



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université A. MIRA-BEJAIA
Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Mémoire de fin de cycle

Présenté par

Chalgou Tassadit et Naili Amel

Pour l'obtention du diplôme de

Master

Filière : Génie des Procédés

Option : Génie de l'Environnement

Thème

Etude physico-chimique et microbiologique de la floculation-coagulation et de l'adoucissement de l'eau du puits de forage d'Ibourassen (CEVITAL)

Soutenu le : 01/07/ 2017

Devant le Jury composé de :

Nom et Prénom	Grade		
Mr N. BELHADJ	MAA	à l'Université A.MIRA- Bejaia	Présidente
Mme H. BELKACEMI	MCA	à l'Université A.MIRA-Béjaia	Promotrice
Mr M. BEHLOUL	MCB	à l'Université A.MIRA- Bejaia	Examineur

Année Universitaire : 2016/2017

Remerciements

Nous remercions Dieu le Tout Puissant de nous avoir donné le courage, la patience et la volonté pour réaliser ce Modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur *M^{me} BELKACEMI* pour l'intérêt qu'elle a portée à ce travail et pour ses orientations, ses conseils et de ses riches connaissances.

Nous adressons également nos remerciements à toute l'équipe du Laboratoire de Méthodes Physiques d'Analyse, du Laboratoire de l'environnement et au personnel technique du bloc 11, du département de génie des procédés, faculté de technologie de l'université de Bejaia.

A l'équipe de laboratoire de microbiologie de l'université de Bejaia en particulier Monsieur **BOUKHALEFA** pour les analyses microbiologiques.

Nous n'oublierons pas les membres du jury que nous remercions d'avoir accepté de juger ce travail.

Nous ne pouvons pas oublier de remercier tous les membres de nos *familles* pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail d'abord à mes très chers parents, pour leurs soutiens, leurs encouragements, leurs sacrifices, eux qui m'ont guidé durant toutes mes années d'études vers le chemin de la réussite.

A mon cher et unique frère Youcef et sa femme Linda

A mes chères sœurs: Faroudja et son mari Djamel, Djidji et son mari Akli, Chafiaa et son mari

Mohand, sans oublier ma petite sœur Syla

A mes chers neveux : Mohand, Ahmed, Mayas, Sofiane

A mes chères nièces: Melissa, Ounissa, Malak, Tassadit

A ma très chère grande mère

A mon amie *Amel* et toute sa famille

Et sans oublier Madame *Landri* et sa famille

Tous mes amies et tous ceux que je connais qui m'ont souhaité la réussite et à toute la promotion 2017 de Génie de l'Environnement, à qui je souhaite une bonne réussite.

Tassadit

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail d'abord à mes très chers parents, pour leurs soutiens, leurs encouragements, leurs sacrifices, eux qui m'ont guidé durant toutes mes années d'études vers le chemin de la réussite.

A mon chers frères Karim et Rafik

A mes chères sœurs: Lila et son mari Mohamed, et ma petite sœur Kamilia

A mes chers neveux : Khaled et Iyade

A mes chers grands pères et grande mère

A mes chères tantes

A mon cher et unique oncle et sa femme

Et sans oublier Madame **Landri** et sa famille

A mon amie **Tassadit** qui ma toujours soutenue ainsi que toute sa famille.

A toutes mes chères amies (fella, kholoude, salima, najet, sahar, aoutef, ilham, fadila) en témoignage de leurs sincères amitiés qui nous ont liées.

A mon cher sofiane

et à toute la promotion 2017 de Génie de l'Environnement, à qui je souhaite une bonne réussite.

Amel

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction Générale.....	1

CHAPITRE I : Revue bibliographique

I. Généralités sur les eaux.....	2
I.1. La répartition de l'eau sur terre.....	2
I.2. Le cycle de l'eau.....	2
I.3. Sources et origines des eaux.....	3
I.3.1. Eau de pluies.....	3
I.3.2. Eau de mer.....	3
I.3.3. Eau souterraines.....	3
I.3.4. Eau de surface.....	3
I.3.4.1. Origine des eaux de surfaces.....	4
I.3.4.2. Caractéristique générales des eaux de surfaces.....	4
I.4. Définition et propriétés de l'eau.....	5
I.4.1. L'eau brute.....	6
I.4.2. L'eau potable.....	6
I.4.3. Les propriétés de l'eau.....	6
I.5. Caractéristiques des eaux naturelles.....	6
I.5.1. Les paramètres organoleptiques.....	6
I.5.1.1. Odeur.....	6
I.5.1.2. Saveur.....	7
I.5.1.3. La couleur.....	7
I.6. Les paramètres physico-chimiques.....	7
I.6.1. Température.....	7
I.6.2. Le Ph.....	8
I.6.3. La turbidité.....	8
I.6.4. La conductivité.....	8
I.6.5. Les matières en suspension (MES).....	9
I.6.6. La dureté.....	9
I.6.7. Alcalinité.....	9
I.7. Les paramètres concernant les substances indésirables.....	10
I.7.1. le Fer.....	10
I.7.2. Les paramètres à effets toxiques.....	10
I.7.3. La silice (SiO ₂).....	11
I.8. Les paramètres bactériologiques.....	11
I.8.1. Recherche des paramètres bactériologiques.....	11
I.8.2. Dénombrement de la flore totale.....	11
I.8.3. Recherche des germes de contamination fécale.....	11
a-Germes totaux.....	12

Table des matières

b-Coliformes totaux.....	12
c-Coliformes fécaux.....	13
d-Streptocoques fécaux.....	13
e-Spores de bactéries sulfito-réductrices.....	13
I.8.4.Recherche des germes pathogènes.....	14
a-Salmonelles.....	14
b-Staphylocoques pathogènes.....	14
c-Vibron cholérique.....	14
I.9 Le traitement de l'eau brute.....	15
I.9.1Les étapes de traitement de l'eau brute.....	15
I.9.1.1.Prétraitement.....	15
1-Dégrillage.....	15
2-Tamisage.....	15
I.9.2.Traitements primaires (physico-chimiques).....	15
I.9.2.1.Coagulation-floculation.....	15
a. But de la coagulation-floculation.....	16
b. Jarrest.....	16
c. Coagulant.....	17
d. Flocculant.....	17
e. Les coagulants de type sels métalliques.....	17
f. Les flocculants polymères d'origine naturelle.....	18
I.9.2.2 Décantation.....	18
I.9.2.3 Filtration.....	18
I.10.Traitement spécifique (Adoucissement de l'eau).....	18
I.10.1.Techniques d'adoucissement.....	19
I.10.1.1 La précipitation à la chaux.....	19
I.10.2.Adoucissement par échange d'ions.....	20
I.10.2.1 Principe.....	20
I.10.2. Régénération de l'échangeur d'ions.....	20
I.10.2.3 : Applications des échangeurs d'ions dans le domaine de l'eau.....	20
I.11 Traitement par les séparations membranaires.....	21
I.11.1 Microfiltration(MF) :(Microfiltration tangentielle).....	22
I.11.2.Ultrafiltration (UF).....	23
I.11.3.Nano filtration.....	23
I.11.4.L'osmose inverse.....	23
I.11.4.1.Définitions.....	23
I.11.4.2.Principes de l'osmose inverse.....	24
I.11.4.3 Equipement d'osmose inverse.....	24
I.11.4.4 Les étapes du procédé.....	25
I.11.4.5.Osmose inverse au niveau du Cevital.....	26
I.11.4.6.Utilisation de l'eau osmoses.....	26
I.11.4.7.Problème de l'osmose inverse.....	26
a. Polarisation de la concentration et du colmatage.....	26
b. Origine du colmatage.....	27

Table des matières

c. Conséquences du colmatage.....	27
d. Prévention du colmatage.....	27

CHAPITRE II : Méthodologie et protocoles expérimentaux

II.1. Sources d'eau utilisée pour la production de l'eau ultra pure à CEVITAL.....	29
II.1.1. Présentation du puits de forage d'IBOURASSEN.....	29
II.2. L'échantillonnage.....	29
II.2.1. Technique de prélèvement.....	30
II.2.2. Flaconnage.....	30
II.2.2.1 Échantillonnage physico-chimique.....	30
II.2.2.2 Échantillonnage bactériologique.....	31
II.3. Contrôles physico-chimiques de l'eau.....	31
II.3.1. Paramètres organoleptiques.....	32
II.3.1.1. La couleur.....	32
II.3.2. Paramètres physique-chimiques.....	32
II.3.2.1. Potentiel d'hydrogène (pH) et la température.....	32
II.3.2.2. La conductivité électrique.....	33
II.3.2.3. Turbidité.....	34
II.3.2.4. Détermination du résidu sec.....	35
II.3.2.5. Détermination des matières en suspension (MES).....	37
II.3.2.6. Détermination du caractère agressif ou entartant de l'eau (Indice de saturation de Langelier (LSI).....	38
II.3.3. Paramètres physico-chimiques étudiés.....	39
II.3.3.1. Dosage volumétrique.....	39
II.3.3.1.1. La dureté totale (TH).....	39
II.3.3.1.2. La dureté calcique (TH _{Ca}).....	41
II.3.3.1.3. La dureté magnésienne (TH _{Mg}).....	42
II.3.3.1.4. Détermination du titre alcalimétrique (TA).....	43
II.3.3.1.5. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC).....	43
II.3.3.1.6. Dosage des chlorures (Cl ⁻) par la méthode de « MOHR ».....	44
II.3.3.1.7. Test d'oxydabilité au KMnO ₄ ou bien indice permanganate (IP).....	45
II.3.3.2. Analyse spectrophotométrique UV- Visible.....	46
II.3.3.2.1. Dosage de la silice (SiO ₂).....	47
II.3.3.3. Analyse par spectrophotométrie d'adsorption atomique (SAA).....	49
II.3.3.3.1. Dosage du Fer par SAA.....	50
II.4. Contrôles microbiologiques de l'eau.....	50
II.5. Traitement de l'eau brute.....	51
II.5.1. Coagulation-floculation.....	51
II.5.2. Adoucissement.....	52
II.5.3. JART-TEST.....	53
II.5.4. Traitement par adoucissement.....	57

Table des matières

CHAPITRE III : Résultats et discussion

-Première partie-

III.1. Contrôles physico-chimiques de l'eau.....	59
III.1.1. Paramètres organoleptique.....	59
III.1.1.1. La couleur.....	59
III.1.2. Paramètres physique-chimiques.....	59
III.1.2.1. La température.....	59
III.1.2.2. Potentiel d'hydrogène (pH).....	60
III.1.2.3. La conductivité.....	61
III.1.2.4. La turbidité.....	62
III.1.2.5. Détermination du résidu sec.....	63
III.1.2.6. Détermination des matières en suspension.....	64
III.1.2.7. Indice de saturation de Langelier (LSI).....	66
III.1.2. Paramètres physique-chimiques dosés.....	67
III.1.2.1. Dosage volumétrique.....	67
III.1.2.1.1. La dureté total.....	67
III.1.2.1.2. La dureté calcique.....	68
III.1.2.1.3. Le titre alcalimétrique.....	68
III.1.2.1.4. Le titre alcalimétrique complet.....	69
III.1.2.1.5. Les chlorures.....	69
III.1.2.1.6. Indice de permanganate (IP).....	70
III.1.2.2. Analyse spectrophotométrique par UV-visible et SAA.....	71
III.1.2.2.1. Dosage de SiO ₂ par UV-visible.....	71
III.1.2.2.2. Dosage du fer par SAA.....	72
III.1.3. Contrôles microbiologiques de l'eau.....	73

-Deuxième partie-

III.2 : Analyses physico-chimiques et bactériologiques après traitement de coagulation-floculation et adoucissement.....	76
A. Influence de la quantité de la chaux.....	76
A- 1-L'eau de la station d'Ibourassen.....	76
A.1.1- Potentiel d'hydrogène (pH).....	76
A. 1.2. La conductivité.....	77
A.1.3. La dureté totale TH.....	78
A.1.4. TAC et TA.....	79
A.1.5. Les chlorures.....	79
A.1.6. La turbidité.....	80
A.1.7. La silice.....	81
A.1.8. Le fer et l'indice d'oxydation au permanganate IP.....	82
A.1.9. Contrôles microbiologiques de l'eau.....	83
A.2. Conclusion.....	83

Table des matières

B. Influence de la quantité de chlorure ferrique.....	83
B- 1-L'eau de la station de l'entrée de Cevital.....	83
B.1.1- Potentiel d'hydrogène (pH).....	83
B. 1.2. La conductivité.....	84
B.1.3. La dureté totale TH.....	85
B.1.4. TAC et TA.....	86
B.1.5. Les chlorures.....	87
B.1.6. La turbidité.....	88
B.1.7. La silices.....	89
B.1.8. Le fer et l'indice d'oxydation au permanganate.....	90
B.2. Conclusion.....	91
C. Influence de la quantité de flocculant (Amidon).....	91
C- 1-prélèvement à l'entrée de Cevital.....	91
C.1.1- Potentiel d'hydrogène (pH).....	91
C. 1.2. La conductivité.....	92
C.1.3. La dureté totale TH.....	93
C.1.4. TAC et TA.....	93
C.1.5. Les chlorures.....	94
C.2. Conclusion.....	95
D. Flocculation par la cellulose.....	99
D- 1- à l'entrée de Cevital.....	95
D.1.1- Potentiel d'hydrogène (pH).....	95
D. 1.2. La conductivité.....	96
D.1.3. La dureté totale TH.....	97
D.1.4. TAC et TA.....	98
D.1.5. Les chlorures.....	99
D.2. Conclusion.....	100
E. Cinquième traitement : adoucissement par résine amberlite.....	100
Conclusion Générale	
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des tableaux

CHAPITRE I : Revue bibliographique

Tableau I.1 : Caractéristiques des eaux de surface.....	5
Tableau I.2 : Avantages et inconvénients de l'osmose inverse.....	28

CHAPITRE II : Méthodologie et protocoles expérimentaux

Tableau II.1 : La minéralisation des eaux en fonction de la conductivité électrique. (Rodier ; 1996)	34
Tableau II.2 : Classes de turbidité usuelle (NTU, nephelometric turbidity unit).....	35

CHAPITRE III : Analyses physico-chimiques et bactériologiques et interprétations

Tableau III.1 : La couleur de l'eau brute de deux stations.....	59
Tableau III.2 : La température de l'eau brute de deux stations.....	60
Tableau III.3 : Le pH de l'eau brute de deux stations de l'eau brute.....	60
Tableau III.4 : La conductivité de l'eau brute de deux stations.....	61
Tableau III.5 : Les teneurs de la turbidité de l'eau brute de deux stations.....	62
Tableau III.6 : Les teneurs en résidu sec de l'eau brute de deux stations.....	63
Tableau III.7 : Les teneurs en MES de l'eau brute de deux stations.....	64
Tableau III.8 : Les teneurs en LSI de l'eau brute de deux stations.....	66
Tableau III.9 : Valeurs de la dureté totale de l'eau brute de deux stations.....	67
Tableau III.10 : Valeurs de la dureté calcique de l'eau brute de deux stations.....	68

Liste des tableaux

Tableau III.11 : Valeurs de TAC pour l'eau brute de deux stations.....	69
Tableau III.12 : Les teneurs de chlorures dans l'eau brute de deux stations.....	69
Tableau III.13 : Les teneurs d'indice de permanganate dans l'eau brute de deux stations....	70
Tableau III.14 : Les teneurs de silice dans l'eau brute de deux stations.....	71
Tableau III.15 : Les teneurs de fer dans l'eau brute de deux stations.....	72
Tableau III.16 : Les bactéries présentes dans l'eau brute des deux prélèvements.....	74
Tableau III.17 : Récapitulatif des résultats d'analyses physico-chimique et bactériologique des deux prélèvements des eaux (au niveau de Ibourassen et à l'entrée de Cevital).....	75
Tableau III.18 : pH de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	76
Tableau III.19 : Les valeurs de la conductivité de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	77
Tableau III.20 : TH de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	78
Tableau III.21 : TA et TAC de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	79
Tableau III.22 : Mesures de chlorure de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	79
Tableau III.23 : Turbidité de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	80
Tableau III.24 : La silice de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	81
Tableau III.25 : Concentrations en fer et indice de permanganate de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	82
Tableau III.26 : Résultats microbiologiques des eaux après traitement à la chaux.....	83
Tableau III.27 : pH de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$	83
Tableau III.28 : Conductivité de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$	84
Tableau III.29 : TH de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$	85
Tableau III.30 : TA et TAC de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$	86

Liste des tableaux

Tableau III.31 : Chlorures de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$	87
Tableau III.32 : La turbidité de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$	88
Tableau III.33 : La silice dans l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$	89
Tableau III.34 : Concentration en fer et indice de permanganate de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$	90
Tableau III.35 : pH de l'eau brute après le traitement par floculation avec l'amidon.....	91
Tableau III.36 : Conductivité de l'eau brute après le traitement par floculation à l'amidon..	92
Tableau III.37 : TH de l'eau brute après le traitement par floculation par l'amidon.....	93
Tableau III.38 : TA et TAC de l'eau brute après le traitement par floculation à l'amidon...	93
Tableau III.39 : Concentrations en chlorures de l'eau brute après le traitement par floculation à l'amidon.....	94
Tableau III.40 : pH de l'eau brute après traitement par la cellulose.....	95
Tableau III.41 : Conductivité de l'eau brute après le traitement par la cellulose.....	96
Tableau III.42 : TH de l'eau brute après le traitement par la cellulose.....	97
Tableau III.43 : TA et TAC de l'eau brute après le traitement par la cellulose.....	98
Tableau III.44 : Concentrations en chlorures de l'eau brute après le traitement par la cellulose.....	99
Tableau III.45 : TH, TA et TAC de l'eau brute après le traitement par résine amberlite activée par NaCl	100
Tableau III.46 : Récapitulatif des résultats d'analyses physico-chimique et bactériologique des deux prélèvements des eaux (au niveau de Ibourassen et a l'entrée de Cevital) avant et après le traitement.....	101

Liste des figures

CHAPITRE I : Revue bibliographique

Figure I.1 : Phénomène de coagulation-floculation.....	16
Figure I.2 : Photo d'un appareil de Jar test montrant un traitement par coagulation.....	17
Figure I.3 : Principe de fonctionnement de la resine échangeuse d'ions équipant un adoucisseur d'eau.....	21
Figure I.4 : Représentation schématique d'un procédé de séparation membranaire.....	22
Figure I.5 : Principe de l'osmose inverse.....	24
Figure I.6 : Représentation schématique d'un procédé d'osmose inverse.....	25

CHAPITRE II : Méthodologie et protocoles expérimentaux

Figure II.1 : Situation géographique du puits de forage d'IBOURASSEN.....	29
--	----

CHAPITRE III : Analyses physico-chimiques et bactériologiques et interprétations

Figure III.1 : Histogrammes de variation de la température de l'eau brute de deux stations..	60
Figure III.2 : Histogrammes de variation de pH de deux stations de l'eau brute.....	61
Figure III.3 : Histogrammes de variation de la conductivité de deux stations de l'eau brute.....	62
Figure III.4 : Histogrammes de variation de la turbidité de deux stations de l'eau brute.....	63
Figure III.5 : Histogrammes de variation de résidu sec de deux stations de l'eau brute.....	64
Figure III.6 : Histogrammes de variation des MES de deux stations de l'eau brute.....	65
Figure III.7 : Histogrammes de variation d'LSI de deux stations de l'eau brute.....	66
Figure III.8 : Histogrammes de variation d'LSI de deux stations de l'eau brute.....	67

Liste des figures

Figure III.9 : Mesure THca de deux stations de l'eau brute.....	68
Figure III.10 : Histogrammes de variation de TAC de deux stations de l'eau brute.....	69
Figure III.11 : Histogrammes de variation de Cl ⁻ de deux stations de l'eau brute.....	70
Figure III.12 : Histogrammes de variation d'IP de deux stations de l'eau brute.....	71
Figure III.13 : Histogrammes de variation de la silice de deux stations de l'eau brute.....	72
Figure III.14 : Histogrammes de variation de fer de deux stations de l'eau brute.....	73
Figure III.15 : Variation du pH de l'eau brute après le traitement par la chaux.....	76
Figure III.16 : Variation de la conductivité de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	77
Figure III.17 : Variation de TH de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	78
Figure III.18 : Variation de TAC de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	79
Figure III.19 : Variation de chlorure de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	80
Figure III.20 : Turbidité de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	81
Figure III.21 : Variation de la silice de l'eau brute après le traitement à la chaux.....	82
Figure III.22 : Variation de pH de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl ₃).....	84
Figure III.23 : Variation de la conductivité de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl ₃)...	85
Figure III.24 : Variation de la dureté totale de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl ₃)....	86
Figure III.25 : Variation de TAC de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl ₃).....	87
Figure III.26 : Variation des chlorures de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl ₃).....	88
Figure III.27 : Variation de la turbidité de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl ₃).....	89
Figure III.28 : Variation des valeurs de la silice de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl ₃).....	90
Figure III.29 : Variation du pH de l'eau brute après le traitement par floculation avec l'amidon.....	91

Liste des figures

Figure III.30 : Variation de la conductivité de l'eau brute après le traitement par floculation par l'amidon.....	92
Figure III.31 : Variation de la dureté totale de l'eau brute après le traitement par floculation par l'amidon.....	93
Figure III.32 : Variation de la TAC de l'eau brute après le traitement par floculation à l'amidon.....	94
Figure III.33 : Variation des chlorures de l'eau brute après le traitement par floculation à l'amidon.....	95
Figure III.34 : Variation de pH de l'eau brute après le traitement par la cellulose.....	96
Figure III.35 : Variation de la conductivité de l'eau brute après le traitement par la cellulose.....	97
Figure III.36 : Variation de la dureté totale de l'eau brute après le traitement par la cellulose.....	98
Figure III.37 : Variation du TAC de l'eau brute après le traitement par la cellulose.....	99
Figure III.38 : Variation des concentrations en chlorures de l'eau brute après le traitement par la cellulose.....	100

Liste des abréviations

°C :	Degré Celsius
Ca (OH) ₂ :	chaux
Cl ⁻ :	Chlorure
E-coli :	Escherichia coli
EDTA-Na ₂ :	Ethylène diamine tétra acétique disodique
EMB :	Gélose éosine bleu de méthylène
°F :	Degré français
Fe Cl ₃ :	Chlorure ferrique
IP :	Indice de permanganate
KMnO ₄ :	Permanganate de Potassium
LSI :	Indice de saturation de Langelier
MES :	Matière en suspension
NaOH :	Hydroxyde de sodium
Na ₂ CO ₃ :	Carbonate de sodium
NET :	Noir erriochrome
NTU :	Nephelometric turbidité
OMS :	Organisation mondiale de la santé
PCA :	Gélose
PET :	Polyéthylène téréphtalate
pH :	Potentiel d'Hydrogène
Ppm :	Partie par million
SAA :	Spectrophotométrie d'adsorption atomique
Si O ₂ :	Silice
Rs :	Résidu sec
TA:	Titre alcalimétrique
TAC:	Titre alcalimétrique
TH:	Titre hydrométrique

Liste des abréviations

TH _{Ca} :	Titre hydrométrique calcique
TH _{Mg} :	Titre hydrométrique magnésien
UV-visible:	Ultra violet visible

L'eau, dont nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable. Lors de sa circulation dans le sol, à la surface de la terre ou même dans l'air, l'eau se pollue et se charge de matière en suspension ou dissoute, pouvant être des particules d'argile, des déchets de végétation, d'organismes vivants, de bactéries, de virus, des sels divers (chlorures, sulfates, carbonate, sodium, calcium, fer, etc..) et de matières organiques. La présence de toutes ces impuretés de différentes natures impose le traitement des eaux avant leur utilisation.

