50 g/l ; la station du prétraitement s'arrête !

1. Prétraitement :

A- Le dégrillage :

C'est une grille métallique à commande automatique qui, par un mouvement de va et viens du bas vers le haut, permet, l'élimination des matières petites et volumineuses (branche et tronc d'arbre, herbes mortes, algues.).

Il permet aussi de protéger les ouvrages en aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation (que ce soit chez des industriels ou dans les stations de traitement ou d'épuration).



Figure 2 : le dégrilleur

B- Le débouage :

C'est un pré-décantation des matières en suspension pour éviter d'engorger les ouvrages de pompage et de traitement par les boues.

- **Débourbeurs** : formes rectangulaires ou circulaires avec ou sans racleurs de boues.
 - ✓ Le **but** du débouage est d'atteindre un taux de MES $\leq 2\text{g/l}$



Figure 3 : le déboureur

2. Traitement :

a) - Pré-chloration :

La première étape du traitement est constituée par une pré-chloration de l'eau brute, le produit généralement utilisé est le chlore moléculaire Cl_2 .

Cette étape répond à de nombreux objectifs et présente de nombreux avantages notamment :

- Une oxydation des minéraux tels que : le Fer et le Manganèse
- Une décoloration de l'eau
- Détruire les matières organiques. (Améliorer le goût et l'odeur de l'eau).
- Détruire les micro-organismes et inhiber la croissance algale.

b) - Coagulation :

Les substances les plus difficiles à éliminées dans les eaux sont celles qui possèdent une très petite taille (particules colloïdales causant la turbidité) et celles qui sont dissoutes (matières organiques causant la coloration de l'eau).

Ces substances portent habituellement une charge électrique **négative** qui empêche les particules de s'agglomérer les unes aux autres pour former des particules plus volumineuses (**flocs**).

Le but de la coagulation est donc de neutraliser les charges de ces substances afin de favoriser la formation d'un agglomérat.

Pour ce faire, on introduit habituellement dans l'eau un produit chimique chargé positivement : sulfate d'aluminium de formule $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

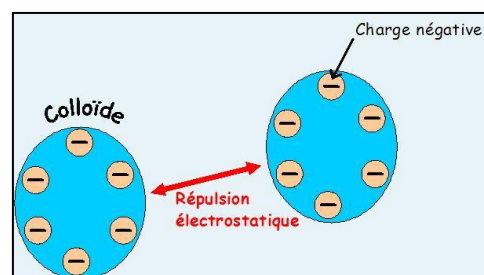
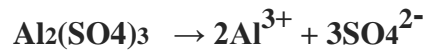


Figure 4. Structure des colloïdes.

Le sulfate d'aluminium est un solide ionique constitué d'ions aluminium (Al^{3+}) et d'ions sulfate (SO_4^{2-}). Comme tout solide, il est électriquement neutre et se compose de deux cations aluminium pour trois anions de sulfate : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Lors de son ajout dans l'eau, le sulfate d'aluminium se dissout pour former des cations d'aluminium et des anions de sulfate selon l'équation de dissolution :



Les cations Al^{3+} neutralisent la charge négative des colloïdes : ceux-ci ne se repoussent plus et peuvent entrer en contact, ils s'agglutinent.

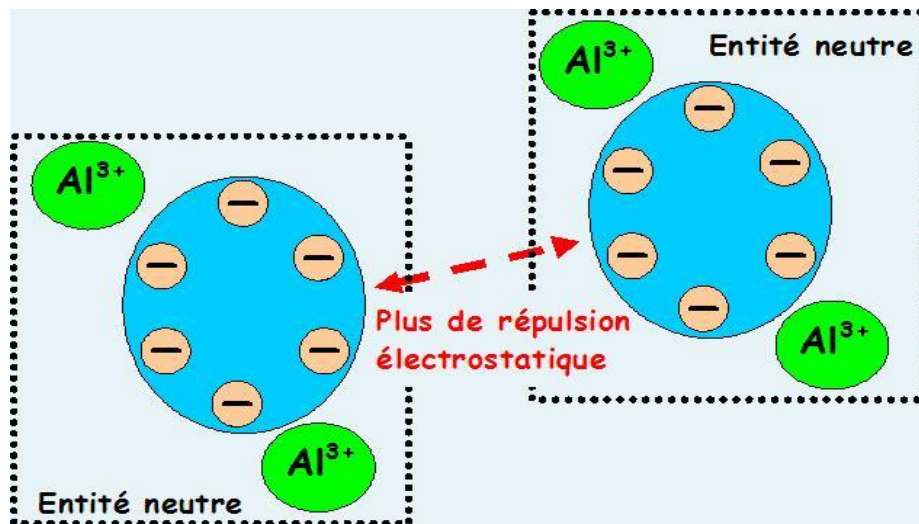


Figure 5. Neutralisation des colloïdes

C)-La floculation :

C'est l'agglomération de particules neutres ou déstabilisées en micro floc et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle floccs. Le floculant utilisé dans la station c'est : **Le polymère (le polyélectrolyte)**.

d)-La décantation :

La décantation est pour objectif l'élimination des floccs déjà formés et d'obtenir une Eau clarifiée appelée l'eau décantée, l'élimination des floccs se fait sous l'effet de la pesanteur, la boue sera par la suite éliminée du fond du bassin de décantation

