

République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et la recherche scientifique

Université 8 Mai 1945

-Guelma-

Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers

Département d'écologie et génie de l'environnement



MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Spécialité : Eau, Santé et Environnement

Option : Microbiologie de l'environnement

Thème

*Suivi de l'évolution temporelle de la dureté totale de l'eau
traitée par la station de Hammam Debagh*

Présentée par :

- FETOUHI Imène
- BOURENANE Ghania

Membres de jury :

Président	: Mr. KACHI Slimen	M C A	Université de Guelma
Examineur	: Mme. YALLES Amina	M A A	Université de Guelma
Encadreur	: Mr. GUETTAF Mohamed	M A A	Université de Guelma

Promotion 2013

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Science de la Nature et de la Vie

Spécialité : Eau, Santé et Environnement

Option : Microbiologie de l'environnement



Suivi de l'évolution temporelle de la dureté totale de l'eau traité par la station de Hammam Debagh

RESUME

Notre étude s'est étalée sur une période de huit mois allant du 25/9/2012 au 21/04/2013 au niveau de laboratoire de la station de Hammam Deabgh entreprise avec l'objectif de suivre les variations de quelques paramètres qui ont été choisis selon l'objectif de l'étude (TH, T°, pH, cond, TAC, Ca⁺², Mg⁺²).

Ces paramètres ont fait l'objet d'une analyse avant et après traitement afin d'étudier leurs influence sur la dureté et de pouvoir tirer le paramètre le plus liés à cette grandeur.

Les résultats obtenus pendant la période de suivi indique que l'eau du barrage de Bouhamdane destinée à la consommation après traitement est moyennement dure, cela est expliqué par l'augmentation à la fois de la conductivité, le titre alcalimétrique complet, la teneur en calcium et en magnésium ce qui nous laisse constater que les techniques utilisées actuellement pour le traitement n'arrivent pas à contourner le problème de dureté qui caractérise cette eau.

L'étude statistique réalisée pour confirmer la relation entre la dureté et les paramètres cités ci-avant montre que : la dureté de l'eau est fortement liée aux variations des concentrations de l'eau en sels dissous et plus particulièrement les ions Mg⁺².

Mots clés :

La station de Hammam Deabgh, barrage de Bouhamdane, la dureté, eau brute, eau traité, corrélation.

MEMBRES DE JURY:

Président	: Mr. KACHI Slimen	M C A	Université de Guelma
Examineur	: Mme. YALLES Amina	M A A	Université de Guelma
Encadreur	: Mr. GUETTAF Mohamed	M A A	Université de Guelma

Résumé :

Notre étude s'est étalée sur une période de huit mois allant du 25 /9/2012 au 21 /04/2013 au niveau de laboratoire de la station de Hammam Deabgh entreprise avec l'objectif de suivre les variations de quelques paramètres qui ont été choisis selon l'objectif de l'étude (TH ,T°, pH, cond, TAC ,Ca²⁺,Mg²⁺).

Ces paramètres ont fait l'objet d'une analyse avant et après traitement afin d'étudier leurs influence sur la dureté et de pouvoir tirer le paramètre le plus liés à cette grandeur.

Les résultats obtenus pendant la période de suivi indique que l'eau du barrage de Bouhamdane destinée à la consommation après traitement est moyennement dure, cela est expliqué par l'augmentation à la fois de la conductivité, le titre alcalimétrique complet , la teneur en calcium et en magnésium ce qui nous laisse constater que les techniques utilisées actuellement pour le traitement n'arrivent pas à contourner le problème de dureté qui caractérise cette eau .

L'étude statistique réalisée pour confirmer la relation entre la dureté et les paramètres cités ci-avant montre que : la dureté de l'eau est fortement liée aux variations des concentrations de l'eau en sels dissous et plus particulièrement les ions Mg²⁺ .

Mots clés :

la station de Hammam Deabgh , barrage de Bouhamdane , la dureté ,eau brute, eau traité, corrélation .

Abstract:

Our study was conducted over a period of eight months from 25/9/2012 to 21/04/2013 at lab station Hammam Deabgh company with the aim to follow the variations of some parameters that have been chosen according to the purpose of the study (TH, T °, pH, cond, TAC, Ca²⁺, Mg²⁺).

These parameters were analyzed before and after treatment in order to study their influence on the hardness and to make the most related to the size parameter.

The results obtained during the monitoring indicates that the dam water Bouhamdane for drinking after treatment is moderately hard, this is explained by the increase in both conductivity, total alkali strength, the calcium content and magnesium which makes us see that the techniques currently used for the treatment are not able to circumvent the problem of hardness that characterizes this water.

The statistical study to confirm the relationship between hardness and the parameters mentioned above shows that: the water hardness is strongly related to variations in the concentrations of water dissolved and especially Mg²⁺ ion salts .

Keywords:

Steam Station Deabgh, dam Bouhamdane, hardness, raw water, treated water, correlation.

REMERCIEMENT

*Au terme de ce travail nous tenons à remercier tout d'abord et infiniment notre encadreur **Mr GHETTAF Mohamed** qui nous a accordé l'honneur de diriger ce travail, sa compétence et ses conseils pertinents ont été pour nous un solide repère et réconfort dans tous les moments.*

Nous remercions tous les professeurs et les enseignants du département de la biologie qui nous ont beaucoup encouragé et soutenu durant toutes les années d'études et aussi à toutes les fonctionnaires du département de la Biologie .

Nous adressons aussi un chaleureux merci à tous les personnels de la station de traitement des eaux potables de Hammam Debagh.

*Nous exprimons également notre reconnaissance à **Mr KACHI S.** et **Mme VALLES A.** qui ont accepté de participer à ce jury et de juger ce travail.*

Nos remerciements vont également à toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.



Dédicace

*Pour ce qui de l'éducation m'a donné pour le protéger,
qui a souffert à cause de moi.*

À mon père , à ma mère

Pour tout chers dédie ce bon fruit



Imène et Ghania

Liste des figures

Numéro	Titre	Page
Figure 1	Le cycle de l'eau	6
Figure 2	Les différentes utilisations domestiques	10
Figure 3	Chaîne de traitement	15
Figure 4	Coagulation / Flocculation	18
Figure 5	Le processus de flocculation	22
Figure 6	Le lavage d'un filtre à sable	24
Figure 7	Courbes montrant la chloration au point critique	26
Figure 8	Impact de l'entartrage sur les conduites d'eau potable	30
Figure 9	Situation du barrage hammam Debagh	34
Figure 10	Photo satellitaire du barrage Hammam Debagh	34
Figure 11	Courbe d'évaluation des températures de la région de Guelma (1994-2012)	38
Figure 12	Evaluation mensuelle des humidités relatives de la région de Guelma (1994-2012)	39
Figure 13	Diagramme ombrothermiques de la station de Guelma	40
Figure 14	Situation de la région de Guelma dans le climagramme d'Emberger	41
Figure 15	Point de prélèvement de l'eau brute au niveau du bassin de mélange.	43
Figure 16	Point de prélèvement de l'eau traitée avant la désinfection.	43
Figure 17	Variation mensuelle de la dureté totale pendant la période 2012-2013.	50
Figure 18	Variation mensuelle de la température pendant la période 2012-2013.	51
Figure 19	Variation mensuelle des valeurs du pH pendant la période 2012-2013.	52
Figure 20	Variation mensuelle de la conductivité électrique pendant la période 2012-2013.	53

Figure 21	Variation mensuelle du titre alcalimétrique complet pendant la période 2012-2013.	54
Figure 22	Variation mensuelle du calcium pendant la période 2012-2013.	55
Figure 23	Variation mensuelle du magnésium pendant la période 2012-2013.	56
Figure 24	Représentation schématique de la droite de régression de la dureté en fonction de la température	58
Figure 25	Représentation schématique de la droite de régression de la dureté en fonction du pH .	59
Figure 26	Représentation schématique de la droite de régression de la dureté en fonction du conductivité électrique.	59
Figure 27	Représentation schématique de la droite de régression de la dureté en fonction du calcium.	60
Figure 28	Représentation schématique de la droite de régression de la dureté en fonction du magnésium.	61

Sommaire

Remerciements

Liste des signes et abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction.....01

Chapitre I : Généralité.

I-1 Définitions.....03

 I -1-1 L'eau.....03

 I -1-2 l'eau potable.....03

I -2 Les normes de potabilité.....03

I -3 Cycle de l'eau.....05

I-4 Différents types d'eau de consommation.....06

 I-4-1 Les eaux de source.....06

 I-4-2 Les eaux minérales.....06

 I-4-3 Les eaux souterraines.....06

 I-4-4 Les eaux de surface.....07

I-5 Les usages de l'eau.....09

 I-5-1 Les usages domestiques.....09

 I-5-2 Les usages agricoles.....10

 I-5-3 Les usages industriels.....10

 I-5-4 Les usages énergétiques.....11

 I-5-5 Les usages liés aux loisirs.....11

 I-5-6 Les usages liés à la santé.....11

I-6- La pollution de l'eau.....	11
I-6-1 Notion de pollution.....	11
I-6-2 Origine et types de pollution.....	12
I-6-2-1 La pollution physique.....	12
I-6-2-2 Pollution chimique.....	12
I-6-2-3 Pollution biologique.....	12
A-Pollution organique.....	12
B- Pollution microbienne.....	12
I-7- L'impact de la pollution des eaux sur l'environnement.....	13
I-7-1 Sur le milieu naturel.....	13
I-7-2 Sur l'homme.....	14
I-7-3 Sur la faune et la flore.....	14

Chapitre II : Traitement et désinfection

II-1 Prétraitement.....	15
II-1-1 Le dégrillage.....	15
II-1-2 Le tamisage.....	16
II-2 Pré-oxydation.....	16
II-2-1 Pré-oxydation par le chlore.....	16
II-2-2 Préoxydation par le dioxyde de chlore.....	17
II-2-3 Préoxydation par l'ozone.....	17
II-3 Clarification.....	17
II-3-1 Coagulation-Floculation.....	18
II-3-1-1 Définitions.....	18

A-Matières en suspension.....	18
B-Matières dissoutes.....	19
C-Les colloïdes.....	19
D-Les coagulants.....	19
E- Les floculants.....	20
II-3-1-2 Coagulation –floculation.....	21
A-La coagulation.....	21
B-Floculation.....	21
II-3-2 Décantation.....	22
II-3-3 Filtration sur sable.....	22
II-3-3-1 Définition.....	22
II-3-3-2 Type de filtres sur sable.....	23
A-Filtre à sable rapide.....	23
B-Filtre à sable lent.....	23
II-3-3-3 Lavage des filtres à sable.....	23
II-4 La Désinfection de l'eau potable.....	24
II-4-1 Les rayonnements Ultraviolets.....	25
II-4-2 L'ozone.....	25
II-4-3 Le dioxyde de chlore.....	25
II-4-4 Le chlore.....	25
II-5 Affinage.....	26
 <i>Chapitre III : La dureté des eaux</i>	
III-1Définition.....	27

III-2 Les principaux éléments responsables de la dureté.....	27
III-3 Les types de dureté.....	28
III-3-1 La dureté totale ou hydrométrique.....	28
III-3-2 La dureté temporaire ou carbonatée.....	28
III-3-3 La dureté permanente.....	28
III-3-4 La dureté calcique.....	28
III-3-5 La dureté magnésienne.....	28
III-4 La relation qui existe entre la dureté temporaire et la dureté permanente.....	28
III-5 L'impact de la dureté sur les utilisations domestiques.....	29
III-5-1 L'entartrage et ces conséquences.....	29
III-5-1-1 Définition.....	29
III-5-2 Conséquences.....	29
III-5-2-1 Conséquences hydrauliques.....	29
III-5-2-2 Conséquences technologiques.....	30
III-6 Procédés d'adoucissement des eaux.....	30
III-6-1 L'échangeurs d'ions.....	30
III-6-2 L'osmose inverse.....	31
III-6-3 Décarbonatations à la chaux.....	31
III-6-4 Décarbonatation au carbonate de sodium.....	32
III-7 L'impact de la dureté sur la santé.....	32
 <i>Chapitre IV : Matériel et Méthodes</i>	
IV -1 Description du site.....	33
IV-1-1 Le barrage Bouhamdane.....	33

IV-1-1-1 Localisation géographique.....	33
IV-1-1-2 Caractéristique du barrage.....	33
IV-1-1-3 Le réseau hydrographique.....	35
A-Le bassin de l'oued Bouhamdane.....	35
IV-1-1-4 Activités anthropiques.....	36
A-Activités agricoles.....	36
B-Pollution par les eaux usées.....	36
IV-1-2 La station de traitement des eaux.....	36
IV-1-3 Etude climatique.....	37
IV-1-3-1 Température.....	37
IV-1-3-2 Pluviométrie.....	38
IV-1-4 Synthèse climatique.....	39
A-Le diagramme ombrothermiques de Gaussen et Bagnouls.....	39
B-Le quotient pluviométrique d'Emberger.....	40
IV-1-5 Cadre biotique.....	41
IV-2 Matériel et méthodes.....	42
IV-2-1 Matériel.....	42
IV-2-2 Méthodes.....	42
IV-2-2-1 Objectif du travail.....	42
IV-2-2-2 Echantillonnage.....	42
IV-2-2-3 Mode de prélèvement.....	43
IV-2-3 Les paramètres à analyser.....	44
IV-2-3-1 La température.....	44

IV-2-3-2 Le potentiel d'hydrogène.....	44
IV-2-3-3 La conductivité électrique.....	45
IV-2-3-4 Le titre hydrotimétrique.....	46
IV-2-3-5 Le titre alcalimétrique complet.....	46
IV-2-3-6 Dosage du calcium.....	47
IV-2-3-7 Dosage du Magnésium.....	48

Chapitre V :Résultats et discussion.

Partie I : Les paramètres liés à la dureté.....	50
Partie II : Corrélation et régression linéaire.....	56
Conclusion.....	62

Références bibliographiques.

Annexe.

Résumé.

Abstract.

ملخص.

Liste des signes et des abréviations:

- **%** : pour cent.
- **CO₂** : Dioxyde de carbone.
- **°C** : Degrés Celsius.
- **Cm²** : Centimètre carré.
- **E** : Est.
- **EDTA** : Ethylène Diamine Tétra Acétylène.
- **Fig** : Figure.
- **°F** : Degrés français.
- **g /m³**: Gramme par mètre cube.
- **H₂O** : L'eau.
- **H₂S** : Hydrogène sulfurique.
- **H⁺**: Hydrogène.
- **hm³** : Hiktomètre cube.
- **km** : kilomètre.
- **Max** : Maximum.
- **mg/l** : Milligramme par litre.
- **MES** : Matière en suspension.
- **m/h** : Mètre par heure.
- **m** : Mètre.

- **mmol** : Millimol.
- **ml** : Millilitre.
- **m²** : Mètre carré.
- **mm** : Millimètre.
- **Mn⁺²** : Manganèse.
- **nm** : Nanomètre.
- **N⁰** : Nord.
- **N** : Normalité.
- **OMS** : Organisation mondiale de la santé.
- **O₂** : Oxygène.
- **pH** : Potentiel d'Hydrogène.
- **RW**: Route wilaya.
- **Sr⁺²**: Strontium.
- **T** : Température.
- **TAC** : Titre alcalimétrique complet.
- **Tab**: Tableau.
- **TH** :Titre hydrotimétrique.
- **UE** : Unité européenne.
- **UV** : Ultraviolet.
- **µS/cm** : Micro-siemens par centimètre.
- **V**: Volume.

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
Tableau 1	Les paramètres de potabilités et leurs indicateurs	03
Tableau 2	Normes physico-chimiques	04
Tableau 3	Normes des substances toxiques et substances indésirables	04
Tableau 4	Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines	08
Tableau 5	Types, nature et sources de pollution de l'eau	13
Tableau 6	Différents coagulants	19
Tableau 7	Différents Flocculants	20
Tableau 8	Comparaison des caractéristiques principales des produits utilisés pour la désinfection de l'eau	25
Tableau 9	Classification des eaux d'après le TH	27
Tableau 10	Les principales caractéristiques du barrage bouhamdane	35
Tableau 11	Cordonnées géographiques de la station météorologique de Guelma	37
Tableau 12	Classification des eaux d'après leur pH	44
Tableau 13	Rapport entre la conductivité et la minéralisation	45

La qualité et la protection de notre environnement sont aujourd'hui des sujets de préoccupation majeurs pour nos sociétés. En effet, l'attention de la population est attirée essentiellement sur les problèmes de quantité, la qualité de l'eau, et plus largement des milieux aquatiques restant au second plan.

Aussi loin que remonte la mémoire des hommes, l'eau a toujours été au coeur des préoccupations. Au Moyen Age, l'eau tombée du ciel et celle des sources étaient réputées meilleures que celle des rivières, des puits et des marais... En absence des critères scientifiques, sa qualité était appréciée aux critères simples, en connaissant son origine avec une simple estimation visuelle de la couleur de l'eau suffisait pour la déclarer potable. **(Roland ,2000)**

De nos jours le phénomène d'entartrage est l'un des plus grands problèmes qui menacent l'avenir des infrastructures hydrauliques. Cette menace est liée à la présence dans les eaux souterraines d'éléments responsables de la dureté (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} ,...) et aux conditions favorables à l'entartrage (température, pH) .

Les minéraux sont des éléments importants de l'eau potable et ont un impact sur la santé à la fois direct et indirect. L'évidence suffisante est maintenant disponible pour confirmer qu'une certaine quantité minimale de minéraux dans l'eau est désirable, puisque leur déficience a beaucoup d'effets négatifs sur la santé: maladies et agressions possibles d'éléments toxiques et de bactéries.

Les niveaux optimum en Ca^{+2} et Mg^{+2} dans l'eau potable devraient se trouver dans les échelles suivantes: de 20 à 30 mg/l pour le Ca et de 40 à 80 mg/l pour le Mg et d'environ 200 à 400 mg/l pour la dureté de l'eau.

Malheureusement, sur les deux dernières décennies les recherches ont porté peu d'attention sur les effets bénéfiques ou protecteurs des substances de l'eau potable.