Pour obtenir une eau claire et limpide pour la consommation humaine et une eau extra pure exigée par l'industrie, il faudra donc appliquer un certain nombre de procédés convenables et efficaces.

Une eau destinée à la consommation humaine est potable lorsqu'elle est exempte d'éléments chimiques et/ou biologiques susceptibles, à plus ou moins long terme de nuire à la santé humaine, animale ou végétale. Par conséquent, et en fonction des caractéristiques de l'eau brute destinée à la production d'eau potable, la mise en place de traitements spécifiques s'avère le plus souvent nécessaire afin de répondre aux exigences réglementaires établies par les organismes de la santé publique.

C'est dans cet optique que s'inscrit le présent travail, qui a comme objectif, la mise en évidence de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau brute du puits de forage d'Ibourassen et de l'entrée de Cevital, avant et après traitement, par comparaison aux normes de l'OMS, ainsi que la mise au point d'un traitement physico-chimique au laboratoire pour réduire les paramètres de l'eau brute qui ne satisfont les critères de qualité d'une eau potable.

Ainsi le mémoire est scindé en trois chapitres :

Le premier chapitre, résume les généralités sur l'eau (caractéristiques organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques) et les procédés de traitement.

Le deuxième chapitre, regroupe l'essentiel de la méthodologie de l'étude expérimentale comportant une première partie analytique de contrôle des paramètres et une seconde partie composée de l'ensemble des traitements par coagulation-floculation suivi de l'adoucissement de l'eau selon deux procédés, par précipitation chimique et par échange cationique.

Le troisième chapitre, englobe les résultats obtenus suivis de discussions.

Enfin, une conclusion générale dans la quelle nous rappelons les principaux résultats originaux, que nous terminons par des perspectives.

I. Généralités sur les eaux :

La terre c'est la planète bleue, ou il y a de l'eau en abondance. Elle est répartie d'une façon inégale à la surface de la terre, dont 72% de la surface de la terre est recouverte d'eau (97% d'eau salée et 3% d'eau douce dans différents réservoirs), essentiellement sous forme d'océans, mais l'eau est aussi présente sous forme gazeuse (vapeur d'eau), liquide et solide.

Les réserves disponibles d'eaux naturelles sont constituées des eaux souterraines (infiltration, nappes), des eaux de surfaces stagnantes (les lacs, les barrages) ou en écoulement (les fleuves et rivières) et des eaux de mer. [1]

Les eaux destinées à la consommation humaine ont une double origine : les eaux souterraines pour 60% de volume produit, et des eaux de surface ou superficielles pour 40% de volume produit.

I.1. La répartition de l'eau sur terre :

La totalité de l'eau sur la terre représente un volume estimé à 1.385.106 km² sous différentes formes (solide, liquide ou gazeuse), cependant la majeure partie de l'eau (97%) est contenue dans les océans, elle est salée, ce qui la rend inutilisable dans l'immédiat pour l'homme. [1]

I.2. Le cycle de l'eau :

L'eau parcourt un cycle éternel, la quantité d'eau n'est pas changée depuis 3,5 milliards d'années, elle ne se perd pas, ne se crée pas, mais elle se transforme et subit une circulation.

Cette circulation à travers la planète obéit à un système hydrologique complexe, où on rencontre les changements de l'état de l'eau. On parle de cycle de l'eau, qui se déroule à la fois sur terre et dans l'atmosphère.

Schématiquement, l'eau évolue entre trois secteurs : l'hydrosphère, l'atmosphère et la lithosphère. La terre recevant l'énergie solaire, l'hydrosphère, chauffée par celle-ci, s'évapore conduisant à la présence d'eau de l'atmosphère. Cette eau à la suite d'un refroidissement de l'air et par condensation, retombe sous forme de précipitations sur la lithosphère.

Une fraction des eaux de pluie ruisselle à la surface de la terre et va grossir les cours d'eau et les lacs d'où, elle est rejetée d'une part à l'évaporation, d'autre part à l'infiltration à travers le sol. Les eaux d'infiltration sont reprises en partie par la végétation, qu'elles alimentent.

Ensuite, elles sont libérées dans l'atmosphère sous forme de transpiration, et en partie s'accumulent dans les sous-sols, pour former des nappes souterraines qui, à leurs tours en s'écoulant, donnent naissance aux sources qui émergent à la surface du sol et le cycle continue.

I.3.Sources et origines des eaux :

I.3.1.Eau de pluies :

L'eau de pluie est une eau très douce, du fait qu'elle ne contient aucun sel dissous, c'est une eau saturée en oxygène, en azote, en acide nitrique et en ammoniacque. [2]

I.3.2.Eau de mer :

La mer est considérée comme un réservoir d'eau, celle-ci est très fortement minéralisée, caractérisée par une grande salinité. Elle contient près de 3,5% de sels, dont le plus important est le chlorure de sodium. [2]

I.3.3.Eau souterraines :

Les eaux souterraines sont des sources naturelles et vitales, elles sont plus en moins renouvelables et transfrontalières. [3]

Les eaux souterraines proviennent principalement des eaux superficielles, d'accroissement de la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique dans les cavités karstiques, ou dans les pores de terrains. Elle présente généralement une bonne qualité bactériologique, une température et composition chimique constante. [4]

Dans le cas des eaux karstiques, on peut cependant révéler des variations brutales de qualité, avec apparition de turbidité et divers polluants, ces variations sont liées à la pluviométrie et au ruissellement infiltrant le réseau souterrain. [5]

I.3.4.Eau de surface :

Ce terme englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement, généralement polluées bactériologiquement. [6]

Les eaux de surface comprennent celles des cours d'eau, des lacs, des barrages, réservoirs,...Elles sont toujours sujettes à des contaminations temporaires ou permanentes.

La plupart d'entre elles ont l'inconvénient d'avoir une température assez variable, élevée pendant la saison chaude. [7]

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

- la dissolution des encaissantes (roches, terrains traversés), ces encaissants sont responsables du pH et de la conductivité.
- Les colloïdes minéraux (argiles) qui sont responsables de la turbidité.
- Des matières organiques qui peuvent avoir une origine naturelle (produit de dégradation des végétaux, métabolisme des algues et des micro-organismes) ou une origine artificielle due à la pollution urbaine, industrielle (métaux, matières organiques) et agricole (pesticide, fongicide, herbicide). [3]
- L'eau de surface ne peut pas être livrée à la consommation sans traitement préalable. [7]

I.3.4.1. Origine des eaux de surfaces :

Elles ont pour origine, soit des nappes profondes dont l'émergence constitue une source de ruisseau, de rivière, ou les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une surface de contact eau-atmosphère toujours en mouvement et une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable. [6]

I.3.4.2. Caractéristique générales des eaux de surfaces :

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par des eaux durant son parcours dans l'ensemble des bassins versants. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. Par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se chargent en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique). Le tableau suivant présente les caractéristiques des eaux de surface. [6]

Tableau I.1 : Caractéristiques des eaux de surface.

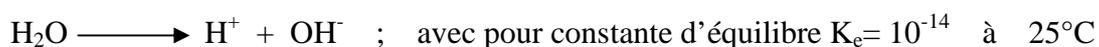
Caractéristiques	Eaux de surface
Température	Variable suivant les saisons. [8]
Turbidité, MES	Variation selon la pluviométrie. [8]
Couleur	Liée surtout aux MES (argiles, algues sauf dans les eaux très douces et acides humiques). [6]
Goûts et odeurs	Fréquents [6]
Minéralisation	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets. [8]
Fer et Mn bivalents à l'état dissous	Généralement absent, sauf en profondeur pour les lacs en l'état d'eutrophisation. [8]
CO ₂ , agressive	Souvent au voisinage de la saturation mais diminue dans le cas d'eau polluée. [8]
O ₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation : Absent dans le cas d'eaux très polluées. [6]
H ₂ S	Généralement absent. [6]
NH ₄ ⁺	Présent seulement dans les eaux polluées. [6]
Nitrates	Peu abondants en général. [8]
Silice	Teneur généralement modérée. [6]
Micropolluants minéraux et organiques	Présents mais susceptibles de disparaître rapidement, après suppression de la pollution. [8]
Solvants chlorés	Rarement présents. [6]
Elément vivant	Présent partout. [8]
Caractère eutrophie	Possible : accentué par la température élevée. [6]

I.4. Définition et propriétés de l'eau :

L'eau est un facteur essentiel pour la vie, c'est un composé fondamental pour tous les organismes vivants. [9]

La molécule de l'eau telle qu'elle existe est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène liés par des liaisons covalentes, disposés en V inversé selon un angle de 104,45°. Sa dimension moyenne est de l'ordre de 3,3 Å, de formule chimique H₂O. [10]

L'équilibre de dissociation de l'eau répond à l'équation qui suit,



I.4.1.L'eau brute :

L'eau brute est l'eau telle qu'elle se présente dans un milieu naturel (eau superficielle ou souterraine) avant de subir un traitement. L'eau, est utilisée en fonction de sa qualité qui varie selon l'origine, la géologie et le contexte économique du bassin versant. [8]

I.4.2.L'eau potable :

C'est l'eau destinée à la consommation humaine, c'est une eau non susceptible de porter atteinte à la santé de celui qui la consomme.

Cette eau ne doit pas contenir d'agents pathogènes ou toxiques, ni d'éléments chimiques indésirables. Elle ne doit pas présenter un danger microbien (bactéries, virus, parasites).De plus c'est une eau agréable à boire, claire et sans odeur. [8]

I.4.3 Les propriétés de l'eau :

L'eau est un corps incolore, claire, inodore et de saveur agréable, qui coule par gravité et épouse la forme des récipients.

Sa masse volumique est de $1000\text{kg}/\text{m}^3$.

L'eau pure est en réalité un isolant qui conduit mal l'électricité, mais puisque l'eau est un bon solvant, et contient souvent une bonne quantité de solutés dissoutes, sous forme de sels à des concentrations variables, ce qui le rend un très bon conducteur de l'électricité.

L'eau est un excellent solvant grâce à sa dépoliarisation, qui permet à la molécule d'eau de dissoudre les corps ioniques en particulier les acides et les bases.

C'est un accumulateur de chaleur en l'emmagasinant sous forme de calories, l'eau à un rôle essentiel dans la régulation thermique de la terre, sa chaleur massique est de 4186 (kcal/kg) dans les conditions normales de température et de pression. Au-dessus de 374°C l'eau se dissocie en O_2 et H_2 . [9]

I.5 Caractéristiques des eaux naturelles :**I.5.1.Les paramètres organoleptiques :****I.5.1.1.Odeur :**

C'est la sensation perçue par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles.

Les odeurs sont causées par la présence dans l'eau de substances relativement volatiles, ces substances peuvent être inorganiques comme le chlore, les hypochlorites, le bioxyde de soufre SO_2 , le sulfure d'hydrogène H_2S , ou organique comme les esters, les alcools, les dérivés aromatiques et des composées plus ou moins identifiées résultats de la décomposition de matière animale ou végétale comme les algues ou encore due à une pollution issue d'une activité humaine (effluents industriels ou agricoles). [11]

I.5.1.2. Saveur :

A l'état naturel une concentration de minéral, donne un goût plus ou moins accentué à l'eau. S'il y a absence des sels habituels et d'anhydride carbonique, la saveur de l'eau est fade : c'est le cas de certaines eaux de source et de l'eau pure. [12]

Si elle renferme une grande quantité de chlorures et de sodium, l'eau aura une saveur saumâtre. Si elle contient de fortes quantités de sels de magnésium, l'eau aura un goût amer. Les mauvais goûts de l'eau ne sont pas graves du point de vue hygiénique, mais ils sont désagréables au goût pour leur consommation comme boissons. [6]

I.5.1.3 La couleur :

La couleur de l'eau est généralement due à la présence de certaines impuretés minérales (fer, manganèse) mais également à certaines matières organiques comme les substances humiques provenant de la décomposition de la matière végétale, et en particulier des algues pouvant aussi donner une coloration variable selon leur pigmentation. [13]

I.6 Les paramètres physico-chimiques :

I.6.1 Température :

La température est un critère physique important dans l'appréciation d'une eau. Elle joue un rôle important dans :

- La solubilité des sels et d'autres matières ; elle influe sur la conductivité et le pH.
- La solubilité des gaz ; l'augmentation de la température s'accompagne d'une diminution de la concentration de l'oxygène dissous, préjudiciable à la flore et au processus d'autoépuration. [14]

Une température élevée favorise la croissance des micro-organismes et en même temps intensifie les odeurs, saveur et couleur, et aggrave les problèmes de corrosion dans les canalisations. [5]

La température d'une eau devrait être inférieure en été et supérieure en hiver à la température de l'air. [15]

I.6.2 Le pH :

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature des terrains traversés. Les eaux très calcaires ont un pH élevé et celle provenant des terrains pauvres en calcaire ou siliceux ont un pH faible. [13]

Le pH joue un rôle primordial à la fois :

- Dans les propriétés physico-chimiques (acidité, agressivité) de l'équilibre calco-carbonique de l'eau.
- Dans les processus biologique (dont certaines exigent des limites très étroites de pH).
- Dans l'efficacité de certains traitements (coagulation, adoucissement, contrôle de la corrosion, chloration). [11]

I.6.3.La turbidité :

La turbidité d'une eau est la réduction de la transparence d'un liquide, due à la présence de matière en suspensions MES fines. Une turbidité forte est souvent signe de pollution, mais peut être aussi d'origine naturelle (développement planctonique, les argiles, les limons, les grains de silices). [1]

Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origine organique ou minérale. [13]

I.6.4La conductivité :

Les mesures de la conductivité permettent d'avoir très rapidement une idée sur la concentration des sels dissous dans l'eau. Une concentration élevée traduit soit des pH anormaux soit le plus souvent une salinité élevée. Comme elle conduira à un entartrage des conduites si l'excès est dû aux ions de calcium. [15]

I.6.5 Les matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension sont des particules solides très fines qui se classent en :

- Matière décantables qui se séparent naturellement, sans un apport de réactifs, quand l'eau est au repos ; (2mm à 200 μ m).
- Colloïdales trop fines pour décanter par gravité, mais éliminables par matières coagulation (< 0,12 μ m).

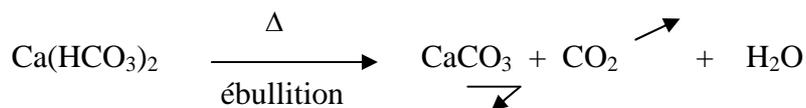
Les MES n'incluent pas les matières dissoutes, elles se composent d'argiles, de limons, de boues diverses, de particules colloïdales organiques, de planctons, de micro-organismes...etc.

I.6.6. La dureté :

La dureté ou titre hydrotimétrique (TH) d'une eau correspond essentiellement à la présence de sels de calciums et de magnésium. [12]

Dans la nature, on peut distinguer différents types de dureté :

- Dureté totale (TH) : somme des concentrations en calcium et en magnésium
- Dureté calcique (TH_{Ca}) : concentration globale en calcium.
- Dureté magnésienne (TH_{Mg}) : concentration globale en magnésium. [13]
- Dureté temporaire : due au bicarbonate de calcium et de magnésium, ainsi dite parce que l'ébullition la fait disparaître par précipitation du calcaire (CaCO₃) et dégagement du CO₂ selon la relation :



- Dureté permanente : est due principalement aux chlorures, aux nitrates et aux sulfates de calcium et magnésium qui ne précipitent pas lors de l'ébullition. [13]

I.6.7 Alcalinité :

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence d'ions hydroxyles (OH⁻), de carbonates (CO₃²⁻) et de bicarbonates (HCO₃⁻) et dans une moindre mesure aux ions phosphates (PO₃⁴⁻) et silicates (HSi₃⁻) ou encore aux espèces moléculaires des acides faibles étroitement liées à la dureté. Sa valeur est généralement proche lorsqu'elle est due à la présence de CO₃²⁻ et de HCO₃⁻. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité exprimée en HCO₃⁻ vraie de 10 à 350mg/l. Elle

est augmentée par des apports d'origine urbains (phosphates, ammoniacale, matières organiques) ou industriels (produits basiques ou acides).

Le titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrique complet (TAC) exprimant l'alcalinité d'une eau. La connaissance de ces valeurs est essentielle pour l'étude de l'agressivité d'une eau, puisqu'elles dépendent de l'équilibre calco-carbonique.

Le TA et le TAC mesurent respectivement les concentrations en OH^- et CO_3^{2-} et l'ensemble des anions HCO_3^- , CO_3^{2-} , OH^- , HSiO_3^- ...

Dans les eaux potables, la concentration en OH^- étant faible de donc négligeable, l'alcalinité de l'eau est constituée des seuls HCO_3^- ou d'un mélange CO_3^{2-} et HCO_3^- .

-Eau contenant que des hydrogénocarbonates : $\text{TA}=0$, $\text{TAC} = \text{HCO}_3^-$.

-Eau contenant un mélange carbonate/hydrogénocarbonates :

$$\text{TA} = [\text{HCO}_3^-]/2 = (\text{TAC} - 2\text{TA})/2. \quad [13]$$

I.7 Les paramètre concernant les substances indésirables :

I.7.1.Fer :

C'est un métal que l'on rencontre fréquemment dans les eaux naturelles, sa présence résulte de l'altération des roches contenant du fer, ou des rejets domestiques et industriels. Le fer de l'eau présente certes quelques inconvénients du point de vue physiologique et nuit à la santé à des teneurs assez élevées ($>0.3\text{mg/L}$) (diarrhées, infections gastroentérites, coliques, maux de tête), et à des teneurs très importantes, il influe aussi sur la qualité organoleptique de l'eau (mauvais goût, couleur et saveur). [15]

I.7.2 Les paramètre à effets toxiques :

Certains métaux ont des effets bénéfiques du moins à très faibles concentrations (cas des oligo-éléments), cependant à concentration un peu élevée ils peuvent devenir nettement toxiques. Parmi les métaux les plus dangereux on peut citer : Se, Cu, Cr, Si, Al, As...

I.7.3 La silice (SiO₂) :

La silice peut exister dans les eaux sous deux états différents : soluble et colloïdal.