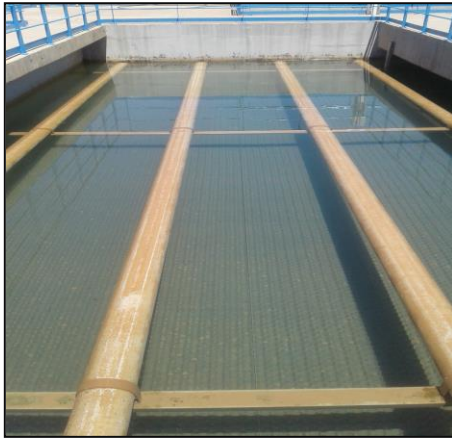


Figure 6 : le Décanteur lamellaire

e) -La filtration :

La filtration a pour but d'éliminer les dernières matières en suspension, pour cela on utilise un système de filtre à sable d'une hauteur de 1.95 m et d'une porosité de 0.85 mm. L'eau passe à travers le lit de sable et se débarrasse des floccs non éliminés par la décantation.

Pour que le filtre nous donne de bons résultats, il faut extraire tous les floccs qu'il a arrêté par un lavage complet effectué toutes les 48 h.



Figure 7 : Lits de sable (Filtration)

f) – la désinfection :

Les micro-organismes pathogènes, bactéries, virus et parasites. La désinfection est une post-oxydation, elle est assurée par des oxydants chimiques tels que le chlore, le dioxyde de chlore Cl, O₂, l'ozone O₃, chaux, O₂ ...

Dans la station de traitement Oued Oum Rabiaa, on utilise généralement le chlore.

III. LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES :

1/- Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH, qui est une indication de la tendance de l'eau à être acide ou alcaline, est déterminé par mesure potentiométrique à l'aide d'une électrode de verre (pH-mètre) qui permet de déterminer l'activité des ions hydrogènes présents dans l'eau.



Figure 8 : pH-mètre

Utilité :

L'utilité de la mesure de pH de l'eau est la détermination de son agressivité, exemple :

pH < 5	Acidité forte : présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	Eau neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée : majorité des eaux de surface
5.5 < pH	Majorité des eaux souterraines

2/- La turbidité :

▣ Définition :

La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, organismes microscopiques..).

Elle est mesurée à l'aide d'un turbidimètre, Son unité est le **NTU**.La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau

▣ Mode opératoire :

- Agiter l'échantillon puis remplir la cuvette ;
- Essuyer et placer la cuve dans le puits et fermer le capot
- Presser sur **ENTRER** puis lire la valeur affichée.



Figure 9 : Turbidimètre

DATE	La turbidité			
	E. Brute	E. décanté	E. filtré	E. traité
01/05/18	25.9	0.18	0.13	0.16
02/05/18	6.60	0.56	0.10	0.18
03/05/18	1.10	0.12	0.10	0.09

3/- la conductivité :

La conductivité électrique traduit la capacité d'une solution aqueuse à conduire le courant électrique. Cette notion est inversement proportionnelle à celle de résistivité électrique. L'unité de mesure communément utilisée est le Siemens (S/cm) exprimé souvent en micro siemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) ou milli siemens (mS/cm).

La conductivité est directement proportionnelle à la quantité de solides (les sels minéraux) dissous dans l'eau. Ainsi, plus la concentration en solide dissout sera importante, plus la conductivité sera élevée.

Elle permet d'avoir une idée sur la salinité de l'eau. Une conductivité élevée traduit soit des pH anormaux, soit une salinité élevée due au fait que la majorité des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions.



Figure 10 : Conductimètre

4/- la dureté totale ou ‘ Titre hydrotimétrique (TH) ‘ :

▣ Définition :

Une eau est dite "dure" ou "calcaire" lorsqu'elle est riche en sels de calcium et de magnésium ou autres cations bivalents et trivalents dans cette eau ; c'est le cas des eaux ayant traversé des roches calcaires.

La dureté s'exprime par le titre hydrotimétrique (TH), Plus le TH est élevé, plus l'eau est "dure".

▣ Mode opératoire :

- On mesure 100 ml de l'échantillon
- Ajouter 5 ml de la solution tampon ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$)
- Une pincée de **Noir Eriochrome**
- Dosage par **EDTA** ' un fort complexant, jusqu'au virage du rouge au bleu royal.

▣ Expression des résultats :

$$\text{TH (mg/l)} = V_{t_b} \times 0.4$$

V_{t_b} : volume d'EDTA versé

5/- Le calcium ou la dureté calcique : (Ca^{2+}) :

La dureté calcique d'une eau est la concentration totale en ions Ca^{2+} seulement.

▣ Principe

Le principe est identique à celui de la méthode décrite pour la dureté totale. Toutefois, comme le dosage se fait à un pH élevé (12-13) le magnésium est précipité sous forme d'hydroxyde de magnésium et n'intervient pas. Par ailleurs, l'indicateur choisi ne se combine qu'avec le calcium.

▣ Mode opératoire :

Dans 100 ml d'eau à analyser et qui ne doit pas contenir plus de 500 mg d'ion Ca^{2+} par litre (dans le cas contraire, on procède à une dilution), on met :

- 5 ml de soude (NaOH 2mol/l)
- Une petite pincée en poudre (colorant Calçons). A cette étape, l'ensemble est coloré en rouge/violet

On titre par le (**EDTA 0.02 M**) jusqu'à l'obtention d'une teinte bleue royale.