Des études supplémentaires devraient être conduites sur les conséquences potentielles sur la santé associées à la consommation d'eau à teneur faible et élevée en minéraux, en prenant en considération la dureté de l'eau. **[10]**

La solution nécessite la maîtrise des facteurs et les procédés adéquats pour réduire la dureté des eaux.

En dépit des méthodes efficaces pour la réduction de la dureté de l'eau (précipitation chimique, les échanges ioniques,...) , afin d'obtenir une eau de dureté conforme à la norme de l'O.M.S. **(Roymond, 1990)**

L'objectif général de ce travail est d'étudier l'évolution mensuelle de la dureté totale de l'eau brute et traité au niveau de la station de Hammam Debagh et les différents paramètres influençant sur elle, afin d'évaluer l'efficacité de traitement au niveau de cette station.

Pour atteindre cet objectif, ce travail se compose de deux volets. Le premier volet est la partie théorique avec trois chapitres, dont :

Chapitre I : contenant des informations et des connaissances liées à l'eau concernant la consommation, l'usage et aussi la pollution.

Chapitre II : Le second présente quelques modes d'épuration ou de traitement des eaux qui peuvent exister dans la station.

Chapitre III : consiste à déterminer la dureté des eaux, et ces conséquences.

Le deuxième volet est la partie expérimentale, comporte d'une part les résultats suivis pendant plusieurs mois de la composition physico-chimique des eaux du barrage à l'entrée et à la sortie de la station. D'autre part l'influence des différents paramètres à étudier sur la dureté.

I-1- Définitions :

I -1-1 L'eau :

L'eau est un élément sous forme liquide en conditions standards (température et pression ambiante), composé sous sa forme pure de molécules qui associent deux atomes d'hydrogène et un atome d'oxygène sous la forme H₂O [1].

I -1-2 l'eau potable :

Une eau potable est définie comme étant une eau claire, limpide, sans couleur, sans odeur, agréable au goût et hygiéniquement saine. De plus, elle doit être distribuée là où le consommateur en a le plus grand besoin, elle doit être ni polluée ni interrompue de l'usine de traitement à la distribution [2].

I -2- Les normes de potabilité :

Pour qu'une eau soit potable, elle doit répondre à des normes de qualité. Ces normes s'appuient sur des travaux médicaux établissant les "doses maximales admissibles" (quantités de substances qu'un individu peut absorber sans risque, tous les jours de sa vie, avec une marge de sécurité confortable) [3].

Ses caractéristiques de potabilité répondent à des établis soit au niveau national, ou international. Le (tab.1) représente certains paramètres de potabilité

Tab.1 : les paramètres de potabilités et leurs indicateurs [3].

Paramètres	indicateurs
Organoleptique	Transparence, couleur, odeur et saveur
Physico-chimique	pH, température, concentrations en minéraux, conductivité.
Pesticides et produits apparentés	Doses infimes
Paramètres relatifs aux substances indésirables	Substances tolérées en très faible quantité pouvant avoir une incidence sur la santé sans provoquer de désagréments à court termes.

Les différentes normes concernant l'eau potable sont exprimées dans le tableau 2 (normes physico-chimique), tableau 3 (substances toxiques et indésirables).

Tab.2 : Normes physico-chimiques (UE /OMS,2007) [3].

Paramètres	Normes Européennes
Aluminium (AL ⁺³) en mg/l	Max 0.2
Chlorures (Cl ⁻) en mg/l	Max 200
Magnésium (Mg ⁺²) en mg/l	Max 50
PH	De 6.9 à 9
Potassium (K ⁺) en mg/l	Max 12
Sodium (Na ⁺) mg/l	Max 150
Sulfates (SO ₄ ²⁻) en mg	Max 250

Tab .3 : Normes des substances toxiques et substances indésirables (UE /OMS,2007) [3].

Paramètres	Normes Européennes
Substances toxiques	
Arsenic (As ⁺²) en µgr/l	Max 10
Cadmium (Cd ⁺²) en µgr/l	Max 5
Chrome soluble (Cr) en µgr/l	Max 50
Cyanure (Cn ⁻) en mgr/l	Max 0.05
Mercuré (Hg) en µgr/l	Max 1
Nickel (Ni) en µgr/l	Max 50
Phosphore (P) en mgr/l	Max 5
Plomb (Pb) en µgr/l	Max 50
Substances indésirables	
Ammonium (NH ₄ ⁺) en mg/l	Max 0.5
Argent (Ag ⁺) en mgr/l	Max 10
Cuivre soluble (Cu) en mg/l	Max 1
Fer soluble (Fe) en mg/l	Max 0.2

Fluorures (F ⁻) en mg/l	Max 1.5
Manganèse (Mn) en mg/l	Max 0.05
Nitrates (NO ₃ ⁻) en mg/l	Max 50
Nitrites (NO ₂ ⁻) en mg/l	Max 0.1
Zinc (Zn ⁺²) en mg/l	Max 5

I - 3- Cycle de l'eau :

Entre les quatre grands réservoirs d'eau de l'hydrosphère que sont les mers et les océans, les eaux continentales (superficielles et souterraines), l'atmosphère, et la biosphère, l'échange d'eau est permanent. Le moteur de ce cycle en est le soleil : grâce à l'énergie thermique qu'il rayonne, il active et maintient constamment les masses d'eau en mouvement. Ce cycle se divise en deux parties intimement liées :

- une partie atmosphérique qui concerne la circulation de l'eau dans l'atmosphère, sous forme de vapeur d'eau essentiellement,
- une partie terrestre qui concerne l'écoulement de l'eau sur les continents, qu'il soit superficiel ou souterrain.

L'eau circule en permanence dans l'atmosphère sur la terre et sous la terre, entraînée dans un cycle sans fin. Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des mers, des fleuves et des lacs s'évapore et devient de la vapeur d'eau qui forme les nuages.

Les nuages sont poussés par le vent. Lorsqu'ils traversent des régions froides, la vapeur d'eau se condense, Elle retombe sur le sol, sous forme de pluie, de neige ou de grêle.

L'eau ainsi retombée ruisselle sur le sol ou s'infiltre dans le sous-sol. Elle vient grossir les fleuves, qui eux-mêmes retournent à la mer et le cycle recommence. C'est le cycle de l'eau [4].

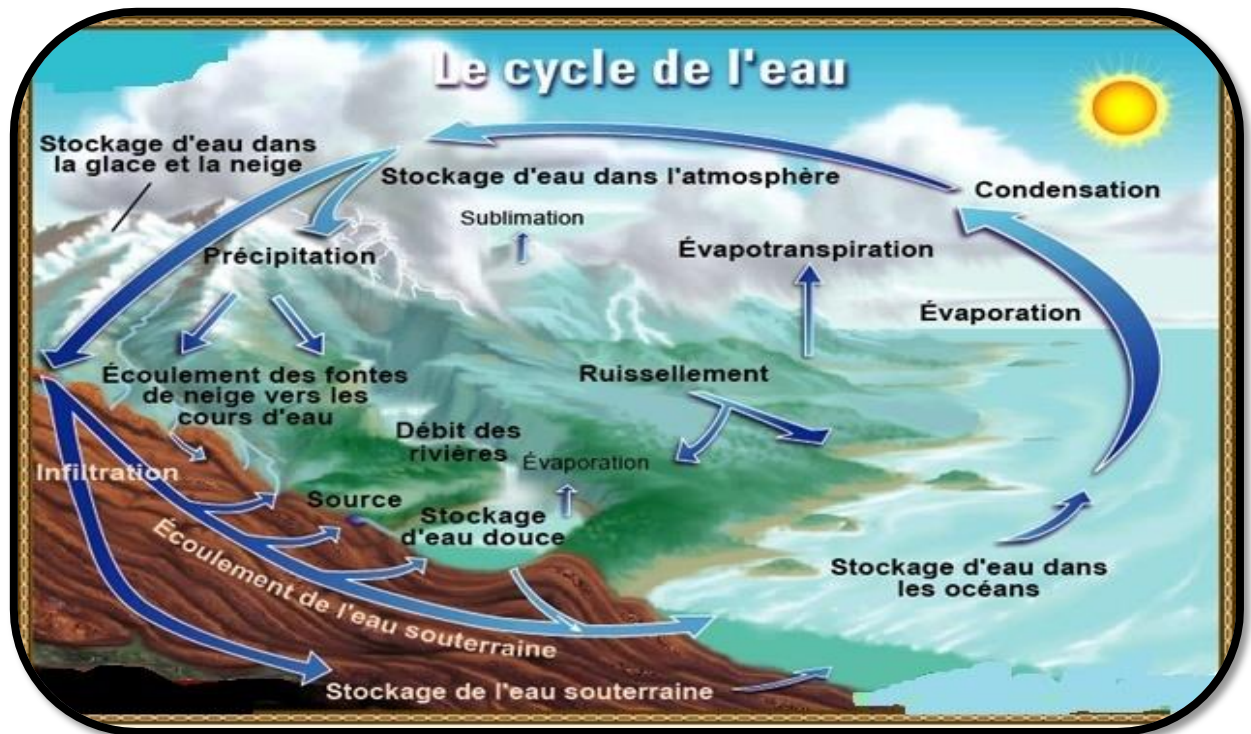


Fig.1: Le cycle de l'eau [4].

I-4 - Différents types d'eau de consommation :

I-4-1 Les eaux de source :

Les eaux de source sont des eaux qui doivent répondre à l'émergence aux critères de potabilité, et ne peuvent subir aucun traitement. (Monod,1989)

I- 4-2 Les eaux minérales :

Elles sont des eaux de Source ayant des propriétés particulières : elles ont des teneurs en minéraux et en oligo-éléments qui peuvent leur donner des vertus thérapeutiques, comme les eaux de source, elles ne peuvent être traitées, une eau ne peut être qualifiée, de minérale que si elle a été reconnue comme bénéfique pour la santé. (Valiron , 1989)

I- 4-3 Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines ont pendant longtemps, été synonymes "des eaux propres" et répondant naturellement aux normes de potabilité.

Ces eaux sont généralement de bonne qualité et peuvent ne pas demander beaucoup plus qu'une aération par un système de cascades ou de rejets d'eau qui assure un bon contact air-eau, ainsi une rapide filtration sur sable et une désinfection.

Toute fois elles peuvent avoir des teneurs élevées de fer, manganèse, matière organique et ammoniacale ...etc . (OMS,1994)

I- 4-4 Les eaux de surface :

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières , lacs , étangs , barrages ...etc).

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leur parcours dans l'ensemble des bassins versants.

Ces eaux son le siège , dans la plupart des cas d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur C'est à cause de ça que ces eaux son rarement potables sans aucun traitement.

Les eaux de surface contiennent des impuretés qui ont pour origine :

- La dissolution des encaissants (roches , terrains ,traversés) .Ces encaissants sont responsables du pH et de la conductivité .
- Les colloïdes minéraux (argiles, gels de silice...) qui sont responsables de la turbidité.
- Les matières organiques qui peuvent avoir deux origines :
 - Origine naturelle : produit de dégradation des végétaux, métabolites des algues et des micro-organismes .
 - Origine artificielle : due à la pollution urbaine, industrielle et agricole (pesticides, fongicides et herbicides...)

Les eaux de surface sont plus chargées de matières en suspension que les eaux souterraines, ainsi que de matières colloïdales , plancton animale et végétale.(Singleton, 2005)

Ainsi il existe d'autres différences qui sont résumés dans le tableau 4:

Tab.4 : Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines. (Valiron, 1994)

Caractéristique	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	Variable suivant saisons	Relativement constante
Turbidité, MES (vraies ou colloïdales)	Variable parfois élevée	Faible ou nulle (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues ...) sauf dans les eaux très douces et Acides (acides humique)	Liée surtout aux matières en solution (acides humique par exemple)
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets.....	Sensiblement constante en générale nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
CO ₂ agressif	Généralement absent	Souvent présent en grande quantité
O ₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation. absent dans le cas d'eaux très polluées	Absent la plupart du temps
NH ₄	Présent seulement dans les eaux polluées	Présent fréquemment sans être Un indice systématique de pollution bactérienne

Nitrates	Peu abondants en général	Teneur parfois élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Présent dans les eaux de pays développés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	Généralement absent, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Elément vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus plancton (animale et végétale)	Ferro bactéries fréquents
Fer et Mn divalents(à l'état dissous)	généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation.	généralement présents
H ₂ S	généralement absent	souvent présent
Silice	teneur en général modérée	teneur souvent élevée
Solvant chlorées	rarement présents	souvent présents
Caractère eutrophie	fréquent accentuée par les températures élevées	non

I- 5- Les usages de l'eau :

On peut ainsi distinguer différents usages de l'eau :

I- 5-1 Les usages domestiques :

L'essentiel de l'eau consommée à la maison est utilisé pour l'hygiène corporelle, les sanitaires, l'entretien de l'habitat et diverses tâches ménagères. La boisson et la préparation des aliments ne représentent que 7 % de notre consommation totale.

En plus des consommations "à la maison", il faut ajouter les consommations collectives auxquelles chacun participe : écoles, hôpitaux, bureaux, lavage de rues, fontaines dans les villes.

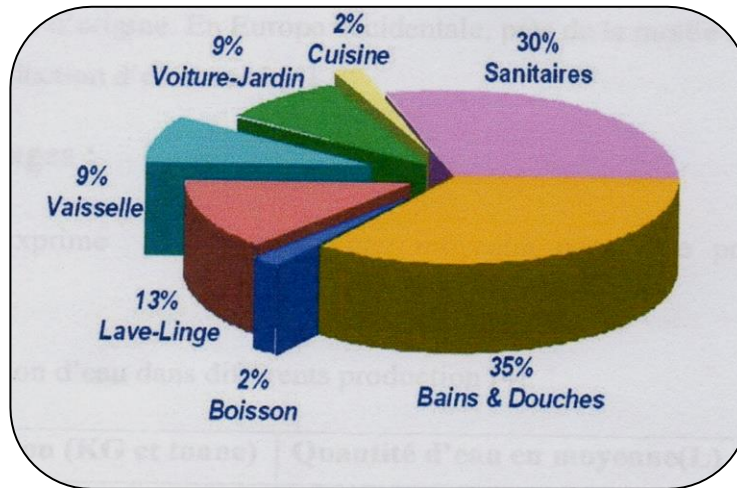


Fig.2 : Les différentes utilisations domestiques [5].

I- 5-2 Les usages agricoles :

L'agriculture est la principale source de consommation d'eau essentiellement à des fins d'irrigation. Cet usage de l'eau se caractérise par deux aspects :

- Il s'agit d'une consommation nette, c'est -à-dire que l'eau prélevée n'est pas retournée à la nature après usage .
- Cette consommation est concentrée sur la période estivale.

Les activités d'élevage sont aussi fortement consommatrices d'eau .On estime la consommation quotidienne d'eau par tête entre 50 et 200 litres pour le gros bétail et entre 10 et 40 litres pour le petit bétail.

I- 5-3 Les usages industriels :

L'eau est au cœur de nombreux processus industriels. Dans l'industrie, l'eau peut être utilisée à diverses fins.

Elle peut participer au processus industriel proprement dit être utilisée pour :

- Le lavage et l'évacuation des déchets .
- Faire fonctionner les chaudières.
- Le refroidissement des installations représente l'essentiel de la consommation industrielle.

- Les impératifs de qualité de l'eau diffèrent largement en fonction des usages. Pour le refroidissement ou le lavage, une eau peu traitée suffit en générale, alors que de l'eau potable est indispensable à la production alimentaire.
- La fabrication de circuits électroniques nécessite des traitements spécifiques et plus exigeants que pour une eau destinée à la consommation.

I- 5-4 Les usages énergétiques :

Les barrages, les conduites forcées captant des sources et les centrales hydroélectriques, équipées de turbines produisent de l'énergie. L'eau sert aussi pour refroidir les centrales thermiques et nucléaires, qui la rejettent chaude.

I-5-5 Les usages liés aux loisirs :

- La voile, le ski nautique , la plongée , la baignade en mer .
- La pêche en rivière.
- Les piscines et stades nautiques.
- Les bains d'eau chaude naturelle.
- Les stations de ski en hiver e les Patinoires.

I- 5-6 Les usages liés à la santé :

Il s'agit des cures thermales, de la thalassothérapie. (**Boubidi, 2007**)

I- 6- La pollution de l'eau :

La contamination des écosystèmes aquatiques par les polluants de l'eau peut sérieusement porter atteinte à l'intégralité des fonctionnements des organismes de la faune et la flore.

I- 6-1 Notion de pollution :

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physique, chimique et biologique; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels. (**Mizi, 2006**)

I- 6-2 Origine et types de pollution :

La pollution des eaux a essentiellement pour origine les rejets des eaux usées urbaines et industrielles dont l'abondance et la variété croit au fil des années sous l'effet de l'urbanisation galopante.

Pendant des millénaires, les eaux usées étaient déversées directement dans les cours d'eaux, oueds, lacs, et mers. Ce qu'il ya seulement moins d'un siècle que l'accent a été mis sur le résultat désastreux de telles pratiques. On distingue trois types de pollution peuvent affecter la qualité des eaux : **(Chaouch, 2008)**

I- 6-2-1 La pollution physique :

C'est une pollution due aux agents physiques (tout élément solide entraîné par l'eau), elle est d'origine domestique, essentiellement industrielle. On peut la répartir en trois classes: mécanique, thermique et radioactive

I- 6-2-2 Pollution chimique :

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. La pollution chimique des eaux est regroupée dans deux catégories : Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols..) , Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...).

I- 6-2-3 Pollution biologique :

A-Pollution organique :

C'est les effluents chargés de matières organiques fermentescibles (biodégradables), fournis par les industries alimentaires et agroalimentaires (laiteries, abattoirs, sucreries...). Ils provoquent une consommation d'oxygène dissous de ces eaux, en entraînant la mort des poissons par asphyxie et le développement (dépôts de matières organiques au fonds des rivières) de fermentation anaérobie (putréfaction) génératrices de nuisances olfactives.

B- Pollution microbienne :

L'eau peut contenir des microorganismes pathogènes (virus, bactéries, parasites) ils sont dangereux pour la santé humaine, et limitent donc les usages que l'on peut faire de l'eau (industrie, utilisation domestique...). **(Mekhalif,2009)**

Tab.5 : Types, nature et sources de pollution de l'eau. (Chaouch, 2008) .