La silice soluble dans les eaux naturelles et majoritairement sous forme d'hydroxyde de silice (SiOH₄), elle tend à se polymériser et à donner des colloïdes. Les silicates sont peu solubles dans l'eau et sont stables à des pH > 10. Leur teneur dans l'eau varie de 1 à 50 mg/l. [16]

I.8. Les paramètres bactériologiques :

L'eau est un milieu favorable pour la prolifération d'un certain nombre de bactéries qui proviennent de différentes origines.

La nature et le nombre des germes présents dans l'eau peuvent la rendre douteuse ou dangereuse pour la consommation. Cependant, le contrôle bactériologique est nécessaire pour l'appréciation de la qualité de l'eau.

L'analyse se résume à la recherche de germes d'origine fécale appelées germes test, ils sont les plus rencontrés dans l'eau avec les germes pathogènes (les salmonelles, vibration cholériques, staphylocoque, *E. Coli*)

La mise en évidence de ces germes est un indice de contamination. [17]

I.8.1. Recherche des paramètres bactériologiques :

Le dénombrement et l'estimation des germes reposent sur ces méthodes :

I.8.2. Dénombrement de la flore totale :

Le but de cet examen est d'évaluer la charge en germes saprophytes d'une eau.

Ce dénombrement est important, s'il permet de suivre une évolution dans le temps d'une nappe ou d'un gisement d'eau. Elle peut nous informer sur la présence ou non d'une protection naturelle de type géologique.

I.8.3. Recherche des germes de contamination fécale :

Lorsqu'elle n'est pas protégée, l'eau naturelle est sujette à la pollution. Cette dernière est porteuse, dans le cas des rejets domestiques, d'une masse importante de matières organiques.

La mise en évidence d'une telle pollution implique une contamination fécale certaine. Cette contamination est caractérisée par une charge microbienne importante, ce sont surtout des bactéries vivantes normalement dans l'intestin de l'homme et des animaux.

Toute présence de ces micro-organismes impliquerait dans certains cas la présence de germes pathogènes plus dangereux.

Parmi les micro-organismes recherchés, on distingue :

a-Germes totaux :

La recherche des micro-organismes bactériens aérobies dite « revivifiables » permet de dénombrer les bactéries se développant dans des conditions habituelles de culture, et de représenter la teneur moyenne en bactérie d'une ressource naturelle. Ces germes n'ont pas d'effets directs sur la santé mais, sous certaines conditions, ils peuvent générer des problèmes dans le système de dialyse. Ce paramètre permet de mesurer les conditions sanitaires de la distribution (stagnation de l'eau, entretien déficient, présence des nutriments...) et du résiduel de désinfection. Une concentration en germes totaux trop importantes peut entraîner des problèmes d'ordre organoleptique. Une faible valeur est le témoin de l'efficacité du traitement et de l'intégrité du système de distribution. [12]

b-Coliformes totaux :

Ce sont des organismes en formes de bâtonnets, non sporogones, gram négatif, oxydases négatives capables de croître en aérobiose à 37°C sur milieu de culture. [18]

Les bactéries coliformes existent dans les matières fécales mais ils se développent également dans le milieu naturel (sol, végétation, eaux naturelles)

Les eaux traitées ne doivent pas contenir de coliformes, cependant, l'absence de ces derniers ne signifie pas un risque pathogène, car les kystes de certains parasites, sont plus résistants à la désinfection que les coliformes. La présence d'un petit nombre de coliforme (1-10/100 ml) dans les eaux souterraines non traitées n'a qu'une signification réduite sur le plan sanitaire, lorsqu'elle ne s'accompagne pas de coliformes fécaux. [13]

c-Coliformes fécaux :

Les coliformes fécaux présentent les mêmes propriétés que les coliformes totaux. [18]

Ces coliformes sont capables de se développer à 44°C, alors qu'aucune croissance n'est observée à cette température pour les souches non fécales. La principale bactérie apparaît toujours en grandes quantités dans les déjections animales et humaines et ne se retrouve qu'exceptionnellement dans les sols et les eaux, qui n'ont pas fait l'objet d'une pollution fécale. [12]

d-Streptocoques fécaux :

Ce sont des bactéries cocci gram positif, regroupées sous le terme de streptocoques fécaux.

Les germes essentielles du groupe sont : *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. hirae*, streptocoque bavis, *S. suis* et *S. equinus*. [18]

Se sont des hôtes animales de l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Ce groupe n'est généralement pas considéré comme pathogène.

Les streptocoques fécaux appartiennent à un groupe de streptocoques qui ne sont pas tous d'origine fécale. Toutes fois, leurs recherches associées à celle de coliformes fécaux constituent un bon indice de contamination fécale. Certaines études ont même montrées que les streptocoques étaient un meilleur témoin que les coliformes fécaux, pour des pathologies infectieuses d'origine hydrique. [12]

e-Spores de bactéries sulfito-réductrices :

Ce sont des formes de résistances d'organismes anaérobies, dont les plus fréquentes et les plus faciles à mettre en évidence sont les clostridies. Elles sont normalement présentes dans les matières fécales mais en plus petite quantité que l'*E. coli*. Elles sont également présentes dans le sol et les rivières. Leur absence dans une nappe souterraine ou une nappe alluviale est un signe d'efficacité de filtration naturelle. De même, l'absence spores après un traitement par filtration sur sable est un signe de l'efficacité de ce dernier. Leur persistance dans les eaux désinfectées peut être le signe de défaut dans le traitement physico-chimique, d'un manque d'efficacité de certains désinfectants ou d'une filtration insuffisante.

Du fait de leur similitude avec le comportement des parasites, les spores constituent un bon indicateur pour ces micro-organismes. En fin outre, ces formes résistantes à la chloration.

Ceci explique que pour ce paramètre en particulier, ce ne sont pas les bactéries elles même mais leurs spores qui sont recherchées. [12]

I.8.4. Recherche des germes pathogènes :

Certaines maladies infectieuses sont transmises par absorption d'eau ou d'aliment pollués par une eau contenant des micro-organismes pathogènes.

Les plus redoutables d'entre eux sont les salmonelles, staphylocoques pathogènes et le vibron cholérique.

a-Salmonelles :

Ce sont de coccobacilles appartenant à la famille des Entérobacteracea, généralement considérés comme pathogènes bien que leur virulence et leur pathogénéité varient énormément : fièvre typhoïde, les salmonelloses systémiques, gastro-entérites, toxine infection alimentaire. [17]

Humains et animaux peuvent éliminer dans les selles des salmonelles, non seulement en cas de maladies mais aussi en tant que porteurs asymptomatiques. Les salmonelles peuvent donc être présentes dans l'eau des égouts, agricoles et domestiques, les eaux douces, y compris les eaux potables et les nappes phréatiques, ainsi que l'eau de mer. [15]

b-Staphylocoques pathogènes :

Ce sont des bactéries qui appartiennent à la famille des Bacillaceae, les infections engendrées par ces espèces sont dues, principalement à des souches de *S.aureus*, mais aussi à d'autres espèces de staphylocoques d'origine humaine, parfois pathogènes, opportunistes

(*S.epidermidis*, *S.saprophyticus*...). Des infections cutanées et septicémiques redoutables sont dues à la consommation d'eau et d'aliment contaminés. [19]

c-Vibron cholérique :

Le vibron cholérique appartient à la famille des Vibrionaceae. Ce sont des germes d'habitat fécale, on distingue deux variétés responsables de choléra, il s'agit de *vibrio cholerae* et *vibrio cholerae et Tor*. [12]

I.9 Le traitement de l'eau brute :

Pour le traitement de l'eau, il faut appliquer un certain nombre de procédés convenables et efficaces.

I.9.1 Les étapes de traitement de l'eau brute :**I.9.1.1. Prétraitement :****1-Dégrillage :**

Le dégrillage est une opération indispensable, pour éliminer de gros objets susceptibles de gêner le fonctionnement des procédés situés en aval, il permet donc de séparer et d'évacuer les matières volumineuses. L'efficacité du procédé dépend essentiellement de l'écartement des barreaux des grilles, on distingue essentiellement 3 types de dégrillage :

- Dégrillage fin (écartement 3 à 10 cm).
- Dégrillage moyen (écartement 10 à 25 mm).
- Le pré dégrillage grossier (écartement 50 à 100 mm). [20]

2-Tamisage :

On peut considérer le tamisage comme un dégrillage pour la filtration des eaux brutes sur des toiles, des treillis ou à travers une tôle perforée de mailles plus ou moins fines. Les micros tamis (maille <100 µm), capable de retenir les matières en suspension de petite taille, assurent un traitement équivalent à la décantation primaire. Les tamis sont installés au fil de l'eau, à faible perte de charge (tamis relatifs) au bien alimentés par pompage (tamis auto nettoyants). [20]

I.9.2. Traitements primaires (physico-chimiques) :**I.9.2.1. Coagulation-floculation :**

Le mot coagulation vient du latin coaguler qui signifie « agglomérer ». [21] La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 1 m en chute libre peut être de plusieurs années.

La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou par filtration. [21]

a. But de la coagulation-floculation :

L'opération de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par déstabilisation des charges électrostatiques des particules en suspension puis formation de floccs par absorption et agrégation. [21] Les floccs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite.

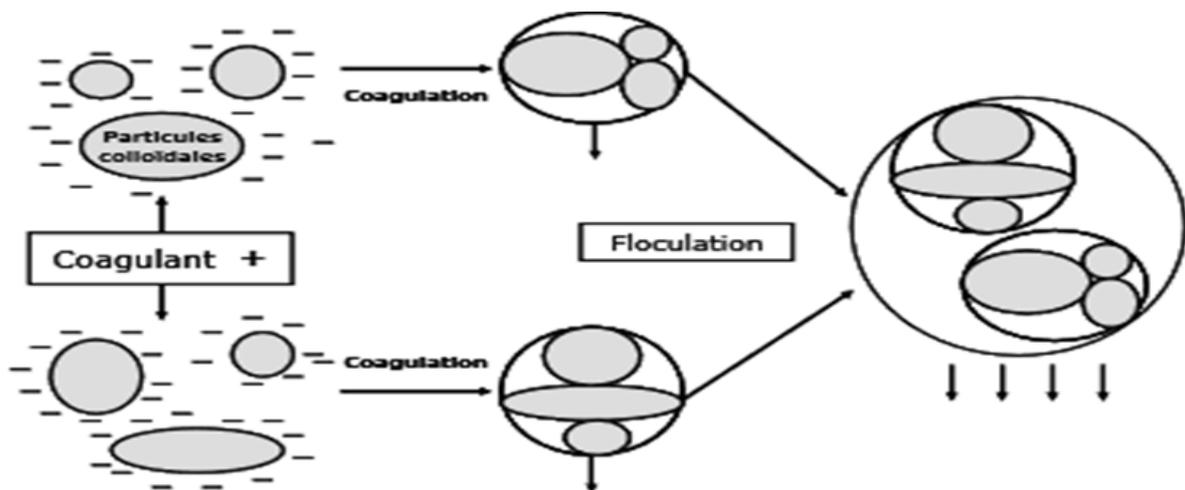


Figure I.1 : Phénomène de coagulation-floculation.

b. Jar test :

Depuis plus de 50 ans, le Jar test est la technique standard utilisée pour optimiser l'addition de coagulants et de floculants dans le domaine du traitement de l'eau.

Un exemple d'étude permet de présenter des essais expérimentaux de déphosphatation opérés au laboratoire. Les jars tests sont réalisés sur un banc d'essai dans des béciers de 1 litre (fig.1). Dans chaque bécier, on dépose grâce à un cylindre gradué, 1 litre de la solution à traiter de concentration en phosphore total connue. [22]

La séquence d'ajout des réactifs se fait en deux temps. En premier lieu est d'ajoutée la solution de chitosane et ensuite la solution déchlorure ferrique. Un b cher témoin permet de confirmer la concentration initiale en phosphore total. Une fois les coagulants et floculant ajoutés, la coagulation-floculation est effectuée suivie d'une période de décantation. [22]

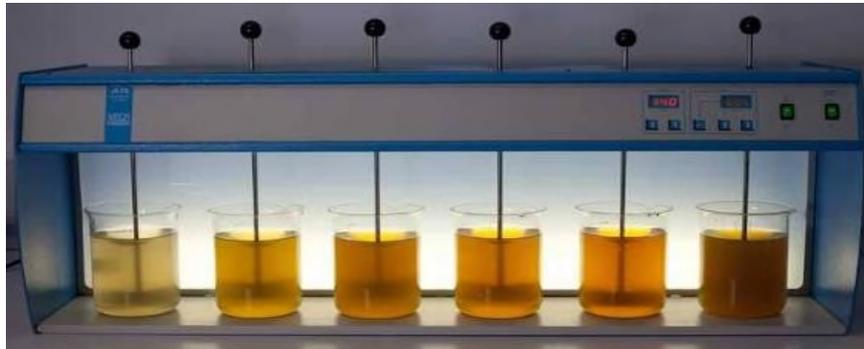


Figure I.2 : Photo d'un appareil de Jar test montrant un traitement par coagulation.

c. Coagulant :

C'est une substance chimique comme l'alun qui cause l'agglomération des particules fines par compensation des charges des substances par apport à des charges opposées positives de cations trivalents (Fe^{3+} , Al^{3+} , ..) et permet de former ainsi un précipité gélatineux dans l'eau pouvant ensuite être filtré.[22]

d. Floculant :

C'est un polymère qui emprisonne les matières colloïdales agglomérées et forme ainsides flocons volumineux qui se déposent par gravité. Il est ajouté après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des floccs. [22]

e. Les coagulants de type sels métalliques :

Ce type de coagulants peut être utilisé pour traiter des eaux usées industrielles et domestiques, mais son applicabilité s'étend aussi à plusieurs autres domaines : l'adoucissement de l'eau, enlèvement des métaux lourds (industrie métallurgique),enlèvement des huiles et des gr aisses, enlèvement du phosphate des eaux de lavage et de d'autres type d'effluent. [22]. Ces agents chimiques sont donc d'excellents outils pour réaliser le polissage et la récupération des matières particulaires. Plusieurs sels métalliques sont utilisés dans le domaine du traitement des eaux usées, tels que :

e-1. Les flocculants polymères d'origine naturelle:**- Amidons :**

Obtenus de la pomme de terre, du tapioca ou d'autres végétaux, ces polymères de glucopyranose non linéaires et ramifiés sont utilisés de préférence avec les sels d'aluminium. Une fois diluée, leur biodégradation peut-être rapide. [22]

-Autres composés : Plusieurs polysaccharides naturels ont des propriétés flocculants (cellulose, gommés, tanins, xanthanes), mais ils sont très peu utilisés dans le traitement des eaux. [22]

I.9.2.2 Décantation :

Après avoir transformé les particules de plus petites tailles en floccs, il va maintenant falloir faire décanter tout ceci. Dans un corps d'eau immobile les particules en suspension plus lourdes que l'eau, sont soumises à leurs poids apparent, elles chutent lentement pour s'accumuler sur le fond : c'est la décantation. [23]

I.9.2.3 Filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide, qui contient des matières solide en suspension en la faisant passer à travers un milieu poreux.

Les solides en suspension ainsi retenue par le milieu poreux s'y accumulent. Il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou intermittente.

La filtration, habituellement ajouté à la suite d'un procédé de traitements de coagulation, de floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs. [23]

I.10. Traitement spécifique : Adoucissement de l'eau :

Les eaux contiennent naturellement des ions calcium et magnésium qui définissent le degré de dureté de l'eau (TH).

Cette dureté, génératrice de tartre, est souvent néfaste aux installations et aux réseaux (colmatage des équipements, réduction des échanges thermiques) ainsi qu'à la qualité du produit fini. [24]

I.10.1. Techniques d'adoucissement :

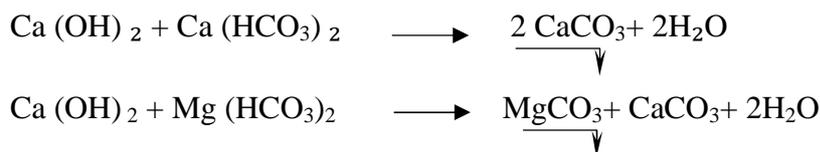
Les techniques d'adoucissement font appel à trois procédés, à savoir la décarbonatation qui n'élimine que les ions calcium et magnésium liés aux bicarbonates, il s'agit alors d'un adoucissement partiel, et l'adoucissement total qui élimine l'ensemble des ions calcium et magnésium, mais sans modifier l'alcalinité de l'eau. Le troisième procédé est représenté par la nano filtration qui élimine partiellement les ions calcium, magnésium et bicarbonates. [24] Parmi les procédés de décarbonatation, on trouve :

- ✓ la décarbonatation à la chaux ;
- ✓ la décarbonatation à la soude ;
- ✓ la décarbonatation sur résines échangeuses d'ions du type carboxylique, régénérée par un acide ;
- ✓ l'électro-décarbonatation.

La technique d'adoucissement utilise une résine échangeuse d'ions du type cationique, régénérée par une solution de chlorure de sodium. [24]

I.10.1.1 La précipitation à la chaux :

Ce procédé ne permet d'éliminer que la dureté carbonatée, et en particulier celle liée au calcium. Elle n'a pas d'effet sur la dureté permanente (non carbonatée), comme l'indique les réactions de base suivantes :



L'alcalinité résiduelle est de l'ordre de 2 à 3°F. Étant donné cette faible valeur, seule une partie du débit est décarbonatée pour être mélangée ensuite à de l'eau brute, pour obtenir un TAC favorable du point de vue organoleptique, et de la minéralisation. Pour accélérer la précipitation du carbonate de calcium, l'eau à traiter est mise en contact avec des germes de cristallisation déjà formés. Pour cela l'appareil de décarbonatation doit comporter une zone où s'effectue le mélange des cristaux recalculés avec de l'eau à traiter additionnée de chaux.

L'emploi d'un coagulant (FeCl₃) et/ou d'un flocculant (polymère) permet d'améliorer la séparation des cristaux et de l'eau. [24]

I.10.2. Adoucissement par échange d'ions :**I.10.2.1 Principe :**

Les principaux types de résines échangeuses d'ions constituent l'échangeur d'ions qui est un matériau granulaire, organique ou minéral insoluble, sur lequel sont fixés des groupements fonctionnels appelés échangeurs d'ions. L'échange d'ions consiste à remplacer par permutation les ions présents dans la solution au contact du support de traitement, par ceux fixés sur les groupements fonctionnels. Cette permutation permet de modifier la composition du liquide au contact de l'échangeur et de réaliser ainsi le traitement. [25]

Il existe différents types d'échangeurs, les plus répandus à l'échelle industrielle étant les résines de synthèse qui sont, suivant leur nature, utilisées pour différents traitements comme l'adoucissement, la décarbonatation, la déminéralisation ou l'élimination d'ions NH_4^+ .

D'une manière générale, les échangeurs d'ions sont caractérisés par :

- leur sélectivité, c'est-à-dire les affinités relatives de différents ions pour le support de traitement,
- leur coefficient de partage, c'est-à-dire le rapport des concentrations à l'équilibre, entre l'échangeur et l'eau, pour un ion donné

I.10.2. Régénération de l'échangeur d'ions :

Lorsqu'un échangeur d'ions est épuisé ou saturé, sa capacité de fixation devient nulle. Il convient alors de remettre l'échangeur d'ions sous sa forme ionique originelle, afin qu'il puisse être réutilisé pour un nouveau cycle : c'est la séquence de régénération. Cette dernière consiste à faire déplacer les équilibres chimiques en apportant une forte concentration de l'ion qui sera échangé au cycle suivant (Na^+ , OH^- , H^+ , Cl^-). À cette fin, un produit chimique porteur de cet ion est utilisé, il est appelé régénérant ou réactif de régénération (le chlorure de sodium pour Na^+ et Cl^- , un acide minéral pour H^+ , la soude caustique pour OH^-). [25]

I.10.2.3 : Applications des échangeurs d'ions dans le domaine de l'eau :**1-Adoucissement (permutation $\text{Ca}^{2+}/\text{Na}^+$) :**

L'adoucissement est l'application la plus courante pour le traitement des eaux. Elle consiste généralement à remplacer les ions alcalino-terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}), par des ions alcalins (Na^+).