▣ Expression des résultats :

$$[\text{Ca}^{2+}] = V_{\text{tb}} \times 8 \text{ mg/l}$$

6/- Détermination de l'alcalinité de l'eau : TA et TAC :

L'alcalinité des eaux est essentiellement due à la présence des carbonates (HCO_3^-), bicarbonates (CO_3^{2-}) et des hydroxydes (OH^-).

A/- Le titre alcalimétrique T.A :

Il Correspond à la neutralisation des ions hydroxydes OH^- et à la transformation de la moitié des ions carbonates en hydrogénocarbonates (HCO_3^-) par un **acide fort**.

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

▣ Mode opératoire :

- On prend 100 ml d'échantillon d'eau dans un erlenmeyer de 250 ml
- On ajoute deux gouttes de phénophtaléine (indicateur de pH avec une zone de virage de 8,3 à 10),
- Le résultat peut être représenté soit par :
 - ✓ **Une coloration rose**, qui signifie que le TA est différent de 0, ce qui nécessite un dosage par HCl (N/10). On verse goutte à goutte jusqu'à la décoloration et on note le volume versé (V_1).
 - ✓ **L'absence d'une coloration**, ce qui signifie que le TA est égal à 0, donc le pH de l'eau est inférieur à 8,3,

▣ Les réactions du dosage :



B/- le titre alcalimétrique complet TAC :

Il Correspond à neutraliser des ions hydroxydes, bicarbonates et carbonates par un acide fort en présence d'un indicateur coloré, c'est-à-dire neutralisation de toutes les espèces basiques présentes

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

▣ Mode opératoire :

Pour déterminer le TAC, on utilise l'**hélianthine** (zone de virage de 3,3 à 4,6), ajouté à 100 ml d'échantillon d'eau il donne une coloration **jaune**, qui après un dosage par HCl conduit à une coloration jaune **orangée**. (On note le volume V_2 versé).

▣ Expressions des résultats :

$$\text{TAC (méq/l)} = (V_1 + V_2)$$

Les réactions mise en jeu :

⇒ Les réactions mises en jeu sont :



7/- L'oxydabilité au permanganate de potassium :

▣ Définition :

La teneur de permanganate de potassium (KMnO_4) consommée pour l'oxydation des matières organiques d'une eau pendant un temps donné, (13 minutes à l'ébullition), Le résultat peut être exprimé en mg/l d' O_2 ou en mg/l de KMnO_4 .

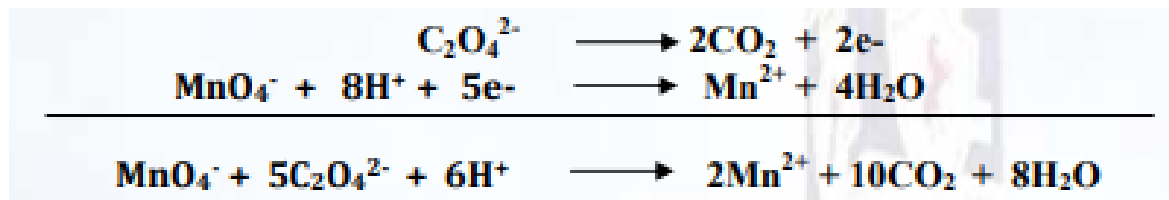
Cette notion permet d'estimer la pollution organique globale d'une eau naturelle et d'apprécier l'efficacité du traitement au quel elle est soumise.

▣ Mode opératoire :

- Dans un ballon, on introduit 100 ml de l'eau à analyser, et on ajoute 2 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré et 10 ml de permanganate de potassium (KMnO_4 , N/100) : en excès

- on chauffe à reflux au bain marie pendant 13 minutes.
- On ajoute après 1 ml d'acide oxalique (C₂H₂O₄, N/10), et on laisse reposer quelques secondes (décoloration) puis on effectue un dosage en retour par **le permanganate de potassium**.

▣ Réactions du dosage :



▣ . Expression des résultats :

$$[\text{O}_2] = \text{Tb} \times 0.8 \text{ (mg/l)}$$

8/ -Dosage de l'oxygène dissout :

On trouve dans l'eau une certaine quantité d'oxygène appelé **l'oxygène dissout** provenant soit :

- Echanges à l'interface air-océan.
- Production par la photosynthèse.

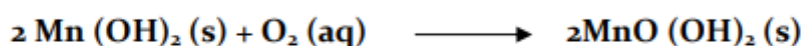
▣ Principe :

Il Consiste à **oxyder** les matières oxydables contenues dans un échantillon par un excès de permanganate de potassium en milieu acide et à ébullition. L'ajout de l'acide oxalique permet la **réduction** du permanganate de potassium.

▣ Mode opératoire :

- On remplit un flacon de 125 ml de l'échantillon sans bulles d'air
- On ajoute 1 ml de sulfate de manganèse et 1 ml de l'iodure alcalin.
- On agite un peu, on laisse décanter
- Puis on ajoute 1 ml de l'acide sulfurique concentré
- On obtient une solution de couleur brune.
- 100 ml de la solution obtenue seront dosés par le thiosulfate de sodium (N/50) jusqu'à décoloration.