Sources	Nature	Types de pollution
Contrôles électriques	Rejets d'eau chaude	Pollution thermique
Effluents urbains, élevage secteur agroalimentaire.	Bactéries, virus, champignons.	Pollution microbiologique
Agriculture, lessive.	Nitrates, phosphates	Fertilisants
Industrie, agriculture, combustion, pluies acides.	Mercure, cadmium.	Métaux métalloïdes toxiques.
Agriculture, industrie	Insecticides, fongicides, herbicides	Pesticides
Industries pétrolières, transports.	Pétrole brute et dérivé	hydrocarbures

I- 7- L'impact de la pollution des eaux sur l'environnement:

La pollution des eaux a un grand nombre d'effets: en outre elle produit des changements complexes dans les eaux réceptrices et affecte les usages ultérieurs de l'eau de différentes manières plus ou moins apparentes.

On peut distinguer trois types de désutilités, de gravité croissante: les polluants peuvent d'abord nuire à l'agrément de la vie, ils peuvent ensuite porter atteinte à la santé de l'homme, ils peuvent enfin menacer la survie même de l'espèce.

I- 7-1 Sur le milieu naturel:

Une eau usée urbaine ou industrielle peut avoir suivant la nature et concentration de ses constituants, un certain nombre d'effets sur le milieu récepteur, même après avoir subi une épuration.

- Les matières en suspensions résiduelles, même en concentration faible sont susceptibles de réduire la transparence du milieu.
- La présence de nitrate et de phosphates et l'effet précipité des matières organiques peuvent accélérer le processus naturel d'eutrophisation des milieux récepteurs fermés .
- Enfin un rôle moins perceptible de la matière organique est la modification des équilibres physico-chimiques du milieu et notamment son interaction avec les formes métalliques par des mécanismes de réduction, de précipitation susceptibles d'accroître les effets propres de ces métaux sur l'environnement.

I- 7-2 Sur l'homme :

Les causes des maladies à transmission hydriques sont multiples, et c'est essentiellement la pollution des eaux superficielles par les rejets des eaux usées aggravés par une pluviométrie insuffisante et irrégulière.

L'homme peut être affecté par une pathologie cutanée ou par une gastro-entérite après consommation de fruits de mer, tel que : la typhoïde, le choléra grâce à une consommation de fait par une voie digestive à partir d'eau contaminée par des matières fécales, ou par des mains sales, la conjonctivite aussi est une maladie à transmission hydrique qui est liée à la pratique des bains, et aux séjours sur le sable des plages.

I- 7-3 Sur la faune et la flore:

Les substances nocives contenues dans les eaux usées déversées dans le milieu naturel peuvent en effet être absorbées et concentrées à plusieurs étapes par des micro-organismes aquatiques.

Ces substances peuvent détruire les êtres vivants et les végétaux dans les rivières et les lacs, ainsi que les micro-organismes qui interviennent dans l'épuration biologique des eaux usées.

L'altération que l'on peut constater dans la végétation de certains étangs ou les cours d'eau sont souvent le témoin d'une pollution directe par des produits toxiques, ainsi, l'apport trop important d'éléments nutritifs peut induire une prolifération intense d'algues aboutissant au phénomène de l'eutrophisation qui limite les possibilités de vie aquatique.

L'équilibre des espèces des poissons peut de ce fait être perturbé par la diminution du taux d'oxygène dissous. (Benslimane , 2001)

Les eaux de surface ne sont pratiquement jamais potables sans aucun traitement du fait des divers substances d'origine naturelle ou apportées par la pollution. Pour améliorer leur qualité (potabilité), elles nécessitent des traitements appropriés c'est-à-dire leur faire subir des modifications physicochimiques ou biologiques, dans une chaîne de traitement classique.

(Degremont, 1989)

Le schéma classique d'une station de potabilisation d'une eau de surface est généralement comporte cinq grandes étapes (figure.3).

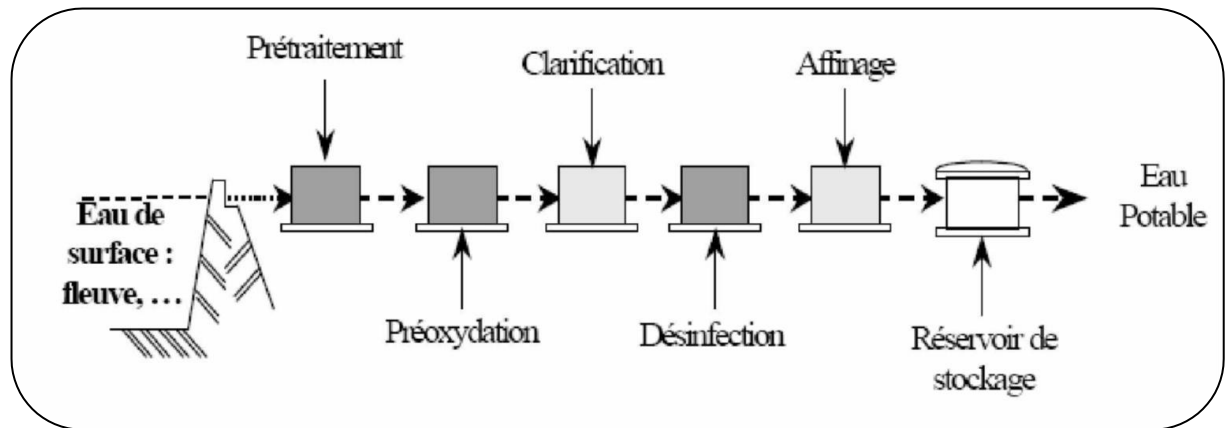


Fig.3 : Chaîne de traitement. (Masson, 1999)

II-1 Prétraitement :

Une eau, avant d'être traitée, doit être débarrassée de la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs. Pour cela, on effectue des prétraitements de l'eau de surface. (Masson, 1999)

Dans le cas d'une eau potable, les prétraitements sont principalement de deux types:

- le dégrillage .
- le tamisage.

II-1-1 Le dégrillage :

Le dégrillage, premier poste de traitement, permet de protéger les ouvrages aval de l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de traitement. Ceci permet également de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution.

Le dégrillage est avant tout destiné à l'élimination de gros objets : morceaux de bois, etc.

II-1-2 Le tamisage :

Le tamisage, quant à lui, permet d'éliminer des objets plus fins que ceux éliminés par le dégrillage. Il s'agit de feuilles ou de morceaux de plastique par exemple .(**Kettab, 1992**)

II-2 Pré-oxydation :

La pré-chloration, effectuée avant le procédé de clarification, s'est surtout développée dans les années 60. C'est une opération essentielle à tout traitement des eaux à visée de potabilisation.

les oxydants sont utilisés en tête et en cours de traitement , pour améliorer la biodégradabilité de certaines molécules organiques , pour éliminer certains micro- polluants (toxiques ou responsables de goûts et odeurs principalement) et certains indésirables (fer, manganèses, coloration de l'eau ,.....).

Cette pré-oxydation peut être faites par du chlore, par du peroxyde de chlore, ou l'ozone .Elle à plusieurs objectifs :

- L'élimination de l'azote ammoniacal
- L'élimination de fer et de manganèse (l'oxydation de ces éléments les transforme en hydroxyde insoluble facilement séparable du liquide par décantation et filtration).
- L'élimination de la couleur.
- Amélioration de la clarification.
- Le maintien de la propreté des installations de traitement c'est-à-dire la lutte contre la prolifération d'organismes (algues, phytoplanctons) qui ne sont pas pathogènes mais qui nuisent à la bonne fonction de certains ouvrages comme les décanteurs et les filtres selon la nature et le taux.

II-2-1 Pré-oxydation par le chlore :

Le chlore est introduit dans l'eau sous l'une des trois formes suivantes :

- Chlore gazeux (Cl_2) : $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{HOCl} + \text{HCl}$
- Hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) : $\text{Ca}(\text{OCl})_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{HOCl} + \text{Ca}(\text{OH})_2$
- Hypochlorite de sodium (NaOCl) : $\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{HOCl} + \text{NaOH}$

La pré chloration par le chlore présente des avantages bien connus :

- Le chlore est le réactif le plus économique.
- L'élimination de la plus part des algues et d'autres organismes.

- Diminution éventuelle du taux de traitement en coagulant.
- L'élimination partielle de mauvais goût.

Mais la préchloration présente toute fois l'inconvénient de former des composés indésirables telle que : les organochlorés, les trihalométhanes qui peuvent être dangereux et avoir des effets nocifs sur la santé de l'Homme.

II-2-2 Préoxydation par le dioxyde de chlore :

Cette technique est développée momentanément pour remplacer la préoxydation par le chlore. Le dioxyde de chlore est également un très bon oxydant .Son efficacité vis-à-vis de la couleur et du goût est supérieur à celle du chlore.

En effet le dioxyde de chlore oxyde rapidement le fer et le manganèse , il permet donc l'élimination de ces métaux .

Il permet encore de dégrader un certain nombre de composés organiques sans former de trihalométhane indésirables.

Cependant le dioxyde de chlore présente certains inconvénients :

- Ne réagit pas avec l'azote ammoniacal et ne permet donc pas de l'éliminer.
- La réaction d'oxydoréduction de dioxyde de chlore avec les matières organiques libère des ions ClO^{-2} qu'il est nécessaire d'éliminer par la suite.

II-2-3 Préoxydation par l'ozone :

Cette technique est utilisée en remplacement de la préchloration sur les eaux chargées en matières organiques et en algues.

La préozonation présente l'avantage de ne pas former des sous produits chlorés (trihalométhane).

Les doses d'ozone utilisées sont de l'ordre de 0.3 à 0.5 mg d'ozone /mg de carbone organique totale . (Boubidi,2007)

II-3 Clarification :

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension (MES) d'une eau brute ainsi que la majeure partie des matières organiques.

La clarification comprend les opérations de coagulation- floculation, de décantation et de filtration.

II-3-1 Coagulation-Floculation :

L'opération de coagulation-floculation a donc pour bute la croissance de particules (qui sont essentiellement colloïdales) par déstabilisation des particules en suspension puis formation de flocons par absorption et agrégation .

Les flocons ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite (Figure.4) Les particules colloïdales en solution sont « naturellement » chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent donc en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution . (Claude,1999)

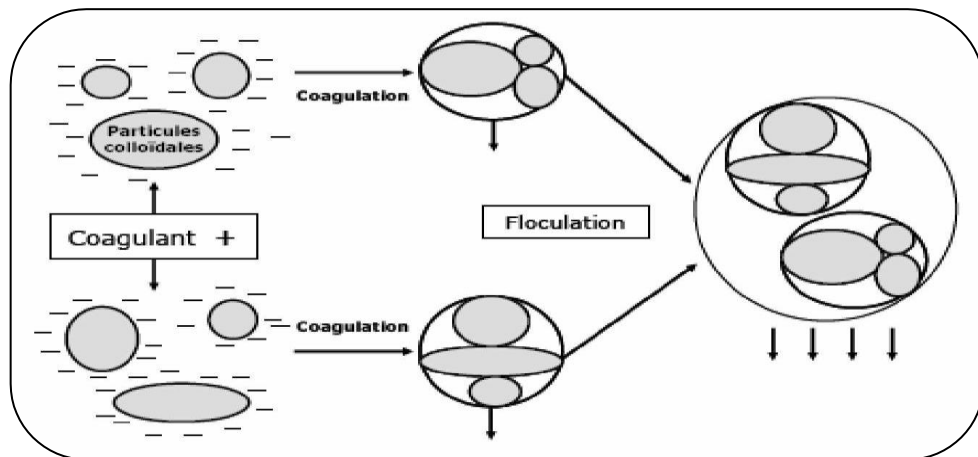


Fig .4 : Coagulation / Floculation . (Claude, 1999)

II-3-1-1 Définitions :

A- Matières en suspension :

Les particules qui sont en suspension dans l'eau peuvent être d'origine minérale (sable, limons, argile) ou organiques (produit de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques) .

A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tel que les bactéries, plancton, les algues ,et les virus. Ces substances sont responsables, en particulière de la turbidité et de la couleur de l'eau.

B- Matières dissoutes :

moins de quelque nanomètre, ce sont généralement des cations ou des anions, une partie de la matière organique est également sous forme dissoutes .on trouve aussi des gazes (oxygène, CO₂ , H₂S). (Boubidi, 2007)

C-Les colloïdes :

Les colloïdes portent des charges négatives situées à leur surface. Ces charges négatives attirent les ions positifs en solution dans l'eau, ce qui confère une grande stabilité.

Ces colloïdes possèdent la propriété de se maintenir en équilibre au sein de l'eau son effet de forces électrostatiques de répulsion.

Elles sont également génératrices de turbidité et de couleur [6].

D-Les coagulants :

Ce sont des produits qui neutralisent ou inversent les charges de surface des particules colloïdales ce qui conduit à leur déstabilisation et la formation des précipités insolubles.

Le choix du coagulant pour le traitement de l'eau de consommation doit tenir compte de l'innocuité du produit, de son efficacité et de son coût. L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé.

Les plus efficaces sont des sels de métaux, à base d'aluminium ou de fer. Ils sont cités dans le tableau suivant . (Laetitia ,2004)

Tab .6 : Différents coagulants. (Laetitia ,2004)

Nom de coagulant	Forme disponibles	Aspect	Densité	Taux de traitement usuel	Gamme de pH d'utilisation
Sulfate d'aluminium	Concassé Noisettes Poudre Liquide	Blanchâtre	1.45	10 à 150 g /m ³	5.7 ≤pH≤7.5
Polychlorures basiques d'aluminium	Liquide	Blanchâtre		10 à 100 g /m ³	Etendre

(PCBA)					
Plychlorosulfates basiques d'aluminium	Liquide	Blanchâtre	1.16	10 à 100 g /m ³	6≤pH≤9
Chlorure ferrique	Cristallisé Liquide	Brun	1.45	5 à 100 g /m ³	5≤pH≤8.5
Chlorosulfate ferrique	Solution	Brun Rouge	1.50	5 à 100 g /m ³	5≤pH≤8.5
Sulfate ferrique	Poudre Liquide	Blanche Brun Rouge	1	10 à 100 g /m ³	5≤pH≤8.5
Sulfate ferreux	Poudre	Cristallin Vert clair	0.9	10 à 40 g /m ³	Utilisé par eaux dont pH≥7.8

E- Les flocculants :

Les flocculants ou adjuvants de floculation sont, dans leur grande majorité, des polymères de poids moléculaire très élevé. Ils peuvent être de nature minérale, organique naturelle ou organique de synthèse .

On injecte les flocculants à la suite du coagulant. Leur rôle est d'accélérer la floculation ou d'améliorer la consistance et la densité des flocons.(**Fiessinger, 1976**)

Tab .7 : Différents Flocculants .(**Fiessinger, 1976**)

Nom du flocculant	Forme disponible	Origine	Taux de traitement usuel
Flocculant minéral : la silice activée	Liquide se prépare sur l'installation	Neutralisation d'une solution de silicate de soude par un acide	0.2 à 1 g /m ³

		sulfurique sulfate d'aluminium chlore dioxyde de carbone	
Floculant organique naturels : l'alginate	Poudre	Extrait d'algue	0.2 à 1 g /m ³
L'amidon	poudre	Pomme de terre extrait de graisses végétales	0.2 à 1 g /m ³
Floculant organique de synthèse : Non ionique Anionique	Poudre solution Emulsion	Ils sont fabriqués en laboratoire à partir de poly acrylamides fabriqués à partir d'acrylate et acrylamide	0.02 à 5 g /m ³

II-3-1-2 Coagulation –floculation :

A-La coagulation :

C'est la déstabilisation des particules colloïdales, c'est un phénomène très complexe, aussi la méthode la plus sûre et la plus rationnelle pour déterminer dans chaque cas la nature du réactif à utiliser.

B-Floculation :

La floculation est le processus de grossissement et d'uniformisation des petits flocons formés lors de l'introduction du coagulant. Elle a pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules colloïdales déstabilisées et leur agglomération, pour accroître son volume, sa masse et sa cohésion.

Contrairement à l'étape de coagulation, la floculation nécessite une agitation lente.

Une bonne floculation est favorisée par:

- Une coagulation préalable aussi parfaite que possible.

- Une augmentation de la quantité du floc dans l'eau.
- Un brassage homogène et lent pour tout le volume d'eau.
- L'emploi de certains produits appelés floculants ou adjuvants de coagulation . (Claude ,1999)

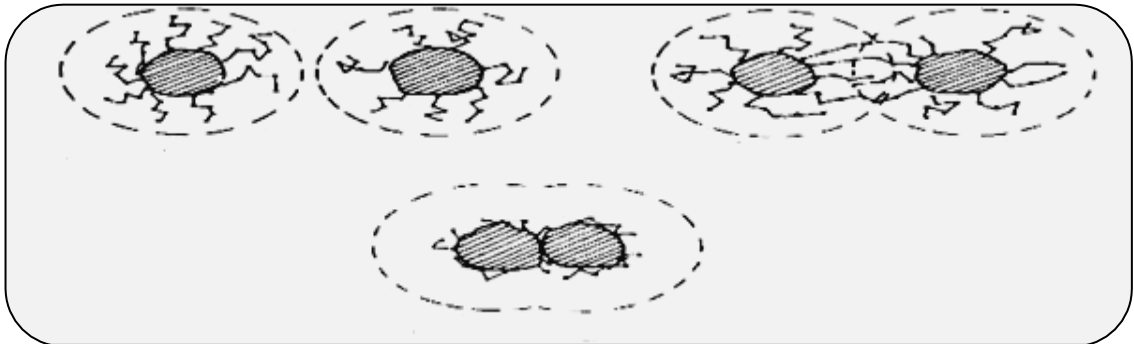


Fig.5 : Le processus de floculation. (Lengo,1994)

II-3-2 Décantation :

La décantation est la méthode de séparation la plus fréquente des MES et des colloïdes (rassemblés 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 impérieuse du phénomène de coagulation- floculation. (Degremont , 1989)

II-3-3 Filtration sur sable :

II-3-3-1 Définition :

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire.