En effet, les ions alcalino-terreux provoquent la désactivation des lessives et des savons par complexations, ainsi que l'entartrage des chaudières par précipitation des carbonates. [26]

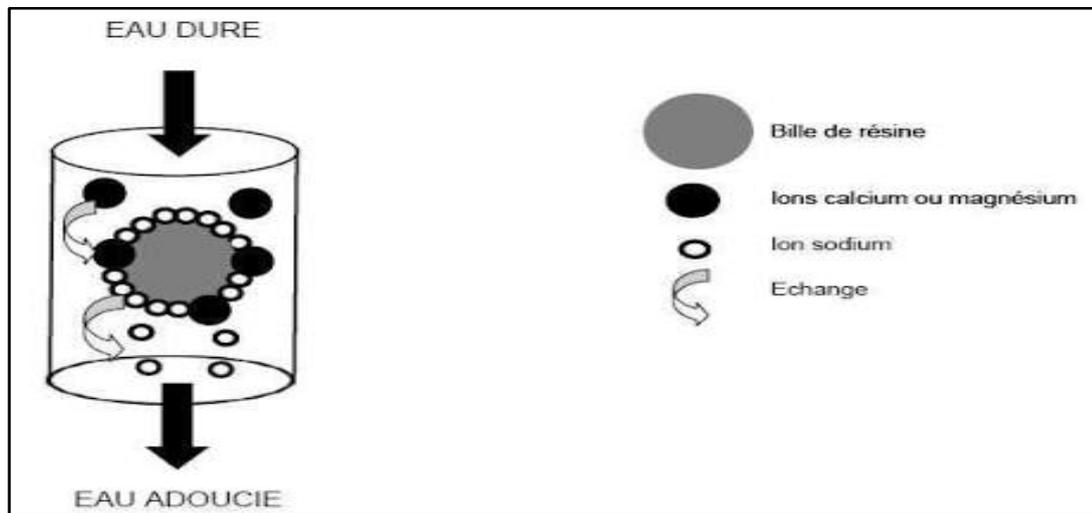


Figure I.3 :Principe de fonctionnement de la résine échangeuse d'ions équipant un adoucisseur d'eau.

I.11 Traitement par les séparations membranaires :

Les procédés à membranes sont des procédés physiques de séparation.

Par définition, une membrane est une barrière de quelques centaines de nanomètres à quelques millimètres d'épaisseur, sélective, qui sous l'effet d'une force de transfert, va permettre ou interdire le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle sépare. La force de transfert recouvre le gradient de pression, de concentration, d'activité ou de potentiel électrique. De ce fait les membranes incluent une grande variété de matériaux et de structure qui forment autant de possibilités de configuration et de classification.

Ainsi, il existe différents procédés de séparation sur membranes qui peuvent être regroupés en fonction des forces de transfert mises en œuvre. Nous ne nous intéresserons ici qu'aux techniques membranaires à gradient de pression. L'évaporation, fonctionnant grâce à un gradient d'activité (différence de pression partielle), fait l'objet d'un autre document.

Il existe 4 procédés membranaires à gradient de pression : la microfiltration (MF), l'ultrafiltration (UF), la nano filtration (NF) et l'osmose inverse (OI). Ces procédés se distinguent par la taille et le type des espèces qu'ils peuvent séparer.

Ces procédés membranaires sont utilisés pour séparer et/ou concentrer des molécules ou des espèces ioniques en solution et/ou séparer des particules ou microorganismes en suspension dans un liquide. [27]

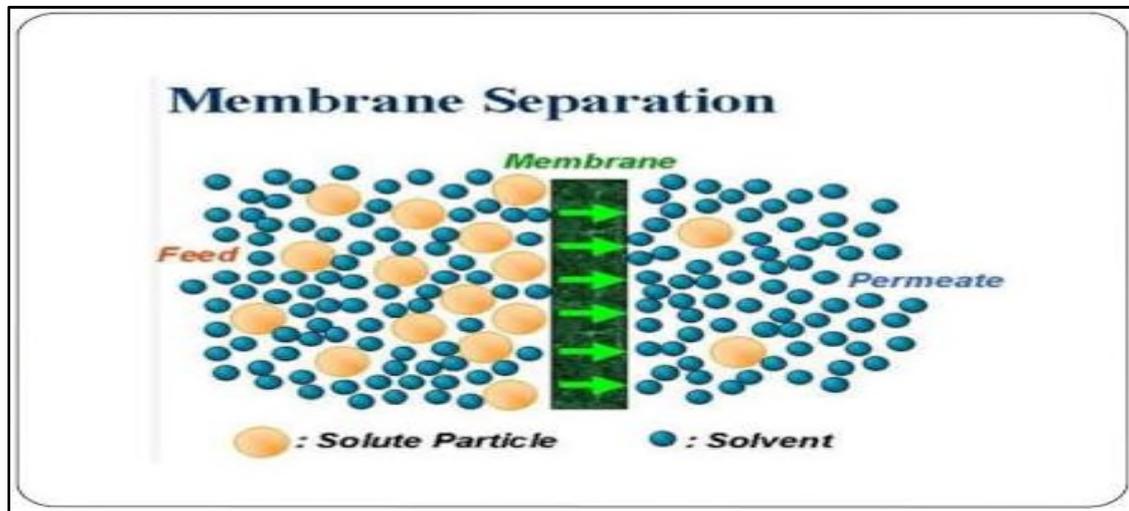


Figure I.4 : Représentation schématique d'un procédé de séparation membranaire. [27]

I.11.1 Microfiltration(MF) :(Microfiltration tangentielle) :

La microfiltration tangentielle peut être définie comme un procédé de séparation solide-liquide qui met en œuvre des membranes dont les diamètres de pores sont compris entre 0,1 et 10 μm . Ce procédé permet donc la rétention des particules en suspension, des bactéries et indirectement des colloïdes et de certains ions après fixation de ces derniers sur des grosses particules obtenues par complexations, précipitation ou floculation. Bien que, du point de vue théorique, la différence entre ultrafiltration et microfiltration tangentielle soit très nette (l'ultrafiltration fonctionnant en phase liquide homogène et la microfiltration ayant pour objectif une séparation solide-liquide), du point de vue technologique, les deux techniques peuvent se recouper. Ainsi, pour minimiser les phénomènes de colmatage et éviter que des particules solides pénètrent dans les pores des membranes, on a souvent intérêt à utiliser des membranes d'ultrafiltration pour effectuer une opération de microfiltration. Inversement, une membrane de microfiltration peut devenir une membrane d'ultrafiltration (1 à 100 nm) ou même d'osmose inverse (< 1 nm) par suite de la formation en cours de fonctionnement d'une couche de gel à porosité très fine (membrane dynamique). [27]

I.11.2.Ultrafiltration (UF) :

Cette technique utilise des membranes microporeuses dont les diamètres de pores sont compris entre 1 et 100 nm. De telles membranes laissent passer les petites molécules (eau, sels) et arrêtent les molécules de masse molaire élevée (polymères, protéines, colloïdes). Les applications sont multiples :

- concentration de solutions macromoléculaires (protéines, polysaccharides, polymères variés)
- élimination de macros lutées présents dans les effluents ou dans l'eau à usage domestique, industriel (électronique) ou médical. [27]

I.11.3.Nano filtration :

Nano filtration est le terme utilisé pour désigner une nouvelle technique séparative à membranes se situant entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration. Elle permet la séparation de composants ayant une taille en solution voisine de celle du nanomètre (soit 10 Å) d'où son nom. Les sels ionisés monovalents et les composés organiques non ionisés de masse molaire inférieure à environ 300 g/mol ne sont pas retenus par ce type de membrane. Les sels ionisés multivalents (calcium, magnésium, aluminium, sulfates...) et les composés organiques non ionisés de masse molaire supérieure à environ 300 g/mol sont, par contre, fortement retenus. [27] Les mécanismes de transfert sont intermédiaires entre ceux de l'osmose inverse et ceux de l'ultrafiltration. Les applications possibles sont nombreuses :

- La déminéralisation sélective (adoucissement des eaux) ;
- La concentration de composés organiques de faible masse molaire (antibiotiques).
- L'adoucissement des eaux.

I.11.4.L'osmose inverse :**I.11.4.1.Définitions :**

Une membrane semi-sélective est une membrane permettant certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare, en interdisant d'autres ou plus généralement en favorisant certains par rapport à d'autres.

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression. [28]

I.11.4.2. Principes de l'osmose inverse :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée. [28]

Si on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler : cette pression est nommée la pression osmotique P (en faisant l'hypothèse que la solution diluée est de l'eau pure). Si on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique : c'est le phénomène d'osmose inverse.

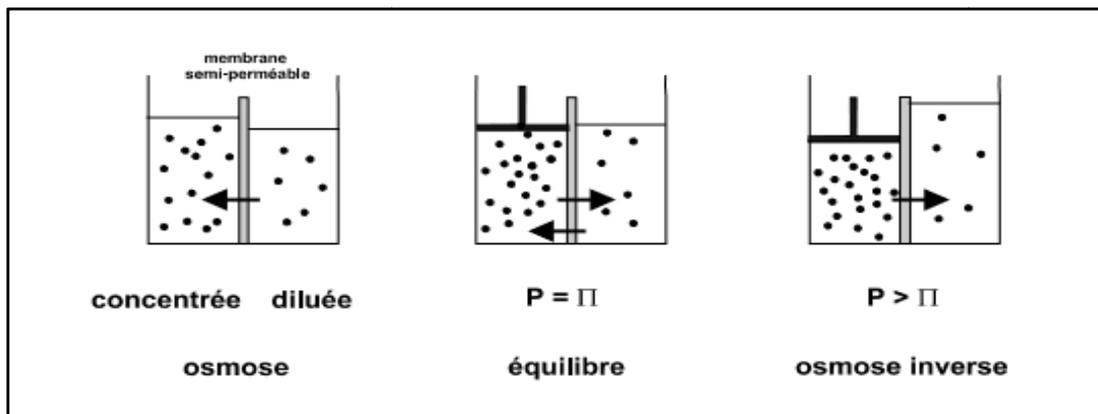


Figure I.5 : Principe de l'osmose inverse. [28]

I.11.4.3 Equipement d'osmose inverse :

L'osmose est équipé d'un ou de plusieurs groupe de modules d'osmose inverse ainsi que d'une pompe de haute pression.

Un module d'osmose inverse est un cylindre séparé en deux compartiments par la membrane. L'eau à épurer est répartie sur la surface de membrane par un tube diffuseur ; l'eau traverse la membrane et est recueillie de l'autre côté de celle-ci pour être évacuée du module par un orifice dit de « production » ou « perméat ». [22]

Les unités d'osmose inverse comportent principalement en plus des modules les éléments suivants :

- une pompe à haute pression (40 à 80 bars).
- un échangeur de chaleur pour maintenir les liquides aux températures souhaitées.

Les procédés existent en discontinu comme en continu avec dans les deux cas des montages permettant le recyclage des concentras pour améliorer la séparation. Une étape d'élimination préalable des plus grosses particules est toujours nécessaire.

La qualité d'une eau épurée par osmose inverse se définit en termes de composition physique, de composition chimique (minérale et organique) et de population microbiologique.

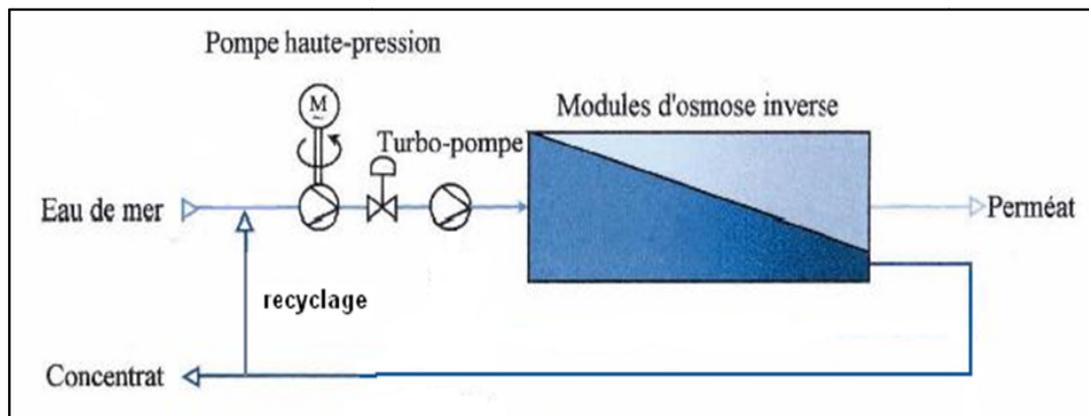


Figure I.6 : Représentation schématique d'un procédé d'osmose inverse. [22]

I.11.4.4 Les étapes du procédé :

Le système de traitement se fait après le pompage des deux vers l'unité d'osmose, le système de traitement se divise en divers systèmes décrits ci-dessous: [22]

- Un système d'alimentation en eau brute ;
- Un système de prétraitement :
 - Système de stérilisation et régénération du dioxyde de manganèse ;
 - Pré filtration avec filtres à sable ;
 - Réservoir de stockage de l'eau filtrée ;
 - Groupe de décoloration ;
 - Groupe de dosage de produits séquestrant ;
 - Groupe de dosage de produit bio-acides ;
 - Filtres à cartouche ;
 - Système de contre lavage ;
- Système d'osmose inverse ;
- CIP (clearing In Place)
- Nettoyage des filtres à sable

- Les adoucisseurs.

I.11.4.5.Osmose inverse au niveau du Cevital :

L'eau brute utilisée dans Cevital est une eau de forage d'un puits situé à IBOURASSEN (BEJAIA), et lorsqu'ils ont un manque ils font appels à une autre source qui le barrage de TICHIHAF (AKBOU). Cette eau subit une déminéralisation au niveau de l'osmose inverse et un traitement thermique et chimique au niveau de la chaufferie et de la cogénération, pour une production de la vapeur d'eau et de gaz carbonique.

L'unité d'osmose inverse au niveau de Cevital est d'une capacité de production de 300 m³/h d'eau déminéralisée. Elle subit un prétraitement par décantation dans des bassins près du puits de forage (le sable et les éléments lourds se déposent). Le pompage de l'eau brute vers l'unité osmose par les pompes de haute pression et débit (100 m/h), cette eau est stockée au niveau de l'unité dans un réservoir de l'eau brute.

I.11.4.6.Utilisation de l'eau osmoses :

- La production de l'eau ultra-pure à conductivité $< 0.055 \mu\text{S}/\text{cm}^2$.
- La production de la vapeur sèche (chaudière Stein pression pouvant atteindre 65 bars) Cette vapeur constitue une énergie mécanique pour faire tourner les turbines à vapeur de la cogénération, l'énergie mécanique dans les turbines est transformée à une énergie électrique.
- La production de la vapeur (chaudière Loos à 13 bars pour le raffinage).
- L'eau osmosée est utilisée dans le raffinage du sucre et de l'huile.

I.11.4.7.Problème de l'osmose inverse :

a. Polarisation de la concentration et du colmatage :

La polarisation de concentration résulte de l'accumulation de la matière à la surface de la membrane créant une couche de polarisation. La matière à l'interface est dans le même état que dans la solution, mais à des concentrations bien plus importantes. Ces concentrations importantes peuvent réduire la perméabilité, notamment en générant une contre –pression osmotique. La pression efficace du système s'en trouve diminuée, ainsi que la densité du flux du perméat, si l'on atteint la limite de solubilité des sels. [27]

b. Origine du colmatage :

- La concentration trop élevée (soit la concentration moyenne, soit les surconcentrations locales dues aux phénomènes de polarisation). [27]
- La présence de matières en suspension qui se déposent sur les membranes par suite de conditions hydrodynamiques favorables (vitesses faibles).
- La réaction d'adsorption entre certaines molécules et le matériau membranaire.

c. Conséquences du colmatage :

- La diminution de la durée de vie de la membrane due au lavage plus fréquent
- La dépense supplémentaire de l'énergie liée à l'augmentation de la résistance au transfert
- La perte de productivité (diminution de la conversion).
- La diminution de la sélectivité (taux de rétention).

d. Prévention du colmatage :

La stratégie générale de prévention du colmatage peut prendre les formes suivantes :

- Pré-filtration ;
- Enlèvement plus poussé des particules et des colloïdes par un autre procédé membranaire ou par un traitement conventionnel ;
- Ajustement de pH (acidification) pour déplacer les équilibres de solutés des sels susceptibles de précipiter (sel de fer, de manganèse, de calcium, de baryum...) ;
 - Ajout d'un agent antitartre pour empêcher le dépôt de sels à la surface des membranes ;
- Coagulation de la Matière Organique Naturelle. L'effet colmatant des floccs est, a priori, moins fort que celui des colloïdes ;
 - Enlèvement du fer (Fe^{2+}) qui pourrait précipiter.

Tableau I.2 : avantages et inconvénients de l'osmose inverse. [22]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Capacité de séparation élevée.• Systèmes modulaires ; d'où grande flexibilité d'utilisation.• Recyclage du perméat et du concentré possible.• Température de fonctionnement faible.• Fonctionnement entièrement automatisé possible.• Faible consommation énergétique.• Gamme étendue de capacités allant jusqu'à la production de plus de 100 000 m³ d'eau par jour.	<ul style="list-style-type: none">• Risque de colmatage, d'obturation et d'encrassement.• Compactage en présence d'agents d'adoucissement.• Pressions élevées requises. Flux de perméat faibles.

II.1. Sources d'eau utilisée pour la production de l'eau ultra pure à CEVITAL :

Au niveau du CEVITAL, l'eau brute utilisée est une eau obtenue à partir de deux sources :

- ❖ La première source située au niveau d'IBOURASSEN (Bejaïa) sous forme d'un puits de forage artésien.
- ❖ La deuxième source située au niveau de TICHY-HAF (Bejaïa) sous forme d'un barrage d'eau.

II.1.1. Présentation du puits de forage d'IBOURASSEN :

Le puits de forage artésien situé à IBOURASSEN (Oued Ghir) environ 12km du complexe Cevital-Bejaia, composé de trois puits ouverts dont l'eau est captée d'une nappe phréatique, chaque puits possède une pompe à environ 65m de profondeur, ceci envoie environ (9000-10000) m³/ jours.

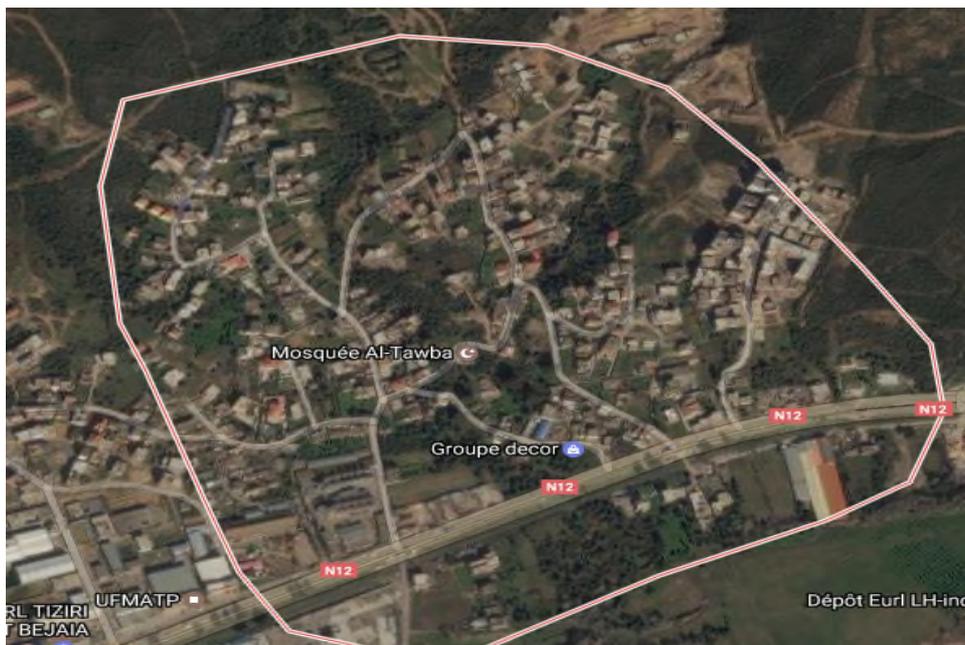


Figure II.1 : Situation géographique du puits de forage d'IBOURASSEN.

II.2. L'échantillonnage :

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération très délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté. Il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

Il doit être homogène et représentatif et ne doit pas modifier les caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques de l'eau.

II.2.1. Technique de prélèvement :

La technique de l'échantillonnage est primordiale car il conditionne la pertinence et la fiabilité des résultats de l'analyse. Il doit être précis mais également le mieux planifié dans le temps et dans l'espace pour qu'il soit le plus représentatif de l'échantillon d'eau à étudier.

Dans notre cas, l'échantillonnage a été fait :

- ✓ le 14/03/2017 à partir de 11h30 au niveau de puits de forage d'IBOURASSEN.
- ✓ le 16/04/2017 à partir de 13h30 au niveau de l'entrée de l'eau brute qui alimente la station de traitement de CEVITAL-Bejaia.

II.2.2. Flaconnage :

La nature du matériau du récipient de prélèvement est importante, car celui-ci ne doit pas entrer en réaction avec l'eau à analyser.

Les échantillons d'eau doivent être prélevés dans des récipients propres, rincés plusieurs fois avec l'eau à analyser, puis fermés hermétiquement sans laisser de bulles d'air dans le flacon, sauf si le récipient, provenant du laboratoire, contient un agent chimique (pour éviter la prolifération bactérienne) ou encore acide conservateur (pour empêcher la précipitation des métaux).