▣ Les réactions mises en jeu sont :



▣ Expressions des résultats :

$[\text{O}_2] \text{ mg/l} = V_{\text{tb}} \times 1,6$
--

9/- le chlore résiduel :

Le test du chlore sert à détecter la teneur du chlore résiduel par un dosage colorimétrique de l'échantillon en mg/l. L'ajout du **DPD N°1 (di-éthylparaphénylène diamine)**, sous forme de comprimé donne en présence du chlore résiduel une coloration rose. Des disques colorés étalonnés spécifiques et un comparateur sont utilisés pour la déduction des différentes teneurs en chlore



Figure 11 : test du chlore résiduel

10/- L'ammonium :

▣ Principe :

En milieu alcalin, l'ammoniaque réagit avec l'hypochlorite et donne une monochloramine, la monochloramine forme avec du phénol, en présence du nitroprussiate et un excès d'hypochlorite, du bleu d'indophénol, susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde $\lambda = 630 \text{ nm}$.

▣ Mode opératoire :

A 25 ml de chaque échantillon on ajoute 1ml de citrate de sodium et on mélange bien puis on ajoute 1ml du réactif A (on dissout 13,5 g de phénol et 0,15 g de nitroprussiate de sodium dans 500 ml d'eau distillée). Après, on ajoute 1ml du réactif B (on dissout 0,1 g de dichloroisocyanurique dans 50 ml de lessive de soude 0,34mol/l) et on laisse reposer pendant une durée de 4h à 24h dans l'obscurité. Enfin on mesure l'absorbance à 630 nm des étalons et des échantillons. On note les résultats et on trace la courbe d'étalonnage pour en déduire par la suite les concentrations des échantillons.

On trace la courbe d'étalonnage pour en déduire par la suite les concentrations des échantillons.

▣ Préparation des étalons :

• **Préparation du solution fille**

($C_2 = 10 \text{ mg/l}$) à partir d'une solution mère ($C_1 = 1000 \text{ mg/l}$) :

Relation de dilution :

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$V_1 = C_2 \cdot V_2 / C_1$$

$$V_1 = 10 \cdot 100 / 1000$$

$$V_1 = 1 \text{ ml}$$

Donc on prend 1ml de la solution mère dans une fiole de 100ml et on complète avec l'eau distillé

Préparation des étalons des concentrations : 0 ; 0,05 ; 0 ,1 ; 0,2 ; 0 ,5 ; 1 à partir de la solution fille (C₂= 10 mg/l) :

Par la même relation de dilution :

$$C V = C_2 V'_2$$

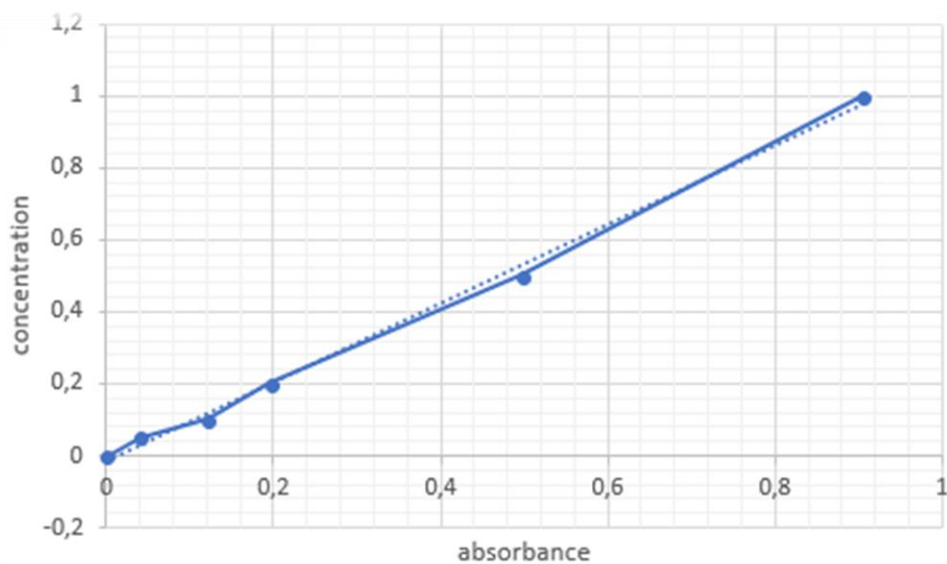
$$V'_2 = C V / C_2$$

On a : V'₂ : c'est le volume qu'on va prendre de la solution fille (C₂= 10 mg/l)

V=100ml d'eau distillé.

C (mg/l)	0	0.05	0.1	0.2	0.5	1
V de la solution fille	0	0.5	1	2	5	10
Eau distillée (ml)	100	99.5	99	98	95	90
Absorbance	0.0	0.07	0.121	0.195	0.497	0.905

▣ Courbe d'étalonnage : On trace la concentration en fonction de l'absorbance :



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

11/-Les nitrates :

▣ Principe :

Les nitrates sont presque quantitativement réduits en nitrites par du cadmium (cd) recouvert d'une couche de cuivre après traitement aux sulfates du cuivre (CuSO_4) ; les nitrites produits, forment l'acide sulfanilique un composé diazoïque lequel couplé avec N-(1 Naphtyle diamine 1,2 éthane) ou NED ; donne une coloration rose caractéristique ; dont l'intensité est mesurée au spectrophotomètre à la longueur d'onde 540 nm.