L'espace intergranulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate. Les pertes de charge augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétro lavage.

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation, de floculation et de décantation, permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs.

II-3-3-2 Type de filtres sur sable :

A-Filtre à sable rapide :

La vitesse est de 4 à 25 m/h, c'est le type de filtre le plus utilisé dans le traitement des eaux. Le matériau filtrant est maintenu par gravité et l'écoulement de l'eau à lieu de haut en bas. Les principaux éléments d'un filtre rapide sont le fond du filtre, le gravier de support et le milieu filtrant. Les matériaux les plus utilisés sont le sable et l'anthracite. Il en existe deux catégories :

- Les filtres ouverts ou filtres rapides gravitaires où la couche d'eau à filtrer est de 0,5 m .
- Les filtres sous pression, ils fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapides, sauf que leurs couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage, sont situés dans des cylindres horizontaux ou verticaux.

B-Filtre à sable lent :

Il possède une vitesse de 1 à 2 m/h, il doit être construit de telle sorte que l'eau traverse lentement une couche de sable fin et que les particules les plus grosses soient arrêtées près de la surface du sable.

Ces particules forment une couche poreuse très fine, dont la surface totale de veinules ou de pores est très grande, ce qui facilite l'absorption des impuretés par cette couche ou par le sable sous jacent. Cette couche poreuse est constituée de bactéries, d'algues et de protozoaires.

La filtration lente combine donc les effets de processus physique et de processus biologique.

II-3-3-3 Lavage des filtres à sable :

Le lavage d'un filtre à sable peut être déclenché lorsqu'une consigne de perte de charge maximale est atteinte, ou en cas de dégradation de la qualité de l'eau filtrée.

Les différentes phases habituelles d'un lavage sont:

- **1ère phase** : injection d'air à contre courant, dans le but de détasser le lit de matériau.
- **2ème phase** : lavage, on injecte simultanément, de l'air et de l'eau. L'eau entraîne les impuretés vers les goulottes de lavage alors que l'air assure le brassage suffisant pour décoller ces impuretés
- **3ème phase** : rinçage, on lave le filtre en injectant un courant d'eau circulant dans le sens contraire de la filtration destinée à détacher les impuretés. (Raymond, 1997)

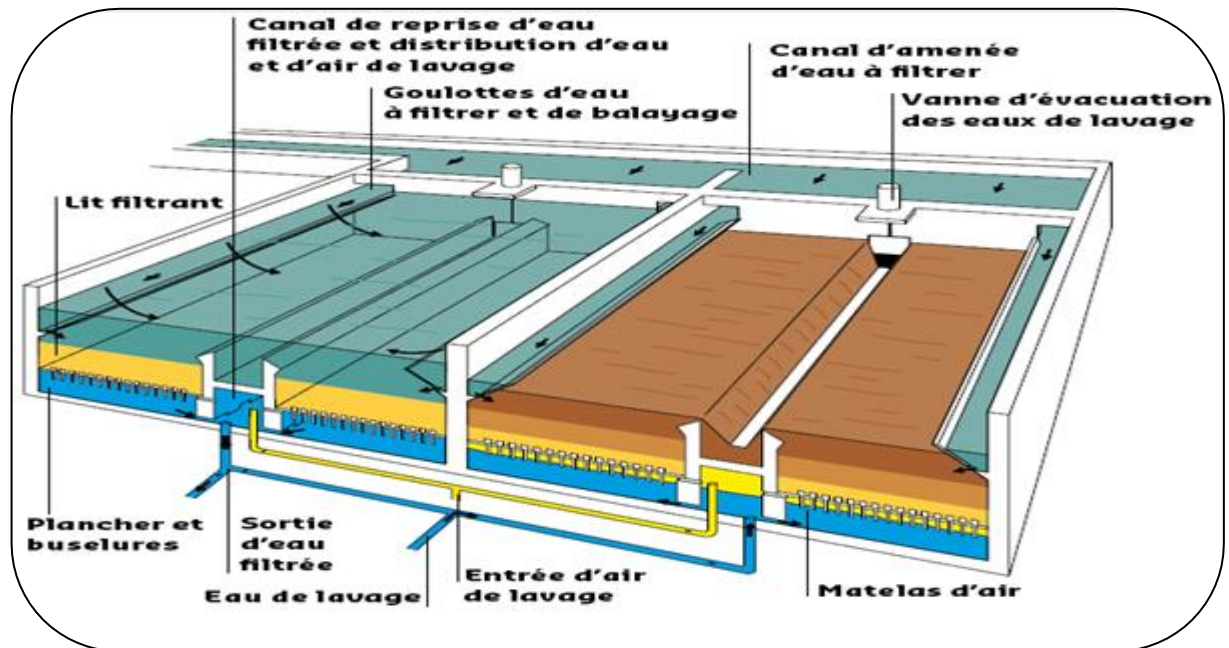


Fig .6 : Le lavage d'un filtre à sable [7].

II-4 La Désinfection de l'eau potable :

La désinfection de l'eau potable a pour but de garantir l'absence de tous germes infectieux, de détruire la matière organique présente dans l'eau qui peut servir d'abri ou d'aliment pour les micro-organismes et de mettre hors risque de contamination un système de distribution ayant subi une pollution accidentelle.

Pour qu'un produit soit un désinfectant efficace pour l'eau potable, il doit posséder deux critères importants correspondant à deux effets différents :

- **Un effet Bactéricide** : en relation avec la capacité de détruire les germes à une étape donnée du traitement.
- **Un effet Rémanent**: c'est la capacité de se maintenir dans l'eau au cours de son cheminement dans le réseau. Cet effet rémanent permet de garantir la qualité bactériologique de l'eau dans le réseau de distribution. Il s'agit à la fois d'un effet bactériostatique contre la reviviscence bactérienne en réseau et d'un effet bactéricide contre des pollutions faibles et ponctuelles survenant sur le réseau.

Si ces deux effets sont les critères de choix du désinfectant le plus efficace, l'effet rémanent est le critère de base qui définit le produit qui doit être utilisé pour la désinfection finale.

Tab .8 : Comparaison des caractéristiques principales des produits utilisés pour la désinfection de l'eau. (Monod , 1989)

Effet	O3	Cl2	ClO2	Chloramine	UV
Bactéricide + Virulicide	+++	++	++	+	++
Rémanent	0	+	++	+++	0

II-4-1 Les rayonnements Ultraviolets (UV) :

Les rayonnements UV sont produits par des lampes à vapeurs de mercure à 257 nm, leur effet germicide est basé sur l'absorption des photons par les constituants vitaux des micro-organismes (ADN et ARN) ce qui provoque leur rupture et par la suite l'inhibition des processus de reproduction des micro-organismes. Les études ont montré que la désinfection par les UV ne développe pas de sous produit dommageable, et qu'elle est efficace pour l'inactivation de tous les microorganismes y compris les kystes des protozoaires qui présente une certaine résistance au traitement par le chlore. Cependant, la désinfection par les UV ne possède pas d'effet rémanent et donc elle doit être couplée avec l'injection d'un désinfectant possédant cette dite rémanence. En plus que l'exploitation des lampes à UV nécessite un suivi et un entretien par un agent qualifié pour prévenir toute défaillance éventuelle des lampes ainsi que leur vieillissement normal.

II-4-2 L'ozone :

Comparé au chlore, l'ozone est un désinfectant plus fort qui présente une action directe sous sa forme moléculaire qui oxyde les liaisons secondaires formants un ozonide.

II-4-3 Le dioxyde de chlore :

Réagit sur les composés minéraux par oxydoréduction, on a alors la formation de chlorite.

II-4-4 Le chlore :

La désinfection par le chlore est la méthode la moins coûteuses, et la plus utilisée en Algérie. Dans le but de déterminer la dose du chlore nécessaire pour assurer une bonne désinfection, on fait appelle à l'étape de : la chloration au point critique " break point " .

Lorsqu'on ajoute des doses croissantes de chlore, la détermination du chlore résiduel au bout d'un temps révolu montre que dans un premier temps le taux croît en fonction de la dose ajoutée, puis passe par un point d'inflexion, et décroît pour atteindre un minimum appelé " break point ", avant d'augmenter régulièrement . (**Monod , 1989**)

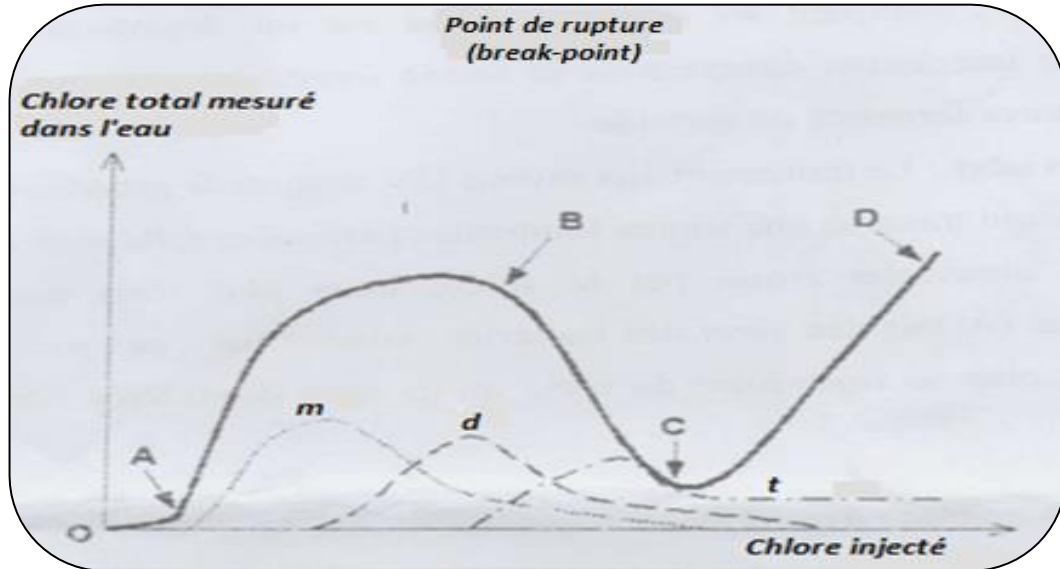


Fig.7 : Courbes montrant la chloration au point critique. (**Monod , 1989**)

- O à A : Consommation instantanée du chlore par les éléments minéraux.
- A à B : Formation des monochloramines (m) et des dichloramines (d).
- B à C : Réduction des monochloramines et des dichloramines (d) , Formation puit réduction des trichloramines (t).
- C à D : Tout le chlore ajouté sera sous forme d'acide hypochloreux mais il reste un résiduel de trichloramines . (**Monod, 1989**)

II-5 Affinage :

La présence de micropolluants, qu'ils existent à la prise d'eau ou qu'ils se soient formés en cours du traitement nécessite enfin de chaîne, un affinage qui dans l'état actuelle de la technique fait appelle, soit au charbon actif seul en poudre ou sur lit en granules, soit ce qui est préférable, aux actions associés du charbon actif et de l'ozone. (**Degremont, 1989**)

La dureté de l'eau est liée à la quantité totale de sels de calcium et de magnésium, leur présence dépend de la nature des terrains traversés par les ressources en eau utilisées.

La dureté est donc différente selon les caractéristiques hydrogéologiques de chaque région et peut ainsi varier au cours de l'année de façon naturelle.

III-1 Définition :

Dite aussi titre hydrotimétrique (TH), la dureté totale d'une eau est donnée par la concentration en ions alcalino-terreux (essentiellement Ca^{+2} et Mg^{+2}), elle ne doit pas être étudiée isolément mais dans tout un ensemble de paramètres telle que, le TAC, le pH et la température.

Elle est mesurée par le titre hydrotimétrique (TH). Cette grandeur est souvent exprimée en degrés français ($^{\circ}\text{F}$): 1°F équivaut à 10 mg/l de carbonate de calcium. Plus l'eau est riche en calcium et magnésium, plus elle est dure.

1°f correspond à :

- ✚ 4 mg de calcium.
- ✚ 2.4 mg de magnésium.
- ✚ 0,1 mmol de carbonate de calcium et de magnésium.

Tab . 9: Classification des eaux d'après le TH .(Chaouech ,2008)

TH ($^{\circ}\text{f}$)	0-5	5-12	12-25	25-50	Supérieur à 50
Eau	Très douce	Faible dureté	Moyennement dure	dure	Très dure

III-2 Les principaux éléments responsables de la dureté :

La dureté d'une eau est due à la présence des ions métalliques bivalents, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2} , Sr^{+2} . Les plus abondants étant les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} .

Les ions Fe^{+2} , Mn^{+2} et Sr^{+2} sont facilement oxydables et leurs impacts sur la dureté sont négligeables.

✚ **Le calcium** :est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature.

Les eaux potables de bonne qualité ayant des teneurs en calcium comprises entre 100 et 140 mg/l. La directive de l'OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 200 mg/L.

✚ Le **magnésium** : est un des éléments aussi très répandus dans la nature, il constitue environ 2,5 % dans l'écorce terrestre. La directive de la communauté européenne recommande un niveau guide de 30 mg/l et l'OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 85 mg/l. (Rumeau, 1998)

III-3 Les types de dureté :

III-3-1 La dureté totale ou hydrométrique TH :

Elle présente la somme des concentrations de calcium et magnésium en mg/l.

III-3-2 La dureté temporaire ou carbonatée :

C'est la quantité de bicarbonates de calcium ou de magnésium ou de fer présentes dans un litre d'eau. Ce genre de dureté peut être éliminé par simple chauffage .

III-3-3 La dureté permanente :

Elle est déterminée par la quantité de sulfates, de chlorures, et de phosphates présentes dans un litre d'eau.

III-3-4 La dureté calcique :

Correspond à la teneur globale en sel calcium.

III-3-5 La dureté magnésienne :

Correspond à la teneur en sels de magnésium.

La somme des deux duretés (permanente et temporaire) donne la dureté totale de l'eau ou ce qu'on appelle titre hydrométrique. $TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$

III-4- La relation qui existe entre la dureté temporaire et la dureté permanente :

La dureté permanente = dureté totale - titre alcalimétrique complet

La dureté permanente = TH - TAC

La dureté temporaire = TH (total) = TAC si on a seulement HCO_3^-

La dureté totale = TH [Ca²⁺] + TH [Mg²⁺].[8]

III-5 L'impact de la dureté sur les utilisations domestiques :

L'eau dure n'est pas mauvaise pour la santé. Au contraire, il semble que les populations alimentées en eau naturellement dure sont moins sujettes à l'infarctus du myocarde. En revanche, l'eau adoucie peut présenter certains inconvénients tels que pour des localités ayant des anciennes canalisations en plomb induit à la Solubilité du Plomb.

L'utilisation domestique des eaux dures pose les principaux problèmes suivants:

- ✚ Entartrage des appareils et des canalisations d'eau.
- ✚ Consommation d'énergie.
- ✚ Consommation de lessive. **(Bannoud , 2001)**

III-5-1 L'entartrage et ses conséquences :

III-5-1-1 Définition :

Le terme d'entartrage désigne l'action des sels minéraux de l'eau qui sous l'effet de la température, des concentrations,... se déposent sous la forme de dépôts plus ou moins durs et adhérents aux parois.

Les tartres les plus communément rencontrés sont ceux à base de carbonate de calcium (tout au moins pour les réseaux d'eaux sanitaires, d'eaux de chauffage à basse température). [9]

III-5-2 Conséquences :

III-5-2-1 Conséquences hydrauliques :

En réduisant les sections et en dégradant l'état des surfaces, ces tartres fortement adhérents, augmentent, à débit constant, les pertes de charge et par conséquent les dépenses énergétiques liées à la circulation des fluides. Déjà gênantes dans le cas de tuyauteries démontables et nettoyables, ces formations deviennent catastrophiques quand elles affectent les conduites enterrées. Le tartre a également un pouvoir de corrosion (par aération différentielle) .

(Megdoud, 2003)

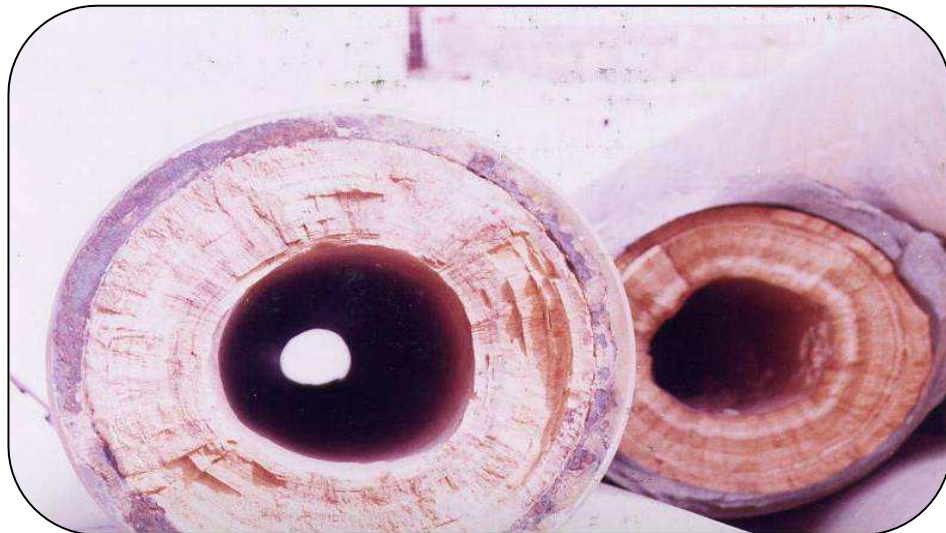


Fig.8 : Impact de l'entartrage sur les conduites d'eau potable .

III-5-2-2 Conséquences technologiques :

On peut citer l'alourdissement des structures porteuses des tours de refroidissement, réservoirs, mais aussi l'alourdissement des équipements internes qui rendent plus difficile leur manutention.