II.2.2.1 Échantillonnage physico-chimique :

L'échantillonnage pour la physico-chimie ne pose pas de problème particulier.

Nous avons utilisé des bouteilles en plastique en PET (5L ; 1,5L ; 0,5L), rincées trois fois avec l'eau à analyser puis remplies jusqu'au bord pour éviter l'oxydation et dégazage.

Ensuite, nous avons collé des étiquettes sur les bouteilles portant les informations suivantes :

- Date et l'heure du prélèvement ;
- Nom et localité de la source ;
- Le temps qu'il fait le jour de l'échantillonnage (température, humidité, pluviométrie)
- Types d'analyses souhaitées.

L'échantillon peut être gardé quelques jours mais il est préférable d'effectuer le dosage des éléments chimiques le plus tôt possible.

II.2.2.2 Échantillonnage bactériologique :

L'échantillonnage est fait dans des conditions rigoureuses. Nous avons utilisé des flacons en verre de 250ml préalablement nettoyés et stérilisés par autoclavage à 120°C durant 20min au laboratoire.

Le prélèvement bactériologie se déroule comme suit :

Ouvrir le robinet et laisser l'eau couler pendant 5min, fermer et stériliser le robinet avec un coton imbibé d'alcool.

Nous avons d'abord passer un fragment de coton imbibé d'éthanol, puis flamber l'orifice du robinet à l'aide d'un briquet, puis en laissant l'eau couler pendant un instant suivie d'une prise d'échantillon d'eau (flambage du goulot du flacon avant et après remplissage).

Le flacon ne doit pas être rempli complètement, afin de fournir de l'oxygène aux microorganismes aérobies (la teneur des échantillons en certains microorganismes peut se modifier rapidement, pour cela les analyses doivent être immédiates, ne pas dépasser les 24h après le prélèvement).

Ensuite, nous avons collé des étiquettes portant les mêmes informations que celles des échantillons pour les analyses physico-chimiques qui seront faites au laboratoire de l'université.

Les prélèvements sont placés dans une glacière à 4°C pour empêcher la multiplication de germes, puis acheminés aux laboratoires.

II.3. Contrôles physico-chimiques de l'eau :

L'étude de l'eau a pour objet de déterminer ses possibilités d'utilisation et sa potabilité; elle comporte une analyse physico-chimique et un examen bactériologique.

L'analyse physico-chimique fait connaître les emplois auxquels convient une eau donnée, besoins ménagers (eau de cuisson ou de lavage...), besoins industriels (eau de réfrigération ou de fabrication...), elle décèle les eaux risquant d'exercer une action chimique sur les canalisations comme l'entartrage ou la corrosion, elle facilite la mise au point des traitements qui supprimeront les inconvénients révélés.

L'eau est un constituant fondamental de notre environnement, c'est le seul composé qui peut se trouver dans les trois états de la matière (solide, liquide, ou gazeux) aux températures ordinaires.

L'analyse physico-chimique identifiera la concentration des minéraux dissous dans l'eau. L'identification de la couleur, de la turbidité, de la dureté (calcaire), de l'acidité et de l'alcalinité (pH), des minéraux tels le fer et le manganèse, les chlorures, le tannin, le soufre, les nitrites et nitrates ainsi que les autres solides dissous, suit une méthode scientifique appliquée au laboratoire selon un plan d'expérience, à partir d'un échantillon de l'eau.

II.3.1. Paramètres organoleptique :

II.3.1.1. La couleur :

La couleur de l'eau est due à la présence de matières organiques colorées (substances humiques), des particules colloïdales en suspension, de métaux ou de rejets industriels (industries papetières et textile...). [29]

❖ Matériels :

- Bêcher ;
- Pipete de 5ml.

❖ Mode opératoire :

On prend 5ml de l'eau brute (l'eau à analyser) dans un bêcheur, une dilution est opérée en rajoutant 5ml d'eau distillée jusqu'à disparition de la couleur (eau incolore et transparente). On doit diluer 4 fois au maximum avec le même volume d'eau distillée. Au bout de quatre dilutions, si l'eau devient incolore celle-ci répond à la norme, dans le cas contraire elle est hors norme. Pour notre échantillon d'eau testée, on remarque la disparition de la couleur (presque incolore). On déduit que l'eau d'Ibourassen est à la limite de la norme pour ce paramètre.

II.3.2. Paramètres physique-chimiques :

II.3.2.1. Potentiel d'hydrogène (pH) et de la température :

❖ Principe

C'est un paramètre physique qui correspond à la concentration d'ions hydrogènes (H^+) présents en solution dans l'eau.

Il détermine l'acidité ou l'alcalinité de l'eau. [30], et il traduit la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14. La valeur 7 étant le pH neutre, il est mesuré à l'aide d'un pH mètre ou par titrage volumétrique avec un indicateur coloré, le bleu de bromothymol.

❖ **Réactifs utilisés :**

- Solutions tampons pH= 4 ; 7 ; 10;
- Eau brute ;
- L'eau distillée.

❖ **Matériels :**

- Appareil pH-mètre de marque Hanna munit d'une cellule de verre avec deux électrodes combinées d'Ag/AgCl;
- Papier absorbant ;
- Pissette ;
- Bêcher.

❖ **Mode opératoire :**

- Brancher puis allumer l'appareil, rincer la cellule avec de l'eau distillée puis l'essuyer avec le papier absorbant et plonger là dans la solution tampon ;
- Etalonner l'appareil avec la solution tampon (pH=7 ou 4 ou 10) et par la suite rincer l'électrode avec l'eau distillée, puis avec l'échantillon à analyser ;
- Plonger l'électrode dans l'échantillon ;
- Attendre l'affichage stabilisé, puis noter les valeurs du pH et la température.

II.3.2.2. La conductivité électrique :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm^2 de surface et séparée l'une de l'autre d'un cm. Elle est l'inverse de la résistivité électrique ; l'unité de mesure est le micro siemens par centimètre ($\mu\text{s/cm}$). [31]

Tableau II-1 : La minéralisation des eaux en fonction de la conductivité électrique. [32]

La conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	La minéralisation de l'eau
Conductivité < 100	Très faible
100 < conductivité < 200	Faible
100 < conductivité < 333	Moyenne
333 < conductivité < 666	Moyenne accentuée
666 < conductivité < 1000	Importante
conductivité > 1000	Elevée

❖ **Matériels :**

- Appareil conductimètre de marque Inolab 700 munit d'une cellule conductimétrique avec deux électrodes de carbone vitreux de constante de cellule $k = 0,475 \text{ cm}^{-1}$;
- Papier absorbant ;
- Bêcher ;
- Pissette.

❖ **Mode opératoire :**

- Brancher puis allumer l'appareil, rincer la cellule avec de l'eau distillée et avec l'échantillon puis l'essuyer avec le papier absorbant ;
- Plonger d'abord la cellule dans la solution de KCl pour l'étalonnage de la cellule et de l'appareil.
- Puis rincer à nouveau la cellule avec l'eau distillée et essuyer avec le papier absorbant avant de l'introduire dans l'échantillon. Mesurer la conductivité;
- Lire la valeur stabilisée sur l'écran d'affichage, puis noter la valeur.

II.3.2.3. Turbidité :

La turbidité est une notion d'optique qui dépend de la diffusion de la lumière dans un milieu liquide le plus souvent l'eau. Elle est en relation avec la mesure des matières en suspension. Elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales, d'origine minérale

ou organique, qui trouble l'eau (c'est donc une notion opposée à celle de la limpidité). Elle s'exprime en NTU (Nephelometric Turbidity Unit). [31]

Tableau II-2 : Classes de turbidité usuelle (NTU, nephelometric turbidité unit).

La turbidité	Aspect visuel de l'eau
NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement claire
30 < NTU < 50	Eau moyennement trouble
NTU > 50	Eau trouble

❖ **Matériels :**

- Bêcher ;
- Turbidimètre.
- Cuvette de mesure en verre.

❖ **Mode opératoire :**

- Remplir la cuvette avec l'échantillon jusqu'au trait (environ 25ml) ;
- Allumer l'appareil en appuyant sur « ENTRER », et attendre que l'affichage soit stable ;
- Placer la cuvette préparée dans son emplacement et fermer le couvercle ;
- Noter la valeur maximale affichée.

II.3.2.4. Détermination du résidu sec :

Le résidu sec représente le taux des éléments minéraux recueillis après évaporation d'un échantillon d'eau à 105°C. Selon les quantités recueillies, elles sont classifiées comme suit:

- Résidu sec > 1500 mg/l : eau riche en sels minéraux ;
- 1500mg/l > résidu sec >500mg/l : eau moyennement minéralisée ;
- 500mg/l > résidu sec >50mg/l : eau faiblement minéralisée ;
- Résidu sec < 50mg/l : eau très faiblement minéralisée.

❖ Principe :

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu de l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée, le résidu correspond alors aux matières dissoutes.

❖ Matériels :

- Une capsule en porcelaine ;
- Fiole de 100ml ;
- Dessiccateur.
- Etuve
- Balance de précision de $\pm 0,1$ mg

❖ Mode opératoire :

- Tarer une capsule en porcelaine préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et séchée à 105°C pendant 24h (P_v).
- Prélever 100ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et déverser la dans la capsule en porcelaine.
- Porter celle-ci à ébullition jusqu'à évaporation à sels humides sur une plaque chauffante
- Ensuite, poursuivre l'évaporation totale de l'eau et à sec, dans l'étuve à 105°C jusqu'à poids constant.
- Laisser refroidir pendant ¼ d'heure au dessiccateur.
- Peser immédiatement et rapidement (P_p).

❖ Expression des résultats :

Les résultats sont donnés en mg/l.

$$R_s = [(P_p - P_v) / V_{ech}] \times 1000 \text{mg/l}$$

Où:

P_p est le poids plein de la capsule après évaporation totale de l'eau et séchage à 105°C.

P_v est le poids vide de la capsule.

V_{ech} est le volume d'eau.

II.3.2.5. Détermination des matières en suspension (MES):

Les MES représentent les matières qui ne sont ni à l'état dissous ni à l'état colloïdales, donc filtrable. Elles sont organiques et/ou minérales et permettent une bonne évaluation du degré de pollution d'une eau.

❖ Principe :

L'eau est filtrée et le poids de matières retenues par le filtre est déterminé après séchage à 105 °C par pesées différentielles jusqu'à masse constante.

❖ Matériels :

- Papier filtre ;
- Dessiccateur ;
- Fiole de 100ml.
- Etuve
- Balance de précision $\pm 0,1\text{mg}$

❖ Mode opératoire :

- Mettre le papier filtre dans l'étuve pendant quelques minutes à 105°C.
- Sortir le filtre, puis le mettre dans le dessiccateur pour le refroidissement.
- Puis peser le filtre sur la balance à $\pm 0,1\text{mg}$ jusqu'à obtention d'un poids stable (P_v).
- Prendre une fiole de 100ml, laver avec l'eau distillée.
- Prendre une prise d'essai de 100ml, placer le filtre dans la rampe de filtration.
- Verser le volume d'eau jusqu'à filtration complète.
- Récupérer le filtre plus les MES et le mettre à l'étuve à 105°C pendant 2h.
- Mettre le filtre plus les MES dans le dessiccateur pendant quelques minutes jusqu'à refroidissement.
- Peser le filtre plus les MES sec (P_p).

❖ Expression des résultats :

$$\text{MES} = [(P_p - P_v) / V_{\text{ech}}] \times 1000 \text{mg/l}$$

P_p est le poids plein (filtre+MES) à 105°C.

P_v est le poids vide (filtre) à 105°C.

V_{ech} est le volume d'eau.

II.3.2.6. Détermination du caractère agressif ou entartant de l'eau (Indice de saturation de Langelier (LSI)):

L'indice de saturation de Langelier est un nombre sans dimension permettant de déterminer la stabilité du carbonate de calcium dans l'eau. Il indique si l'eau va précipiter ou dissoudre le carbonate de calcium, soit en équilibre avec celui-ci. En 1936, Wilfred F. Langelier a développé une méthode pour prédire le pH auquel l'eau est saturée en carbonate de calcium (pH_s)

❖ Réactifs utilisés :

- Bicarbonate de calcium ;
- Eau brute ;
- Eau distillée.

❖ Matériels :

- pH mètre.
- Agitateur ;
- Bêcher.

❖ Mode opératoire :

- On prend 25ml de l'eau brute puis on lui joute 1g de bicarbonate de calcium ;
- Agitation pendant 10min ;
- On mesure le pH_s d'équilibre.

❖ Expression des résultats :

Il se calcule en faisant la différence entre le pH de l'eau et le pH de saturation (pH_s). Le LSI est exprimé par la différence entre le pH initial de l'eau et le pH de saturation :

$$\text{LSI} = \text{pH}_i - \text{pH}_s$$

- Lorsque le $LSI > 0$, l'eau est super saturée et tend à précipiter et former des dépôts de $CaCO_3$. L'eau est entartrant ou incrustante.
- Lorsque le $LSI = 0$, l'eau est saturée (en équilibre) en $CaCO_3$. Des dépôts de $CaCO_3$ ne sont ni déposés ni dissous. L'eau n'est ni entartrant ni agressive.
- Lorsque le $LSI < 0$, l'eau est sous saturée et tend à dissoudre le $CaCO_3$ solide. Elle est donc agressive et corrosive.

LSI : indice de Langelier, correspondant à la différence entre le pH initial et le pH de saturation ;

pH_i ; pH initial de l'eau brute ;

pH_s pH de saturation.

II.3.3. Paramètres physico-chimiques étudiés :

II.3.3.1. Dosage volumétrique :

La titrimétrie ou titrage volumétrique est une méthode de dosage utilisée en chimie analytique afin de déterminer la concentration d'une espèce chimique en solution (ou titre d'une solution).

Elle consiste à utiliser une solution de concentration connue (appelée titrant) qui permet de neutraliser une espèce contenue dans la solution inconnue (appelée analyte ou espèce titrée). D'autres méthodes sont rarement utilisées, comme le titrage gravimétrique.

II.3.3.1.1. La dureté totale (TH) :

❖ Principe :

Le titre hydrotimétrique (T.H. ou G.H. en allemand pour GesamtHärte), ou dureté de l'eau, Est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium.

La dureté s'exprime en ppm m/V (ou mg/L) de $CaCO_3$ ou en degrés français (symbole °F) en France.

Généralement, l'eau est souvent simplement classifiée comme l'eau «douce » ou « dure ». En général, les valeurs suivantes s'appliquent à ces termes :

- ✓ TH < 5°F (50 mg/L de CaCO₃) eau très douce ;
- ✓ De 5 à 12°F (50 – 120 mg/L de CaCO₃) eau douce ;
- ✓ De 12 à 24°F (120 – 240 mg/L de CaCO₃) eau dure moyenne ;
- ✓ De 24 à 36°F (240 – 360 mg/L de CaCO₃) eau dure ;
- ✓ > à 36°F (360 mg/L de CaCO₃) eau très dure.

Par rapport à normes algériennes.

❖ **Réactifs utilisés :**

- Solution tampon ammoniacal de pH=10 ;
- Noir erriochrome en poudre (NET), indicateur ;
- EDTA-Na₂ (0,02N) solution acide éthylène diamine tétra acétique di-sodique (Na₂C₁₀N₂O₂).

❖ **Matériels**

- Burette de 25 ml
- Erlenmeyer de 250ml
- Pipettes de 2ml, de 5ml et de 10ml.
- spatule

❖ **Mode opératoire :**

A l'aide d'une pipette, introduire 25ml de l'échantillon dans une fiole conique, puis en ajoute 2ml de la solution tampon et une pincée de NET, qui donne une couleur violet. Ensuite on titre avec l'EDTA en continuant d'agiter jusqu'à avoir un virage du rouge violet au bleu, on note le volume de l'EDTA versé.

Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

❖ **Expression des résultats :**

$$TH = \frac{0,02 \cdot (a-b)}{V_{éch}} * 50 * 1000 \text{ mg/L de CaCO}_3$$

a : volume de l'EDTA versé pour l'échantillon d'eau ;

b : volume de l'EDTA versé pour le blanc (eau distillée).

(10mg/l de CaCO₃ = 1°F)

II.3.3.1.2. La duresse calcique (TH_{ca}):**❖ Principe :**

La duresse calcique est obtenue par augmentation préalable du pH (>12) de la solution avec une solution de NaOH pour faire précipiter le magnésium sous forme d'hydroxyde, qui risque de gêner le dosage du calcium seul. Puis, on titre avec l'EDTA qui se complexe avec les ions Ca²⁺ en utilisant l'indicateur murexide de virage. [23]

❖ Réactifs utilisés :

- Solution hydroxyde de sodium NaOH (1N) ;
- EDTA-Na₂ (0,02N) solution acide éthylène diamine tétra acétique di-sodique (Na₂C₁₀N₂O₂) ;
- Murexide 1% dans NaCl (0,5g de murexide pulvérisé dans 49,5g de NaCl).

❖ Matériels :

- Burette de 25 ml
- Erlenmeyer de 250ml
- Pipettes de 2ml, de 5ml et de 10ml.
- spatule

❖ Mode opératoire :

A l'aide d'une pipette, introduire 25ml de l'échantillon dans une fiole conique, puis en ajoute 1ml de la solution NaOH (1N) et une pincée de murexide avec une spatule (quelques grains), on agite quelques instants jusqu'à développement d'une coloration rose foncée. Ensuite on titre avec l'EDTA en continuant d'agiter jusqu'à avoir un virage du rose au bleu violet, on note le volume de l'EDTA versé.

Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

❖ Expression des résultats :

$$\text{TH}_{\text{ca}} = [\text{Ca}^{2+}] = \frac{0,02 \cdot (a-b)}{\text{V}_{\text{éch}}} * 50 * 1000 \text{ mg/L de CaCO}_3$$

a : volume de l'EDTA versé pour l'échantillon d'eau ;

b : volume de l'EDTA versé pour le blanc (eau distillée).

(10mg/l deCaCO₃ = 1°F).

II.3.3.1.3. La dureté magnésienne (TH_{Mg}):

On fait précipiter au préalable les ions calcium par l'oxalate de sodium à chaud, puis on titre les ions Mg^{2+} seuls avec l'EDTA en milieu tampon ammoniacal.

❖ Réactifs utilisés :

- Oxalate de sodium ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) ;
- EDTA- Na_2 (0,02N) solution acide éthylène diamine tétra acétique di-sodique ($\text{Na}_2\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$) ;
- Solution tampon ammoniacal de pH=10 ;
- Noir erriochrome en poudre (NET), indicateur.

❖ Matériels :

- Burette de 25 ml
- Erlenmeyer de 250ml
- Pipettes de 2ml, de 5ml et de 10ml.
- spatule

❖ Mode opératoire :

A l'aide d'une pipette, introduire 25ml de l'échantillon dans une fiole conique, puis en ajoute 2,5ml de la solution d'oxalate de sodium et on agite puis on chauffe pendant 10min à 50°C pour avoir rapidement un précipité d'oxalate de sodium, puis on filtre au dessus d'un entonnoir munit d'un papier filtre et placé dans un erlenmeyer. Le filtrat est étendu à un volume de 25ml avec l'eau distillée. Par la suite, on ajoute 2ml de solution tampon 10 et une pincée de NET (quelques grains). Après quelques instants d'agitation, on titre avec l'EDTA en continuant d'agiter jusqu'à avoir un virage du rose violet au bleu. On note le volume de l'EDTA versé.

Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats. [23]

❖ Expression des résultats :

$$\text{TH}_{\text{Mg}} = [\text{Mg}^{2+}] = \frac{0,02 \cdot (a-b)}{V_{\text{éch}}} * 50 * 1000 \text{ mg/L de CaCO}_3$$

a : volume de l'EDTA versé pour l'échantillon d'eau ;

b : volume de l'EDTA versé pour le blanc (eau distillée).

(10mg/l de $\text{CaCO}_3 = 1^\circ\text{F}$).

II.3.3.1.4. Détermination du titre alcalimétrique (TA):**❖ Principe :**

Il permet de connaître les teneurs de l'eau en carbonates et en bases fortes présentes dans l'eau. Cette analyse se fait en présence de phénolphtaléine qui vire du rose-fuchsia à l'incolore à un pH de 8,2. Le titre alcalimétrique s'exprime en ppm m/V (ou mg/L) de CaCO_3 ou en degrés français (°F).

❖ Réactifs utilisés :

- Solution de phénolphtaléine à 1% dans l'éthanol;
- Acide sulfurique H_2SO_4 0.02N.

❖ Matériels :

- Burette de 25 ml
- Erlenmeyer de 250ml
- Pipettes de 2ml, de 5ml et de 10ml.

❖ Mode opératoire :

Prélever dans un erlenmeyer 25ml d'eau à analyser, puis on ajoute 1 à 2 gouttes de solution de phénolphtaléine. Une coloration rose doit alors se développer (pH > 8,3 ; TA≠0) dans le cas contraire le TA est nul. Ce qui signifie qu'il n'existe pas de bases fortes (pH < 8,3).