▣ Mode opératoire :

- **Préparation du cadmium** : laver 60g de cadmium de granulométrie 0.5 à 1.5 mm avec de l'acide chlorhydrique (2N) puis rincer abondamment avec de l'eau distillée. Mélangée avec 200 ml de solution sulfate de cuivre pendant 2 à 5 min jusqu'à disparition de la coloration bleu. Laisser décanter et répéter l'opération avec une nouvelle solution de sulfate de cuivre jusqu'à apparition d'un précipité colloïdale de coloration brune.
- A 50 ml de chaque échantillon on ajoute 1,25 ml de la solution tampon concentrée et on passe ce mélange ainsi résultant dans la colonne de réduction : on verse les premiers 25 ml et on garde les derniers 25 ml. (**NB** : il ne faut jamais laisser la colonne à sec)
- On ajoute 1ml de la réactif sulfanilique (on dissouts 5 mg d'amide sulfanilique dans 50ml concentré puis le compléter à 500 ml d'eau distillée). Enfin, on ajoute 1ml de la solution NED (on dissout 500mg de NED dans 500ml d'eau distillée). On laisse reposer pendant 20min à 2h maximum Après on mesure l'absorbance à 540nm des étalons et des échantillons.

▣ Courbe d'étalonnage :

- On utilise la solution étalon fille pour préparer des étalons ayant des concentrations comprises entre 0.5 et 5 mg/l d'eau distillée.
- On effectue ensuite la réduction de ces étalons dans les mêmes conditions que les échantillons.
- On trace la courbe d'étalonnage en portant les absorbances des solutions étalons en fonction des concentrations.
- On lit l'absorbance de l'échantillon ainsi on détermine le facteur de rendement de la colonne
- La concentration est donnée en mg/l

12/- Les chlorures :

▣ Principe :

Dans une solution nitrique, les ions chlorures sont titrés avec une solution de nitrate de mercure(II) contre la diphenyl-1,5-carbazone comme indicateur en formant le chlorure de mercure(II) peu dissocié. A la fin du titrage les ions mercure(II) excédentaires forment avec l'indicateur un complexe bleu violet. La concentration en chlorures résulte de la consommation de solution de titrage (dosage mercurimétrique)

▣ Mode opératoire :

Dans un erlen, on introduit successivement :

- 100 ml d'eau à analyser
- Indicateur de ph 0.5 ml

On ajoute de l'acide nitrique (N/3) goutte à goutte jusqu'à obtention d'une couleur jaune foncé (ph=3.6) puis on ajoute un excès de trois gouttes de HNO₃ (N/3).

On titre au Hg(NO₃)₂H₂O jusqu'à apparition de la première teinte violet foncé persistant ; quelque goutte avant le virage ; la teinte franchement jaune devient orangée ; On titre alors lentement en agitant vigoureusement.

▣ Expression des résultats :

$$[\text{Cl}^-](\text{mg/l}) = T_b \times 35.5$$

➤ Analyses de traitements :

1/-Le JAR test (essai de floculation) :

L'essai a pour but de déterminer la nature et les doses probables du ou des réactifs permettant de clarifier l'eau dans la station de traitement.

Il faut réaliser l'essai le plus tôt possible après le prélèvement à une température voisine de celle que possédera l'eau au cours de son traitement.

▣ Le matériel utilisé pour réaliser ce procédé :

- Un flocculateur de laboratoire avec 4 agitateurs à hélice entraînés par un moteur électrique à vitesse variable en continu ;

- 4 béchers pouvant contenir chacun 1 L d'eau à analyser

- Papier-filtre bande blanche.

▣ Réactifs :

- Solution de sulfate d'alumine : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$ comme coagulant de concentration 10g/l
- Solution d'eau de javel 1g/l
- La boue (aider pour la combinaison des colloïdes)

▣ Mode opératoire :

- Placer 1L de l'eau brute dans chaque bécher (4 béchers), avec agitation
- Pré-chloration : Injection de la même quantité de l'eau de javel dans les 4 béchers selon la demande en chlore, puis agiter pendant 2min, avec une vitesse de 120tr/min
- Injection des doses croissantes du coagulant (sulfate d'alumine : $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$) dans les 4 béchers
- (1.5 ml / 2 ml / 2.5 ml / 3 ml) pour obtient successivement les concentrations : (15 / 20 / 25 / 30 (mg/l) du coagulent)
- Puis agiter pendant 2min, avec une vitesse de 120tr/min
- On ajoute 2 ml de la boue dans chaque bécher
- Injection de la même dose du floculant (poly-électrolyte) dans les 4 béchers, puis agiter pendant 20min, avec une vitesse de 40tr/min
- Relever les hélices et laisser reposer toutes les portions pendant 30min dans les béchers pour la décantation

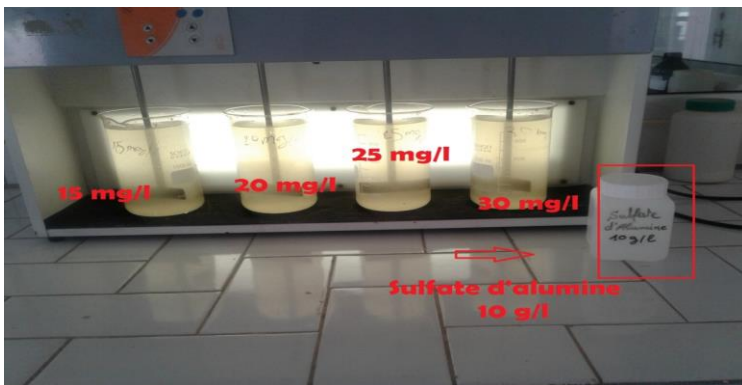


Figure 12 : JAR test et les concentrations de coagulent dans les béchers

- On mesure la (turbidité, pH) après la décantation
- Passer le surnageant de chacun des béchers sur le papier filtre dans les entonnoirs.