L'entartrage peut avoir pour conséquences technologiques :

- ✚ Blocage des organes de manoeuvre des robinetteries .
- ✚ Impossibilité d'obtenir l'étanchéité siège - clapet des robinetteries.
- ✚ Blocage des soupapes de sécurité.
- ✚ Diminution du volume utile des réservoirs.
- ✚ Dégradations des états de surface des appareils sanitaires.
- ✚ Entraînement de particules en suspension qui peuvent être abrasives. (Megdoud , 2003)

III-6 Procédés d'adoucissement des eaux :

Plusieurs procédés (physiques et chimiques) sont actuellement disponibles pour résoudre le problème d'entartrage :

III-6-1 L'échangeurs d'ions :

Procédé destiné à éliminer la dureté de l'eau par l'échange d'ions, l'eau dure passe sur un lit de résine cationique, préalablement saturé en sodium (Na), qui s'échange avec les ions calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}), responsables de la dureté de l'eau .

III-6-2 L'osmose inverse :

Les procédés membranaires (ultrafiltration, microfiltration, et osmose inverse) prennent une place importante et semblent être la technologie du futur pour ce type de traitement. En effet, ces procédés présentent les avantages suivants par rapport aux autres procédés :

- ✚ Pas d'ajouts d'additifs chimiques et absence de boue.
- ✚ Réduction des frais d'exploitation (énergie, main-d'oeuvre).
- ✚ Encombrement réduit.
- ✚ Possibilité d'exploitation automatique du procédé.

Bien que ces techniques aient connu un développement industriel, leur essor est ralenti par les phénomènes intrinsèques aux techniques membranaires, du coût élevé des membranes, de la polarisation et du colmatage des membranes. **(Belkcemi, 2003)**

III-6-3 Décarbonatations à la chaux :

Ce procédé est employé lorsque la dureté carbonatée est due essentiellement aux ions Ca^{+2} . Pratiquement, l'addition de chaux entraîne la précipitation du CaCO_3 (chaux seule) et $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (chaux en excès), suite à l'augmentation du pH.

La cinétique de cette réaction étant relativement lente, le procédé est accéléré soit par une recirculation des boues dans lesquelles se trouvent des germes de cristallisation déjà formés, soit en ajoutant des cristaux sur lesquels le carbonate de calcium s'agglomère (sable par exemple). L'addition de chaux nécessite de prendre plusieurs précautions pour sa mise en oeuvre : l'eau ne doit pas contenir de colloïdes en suspension pouvant gêner la cristallisation. Il est donc parfois nécessaire d'ajouter un coagulant.

La décarbonatation doit comprendre une zone de clarification appropriée pour séparer les cristaux de CaCO_3 de l'eau. Cette technique présente un inconvénient, à savoir la quantité de boues produites, mais celles-ci sont facilement déshydratées.

Cependant, il ne faut pas oublier les avantages de ce procédé : aisé à mettre en oeuvre et ne nécessitant pas l'utilisation d'équipements spécifiques.

De plus, il n'est pas contraignant en exploitation, si ce n'est les inconvénients inhérents à l'emploi de la chaux.

III-6-4 Décarbonatation au carbonate de sodium (Na_2CO_3) :

Le carbonate de sodium a pour objectif de réduire la dureté permanente, c'est-à-dire, précipité le calcium lié aux chlorures et aux sulfates en solution. (Arrouche, 2003)

III-7 L'impact de la dureté sur la santé :

Il y a eu beaucoup de publicités ces dernières années sur les effets négatifs sur la santé de la consommation d'eau adoucie mais, des études récentes ont montré que la quantité de sel consommée lors de la prise d'eau adoucie est insignifiante comparée à la quantité totale de sel absorbée chaque jour.

Quoiqu'il en soit, sur les 25 dernières années, la recherche a continué à amasser des informations sur le rôle bénéfique des minéraux dans l'eau: les études de population dans les secteurs où l'eau dure et l'eau douce se produisent naturellement, ont trouvé peu d'occurrences de maladies cardiovasculaires, de cancer, de diabète, de maladies respiratoires ou d'autres problèmes de santé dans les secteurs d'eau dure [10].

La dureté de l'eau est liée à la quantité totale de sels de calcium et de magnésium, leur présence dépend de la nature des terrains traversés par les ressources en eau utilisées.

La dureté est donc différente selon les caractéristiques hydrogéologiques de chaque région et peut ainsi varier au cours de l'année de façon naturelle.

III-1 Définition :

Dite aussi titre hydrotimétrique (TH), la dureté totale d'une eau est donnée par la concentration en ions alcalino-terreux (essentiellement Ca^{+2} et Mg^{+2}), elle ne doit pas être étudiée isolément mais dans tout un ensemble de paramètres telle que, le TAC, le pH et la température.

Elle est mesurée par le titre hydrotimétrique (TH). Cette grandeur est souvent exprimée en degrés français ($^{\circ}\text{F}$): 1°F équivaut à 10 mg/l de carbonate de calcium. Plus l'eau est riche en calcium et magnésium, plus elle est dure.

1°f correspond à :

- ✚ 4 mg de calcium.
- ✚ 2.4 mg de magnésium.
- ✚ 0,1 mmol de carbonate de calcium et de magnésium.

Tab . 9: Classification des eaux d'après le TH .(Chaouech ,2008)

TH ($^{\circ}\text{f}$)	0-5	5-12	12-25	25-50	Supérieur à 50
Eau	Très douce	Faible dureté	Moyennement dure	dure	Très dure

III-2 Les principaux éléments responsables de la dureté :

La dureté d'une eau est due à la présence des ions métalliques bivalents, Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2} , Sr^{+2} . Les plus abondants étant les ions Ca^{+2} et Mg^{+2} .

Les ions Fe^{+2} , Mn^{+2} et Sr^{+2} sont facilement oxydables et leurs impacts sur la dureté sont négligeables.

✚ **Le calcium** :est un métal alcalino-terreux très répandu dans la nature.

Les eaux potables de bonne qualité ayant des teneurs en calcium comprises entre 100 et 140 mg/l. La directive de l'OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 200 mg/L.

✚ **Le magnésium** : est un des éléments aussi très répandus dans la nature, il constitue environ 2,5 % dans l'écorce terrestre. La directive de la communauté européenne recommande un niveau guide de 30 mg/l et l'OMS recommande pour sa limite supérieure une teneur de 85 mg/l. (Rumeau, 1998)

III-3 Les types de dureté :

III-3-1 La dureté totale ou hydrométrique TH :

Elle présente la somme des concentrations de calcium et magnésium en mg/l.

III-3-2 La dureté temporaire ou carbonatée :

C'est la quantité de bicarbonates de calcium ou de magnésium ou de fer présentes dans un litre d'eau. Ce genre de dureté peut être éliminé par simple chauffage .

III-3-3 La dureté permanente :

Elle est déterminée par la quantité de sulfates, de chlorures, et de phosphates présentes dans un litre d'eau.

III-3-4 La dureté calcique :

Correspond à la teneur globale en sel calcium.

III-3-5 La dureté magnésienne :

Correspond à la teneur en sels de magnésium.

La somme des deux duretés (permanente et temporaire) donne la dureté totale de l'eau ou ce qu'on appelle titre hydrométrique. $TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$

III-4- La relation qui existe entre la dureté temporaire et la dureté permanente :

La dureté permanente = dureté totale - titre alcalimétrique complet

La dureté permanente = TH - TAC

La dureté temporaire = TH (total) = TAC si on a seulement HCO_3^-

La dureté totale = TH [Ca²⁺] + TH [Mg²⁺].[8]

III-5 L'impact de la dureté sur les utilisations domestiques :

L'eau dure n'est pas mauvaise pour la santé. Au contraire, il semble que les populations alimentées en eau naturellement dure sont moins sujettes à l'infarctus du myocarde. En revanche, l'eau adoucie peut présenter certains inconvénients tels que pour des localités ayant des anciennes canalisations en plomb induit à la Solubilité du Plomb.

L'utilisation domestique des eaux dures pose les principaux problèmes suivants:

- ✚ Entartrage des appareils et des canalisations d'eau.
- ✚ Consommation d'énergie.
- ✚ Consommation de lessive. (Bannoud , 2001)

III-5-1 L'entartrage et ses conséquences :

III-5-1-1 Définition :

Le terme d'entartrage désigne l'action des sels minéraux de l'eau qui sous l'effet de la température, des concentrations,... se déposent sous la forme de dépôts plus ou moins durs et adhérents aux parois.

Les tartres les plus communément rencontrés sont ceux à base de carbonate de calcium (tout au moins pour les réseaux d'eaux sanitaires, d'eaux de chauffage à basse température). [9]

III-5-2 Conséquences :

III-5-2-1 Conséquences hydrauliques :

En réduisant les sections et en dégradant l'état des surfaces, ces tartres fortement adhérents, augmentent, à débit constant, les pertes de charge et par conséquent les dépenses énergétiques liées à la circulation des fluides. Déjà gênantes dans le cas de tuyauteries démontables et nettoyables, ces formations deviennent catastrophiques quand elles affectent les conduites enterrées. Le tartre a également un pouvoir de corrosion (par aération différentielle) .

(Megdoud, 2003)

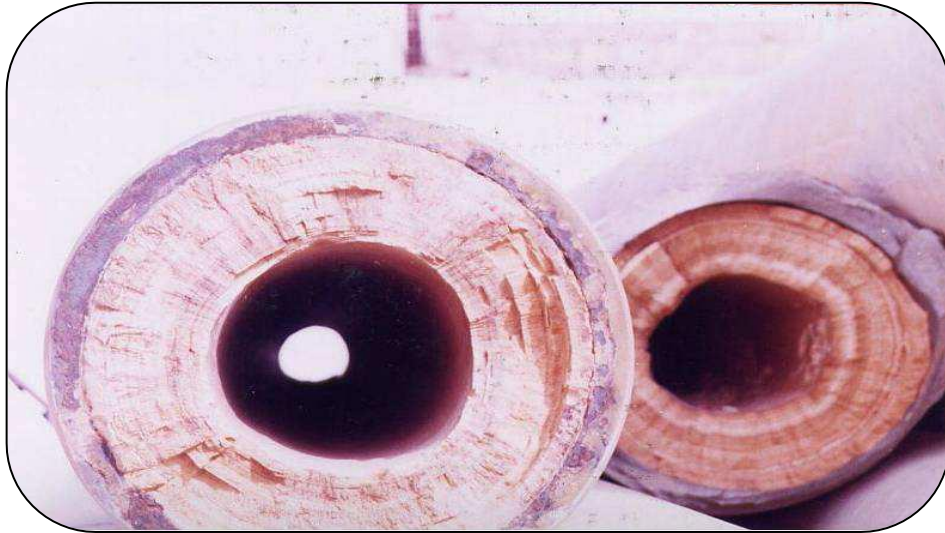


Fig.8 : Impact de l'entartrage sur les conduites d'eau potable .

III-5-2-2 Conséquences technologiques :

On peut citer l'alourdissement des structures porteuses des tours de refroidissement, réservoirs, mais aussi l'alourdissement des équipements internes qui rendent plus difficile leur manutention.

L'entartrage peut avoir pour conséquences technologiques :

- ✚ Blocage des organes de manoeuvre des robinetteries .
- ✚ Impossibilité d'obtenir l'étanchéité siège - clapet des robinetteries.
- ✚ Blocage des soupapes de sécurité.
- ✚ Diminution du volume utile des réservoirs.
- ✚ Dégradations des états de surface des appareils sanitaires.
- ✚ Entraînement de particules en suspension qui peuvent être abrasives. (Megdoud , 2003)

III-6 Procédés d'adoucissement des eaux :

Plusieurs procédés (physiques et chimiques) sont actuellement disponibles pour résoudre le problème d'entartrage :

III-6-1 L'échangeurs d'ions :

Procédé destiné à éliminer la dureté de l'eau par l'échange d'ions, l'eau dure passe sur un lit de résine cationique, préalablement saturé en sodium (Na), qui s'échange avec les ions calcium (Ca^{+2}) et magnésium (Mg^{+2}), responsables de la dureté de l'eau .

III-6-2 L'osmose inverse :

Les procédés membranaires (ultrafiltration, microfiltration, et osmose inverse) prennent une place importante et semblent être la technologie du futur pour ce type de traitement. En effet, ces procédés présentent les avantages suivants par rapport aux autres procédés :

- ✚ Pas d'ajouts d'additifs chimiques et absence de boue.
- ✚ Réduction des frais d'exploitation (énergie, main-d'oeuvre).
- ✚ Encombrement réduit.
- ✚ Possibilité d'exploitation automatique du procédé.

Bien que ces techniques aient connu un développement industriel, leur essor est ralenti par les phénomènes intrinsèques aux techniques membranaires, du coût élevé des membranes, de la polarisation et du colmatage des membranes. (**Belkcemi, 2003**)

III-6-3 Décarbonatations à la chaux :

Ce procédé est employé lorsque la dureté carbonatée est due essentiellement aux ions Ca^{+2} . Pratiquement, l'addition de chaux entraîne la précipitation du CaCO_3 (chaux seule) et $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (chaux en excès), suite à l'augmentation du pH.

La cinétique de cette réaction étant relativement lente, le procédé est accéléré soit par une recirculation des boues dans lesquelles se trouvent des germes de cristallisation déjà formés, soit en ajoutant des cristaux sur lesquels le carbonate de calcium s'agglomère (sable par exemple). L'addition de chaux nécessite de prendre plusieurs précautions pour sa mise en oeuvre : l'eau ne doit pas contenir de colloïdes en suspension pouvant gêner la cristallisation. Il est donc parfois nécessaire d'ajouter un coagulant.

La décarbonatation doit comprendre une zone de clarification appropriée pour séparer les cristaux de CaCO_3 de l'eau. Cette technique présente un inconvénient, à savoir la quantité de boues produites, mais celles-ci sont facilement déshydratées.

Cependant, il ne faut pas oublier les avantages de ce procédé : aisé à mettre en oeuvre et ne nécessitant pas l'utilisation d'équipements spécifiques.

De plus, il n'est pas contraignant en exploitation, si ce n'est les inconvénients inhérents à l'emploi de la chaux.

III-6-4 Décarbonatation au carbonate de sodium (Na_2CO_3) :

Le carbonate de sodium a pour objectif de réduire la dureté permanente, c'est-à-dire, précipité le calcium lié aux chlorures et aux sulfates en solution. (Arrouche, 2003)

III-7 L'impact de la dureté sur la santé :

Il y a eu beaucoup de publicités ces dernières années sur les effets négatifs sur la santé de la consommation d'eau adoucie mais, des études récentes ont montré que la quantité de sel consommée lors de la prise d'eau adoucie est insignifiante comparée à la quantité totale de sel absorbée chaque jour.

Quoiqu'il en soit, sur les 25 dernières années, la recherche a continué à amasser des informations sur le rôle bénéfique des minéraux dans l'eau: les études de population dans les secteurs où l'eau dure et l'eau douce se produisent naturellement, ont trouvé peu d'occurrences de maladies cardiovasculaires, de cancer, de diabète, de maladies respiratoires ou d'autres problèmes de santé dans les secteurs d'eau dure [10].

Partie I : Les paramètres liés à la dureté

1-Le titre hydrotimétrique (TH) :

La réglementation ne prévoit pas de seuil maximale, les eaux très dure (au-delà de 25°f) favorise la formation de tartre alors que les eaux très douces (moins de 5°f) peuvent provoquer des phénomènes de corrosion. Il est admis donc qu'une dureté comprise entre 5 et 12°f est idéale.

La valeur la plus faible est de 21°f enregistrée au mois de Septembre avant et après traitement, cependant la valeur la plus élevée est de 24°f enregistrée durant les mois de (Décembre, Janvier, Février et avril) aussi bien pour l'eau brute que pour l'eau traitée.

Ces valeurs obtenues indiquent que les eaux du barrage sont moyennement dures selon la grille de classification de l'O.M.S.(fig.17).

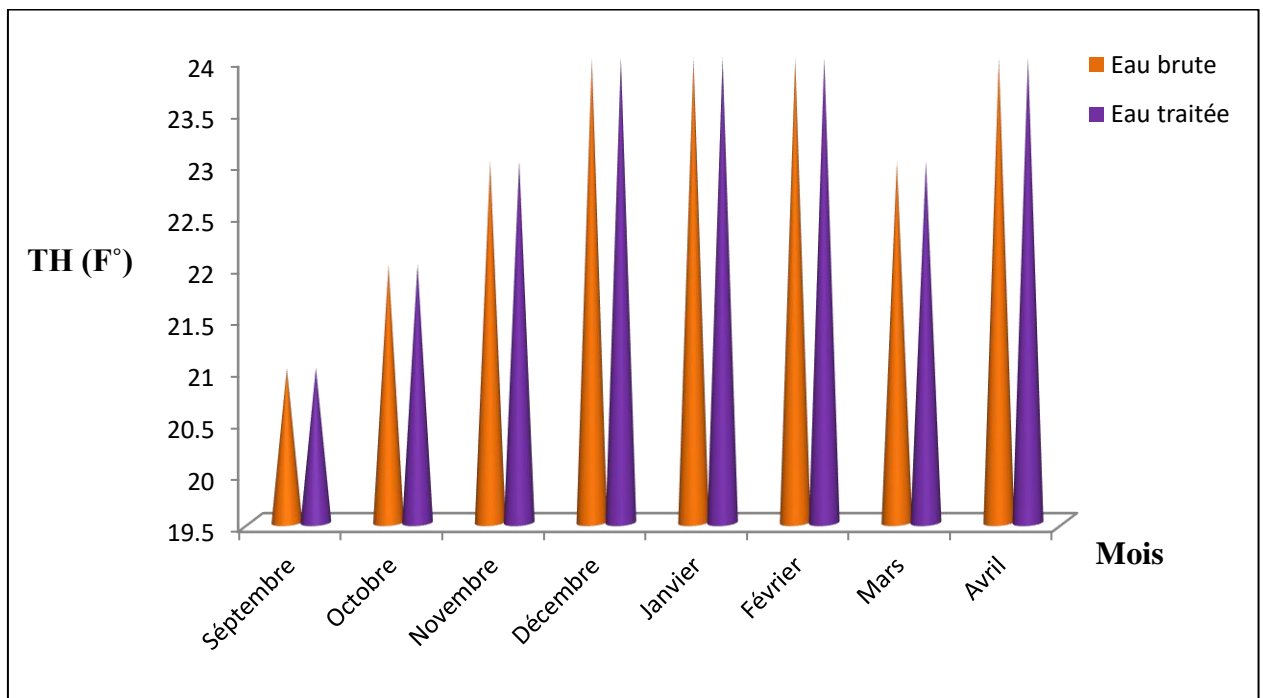


Fig .17 : Variation mensuel de la dureté totale pendant la période 2012-2013.