Dans le cas où une coloration rose apparaît, on doit titrer avec l'acide sulfurique à l'aide d'une burette en agitant constamment jusqu'à décoloration complète de la solution (pH = 8,3). On note le volume de H_2SO_4 versé.

Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

II.3.3.1.5. Détermination du titre alcalimétrique complet (TAC) :**❖ Principe :**

Il permet de connaître les teneurs de l'eau en bicarbonates HCO_3^- et en bases fortes (carbonates CO_3^{2-} et OH^-) présents dans l'eau. Le dosage se fait d'abord en présence de phénolphtaléine, qui vire du rose-fuchsia à l'incolore à un pH de 8,2 (1^{er} virage), puis on poursuit le titrage des bicarbonates en ajoutant le méthylorange comme indicateur coloré (2^{ème} virage pH=4,3), la fin du titrage est indiquée par changement de la

couleur du jaune à l'orange. Le titre alcalimétrique s'exprime en ppm m/V (ou mg/L) de CaCO₃ ou en degrés français (°F).

❖ **Réactifs utilisés :**

- Solution de méthyle orange 1% ;
- Acide sulfurique (H₂SO₄) 0,02N.

❖ **Matériels :**

- Burette de 25 ml
- Erlenmeyer de 250ml
- Pipettes de 2ml, de 5ml et de 10ml.

❖ **Mode opératoire :**

Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif s'il n'y a pas eu de coloration (TA=0), ensuite on ajoute 2 gouttes de solution de méthyle orange et titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au virage du jaune ou jaune orange (pH = 4,3). On note le volume de H₂SO₄ versé.

Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

❖ **Expression des résultats :**

$$\text{TAC} = \frac{0,02 \cdot (a-b)}{V_{\text{éch}}} * 50 * 1000 \text{ mg/L de CaCO}_3$$

a : volume total de H₂SO₄ versé au deux virages pour l'échantillon d'eau ;

b : volume de H₂SO₄ versé pour le blanc (eau distillée).

(10mg/l de CaCO₃ = 1°F)

II.3.3.1.6. Dosage des chlorures (Cl⁻) par la méthode de « MOHR »:

❖ **Principe :**

Les chlorures sont précipités en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge-marron caractéristique du chromate d'argent.

❖ **Réactifs utilisés :**

- Solution de chromate de potassium (indicateur coloré de la réaction de précipitation) (2.55*10⁻³N) ;

- Solution de nitrate d'argent (0.014N).

❖ **Matériels :**

- Burette de 25 ml
- Erlenmeyer de 250ml
- Pipettes de 2ml, de 5ml et de 10ml.
-

❖ **Mode opératoire :**

A l'aide d'une pipette, introduire 25ml de l'échantillon d'eau brute dans une fiole conique. Ajouter 2 gouttes de l'indicateur de chromate de potassium et titrer la solution par addition goutte à goutte de la solution de nitrate d'argent jusqu'à ce que la solution vire d'une couleur brun rougeâtre au jaune citron. On note le volume d'AgNO₃ versé.

Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

❖ **Expression des résultats :**

$$[\text{Cl}^-] = \frac{0,02 \cdot (a-b)}{V_{\text{éch}}} * 35,45 \text{ mg/L}$$

a : volume total de AgNO₃ versé pour l'échantillon d'eau ;

b : volume de AgNO₃ versé pour le blanc (eau distillée).

II.3.3.1.7. Test d'oxydabilité aux KMnO₄ ou bien indice permanganate (IP) :

❖ **Principe :**

L'oxydation chimique des matières organiques et des substances minérales est effectuée par le permanganate de potassium à chaud ou à froid, suivant l'acidité du milieu et la température, l'oxydation est plus ou moins énergique. Ce test conventionnel permet d'apprécier la teneur en matière organique en même temps que la présence d'autres substances réductrices.

❖ **Réactifs utilisés :**

- Acide sulfurique (1N);
- Solution mère de permanganate de potassium (0.01N) ;
- Solution d'oxalate de sodium (0.01N).

❖ Matériels :

- Burette de 25 ml
- Erlenmeyer de 250ml
- Pipettes de 2ml, de 5ml et de 10ml.
- Plaque chauffante

❖ Mode opératoire :

Introduire une prise d'essai de 25ml d'eau à analyser dans le flacon d'essai. Ajouter 5ml d'acide sulfurique à 2mol/l, mélanger avec précaution. Placer le récipient dans le système de chauffage pendant 10min, puis ajouter 5ml de solution de KMnO_4 (0,01N). Noter l'heure au bout de 10min (15 seconde), ajouter 5ml de solution d'oxalate de sodium (0,01N) en excès et attendre la décoloration de la solution.

Titrer la solution encore chaude avec la solution de KMnO_4 (0,01N) jusqu'à l'apparition d'une coloration rose pâle persistant environ 30s. On note le volume de KMnO_4 consommé.

Le titrage est refait 3 fois, puis la moyenne est calculée pour les trois résultats.

Parallèlement à l'essai, procéder à un essai à blanc dans les mêmes conditions mais sur 25ml d'eau distillée.

❖ Expression des résultats :

$$\text{IP (mg/l O}_2\text{)} = (V_1 - V_0) * N * 8 * 1000 / V_{\text{éch}}$$

IP : indice de KMnO_4 ;

V_1 : volume en ml de la solution de KMnO_4 consommé pour l'échantillon;

V_0 : volume en ml de la solution de KMnO_4 consommé pour le blanc (l'eau distillée) ;

N : normalité de KMnO_4 ;

8 : équivalent en O_2 , exprimé en mg/l d'une solution normale de KMnO_4 ;

$V_{\text{éch}}$: volume de l'eau analysée.

II.3.3.2. Analyse spectrophotométrique UV- Visible :

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative et qualitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée, généralement en solution. Plus l'échantillon est concentré, plus il absorbe la lumière dans les limites de proportionnalité énoncées par la loi de Beer-Lambert. La densité optique des échantillons est

déterminée à la longueur d'onde d'absorption de la substance à étudier, par un spectrophotomètre préalablement étalonné. [23]

❖ **Principe :**

Il est fondé sur la détermination de l'absorbance en fonction de la longueur d'onde. On utilise donc un système de type monochromateur pour fixer la longueur d'onde et un photomultiplicateur vient enregistrer l'absorbance correspondante. Il suffit de faire varier la longueur d'onde sur une plage adéquate pour obtenir un spectre.

Une source de lumière est rendue monochromatique à travers un système dispersant (prisme) ou un système diffractant (réseau). Le faisceau est dédoublé. Un faisceau traverse la cuve et l'autre sert de référence (passe à travers une cuve de solvant). Un photomultiplicateur enregistre le spectre de transmission $T = I / I_0$ puis traite l'information de façon à donner l'absorption. Le spectre est ensuite affiché et traité par un ordinateur qui détermine les différentes longueurs d'onde d'absorption maximale ainsi que les absorptions correspondantes.

❖ **Protocole de mesure de l'absorbance :**

Pour mesurer l'absorbance A d'une substance colorée en solution aqueuse à une longueur d'onde donnée, on place dans le spectrophotomètre, une cuve en plastique (milieu aqueux et domaine du visible, en verre(visible) ou en quartz (UV)) quelques soit le milieu, contenant la solution de référence, puis on sélectionne la longueur d'onde, ensuite on fait le « blanc » (on dit aussi : on règle le zéro du spectrophotomètre) : A (solution de référence + cuve) = 0 .

On place, dans le spectrophotomètre une cuve identique à celle de la référence contenant la solution de la substance colorée à analyser, puis on lit la valeur de l'absorbance A , par comparaison au blanc.

❖ **Méthode de la courbe d'étalonnage :**

C'est une méthode universelle graphique appliquée en UV-VISIBLE. Elle est basée sur la mesure des absorbances d'une série de solutions étalons dont les concentrations sont connues, et qui permettent de tracer la courbe étalonnage $A = f(C)$.

II.3.3.2.1. Dosage de la silice (SiO_2) :

❖ **Principe :**

A un pH compris entre 2,3 et 2,4, l'acide silicique dissout forme avec le molybdate d'ammonium un complexe jaune de molybdate silicique. Lorsqu'il est réduit avec le

complexe ANS augmentant la sensibilité de l'analyse, on obtient une couleur bleu avec formation de l'azur de molybdate. [33]

❖ **Réactifs utilisés :**

- Etalon commercial de silicate de sodium à 1000mg/l (SCP SCIENCE Canada, 1000mg/l, H2O/tr. HF) ;
- Acide chlorhydrique HCl concentré à (50%) ;
- Solution de molybdate d'ammonium;
- Solution d'acide oxalique.

❖ **Matériels**

- 06 Tubes à essai de 25 ml
- Porte tubes
- 3 fioles jaugées de 100ml
- Pipettes de 2ml, de 5ml et de 10ml.
- 02 cuves de mesure

❖ **Préparation de la solution fille à 10mg/l de Si^{4+} :**

Nous prélevons 1ml de la solution mère à 100mg/l dans une fiole de 100ml, et nous complétons jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée.

❖ **Préparation de la solution standard à 1 mg/l de Si^{4+} :**

Nous prélevons 10ml de la solution fille à 10mg/l de Si dans une fiole de 100ml et nous complétons jusqu'au trait de jauge avec l'eau distillée.

❖ **Préparation des étalons de silicate :**

Dans une série de tubes à essais de 25ml, on introduit à l'aide d'une pipette 0, 1, 2, 3, 4, 5 ml de la solution standard à 1mg/l, on complète jusqu'à 10ml avec l'eau distillée en utilisant une pipette de 10 ml.

N° de fiole	1	2	3	4	5	6
C (mg/l)	blanc	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
V _{sol standard} (ml)	0	1	2	3	4	5
V _{eau distillée} (ml)	10	9	8	7	6	4

❖ Dosage et courbe d'étalonnage :

On verse 10ml d'étalon dans un tube à essai et on ajoute 0.2ml d'acide chlorhydrique, puis 0.4ml de la solution molybdate d'ammonium, on agite pour bien mélanger et on laisse au repos pendant 7min, puis on ajoute 0.4ml de la solution d'acide oxalique et on agite quelques minutes. Une coloration jaune claire se développe.

On mesure l'absorbance après quelques minutes (15min), après l'addition de l'acide oxalique, car le complexe molybdo-silicate est plus stable au bout d'un certain temps. Par la suite, on mesure l'absorbance de chacun des étalons à $\lambda = 410\text{nm}$ par rapport au blanc préparé dans les mêmes conditions mais ne contenant le silicium.

❖ Dosage de l'échantillon d'eau :

On introduit 10ml d'eau brute dans un tube à essai propre et sec, puis on ajoute 0.2ml d'acide chlorhydrique, ensuite 0.4ml de la solution molybdate d'ammonium, on agite et on le laisse reposer 7min, puis on ajoute 0.4ml de la solution d'acide oxalique et on agite quelques instants puis on laisse au repos pendant quelques minutes (15min). Après, on mesure l'absorbance de l'échantillon ainsi préparé par rapport au blanc. La concentration en silice est déterminée à partir de l'équation de la courbe d'étalonnage.

II.3.3.3. Analyse par spectrophotométrie d'adsorption atomique (SAA):

En chimie analytique, la spectrométrie d'absorption atomique (Atomic absorption spectroscopy en anglais ou AAS) est une technique de spectroscopie atomique servant à déterminer la concentration de certains métaux dans un échantillon. Elle peut servir à mesurer la concentration de plus de 60 métaux différents en solution. Elle fait partie des méthodes classiques d'analyse en chimie analytique. Basée sur le principe de la spectrophotométrie, elle conduit beaucoup plus à des données quantitatives. L'absorption est utilisée généralement pour faire un dosage, l'élément est connu, on détermine sa concentration par rapport à des étalons.

L'analyse se base sur l'absorption de photons par des atomes à l'état fondamental, et on utilise à cet effet en général des solutions sauf dans le cas des hydrures.

La détermination spectroscopique d'espèces atomiques peut seulement être réalisée à partir d'un échantillon à l'état gazeux, dans lequel les atomes individuels comme l'Ag, l'Al, l'Au, le Fe et le Mg sont nettement séparés les uns des autres.

II.3.3.3.1. Dosage du Fer par SAA :

Le fer est le quatrième élément de la croûte terrestre. Le fer se trouve essentiellement dans les eaux privées d'oxygène. Ses origines sont diverses mais, en général, le fer dans l'eau provient principalement de sources naturelles par dissolution de roches dans le cas d'eaux souterraines ou de sédiments pour les eaux de fond de retenues. Parfois, il peut provenir de rejets industriels ou de la corrosion de canalisations métalliques. Enfin, l'utilisation de sels de fer comme agents de coagulation pour la production d'eau potable peut également apporter du fer. Les besoins en fer pour l'homme sont d'environ 10 mg par jour. La présence de fer à des conséquences organoleptiques et, sous certaines conditions, peut engendrer des problèmes au niveau de l'exploitation des réseaux. A une teneur supérieure à 0,1 mg/l, le fer donne un goût désagréable à l'eau, une coloration noirâtre et peut également tâcher le linge.

II.4. Contrôles microbiologiques de l'eau :

L'objectif de l'analyse bactériologique d'une eau n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces présentes, mais de rechercher soit celles qui sont susceptibles d'être pathogènes, soit celles qui sont indicatrices de contamination fécales.

✓ **Les germes totaux :**

Ce paramètre permet de mesurer les conditions sanitaires de la distribution et résiduel de désinfection, une concentration très importante en germes totaux peut entraîner des problèmes d'ordre organoleptique et de santé, par contre une faible valeur est le témoin de l'efficacité du traitement et de l'intégrité du système de distribution.

✓ **Escherichia coli :**

L'apparition de cette bactérie dans l'eau indique la présence éventuelle de micro-organismes pathogènes. C'est la principale bactérie du groupe des coliformes fécaux. Ces derniers sont des indicateurs d'une contamination d'origine fécale, car ils apparaissent toujours en grande quantité dans les déjections animales et humaines. C'est pour cela que les coliformes fécaux constituent un bon test de contamination des eaux par des matières fécales. Certaines souches *d'Escherichia coli* sont pathogènes pour l'homme et peuvent provoquer des troubles intestinaux ressemblant à une gastro-entérite, au choléra ou à la dysenterie.

❖ Matériels utilisé :

- Bec benzène ;
- Boîtes de pétris ;
- Pipette Pasteur ;
- L'étuve ;
- Autoclave.

❖ Milieu de culture utilisé :

- Gélose ;
- Gélose éosine bleu de méthylène.

❖ Mode opératoire :**✓ Les germes totaux :**

La détermination de la présence des germes totaux est réalisée sur milieu PCA (gélose), après avoir coulé la gélose dans une boîte de pétri stérilisée et après solidification de la gélose, des souches sontensemencés par la méthode des stries à partir de la solution mère.

Après incubation à 38°C pendant 24h, les présences des germes totaux sont évaluées par l'apparition des colonies blanches dans le milieu.

✓ Escherichia coli :

La détermination de la présence de *Escherichia coli* est réalisée sur milieu gélose éosine bleu de méthylène, après avoir coulé l'EMB dans une boîte de pétri stérilisée et après solidification de boîte, sontensemencés des souches par la méthode des stries à partir de la solution mère.

Après incubation à 38°C pendant 24h, la présence des *Escherichia coli* sont évaluées par l'apparition des colonies blanches dans le milieu.

II.5.Traitement de l'eau brute :

Il existe plusieurs traitements de l'eau naturelle, dans notre cas on choisit deux traitements qui sont la coagulation-floculation (jar test) et l'adoucissement (précipitations chimiques au carbonate de sodium et à la soude caustique, résines).

II.5.1. Coagulation-floculation :

La coagulation-floculation, est une opération physico-chimique de déstabilisation des particules colloïdales chargées électriquement, qui peut être obtenue par neutralisation de leurs charges avec des coagulants. La déstabilisation va entraîner l'agglomération des particules, qui peut être renforcée par l'apport d'autres substances chimiques, dites floculant. [34]

❖ Coagulation :

La coagulation est une opération qui annule les charges électriques des particules en suspension (colloïdes généralement électronégatifs), par ajout à l'effluent de réactifs minéraux, ou de poly-électrolytes. Cela donne un précipité.

Le produit utilisé est appelé coagulant, dans notre cas on a utilisé le chlorure ferrique (Fe Cl_3) et la chaux (Ca(OH)_2).

❖ Floculation :

La floculation provoque la formation de « floccs », c'est-à-dire de particules agglomérées de taille suffisantes pour décanter ou flotter (flottation forcée par microbulles d'air). Le but est d'obtenir rapidement des floccs de plus en plus lourds, volumineux et plus cohérents. Une agitation lente doit être suivie d'une homogénéisation de la solution de floculant (souvent de silice activée ou amidon) et de l'effluent coagulé. Cette floculation peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif ; l'adjuvant défloculation, plus simplement appelé le floculant. Les floculants sont classés suivant leur origine (synthétique ou naturelle). Leur nature (minérale et organique), ou le signe de charge électrique (cationique ou anionique). [35]

Dans notre cas on a utilisée l'amidon et la cellulose.

II.5.2. Adoucissement :

L'adoucissement de l'eau est un procédé de traitement physico-chimique destiné à éliminer la dureté de l'eau (due à la présence des sels alcalino-terreux : carbonates, sulfates et chlorures de calcium et de magnésium). L'eau adoucie n'est pas incrustante et mousse facilement avec le savon. Il existe deux types d'adoucissement : soit effectué par passage de l'eau à travers un échangeur de cations (permutation des ions calcium avec les ions sodium), régénéré avec du chlorure de sodium, soit par décarbonatation à la chaux et précipitation au carbonate de

sodium et à la soude caustique. On peut régénérer la résine en y faisant couler une solution concentrée de chlorure de sodium et remplacer les ions calcium par des ions sodium: l'échange d'ions est donc un processus réversible.

II.5.3. JART-TEST :

Le Jart-test est une appaillage composé d'une série d'agitateurs (6), contient aussi des béchers de 1l et doté d'un dispositif de réglage simultané, de la vitesse et du temps d'agitation exprimé respectivement en tours par minute. Ces deux paramètres peuvent varier en fonction :

- De la vitesse de rotation : de 0 à 140trs/min ;
- Du temps de rotation.

❖ Coagulation :

➤ Réactifs utilisés :

- chlorure ferrique (Fe Cl_3) ;
- la chaux (Ca(OH)_2).

➤ Mode opératoire :

- Prélever dans chaque bêche 250ml de l'eau brute ;
- Addition des doses variables de chaux Ca(OH)_2 (0ml -2ml-4ml-8ml-10ml) en maintenant fixe la quantité de coagulant (dans chaque bêche on va mettre à l'aide d'une pipette une dose fixe (10ml) de (Fe Cl_3)) ;
- Procéder au réglage de la vitesse d'agitation à 45trs/mn
- Le temps d'agitation est fixé à 1h ;
- Mettre l'agitation en marche avec le bouton de mise en marche.
- Contrôler le temps

❖ Flocculation :

➤ Réactifs utilisés :

- Amidon ;
- Cellulose.

➤ **Mode opératoire :**

- Ajouter aux précédents échantillons traités par coagulation-floculation, une quantité de l'amidon ou bien de cellulose fixée lors du premier essai de traitement, puis variable pour la suite des essais de traitement.
- Procéder à la régulation des paramètres de floculation (45trs/min pendant 1h) ;
- Lancer la floculation

Dans notre traitement on va varier d'abord le coagulant après le floculant.

❖ **1^{er} Essai de traitement de coagulation-floculation:**

Pour notre traitement on a varié d'abord la chaux puis le coagulant, sur le 1^{er} prélèvement d'eau brute effectué au puits de forage d'Ibourassen (Oued Ghir).

✓ **Variation de $\text{Ca}(\text{OH})_2$:**

On a varié la chaux pour optimiser les conditions du traitement le l'eau brute qui doit être réalisé dans un milieu basique.

$$T^\circ = T_{\text{amb}} = 21^\circ\text{C} ;$$

$$V = 45\text{t/mn} ;$$

$$t = 3\text{h} \text{ (1h pour coagulations, 1h pour floculation, 1h pour adoucissement) ;}$$

On fixe dans un premier temps et pour cet essai, la quantité du coagulant (FeCl_3) et du floculant (l'amidon) (voir le tableau de préparation ci-après).

N°	1	2	3	4	5	6
Réactifs						
V (ml) de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	0	2	4	6	8	10
V (ml) de $\text{Fe}(\text{Cl})_3$	10	10	10	10	10	10
m (g) de Amidon	2	2	2	2	2	2

A la fin du traitement, les échantillons sont décantés pendant au moins 1/2h puis filtrés et par la suite on doit effectuer les contrôles des paramètres physicochimiques après coagulation et floculation: pH, conductivité, TAC, TH, TH_{Ca} , Cl^- , , IP sur une partie (200ml) des échantillons d'eau, et le reste (50ml) sera réservé pour le dosage de Fe^{3+}

par SAA après acidification de la moitié (25ml) avec une goutte de H_2SO_4 et l'autre moitié est destinée au test microbiologique.