▣ Critères de choix de la dose de traitement :

- Turbidité de l'eau décantée < 5 NTU,
- Turbidité de l'eau filtrée < 0.50 NTU,
- pH entre 7.00 et 7.40.
- $Al^{3+} < 0.2 \text{ mg/l}$

N° du Bécher	Bécher 1	Bécher2	Bécher3	Bécher4
Coagulant (ml)	1.5	2	2.5	3
Floculant (ml)	0.1	0.1	0.1	0.1
Turbidité de l'eau décantée (NTU)	2.53	3.12	3.95	4.01
Turbidité de l'eau filtrée (NTU)	0.23	0.31	0.38	0.45
pH	7.45	7.42	7.41	7.35
Aluminium (mg/l)	<0.12	<0.12	<0.12	<0.12

Tableau : résultats du JAR test

Donc, d'après les critères de choix de la dose de traitement le meilleur correspond au bécher numéro 4.

2/- La demande en chlore :

Principe

La demande en chlore a pour but de déterminer la quantité du chlore (break point) qu'il faut injecter à l'eau brute lors de la pré-chloration. Le chlore a pour rôle d'empêcher et limiter la prolifération des bactéries et des algues afin de ne pas causer de problème à un stade avancé du traitement

▣ Mode opératoire

Dans un bécher, on introduit :

- 1 ml de l'eau de javel (NaOCl, NaCl) ;
- 10 ml de solution d'iodure de potassium (KI à 10%) ;
- 10 ml de solution d'acide acétique (CH₃COOH) 9N
- Enfin, on ajoute 10 gouttes d'empois d'amidon, et on titre par une solution de thiosulfate de sodium Na₂S₂O₃ (N/10) jusqu'à décoloration.

▣ Expression des résultats :

$$C_{\text{eau de javel}} = T_b \cdot 3.55$$

Soient :

Na : Normalité de Cl₂.

Va : Volume de l'échantillon (Va = 1ml).

Nb : Normalité de Na₂S₂O₃.

Vb : Tombée de burette Vtb.

- **Au point d'équivalence :** Na Va = Nb Vb

$$Na = N_b V_b / V_a$$

$$Na = 10^{-1} * V_{tb} \text{ (eq/l)}$$

$$\text{On a : } [Cl_2] = 10^{-1} * V_{tb} / 2$$

$$\text{Donc : } [Cl_2] = 5 \cdot 10^{-2} * V_{tb} \text{ (mol/l)}$$

$$\text{On a : } [Cl_2]' = [Cl_2] * M_{Cl_2} \text{ (avec } M_{Cl} = 35,5 \text{ g/mol)}$$

$$[Cl_2]' = 5 \cdot 10^{-2} * V_{tb} \times 71$$

Donc :

$$[EJ] = 3,55 * V_{tb} \text{ (g/l)} = C_{\text{eau de javel}}$$

▣ **L'obtention de la courbe de demande en chlore :**

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

On prépare 10 flacons en verre de 150 ml de volume que l'on numérote. On introduit dans chacun des flacons 100 ml d'eau à analyser, puis à la burette des quantités, de la solution chlorée étalon, croissantes de flacon en flacon de façon à avoir des concentrations choisies en chlore actif.

Ce tableau indique les valeurs des concentrations choisies en chlore actif et les volumes de la solution chlorée à ajouter à 100 ml d'eau :

Concentration chlorée en Cl actif en mg/l	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2	2.5	3	3.5	4
Volume de la solution à ajouter	0.756	1.01	1.26	1.52	1.78	2.04	2.56	3.09	3.63	4.167

On abandonne les flacons à l'obscurité pendant 30min après les avoir bouchés et agités.

Après les 30 min, on dose le chlore résiduel par introduction des réactifs colorimétriques habituels (DPD)

On construit une courbe en portant en abscisse la concentration choisie en chlore actif introduit, et en ordonnée la concentration en chlore résiduel.

Après le test on trouve :

Concentration de Cl_2 actif	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5	3	3,5	4
Concentration de Cl_2 résiduel	0.1	0.2	0.4	0.5	0.2	0.2	0.8	1.5	2	3

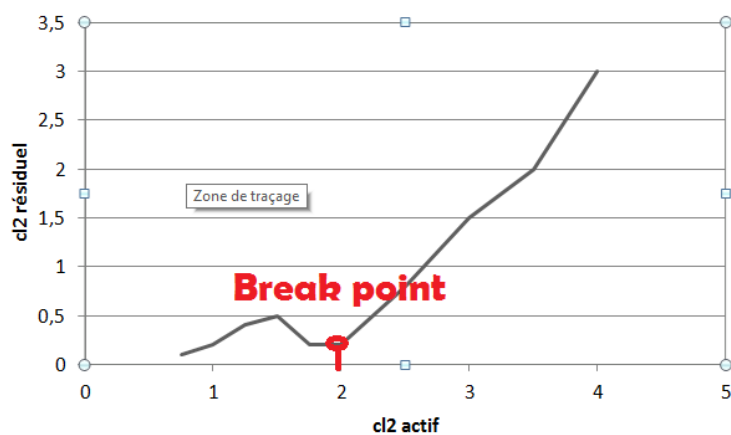


Figure 14 : courbe de la demande en chlore Break point

- Alors le Break-point est égale à **2 mg/l**.