2-La température :

La température joue un rôle important dans l'augmentation de l'activité chimique, bactérienne et de l'évaporation des eaux. Elle varie en fonction de la température extérieure (air), des saisons, de la nature géologique et enfin de la profondeur du niveau d'eau par rapport à la surface du sol.

La température des échantillons d'eau à tendance à augmenter ou à diminuer dans les deux points de prélèvement, ceci dépend généralement de l'ensoleillement et des échanges avec l'atmosphère.

La température minimale obtenue est de 9,9°C, enregistrée pour l'eau traitée, pendant le mois de Février, cependant la température maximale est de 14,5°C enregistrée au mois d'Avril dans le même point.

Les températures enregistrées durant la période d'étude (comprise entre 9,9-14,5°C) et selon la norme ce sont des valeurs valables (fig.18).

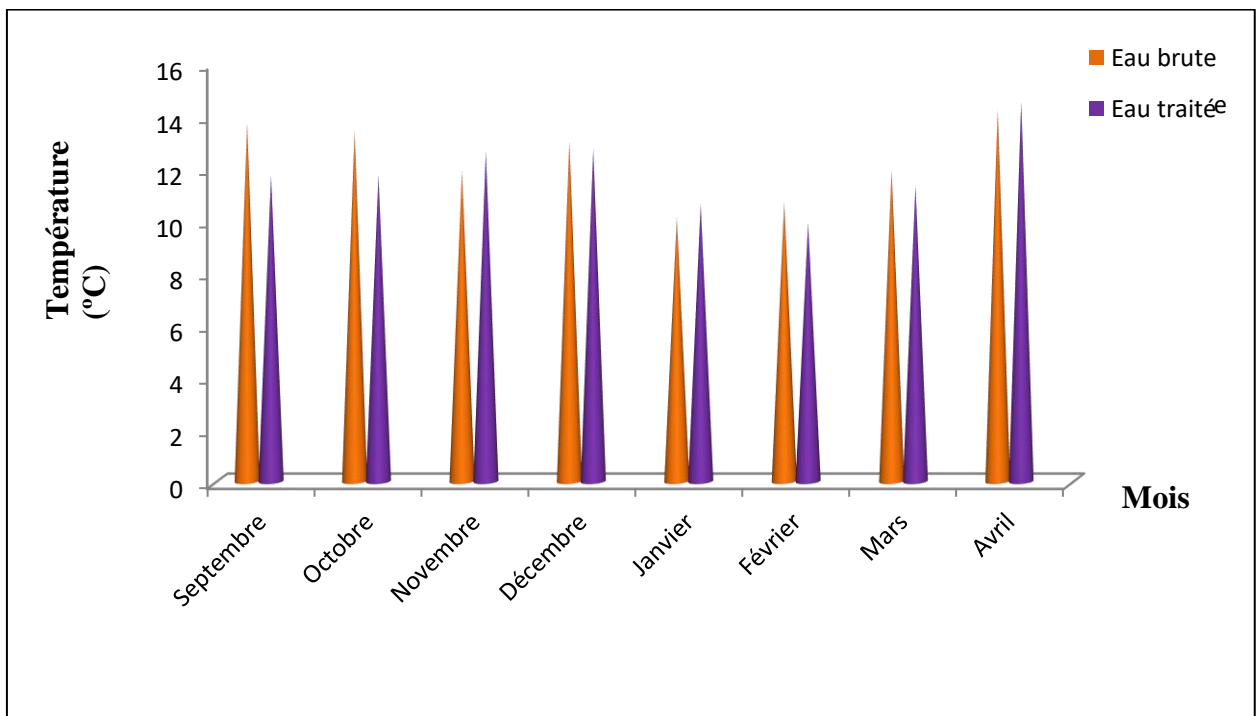


Fig.18 : Variation mensuel de la température pendant la période 2012-2013.

3-Le pH :

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité, il est lié à la nature de terrains traversés, à pH égale à sept l'eau est dite neutre, à un pH inférieur à sept l'eau est dite acide et à un pH supérieur à sept, elle dite basique.

Le pH de barrage est généralement neutre, il oscille entre 6,4 et 7,91. La valeur la plus élevée est enregistrée au mois de Mars pour l'eau brute, la plus faible est observée dans l'eau traitée pendant le mois de Décembre.

Les valeurs du pH enregistrées ont permis de classer aussi les eaux du barrage en eau de bonne qualité et ceci selon les normes.

En générale dans le cas des eaux du barrage de Hammam Debagh, le pH est légèrement alcalin mais il reste toujours conforme aux normes algériennes et n'on utilise pas des produits pour élever ou diminuer le pH (fig.19).

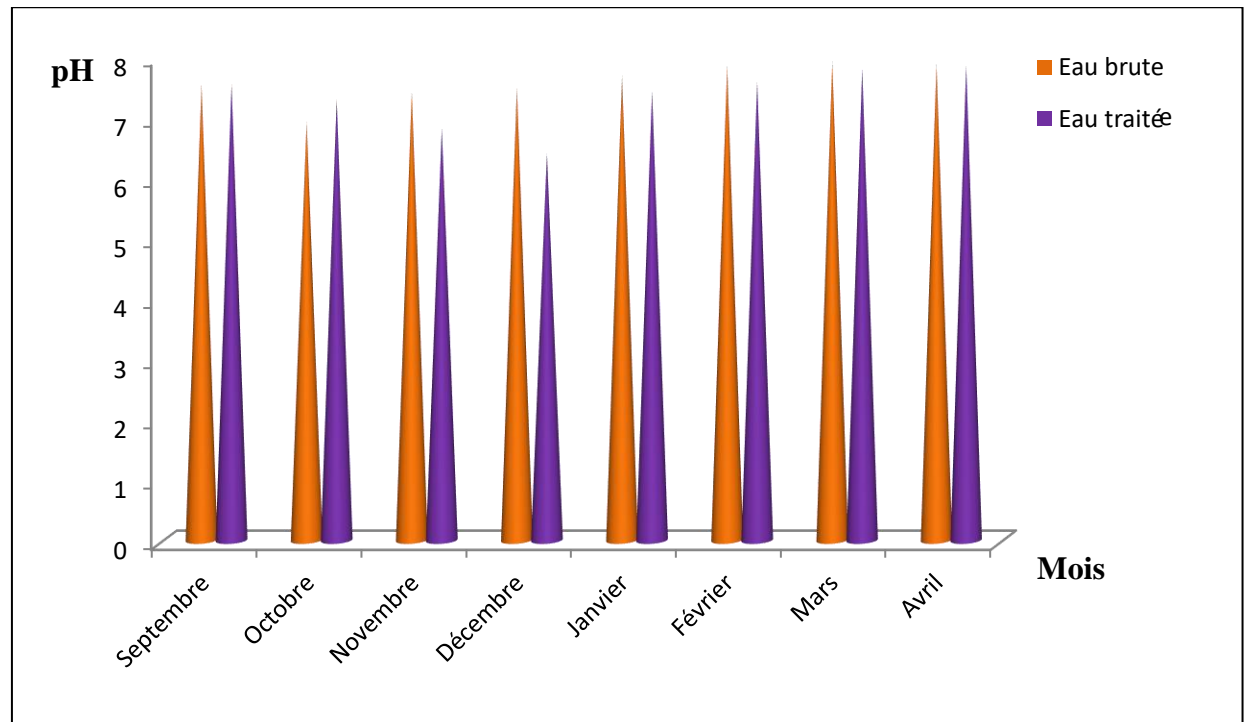


Fig.19 : Variation mensuel des valeurs du pH pendant la période 2012-2013.

4-La conductivité électrique :

Elle traduit la minéralisation d'une eau, c'est-à-dire la concentration en sels dissous, par conséquent aux valeurs fortes de conductivité électrique correspond les valeurs élevées de la concentration en sels dissous. La conductivité est également influencée par la température car la dissolution des sels minéraux dépend de celle-ci.

La valeur la plus faible est de 458 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrée au mois de Septembre 2012 pour l'eau traitée, la plus élevée est 611 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrée pour l'eau traitée au mois d'Avril.

Les valeurs enregistrées pour ce paramètre sont relativement constantes pendant toute la période de l'étude à l'exception de la valeur accentuée et remarquable obtenue durant le mois

d'Avril qui coïncide avec la période de l'effet conjugué de l'élévation de température et de l'évaporation de l'eau (fig.20) .

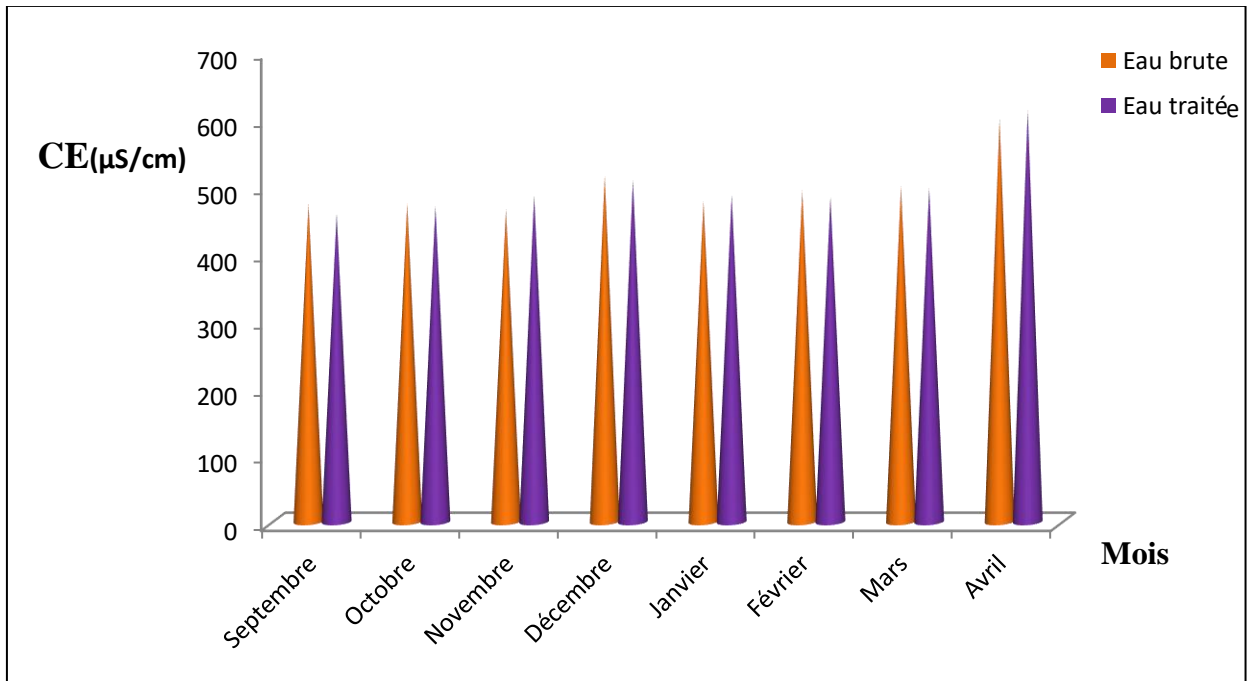


Fig .20 : Variation mensuel de la conductivité électrique pendant la période 2012-2013.

5-L'alcalinité complète (TAC) :

Le titre alcalimétrique complet (TAC) correspond à la teneur de l'eau en alcalis libre, carbonate et hydrogencarbonate.

A l'exception de la valeur de TAC enregistrée Pour l'eau traitée durant le mois de Mars de l'ordre de (0) et qui peut être expliquée fort probablement par une fausse manipulation lors du dosage qui s'est glissée quelque part , le reste des valeurs de ce paramètre fluctuent au alentour de (0-12,5°f) toujours pour l'eau traitée tandis que les valeurs de l'eau brute oscillent entre 11 et 12,5°f . A cet effet on peut constater que la plage de variation de ce paramètre est dans les normes selon la grille de classification OMS (fig.21).

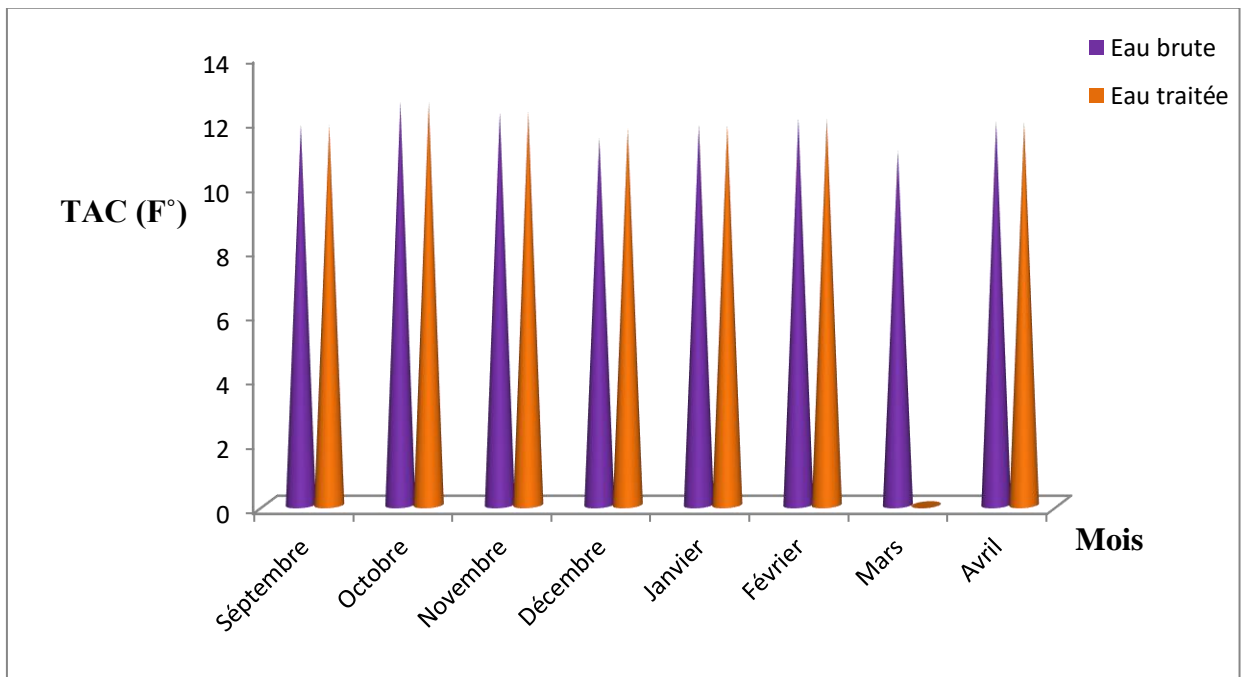


Fig.21 : Variation mensuelle du titre alcalimétrique complet pendant la période 2012-2013.

6-Calcium (Ca^{+2}) :

Le calcium est un métal alcalinoterreux extrêmement répandu dans la nature dans les roches calcaire sous forme de carbonate, sa teneur dans les eaux superficielles varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés.

La valeur la plus faible est 58,8 mg/l enregistrée durant les mois de Décembre, Mars et Avril de l'eau traitée et brute, la plus élevée est 61,93 mg/l enregistrée au mois de Novembre de l'eau brute et traitée (fig.22).

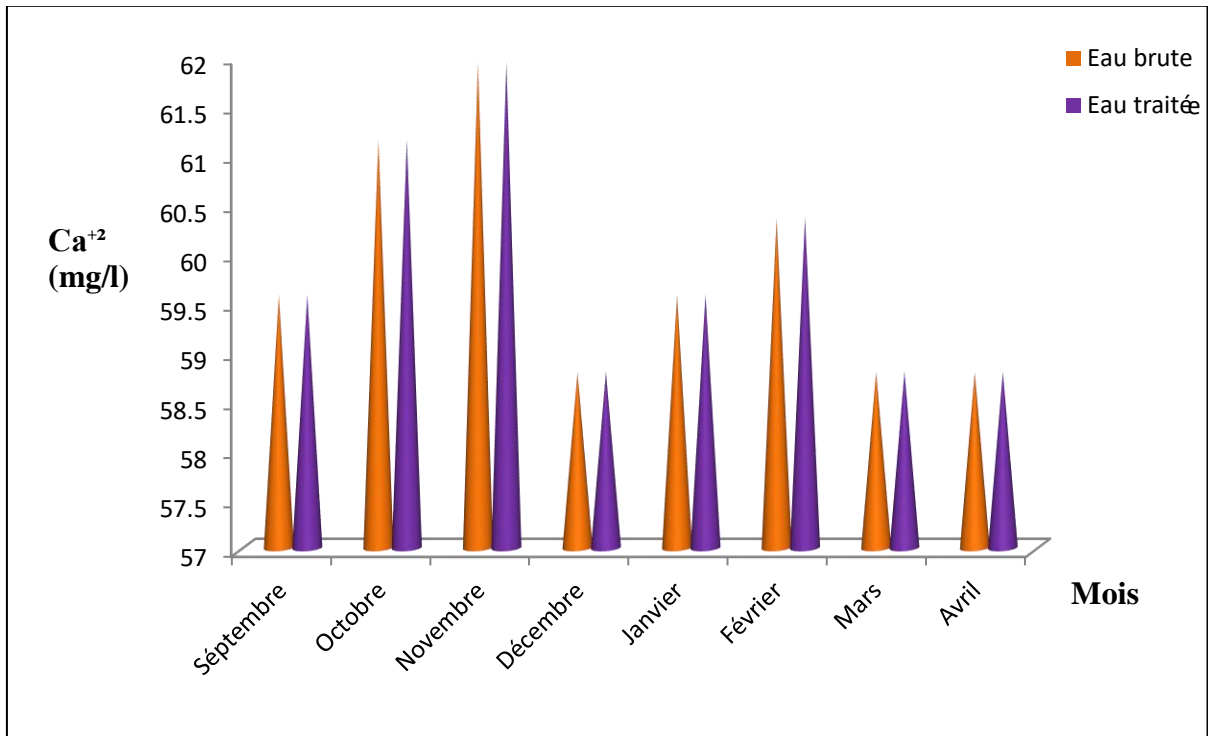


Fig.22 : Variation mensuel du calcium pendant la période 2012-2013.