❖ **2eme Essai de traitement :**

Dans cet essai on a fait varier la quantité de coagulant en maintenant fixe celle de la chaux et de l'amidon.

✓ **Variation de $Fe(Cl)_3$:**

On a varié le chlorure ferrique pour traiter l'eau brute du 2^{eme} prélèvement, effectué à l'entrée de la station de traitement de Cevital.

$T^\circ = T_{amb} = 21^\circ C$;

$V = 45t/mn$;

$t = 3h$ (1h pour coagulations, 1h pour floculation, 1h pour adoucissement);

On fixe le $Ca(OH)_2$ et l'amidon.

Réactifs \ N°	1	2	3	4	5	6
V (ml) de $Ca(OH)_2$	6	6	6	6	6	6
V (ml) de $Fe(Cl)_3$	0	2	4	6	8	10
m (g) de Amidon	2	2	2	2	2	2

❖ **3^{eme} traitement :**

✓ **Variation de l'amidon :**

On fait varier la quantité de flocculant (amidon), en maintenant les quantités de chaux et de coagulants ($FeCl_3$) fixes aux valeurs optimisées lors des deux précédents essais, sur l'eau brute du 2^{eme} prélèvement. Les paramètres fixés sont :

$T^\circ = amb = 21^\circ C$;

$V = 45t/mn$;

$t = 3h$ (1h pour coagulations, 1h pour floculation, 1h pour adoucissement);

On fixe le $Ca(OH)_2$ à 6 ml et $FeCl_3$ à 4 ml, correspondant aux valeurs optimales (voir le tableau ci-après).

N°	1	2	3	4	5	6
Coagulant et flocculant						
V (ml) de Ca(OH) ₂	6	6	6	6	6	6
V (ml) de Fe (Cl) ₃	4	4	4	4	4	4
m (g) de Amidon	0	2	4	6	8	10

❖ **4^{ème} traitement :**

Pour le 4^{ème} traitement, on fait varier le type de flocculant et pour cela on a opté pour un autre flocculant qui est la cellulose, pour étudier l'effet de la nature du flocculant sur la floculation lors du traitement de l'eau brute.

✓ **Variation de la cellulose :**

On fait varier la quantité de la cellulose en maintenant fixes les autres paramètres ainsi (voir tableau ci-après):

T°=amb= 21°C ;

V= 45t/mn ;

t = 3h (1h pour coagulations, 1h pour floculation, 1h pour adoucissement);

On fixe le Ca(OH)₂ à 6ml et FeCl₃ à 4ml.

N°	1	2	3	4	5	6
Coagulant et flocculant						
V (ml) de Ca(OH) ₂	6	6	6	6	6	6
V (ml) de FeCl ₃	4	4	4	4	4	4
m (g) de Cellulose	0	2	4	6	8	10

A la fin de la coagulation-floculation, on laisse décanter les échantillons car c'est la méthode la plus fréquente de séparation des MES, mais ces dernières devront être préalablement rassemblés sous forme de floccs après les étapes de coagulation-floculation, ainsi que les minéraux et les matières organiques qui ont subi la coagulation-floculation. Nous remarquons qu'à l'issue de ce traitement physico-chimique, la disparition complète de la coloration initiale de l'échantillon. Les échantillons d'eaux deviennent clairs et limpides à la suite de la décantation et de la filtration.

Après 24 h de décantation, on passe à la filtration.

✓ Filtration :

On filtre séparément les 06 échantillons d'eau brute traitée au dessus d'un entonnoir munit d'un papier filtre placé dans un erlenmeyer de 250ml. Les papiers filtres doivent séchés au préalable dans l'étuve pendant 24h, et pesés au bout de 15mn de séchage à 105°C.

Après la filtration, on doit prélever 50ml dans chaque bêche pour faire l'analyse (pH, conductivité, TH, TA et TAC, Cl⁻).

II.5.4. Traitement par adoucissement :**❖ Adoucissement par précipitation chimique:****➤ Réactifs utilisés :**

- Carbonate de sodium Na₂CO₃ ;
- hydroxyde de sodium NaOH.

➤ Mode opératoire :

Les échantillons précédemment filtrés vont subir un adoucissement d'abord par décarbonatation à la chaux-Carbonate de Sodium-NaOH, en rajoutant dans chaque bêche, une dose de Na₂CO₃ (0.094g) correspondant au traitement de 200ml d'eau brute naturelle calculée selon la formule de Degremont [36], ensuite on place les 6 échantillons dans le l'appareil du Jart- test sous agitation pendant 30minute à 45trs/mn. Puis, on ajoute une dose de NaOH (0.013g) calculée selon la formule de Degremont [36], en maintenant l'agitation pendant 30minutes encore.

L'ajout de chaux n'est pas nécessaire dans cette étape puisque il a été déjà ajouté lors de la première phase de coagulation-floculation.

A l'issue de notre traitement final par Coagulation-Floculation-Adoucissement chimique, on doit contrôler les 6 échantillons d'eau traitée par des analyses physicochimiques et bactériologique.

❖ Adoucissement sur résine échangeuse cationique:

Dans notre cas on a utilisé une résine amberlite d'échange cationique.

L'adoucissement de l'eau consiste à échanger les ions calcium et magnésium contre les ions sodium fixés sur la résine. Lorsqu'il n'y en a plus, il faut régénérer la résine. Cette phase de régénération est essentielle. La solution obtenue à partir de chlorure de sodium assure un échange ionique inverse.

Un adoucisseur comportant des résines échangeuses d'ions permet de réduire la dureté de l'eau qui résulte de la présence d'ions calcium et magnésium. Elle se mesure par son titre hydrotimétrique (TH) exprimé en °F. Une eau dont le titre se trouve entre 15 et 25°F mérite d'être adoucie. Au delà de 25°F, l'adoucissement est fortement conseillé.

Les analyses effectuées ont pour objectif l'évaluation de la qualité physico-chimique et microbiologique, de l'eau du puits de forage pour les deux points de prélèvement, à Ibourassen et à l'entrée de la station de traitement de Cevital.

-Première partie-

III -1-Analyses physico-chimiques et microbiologique de l'eau brute :

La qualité des eaux est évaluée par un ensemble de critères physico-chimiques et bactériologiques qui définit leur degré de pureté.

III.1-1.Contrôles physico-chimiques de l'eau brute :

Les résultats obtenus des différents paramètres sont consignés dans les tableaux et représentés par des histogrammes comme suit :

A- Paramètres organoleptiques:

a- La couleur :

Tableau III.1 : la Couleur de l'eau brute des deux stations d'étude.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de l'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
Couleur	Jaunâtre (turbide)	Pas de couleur	Pas de couleur

Les résultats obtenus (Tableau III.1) marquent une différence de couleur pour l'eau de puits, notons que l'eau d'Ibourassen à une couleur jaunâtre ce qui signifie la présence du fer dans cette eau, par contre l'eau prélevée à l'entrée de Cevital est incolore est dans la norme. Mais après 4 dilutions effectuées sur l'échantillon d'eau d'Ibourassen, nous avons remarqué la disparition complète de la couleur ; ainsi, l'eau d'Ibourassen est à la limite de la norme pour ce paramètre selon l'OMS.

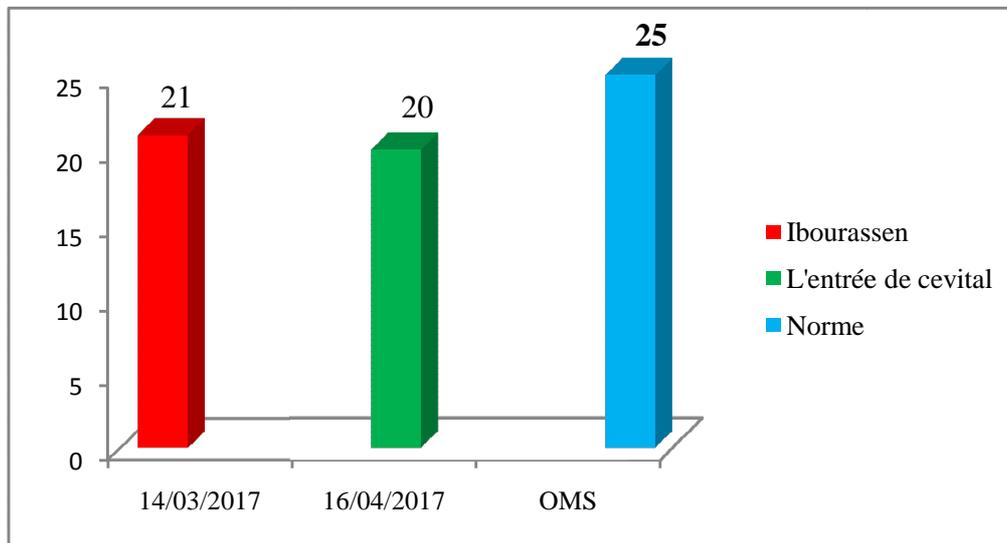
B- Paramètres physico-chimiques :

a- La température :

Les températures mesurées sont consignées dans le tableau suivant :

Tableau III.2 : Température de l'eau brute des deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de l'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
T (°C)	21	20	25

**Figure III.1** : Variation des températures de l'eau brute des deux prélèvements.

Les résultats obtenus (fig III.1) montrent que les températures de l'eau d'Ibourassen et de Cevital sont très proches. Les valeurs des températures enregistrées sont 21°C pour l'eau d'Ibourassen et 20°C pour l'eau à l'entrée de Cevital. Ces valeurs sont proches de celles fixées par l'OMS à savoir 25°C.

b- Le Potentiel d'hydrogène (pH):

Tableau III.3 : Le pH de l'eau brute des deux stations.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de l'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
pH	7,42	7,45	6,5-8,5

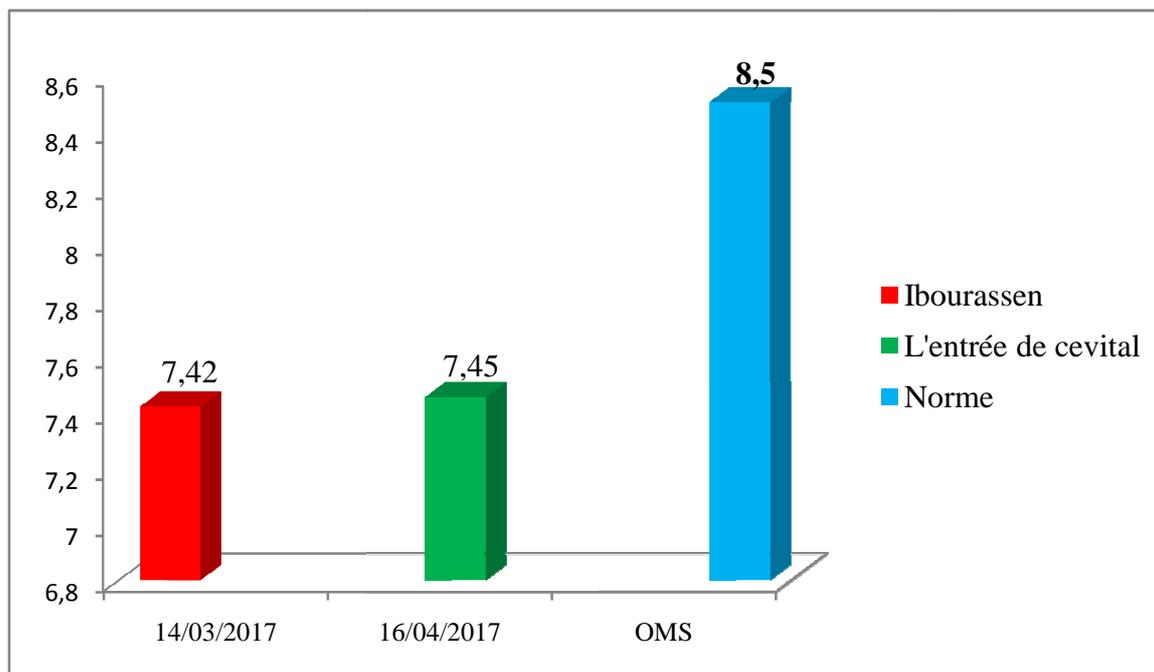


Figure III.2 : Variation de pH de l'eau brute des deux prélèvements.

D'après l'Histogramme (fig III.2) ci-dessus, nous notons que le pH de l'eau d'Ibourassen est presque égal à celui à l'entrée de Cevital, respectivement 7,42 et 7,45. Les eaux du puits de forage ont donc un pH voisin de la neutralité. Ces valeurs sont dans l'intervalle de la norme de l'OMS.

c. La conductivité :

Tableau III.4 : La conductivité de l'eau brute des deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
λ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2120	2130	2000

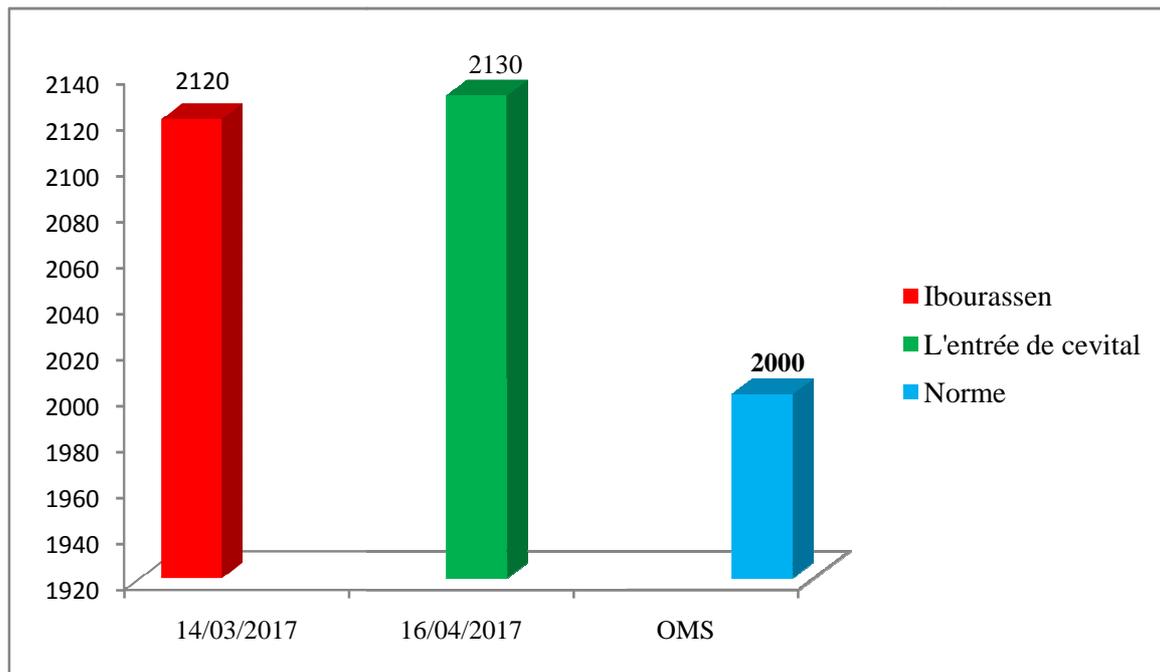


Figure III.3 : Variation de la conductivité de l'eau brute des deux prélèvements.

Les valeurs enregistrées (fig III.3) indiquent que l'eau des deux prélèvements est caractérisée par une forte conductivité relativement à la norme fixée par l'OMS. Ceci traduit une importante minéralisation de l'eau liée probablement due aux sels dissous.

d. La turbidité :

Tableau III.5 : les teneur de la turbidité de l'eau brute de deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
Turbidité (NTU)	19,3	6,44	5

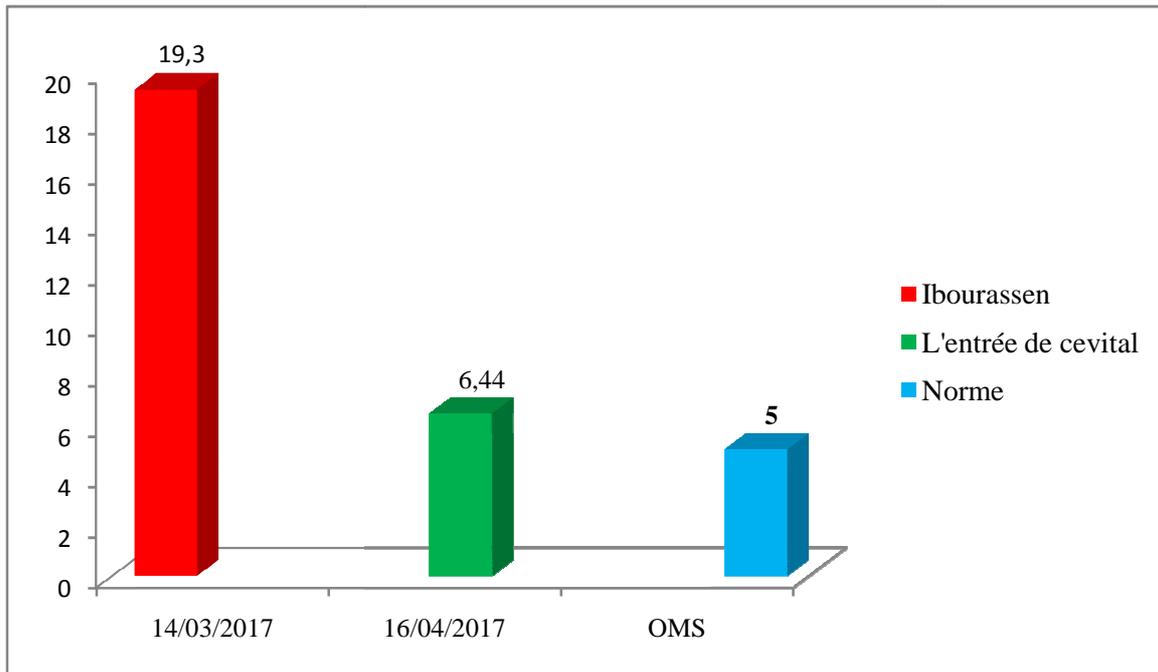


Figure III.4 : Variation de la turbidité de l'eau brute des deux prélèvements.

D'après les résultats (fig. III.4), nous remarquons que la turbidité de l'eau brute d'Ibourassen est largement supérieure à celle de l'entrée de Cevital. Pour les deux stations, les valeurs sont supérieures à la norme déterminée par l'OMS. Cette turbidité élevée de l'eau brute de la station d'Ibourassen, peut être liée d'une part à la présence de matière fine en suspension comme l'argile, d'autre part à la présence d'une matière colloïdale d'origine organique ou minérale comme la silice.

e- Détermination du résidu sec :

Tableau III.6 : Les teneurs en résidu sec de l'eau brute des deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
Rs (mg/l)	1436	1760	1500

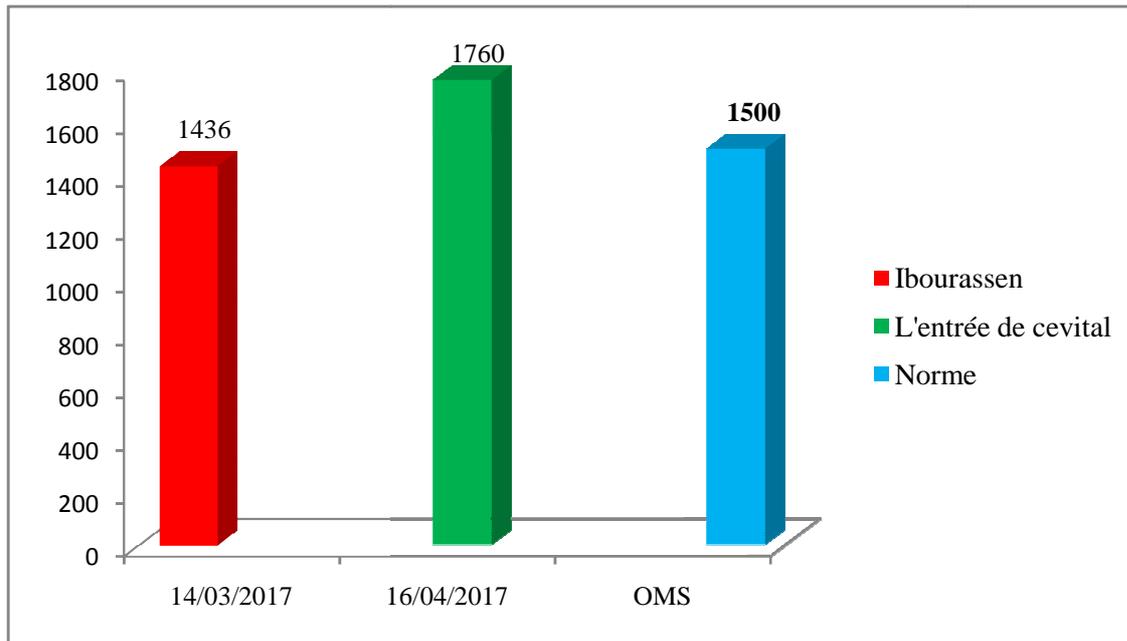


Figure III.5 : Variation de résidu sec de l'eau brute des deux prélèvements.