IV. CONTRÔLE DE LA SALINITÉ PAR MESURE DE LA CONDUCTIVITÉ AUX DIFFÉRENTS OUVRAGES DE TRAITEMENTS :

1/- la conductivité et la salinité :

- **La salinité :**

Est définie à l'origine comme la quantité de sels dissous présents dans l'eau. Les premières mesures ont évidemment impliqué de peser les résidus solides à sec de l'eau de mer ou l'eau salée. C'est ce qui semblait logique. Malheureusement, cette méthode (difficile) du séchage de l'eau reste imprécise dans les résultats obtenus car certains gaz dissous dans l'eau sont enlevés et éliminés sans être pesés. Le pourcentage de chaque élément chimique en présence est donc faussé. Du coup, d'autres techniques ont été développées pour mesurer la salinité telles que la mesure de **la conductivité**, l'indice de réfraction lumineux ou encore la densité.

Si cette dernière mesure convient aux aquariophiles amateurs par sa simplicité, elle est par trop imprécise et ne peut être réellement exploitée à un niveau scientifique. Et même si la mesure de l'indice de la réfractivité (par un réfractomètre) donne un meilleur résultat, c'est la mesure de la conductivité qui apporte la meilleure précision.

La salinité des eaux de l'OUM ER RBIA présente un grave inconvénient pour l'agriculture ; le danger tient moins à une charge excessive des eaux distribuées à l'irrigation qu'à la concentration progressive du sel dans la nappe phréatique par le jeu de l'évapotranspiration intensifiée par la remontée de la nappe.

- **La conductivité :**

Comme nous l'avons vu ; la conductivité est l'inverse, y compris mathématiquement, de la résistivité, c'est-à-dire, en simplifiant beaucoup, qu'elle indique la facilité pour un courant électrique de traverser un milieu qui, en l'occurrence, dans notre cas est l'eau. Alors qu'une résistance s'exprime en Ohm, une conductance se calcule en Siemens.

2/- l'origine de la salinité d'oued Oum Rbiaa :

Hydrogéologie :

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

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

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

Les sels dissous dans l'oued sont constitués, par-ordre d'importance, de sodium, de calcium et de magnésium sous forme de chlorures, de bicarbonates et sulfates :

- Chlorures (75 %)
- Bicarbonates (19 %)
- Sodium (74 %)
- Calciums (15 %)
- Magnésium (11 %)

Ces sels proviennent principalement des argiles triasiques qui se trouvent à la base des calcaires du lias dans le moyen Atlas

3/- Contrôle de la conductivité aux différents ouvrages de traitements :

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 arrive par une moyenne salinité (moyenne conductivité)**, Ensuite elle passe aux débourbeurs pour réduire la matière en suspension .Après l'eau débourbée subit une coagulation/Floculation 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 flocculateur pour former des floes par l'ajout d'un flocculant (Poly électrolyte), 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, **jusqu'à cette étape, on a la conductivité de l'eau filtrée est presque la même de celle de l'eau brute**. Puis une partie de cette eau (1/3 de l'eau filtrée) passe vers les micros filtres puis vers les osmoseurs (**pour l'eau se déminéralisée c'est-à-dire abaissement de la conductivité**) 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

L'osmose inverse :

Est l'une des techniques dites membranaires ; C'est à dire une technique qui consiste à utiliser un film de faible épaisseur semi-perméable : la membrane, à travers laquelle sous l'effet d'une différence de pression, passeront les molécules d'eau mais pas la plupart des corps dissous.

Principe de l'osmose inverse :

On appelle osmose le transfert de solvant (eau dans la plupart des cas) à travers une membrane semi-perméable sous l'action d'un gradient de concentration.

Soit un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-perméable et contenant deux solutions de concentrations différentes (figure 1). Le phénomène d'osmose va se traduire par un écoulement d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau en appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau s'annulera. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

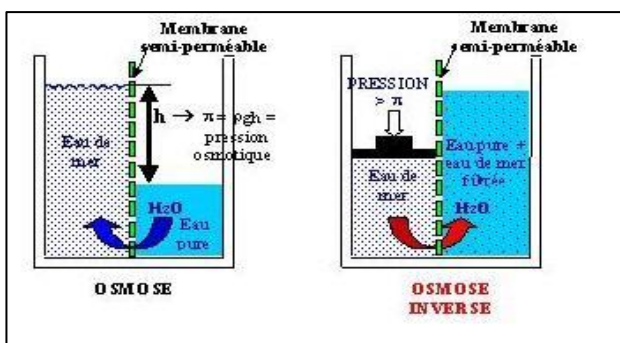


Figure 13. Principe de l'osmose et de l'osmose inverse

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique (voir figure), c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse.



Figure 14 : osmoseurs inverses (dessalement de l'eau)

Durant mon période de stage j'ai suivi la conductivité de l'eau pendant 25 jours dans chaque stade de traitement, dans l'alimentation (l'eau brute), l'eau filtrée, osmosée et l'eau traitée :