7-Magnésium (Mg^{+2}) :

Le magnésium présent dans l'eau peut se trouver à l'état soluble ou en suspension ou se forme complexe, sa solubilité dépend du pH, de l'oxygène dissous et de la présence d'agent complexant.

La valeur la plus faible est 15,99 mg/l enregistrée au mois de Septembre, de l'eau traitée et brute, la plus élevée est 22,57 mg/l enregistrée au mois de Mars de l'eau brute et traitée (fig.23).

La concentration des sels et en particulier Mg^{+2} et Ca^{+2} qui influencent directement les variations de la dureté de l'eau est beaucoup plus liée aux activités anthropiques, la nature géologique des terrains avoisinant le barrage, et aux facteurs climatologiques .

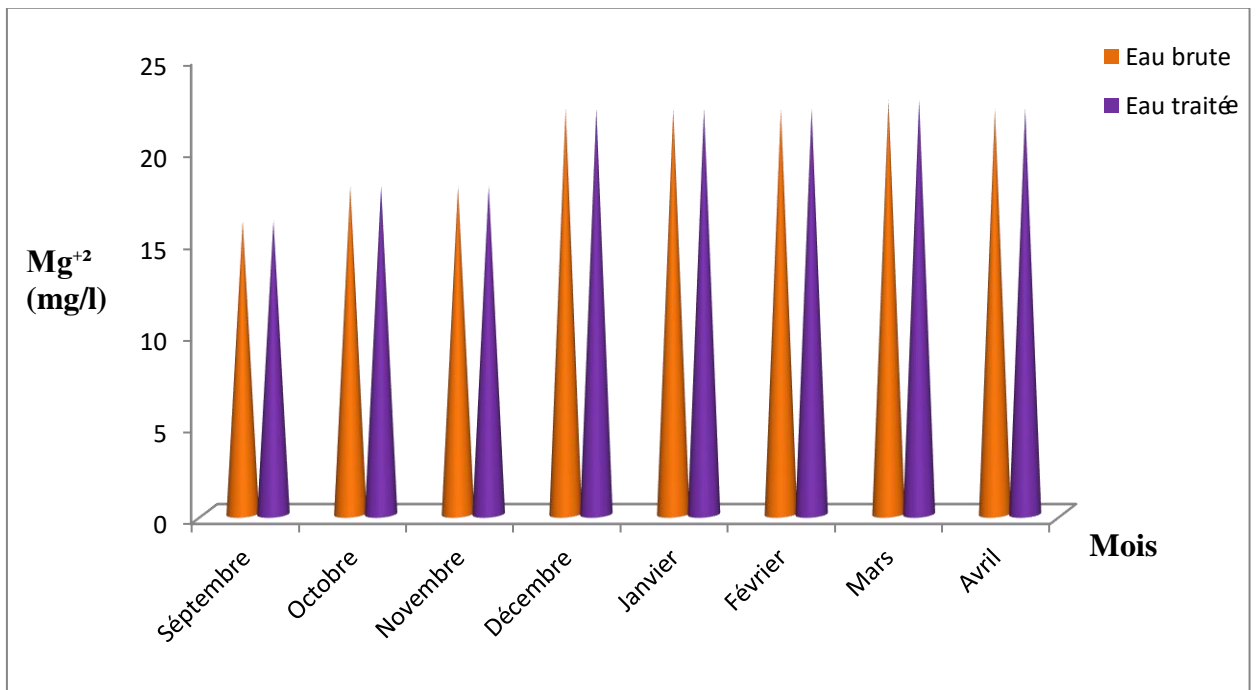


Fig.23 : Variation mensuel du magnésium pendant la période 2012-2013.

Partie II : Corrélation et régression linéaire

Pour mieux expliquer la variabilité de la dureté totale de l'eau en fonction des différents paramètres qui sont étroitement liées à cette variabilité, un calcul statistique nous a permis de relier à chaque fois la dureté totale en tant que paramètres à expliquer aux différents paramètres explicatifs.

Le logiciel utilisé est le logiciel de calcul symbolique Maple 9.5 ce logiciel permet de traiter une grande variété de calculs mathématiques.

La bibliothèque **stats** de Maple permet d'effectuer tous les calculs statistiques dont on a besoin.

Les commandes utilisés sont **fit [leastsquare]** pour tracer la régression linéaire, et **stats [describe,linearcorrelation]** pour calculer le coefficient de corrélation .

1-Coefficient de corrélation :

Le coefficient de corrélation r désigne en sa valeur l'intensité du lien linéaire entre les variables X et Y et est donné par la formule suivante :

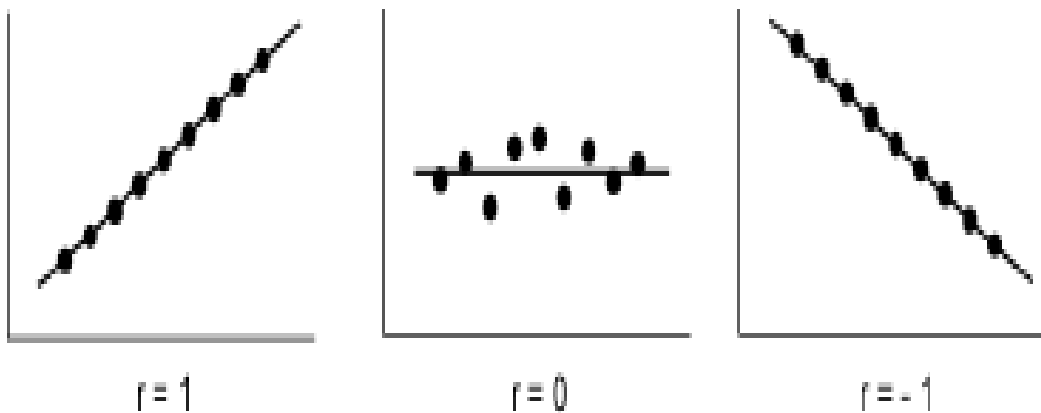
$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{s(X, Y)}{s(X) s(Y)}$$

Le coefficient de corrélation est toujours compris entre -1 et 1, puisqu'une somme de carrés est nécessairement positive.

De telle façon que, si X et Y varient dans le même sens, r est positif; sinon, il est négatif.

Le coefficient de corrélation présente les valeurs remarquables suivantes:

- Si $|r| = 1$, il y a une relation fonctionnelle linéaire entre X et Y;
- Si $r = 0$, Y est indépendante de X: la covariance est nulle et la droite de régression est horizontale.
- la liaison entre X et Y est d'autant plus intime que $|r|$ est voisin de 1, et d'autant plus faible que $|r|$ est voisin de 0.



2- Droite de régression :

Après avoir calculé r entre les variables x et y et testé la validité de ce lien on passe à la construction de la droite de régression linéaire ou droite d'estimation par la méthode des moindres carrés ordinaires qui a pour but de décrire la relation entre une variable aléatoire dépendante ou variable réponse Y et un ensemble de variables indépendantes ou explicatives ou prédictives X .

Le tracé de cette droite sur le même graphique que le nuage de points est celui qui s'ajuste le mieux au nuage de points. L'équation de cette droite est de la forme $y = a x + b$ où "a" est l'ordonnée à l'origine et "b" c'est la pente.

2-1 La température :

L'eau traitée : les valeurs de température sont presque les mêmes (stables) => on a un coefficient de corrélation qui tend vers 0 et une droite de régression à peu près horizontale donc la relation est très faible.

L'eau brute : les deux paramètres varient dans le sens inverse autrement dit quand les valeurs de températures diminuent légèrement à contre partie les valeurs de la dureté augmentent du même rythme. Le signe négatif du coefficient de corrélation ($r = -0,44$) et la pente de la droite de régression le confirme.

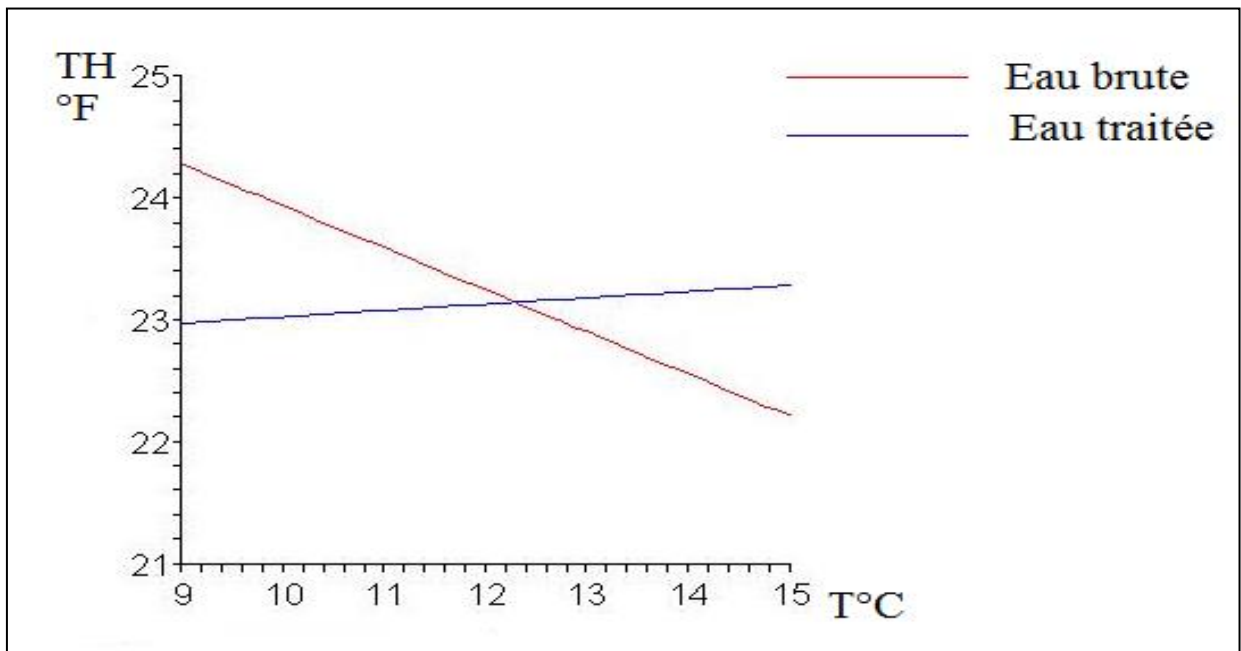


Fig. 24 : Représentation schématique de la droite de régression de la dureté en fonction de la température.

2-2 Le pH :

Selon les coefficients de corrélation obtenus pour les variations de la dureté totale en fonction du pH ainsi que les droites de régressions, on a pu constater que les valeurs de pH légèrement alcalin obtenus pour l'eau brute avaient une influence remarquable sur la variabilité de la dureté, tandis que la relation entre le pH et la dureté pour l'eau traitée diminue se traduisant par l'allure presque horizontale de la droite de régression et la valeur de $r = 0,08$.

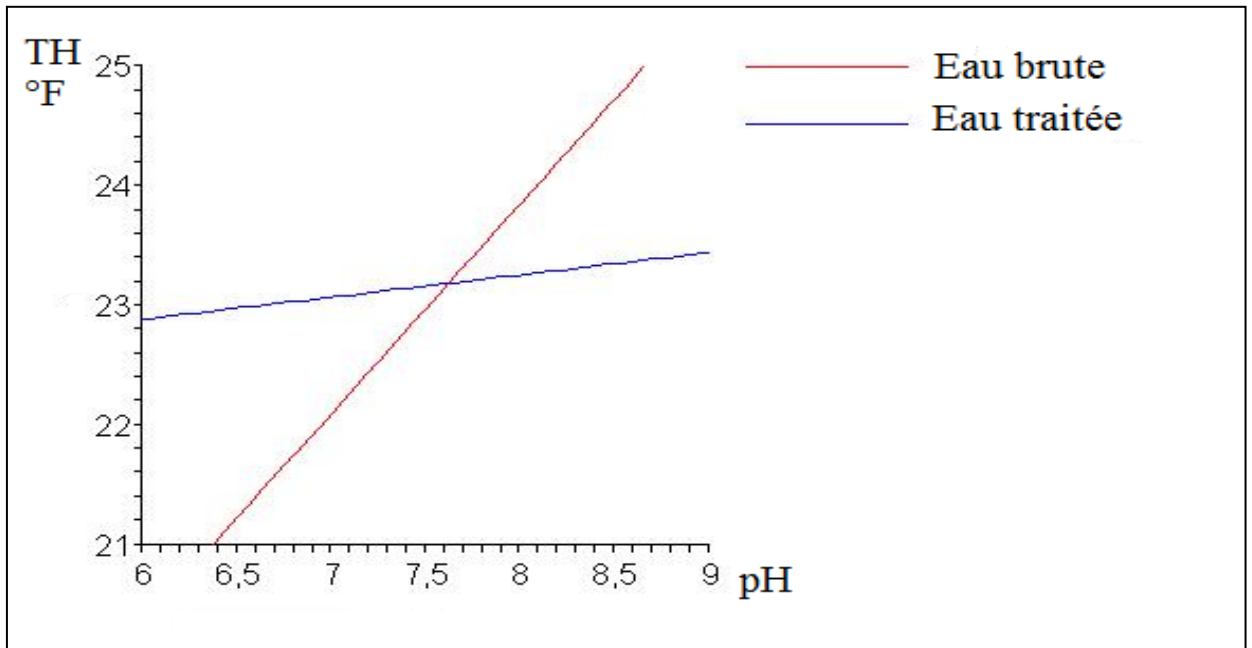


Fig .25 : Représentation schématique de la droite de régression de la dureté en fonction du pH .

2-3 La conductivité électrique :

D'après les valeurs calculées de r et le tracé de la droite de régression, on note que la conductivité ou concentration de l'eau en sels dissous est un paramètre fortement lié à la dureté de l'eau, il ya lieu également à noter que la valeur positive de $r = 0,54$ confirme notre raisonnement.

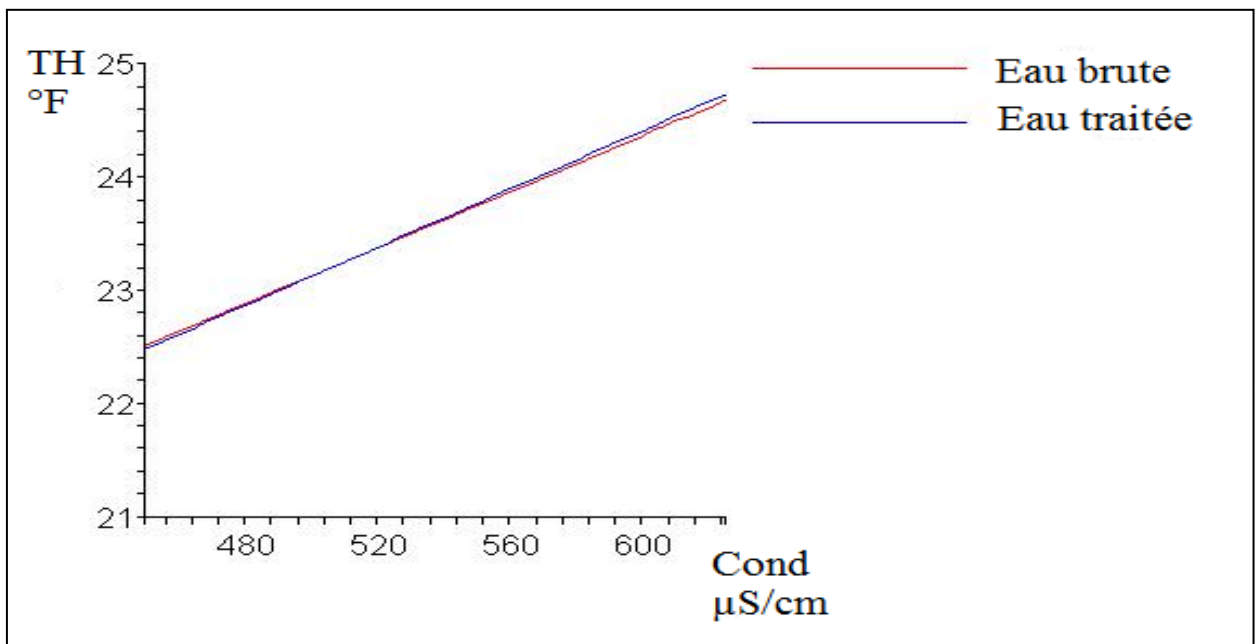


Fig .26 : Représentation schématique de la droite de régression de la dureté en fonction du conductivité électrique.

2-4 Calcium (Ca^{+2}) :

La figure 27 a montré que la dureté de l'eau et la concentration en Ca^{+2} sont faiblement corrélée ($r=-0,25$) cela se traduit par le fait qu'il n'y a pas de grandes fluctuations aux niveaux des valeurs de concentrations des ions Ca^{+2} durant toute la période de l'étude .