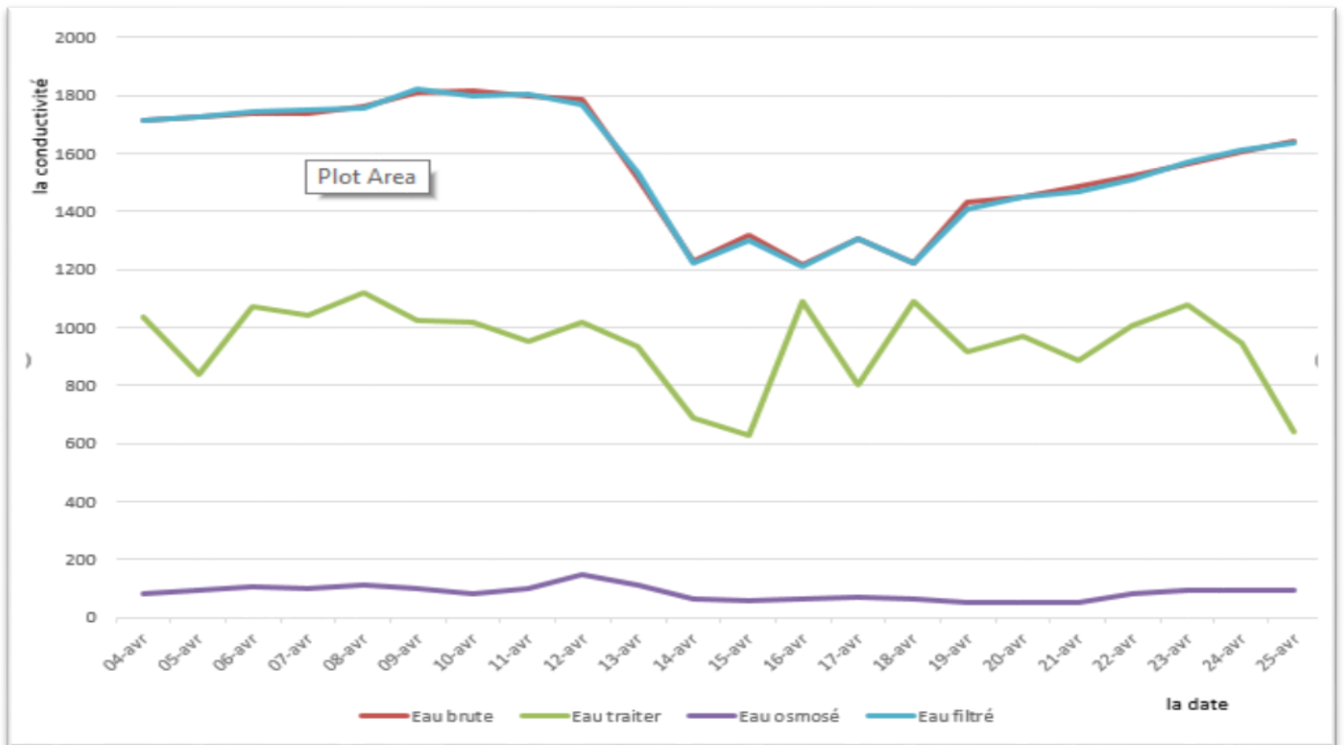
▣ Résultats :

- Tableau : mesure de la conductivité dans 4 ouvrages de traitement :

date	Température	Eau brute	Eau traité	Eau osmosé	Eau filtré
04-avr	15,6	1716	1035	84,5	1716
05-avr	16,9	1725	840	95,2	1725
06-avr	16,4	1740	1070	104,2	1744
07-avr	16	1740	1040	100	1750
08-avr	14	1760	1120	112	1758
09-avr	14,9	1807	1021	101,7	1819
10-avr	16	1815	1020	82,9	1800
11-avr	12,5	1800	950	100,1	1806
12-avr	12,1	1788	1020	146,8	1766
13-avr	11,9	1518	936	110,5	1534
14-avr	12	1230	690	61,9	1221
15-avr	11,5	1320	628	60	1302
16-avr	14,3	1215	1090	61,9	1212
17-avr	14,4	1305	800	71,3	1304
18-avr	12,4	1223	1090	61,9	1221
19-avr	16	1430	918	51,3	1406
20-avr	18,5	1450	972	53,8	1449
21-avr	17,5	1485	885	54,8	1470
22-avr	17,3	1520	1006	82,3	1512
23-avr	17	1566	1078	91,3	1568
24-avr	17,1	1608	948	96,8	1614
25-avr	16,4	1643	643	96,7	1637

Figure 15 : Courbe illustre la variation de la Conductivité en fonction de différents stades

De traitement :



Interprétation :

L'alimentation de la station entrée par une moyenne salinité, (moyenne conductivité).

De l'eau brute jusqu'au la filtration on a pas un changement de la salinité car il s'agit juste du traitement classique (pré chloration, débouillage, coagulation et floculation, décantation) , après, une certaine quantité ; presque le (1/3) de l'eau filtré va vers le traitement spécifique (**osmose inverse**) , pour le dessalement , pour cela on voit **un abaissement de la conductivité** à cette étape de traitement , puis , la quantité qui l'a subi un dessalement ou déminéralisation va être mélangée avec la 2/3 de l'eau filtrée qui est partiellement riche en minéraux et sels pour avoir un eau traitée avec une moyenne salinité et un gout agréable (**augmentation de nouveau de la conductivité**) , et ça qu'on a dans la figure précédente ,

Références :

- Document interne de l'ONEP
- Projet de fin d'étude de Fatima BOUTAHRINE ; Optimisations des traitements des eaux potables de la station de KHENIFRA en amont de la déminéralisation
- Analyses physico-chimiques et la validation de la conductivité
- <https://www.aquaportail.com/articles-item-131-mesurer-la-salinite-par-la-conductivite-pourquoi.html>
- <https://www.aquaportail.com/articles-item-131-mesurer-la-salinite-par-la-conductivite-pourquoi.html>