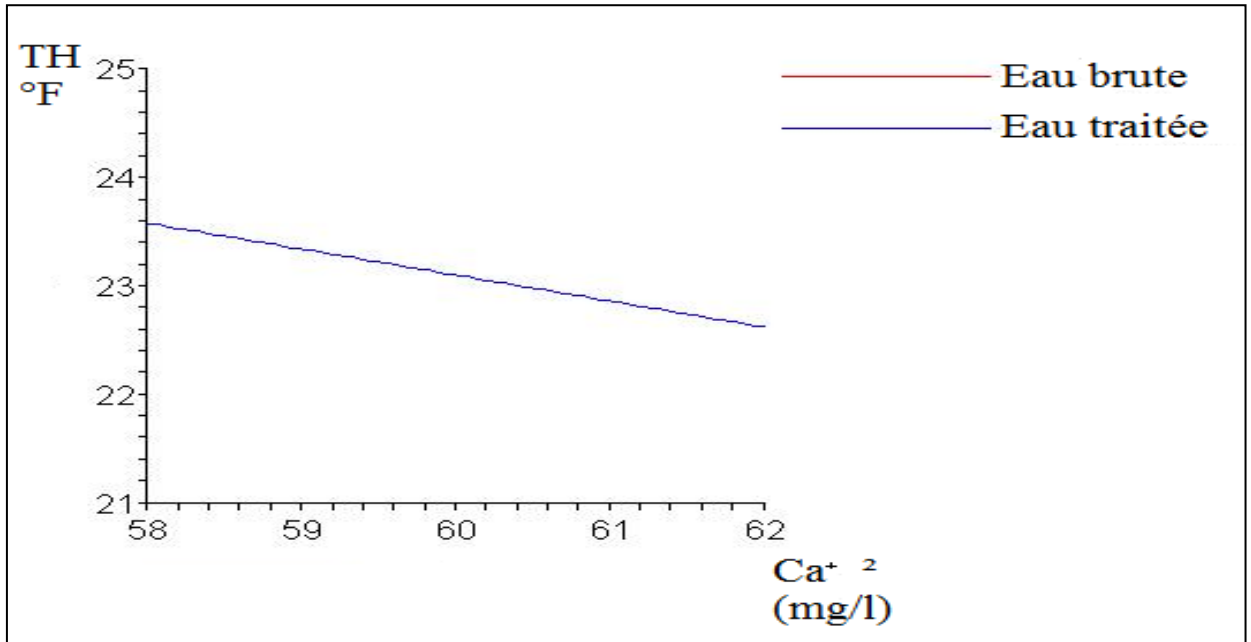


Fig .27 : Représentation schématique de la droite de régression de la dureté en fonction du calcium.

2-5 Magnésium (Mg^{+2}) :

Suivant la pente raide de la droite de régression qui présente un ordonné à l'origine "a" plus proche aux coordonnées (0,0) comme le montre la figure 28 et d'autre part la valeur positive de r la plus élevée ($r=0,87$) ,il en résulte donc que la dureté de l'eau avant et après traitement est extrêmement liée aux variations des concentrations des ions Mg^{+2} .

On peut conclure que la dureté de l'eau est fortement liée aux variations des concentrations de l'eau en sels dissous et plus particulièrement les ions Mg^{+2} .

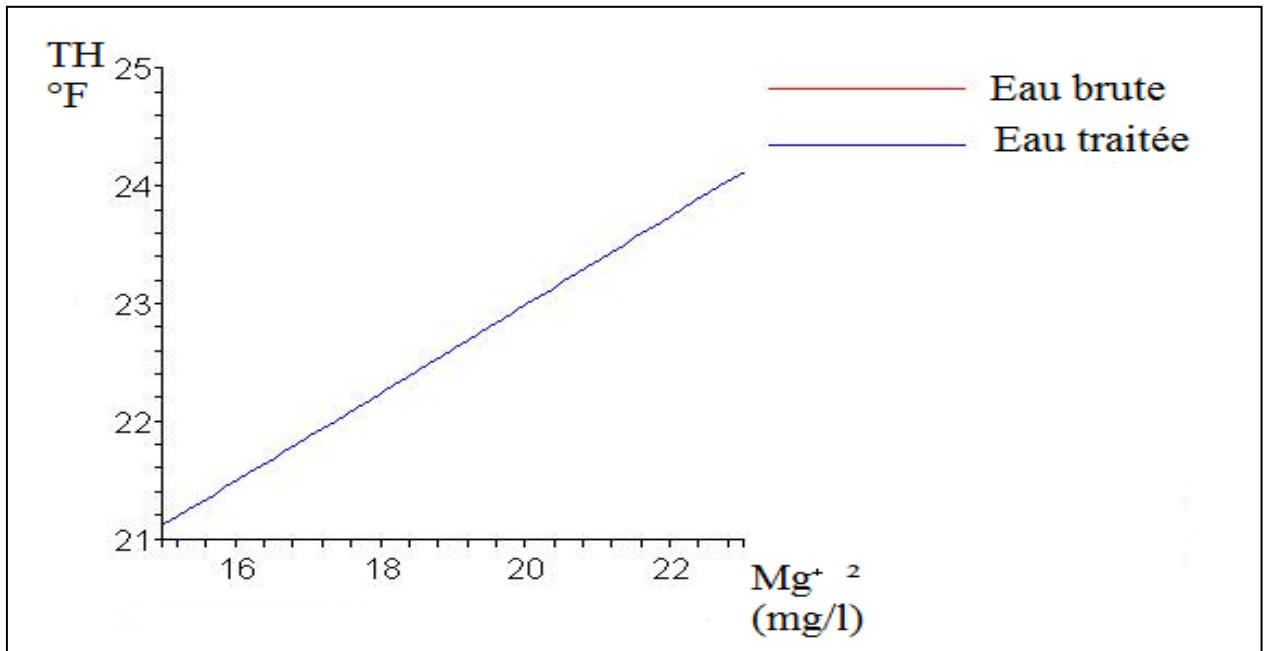


Fig .28 : Représentation schématique de la droite de régression de la dureté en fonction du magnésium.

Conclusion :

Notre travail a été réalisé au sein du laboratoire de la station des traitement des eaux de Hammam Debagh . A cet effet des dizaines d'analyses physico-chimiques ont été effectuées qui nous ont permis d'apprendre les différentes techniques et au même temps comprendre au mieux toute la procédure de traitement.

La mesure de la dureté totale de l'eau, ainsi les autres éléments qui l'influence s'effectue au terme d'une fois par mois du fait que sa faible variabilité.

Les résultats obtenus pendant la période de l'étude montrent une différence notable entre les valeurs des différents paramètres obtenues avant et après traitement. Cela s'explique par un décroissement des valeurs en passant des eaux brutes aux eaux traitées. A la lumière de ces résultats on peut constater un bon déroulement du processus du traitement à partir du bassin de mélange passant par la décantation et la filtration jusqu'au stockage de l'eau au niveau du réservoir avant d'être pompé dans les canaux, à cela s'ajoute la qualité et la quantité des réactifs utilisés dont les doses sont bien respectées.

En définitif, il reste à retenir les points suivants :

- La température mensuelle trouvée est habituelle dans de telles conditions climatiques, qui sont en relation étroite avec la température ambiante (température de saison hivernale et estivale).
- Le pH retrouvé est d'une neutralité approchée.
- L'eau de cette station durant toute la période de l'étude possède une minéralisation accentuée qui n'a pas dépassée une valeur de 611 $\mu\text{S}/\text{cm}$ enregistrée pour l'eau traitée.
- Les valeurs retrouvées de la dureté ($21^{\circ}\text{f} < \text{TH} < 24^{\circ}\text{f}$) indique que les eaux du barrage sont moyennement dures et ce selon les normes OMS .
- Le titre alcalimétrique complet nous a donné une idée sur les teneurs en carbonates sont acceptables pour ce type d'eau.
- Les valeurs retrouvées du calcium et du magnésium sont assez élevées ce qui explique la hausse des valeurs de la dureté.
- Le paramètre qui est le plus étroitement lié à la dureté totale de l'eau après le calcul statistique est la conductivité et en particulier les ions Mg^{+2} .

Quelques recommandations :

A la lumière de cette étude qui nous a permis de qualifier les eaux pompées par la station de Hammam Debagh Sont destinées à la consommation humaine sur un large périmètre de qualité moyennement dure , il est donc indispensable, en tant que scientifiques et universitaires, de proposer quelques recommandations qu'on espère être pris en considération par le laboratoire de la station et ce dans le but de perfectionner la procédure de traitement y compris les techniques d'analyses :

- ❖ La mise en place d'un appareillage très sophistiqué.
- ❖ Utiliser des techniques qui donnent des résultats plus fiables que possible.
- ❖ Augmenter la fréquence de prélèvement, un prélèvement hebdomadaire au lieu d'un prélèvement mensuel.
- ❖ Adoucissement de l'eau
- ❖ Dosage des métaux lourds.
- ❖ Dosage des pesticides pour avoir une analyse complète de l'eau.

Références bibliographiques :

- 1- A. mizi, 2006** . traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de bejaia et valorisation des déchets oléicoles. thèse de doctorat. université de badji mokhtar. annaba. 29p.
- 2- Arrouche. s, Hakim. h 2003.** etude du colmatage d'une membrane d'osmose inverse, recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du sud, 99 p.
- 3- Agence National des Barrages (ANB),**fiche technique du barrage hammame debagh, rapport et documents inédits.
- 4- Anonyme, 2002.**traitement des eaux de surface.edition ade .
- 5- Anonyme, 1996 ;**,manuel de qualité des eaux traitées.edition :ade .
- 6- Boubidi .w ,fardjallah .s,saidia.n ,2007-**traitement et critères de potabilité de l'eau(les normes), memoires de l'ingenierie,université de 8 mai1945 ,5-6-8-9-10-11 p .
- 7- Benslimane.r , 2001** . contribution à l'étude des eaux résiduaires de la ville de biskra et sa périphérie, diagnostic global , mémoire de l'ingénierie,université annaba, 62p.
- 8- Bannoud. a.h 2001.** elimination de la dureté et des sulfates contenus dans les eaux par nanofiltration, desalination, 137, 133-139 p .
- 9- Belkcemi. m, Benseddouk. k, Nezzal. g 2003.** traitement par osmose inverse d'une eau de forage, beb azzouer algérie. recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du sud, 41 p.
- 10- Benchaiba.leila , 2006.**condition d'écoulement et impact sur la mobilisation des ressources en eau.basin versant de l'oued bouhemdane (w. guelma ,est algerien).mémoire de magistère, batna, université el hadj lakhdar,213p .
- 11-chaouch .r ,moumed.s,mebarki .f .2008.** suivi de quelques paramètres physicochimiques et bacteriologiques dans les eaux du barrage et de l'oued de bouhamdane .memoire d'ingenieur ,université 8 mai 1945 , 8-10 p.
- 12-Claude cardot. (1999).** génie de l'environnement, les traitements de l'eau. editionellipses. paris. 62-63-30-40 p.
- 13- Chaouech.r ,moumed.s,mebarki.f ,2008** –suivi de quelques paramètres physicochimiques et bactériologique dans les eaux du barrage et de l'oued de bouhamdane , mémoire de l'ingénierie,université 8 mai 1945, 43p.
- 14- Degremont. 1989.** mémento technique de l'eau, technique et documentation, tome 1 .5, 24,25-76 p.
- 15- Fiessinger f.(1976).** la coagulation : errements anciennes et nouveaux, tsm . 147-162p .

- 16- kettab a.(1992) .**traitement des eaux "les eaux potable", o.p.u, alger .72p.
- 17-Laetitia citeau. 2004 .** etude des colloïdes naturels présents dans les eaux gravitaires des sols contaminés. unité de science du sol. versailles et ina-pg.82p.
- 18-Lengo, k.m. 1994.** effets comparés de divers coagulants sur l'enlèvement de la matière organique des eaux à potabilité. école polytechnique de montréal .42p
- 19-Monod.i ,1989 .** mémento technique de l'eau tome1,2 . neuvième édition de cinquantenaire. 89-51 p.
- 20-Mekhalif .f,2009 .** reutilisation des eaux residuaires industrielles epurees comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement . mémoire de magistaire, l'université du 20 août 1955 skikda, 3-4-5p .
- 21-Masson, m. h., Canu, s., Grandvalet, y., Lyngaard-jensen, a., 1999** software sensor design based on empirical data, ecological modelling, 120, 131-139, 1999.
- 22- Megdoud. 2003.** qualité des eaux du sahara septentrional. recueil des communications des journées techniques et scientifiques sur la qualité des eaux du sud, 42 p.
- 23-Mayat.j, 1994 .**la pratique de l'eau, deuxième édition. edition : le moniteur. manuel de qualité des eaux traitées.edition :ade .382p
- 24-OMS,1994.** directives de qualité pour l'eau de boisson. volume 2. critères d'hygiène et documentation à l'appui. 56 p.
- 25- Raymond desjardins. 1997 .** le traitement des eaux. 2 eme édition. montréal.50-52p.
- 26- Rumeau. m, et pontie. m, 1998.** potabilisation d'une eau saumâtre hyperfluoruré du sénégál par déminéralisation sélective, hydrotop, marseille, 56p.
- 28- Rodier j. 1996 .** l'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 7ème édition.85p.
- 29- Rodier .j,1996 .**l'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires ,eaux de mer, 8^{ème} édition,dunod, paris , 1130 p.
- 30- Roland. v 2000.** eau, environnement et santé publique
- 31- Roymond. d 1990.** le traitement des eaux, 2eme édition, 133 p
- 32-Singleton.p,2005 .** bacteriologie : pour la medecine,la biologie et biotechnologie . 6^{ème} édition : dunod 590 p.
- 33-Valiron. f,1989 .** gestion des eaux. edition : presses de l'ecole national des ponts et chaussés . 62 p .

34-Valiron.f,1994 ;mémento du gestionnaire de l'alimentation en eau et de l'assainissement tome1, édition : technique et documentation .

sites web :

[1] : L'eau :

http://www.futura-sciences.com/fr/definition/t/developpement-durable-2/d/eau_5715/
(consultation 02/02/2013)

[2] : L'eau potable :

http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_potable#Eau_dure (consultation 15/02/2013)

[3] : Les normes de potabilité :

[Siap .faye.free /quaalité de l'eau /normes de l'eau /arrete11-01-2007qualité eau](http://Siap.faye.free.fr/quaalite_de_l'eau/normes_de_l'eau/arrete11-01-2007qualite_eau) (consultation 13-04-2013)

[4] : Cycle de l'eau :

<http://www.cieau.com/tout-sur-l-eau/le-cycle-naturel-de-l-eau> (consultation 14/03/2013)

[5]. Usage de l'eau :

[http://www.ecosociosysteme.fr/ Usages eau.html5](http://www.ecosociosysteme.fr/Usages_eau.html5) (consultation 22-03-2013)

[6] : Les colloïdes :

[http://www.univ-ubs.fr/Traitement des eaux. html](http://www.univ-ubs.fr/Traitement_des_eaux.html) (consultation 21/03/2013)

[7] :Lavage des filtres à sable :

<http://www.degremont.fr/fr/savoir-faire/eaux-municipales/eau-potable/filtration-sur-sable-aquazur-v/> (consultation 22-03-2013)

[8] : Les types de dureté :

-<http://boufaresnet.arabblogs.com/starnet/files/174243.pdf> (consultation le 20/04/2013) .

[9] : Définition D'entartrage :

<http://bernard.pironin.pagesperso-orange.fr/aquatech/entartrage.htm>(consultation 22-04-2013)

[10] : L'impact de la dureté sur la santé :

<http://www.lenntech.fr/eau-minerale/risque-sante-eau-demineralisee.htm> (consultation 14/04/2013)

[11] : Le bassin de l'oued Bouhamdane :

http://blog.aufeminin.com/blog/seeone_329661_7760583/L-Algerie/barrage-bou-hamdane-wilaya-Guelma (Consultation 16/04/2013).

[12] : Etude climatique :

<http://dreams-allye-monsite.com/rubrique,climat,1143698.html> (Consultation : 16/04/2013).

[13] : Synthèse climatique :

http://WWW.memoireonline.COM/10/08/1569/m_contribution-etude-etat_nutritionnediagnostic-foliaire-abricotier26.html (Consultation 18/04/2013)

[14] : Le quotient pluviométrique d'Emberger :

http://fr.wikipedia.org/WIKI/quotient_pluvium%C3%A9trique (consulattion : 19/04/2013)

[15] : La conductivité électrique :

http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/physico_chimie_presGen.html
(consulattion:17/04/2013)

Résultats des analyses des paramètres liés à la dureté durant la période de l'étude.

Le : 25 /9/2012

	T (C°)	pH	Cond (µS/cm)	TH (F°)	TA (F°)	TAC (F°)	Mg ⁺² (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)
Eau brute	13.7	7.54	473	21	0	11.8	15.99	59.58
Eau traitée	11.7	7.18	458	21	0	11.8	15.99	59.58

Le : 25 /10/2012

	T (C°)	pH	Cond (µS/cm)	TH (F°)	TA (F°)	TAC (F°)	Mg ⁺² (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)
Eau brute	13.4	6.92	474	22	0	12.5	17.87	61.15
Eau traitée	11.7	7.29	469	22	0	12.5	17.87	61.15

Le :18 /11/2012

	T (C°)	pH	Cond (µS/cm)	TH (F°)	TA (F°)	TAC (F°)	Mg ⁺² (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)
Eau brute	11.9	7.42	465	23	0	12.2	17.87	61.93
Eau traitée	12.6	6.82	485	23	0	12.2	17.87	61.93

Le :25 /12/2012

	T (C°)	pH	Cond (µS/cm)	TH (F°)	TA (F°)	TAC (F°)	Mg ⁺² (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)
Eau brute	13	7.49	514	24	0	11.4	22.1	58.8
Eau traitée	12.7	6.4	508	24	0	11.7	22.1	58.8

Le :6 /1/2013

	T (C°)	pH	Cond (µS/cm)	TH (F°)	TA (F°)	TAC (F°)	Mg ⁺² (mg/l)	Ca ⁺² (mg/l)
Eau brute	10.1	7.68	477	24	0	11.8	22.1	59.58
Eau traitée	10.6	7.43	486	24	0	11.8	22.1	59.58

Le : 20/2/2013

	T (C°)	pH	Cond (µS/cm)	TH (F°)	TA (F°)	TAC (F°)	Mg⁺² (mg/l)	Ca⁺² (mg/l)
Eau brute	10.7	7.85	493	24	0	12	22.1	60.36
Eau traitée	9.9	7.58	483	24	0	12	22.1	60.36

Le : 12/3/2013

	T (C°)	pH	Cond (µS/cm)	TH (F°)	TA (F°)	TAC (F°)	Mg⁺² (mg/l)	Ca⁺² (mg/l)
Eau brute	11.9	7.91	499	23	0	11	22.57	58.8
Eau traitée	11.3	7.8	496	23	0	0	22.57	58.8

Le : 21 /04/2013

	T (C°)	pH	Cond (µS/cm)	TH (F°)	TA (F°)	TAC (F°)	Mg⁺² (mg/l)	Ca⁺² (mg/l)
Eau brute	14.2	7.88	599	24	0	11.9	22.1	58.8
Eau traitée	14.5	7.85	611	24	0	11.9	22.1	58.8