Les résultats montrent que l'eau des deux prélèvements contient des quantités élevées de résidu sec, celle à l'entrée de Cevital est plus élevée que celle d'Ibourassen, en raison d'une minéralisation plus importante pour l'entrée de Cevital. Ce qui est en accord avec les précédents résultats de la conductivité, due à des concentrations plus élevées en minéraux dissous. Ainsi, on peut conclure que l'eau de la station Cevital contient une quantité très élevée de matière minérale dissoute, et que les deux valeurs dépassent la norme établie par l'OMS.

f. Détermination des matières en suspension :

Tableau III.7 : Les teneurs en MES de l'eau brute de deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
MES (mg/l)	98	326	

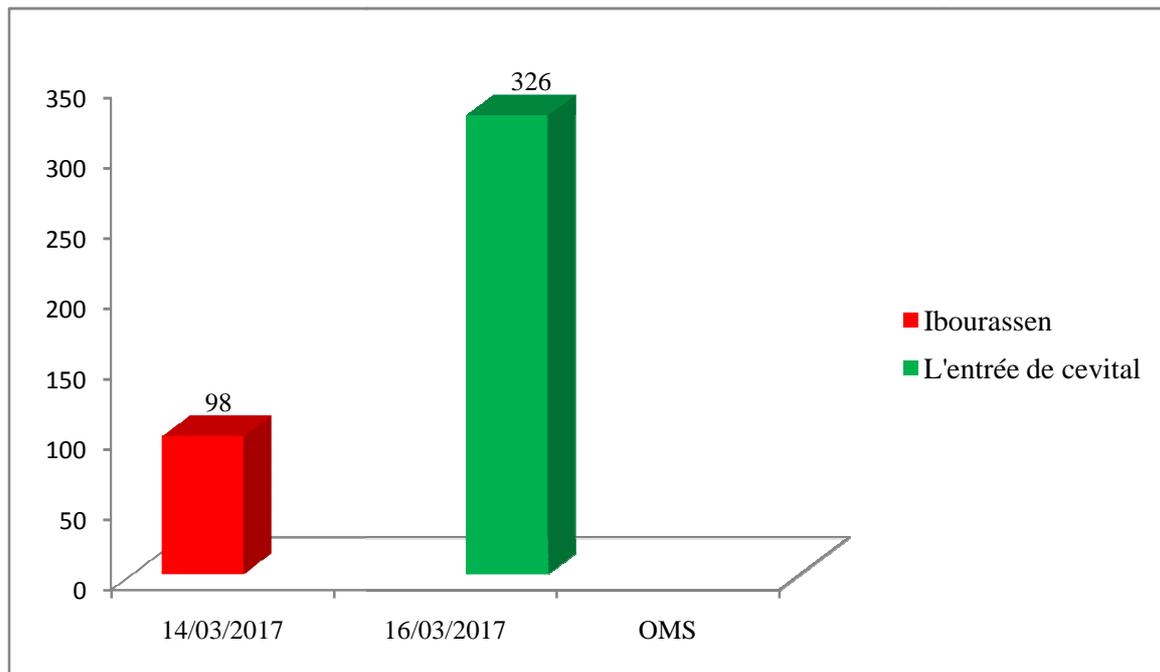


Figure III.6 : Variation des MES de l'eau brute des deux stations d'études.

Les résultats obtenus mettent en évidence la présence d'une quantité importante de matière en suspension dans l'eau prélevée à l'entrée de Cevital, par rapport à l'eau de la station d'Ibourassen. L'élévation de MES revient au recyclage de l'eau par vaporisations dans le cas de manque d'eau dans cette station.

Il est important que les teneurs soient les plus faibles possible afin d'éviter :

*D'une part, les phénomènes de sédimentation dans les différents éléments du réseau, sous forme de boues, dépôts minéraux et organiques, entraînant par la suite des problèmes de corrosion.

*D'autre part, l'érosion causée par la circulation de l'eau dans les conduites, frottement d'autant plus fort, que le fluide contient des matières en suspension.

g. Indice de saturation de Langelier (LSI):

Tableau III.8 : Les teneurs en LSI de l'eau brute des deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
LSI	0,02	0,36	0

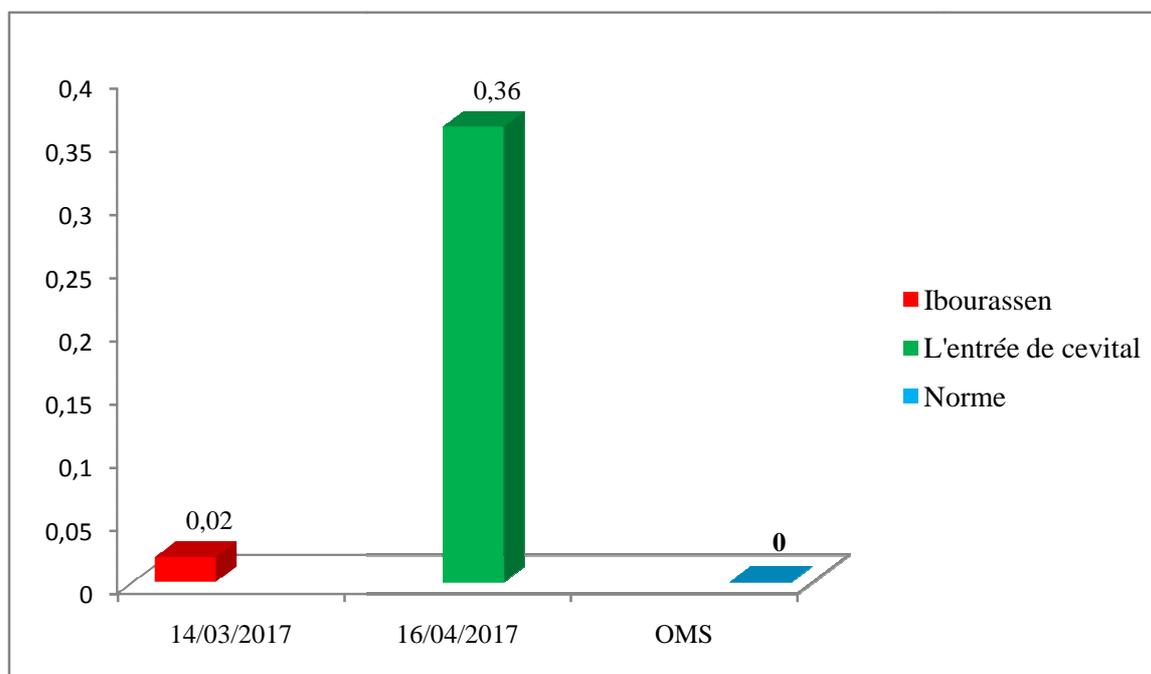


Figure III.7 : Variation d'LSI de l'eau brute des deux prélèvements.

Les résultats (fig III.7) marquent une forte saturation de l'eau de la station l'entrée de Cevital par comparaison à la norme OMS. En effet, on enregistre un indice de saturation de Langelier de l'ordre de 0.36. Ceci signifie, que l'eau est entartrante (incrustante) par rapport à celle d'Ibourassen, qui est une eau peu incrustante (proche d'une eau équilibrée), elle dissout peu ou pas le CaCO_3 (tartre). Nous concluons que l'eau d'Ibourassen est plus équilibrée par rapport à celle de l'entrée de Cevital.

III.1.2. Paramètres physico-chimiques:

A. Dosage volumétrique :

a. La dureté totale :

Tableau III.9 : Valeurs de la dureté total de l'eau brute des deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
TH (°F)	79	63	50

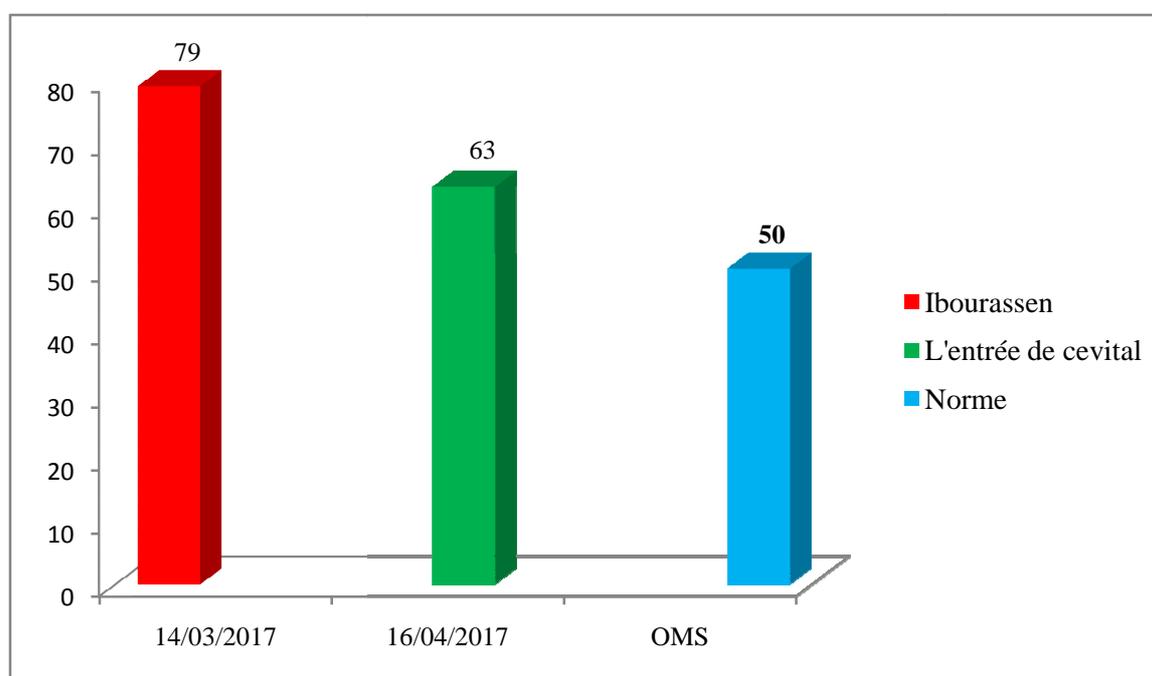


Figure III.8 : Variation de TH de l'eau brute des deux stations.

D'après la (fig III.8) le TH de l'eau d'Ibourassen est supérieur à celui de l'eau de l'entrée de Cevital. En revanche, les valeurs des TH enregistrées pour les deux stations dépassent la norme fixée par l'OMS. Ainsi nous pouvons dire que l'eau du puits au niveau d'Ibourassen et à l'entrée de Cevital sont très dures, cette dureté est due à la présence des ions bivalents essentiellement le Ca^{2+} et Mg^{2+} .

b. La dureté calcique :

Tableau III.10 : Valeurs de la dureté calcique de l'eau brute des deux stations.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
THCa (°F)	43	54	20

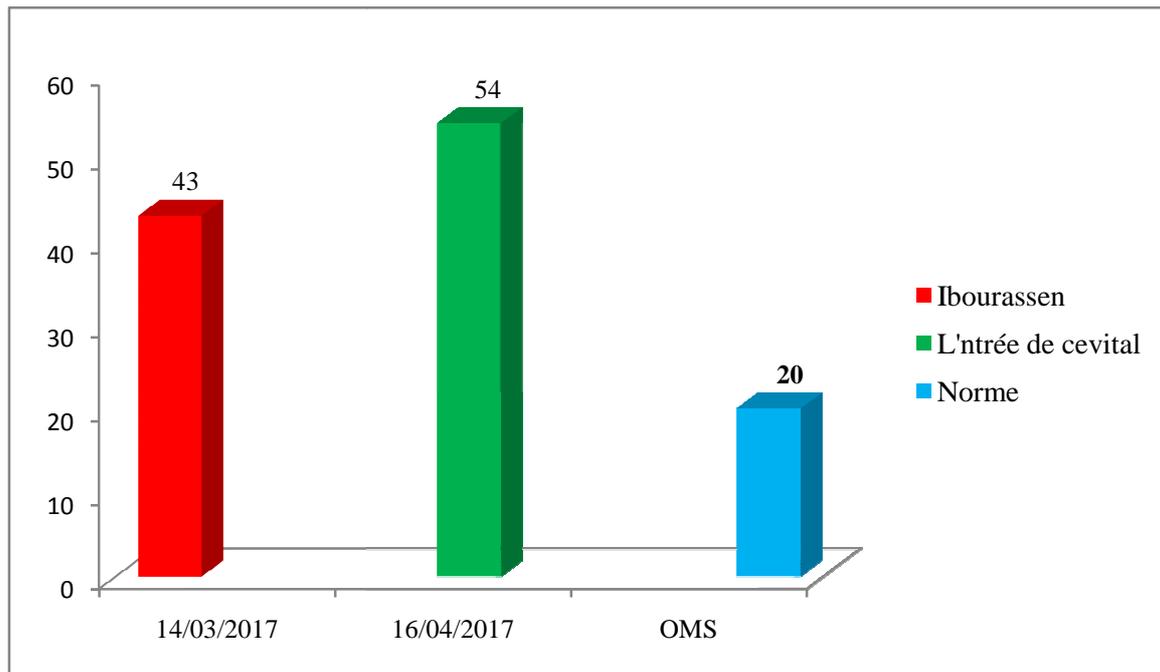


Figure III.9 : TH_{Ca} de l'eau brute des deux prélèvements.

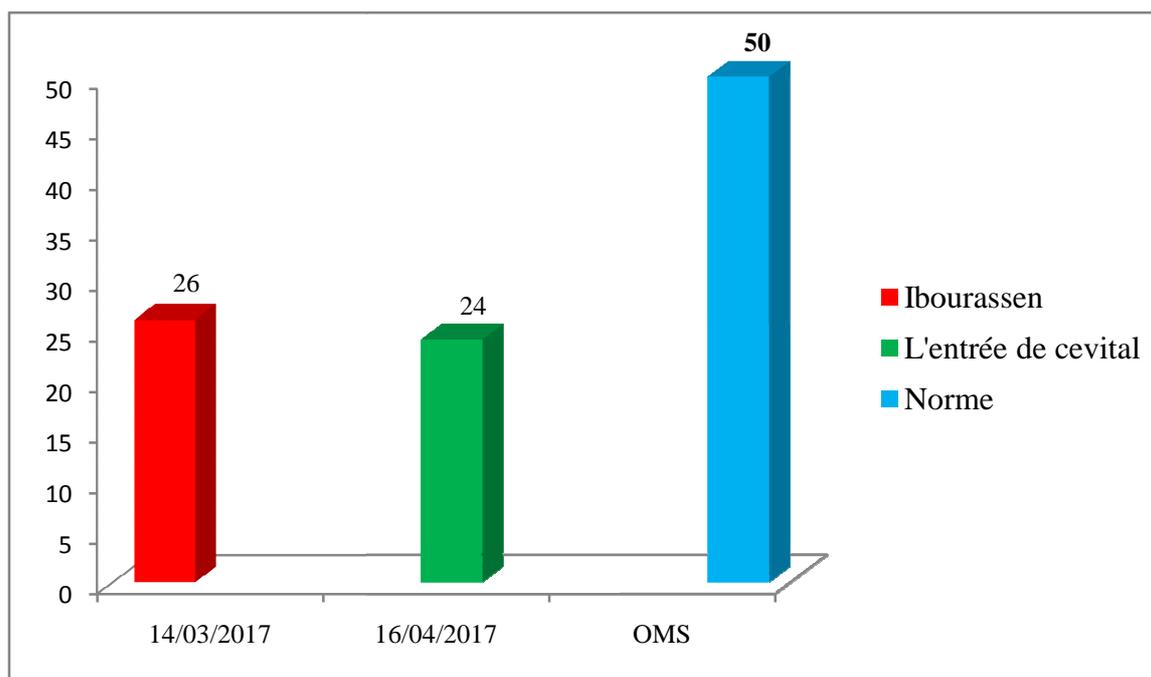
D'après les résultats obtenus (fig III.9), nous remarquons que le TH_{Ca} de l'eau d'Ibourassen est inférieur à celui de l'entrée de Cevital. Par contre, les valeurs du TH_{Ca} pour les deux stations dépassent largement la valeur de l'OMS. Ainsi nous pouvons conclure que l'eau des deux stations est dure, et la dureté est plus prononcée pour l'eau de l'entrée de Cevital, celle-ci est liée fortement aux concentrations en ions Ca²⁺ pour les deux stations.

c- Le titre alcalimétrique :

Les résultats obtenus pour le titre alcalimétrique, révèlent que les valeurs du TA sont nulles pour les deux prélèvements de l'eau brute. Le titre alcalin représente la concentration en carbonates et en hydroxydes d'une eau. Ce qui signifie qu'il n'y a pas de bases fortes dans l'eau brute des deux stations.

e. Le titre alcalimétrique complet :**Tableau III.11 :** Valeurs de TAC pour l'eau brute de deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
TAC	26	24	50

**Figure III.10 :** Variation de TAC de l'eau brute des deux prélèvements.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs du TAC de l'eau des deux stations sont relativement proches. Cependant ces valeurs ne représentent que 50% de la norme fixée par l'OMS, ceci traduit que les eaux du puits de forage est moyennement bicarbonatée.

f. les chlorures:**Tableau III.12 :** Les teneurs en chlorures dans l'eau brute des deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
Cl ⁻ (mg/l)	317,6	317,6	250

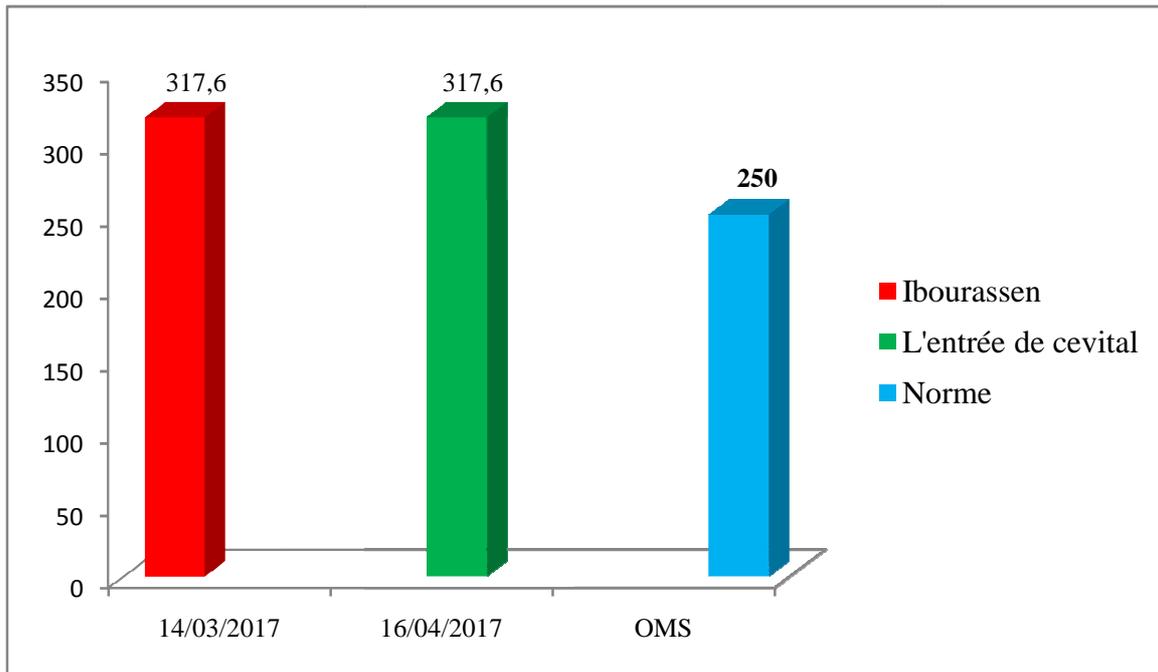


Figure III.11 : Variation de Cl⁻ de l'eau brute dans les deux prélèvements

La figure III.11 montre l'égalité de la teneur en chlorure de l'eau brute pour les deux stations, par contre les valeurs enregistrées dépassent largement la norme OMS. La teneur est supérieure à 250 mg/l, ce qui peut affecter le goût de l'eau (surtout si les ions Cl⁻ sont accompagnés d'ions Na⁺).

La teneur élevée en chlorures rend l'eau corrosive (ces ions attaquent les métaux par piqûre). La teneur en chlorures augmente avec le degré de minéralisation et de la conductivité de l'eau.

g. Indice d'oxydation au permanganate :

Tableau III.13 : Les teneurs d'indice d'oxydation au permanganate des deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
IP	17	21	3

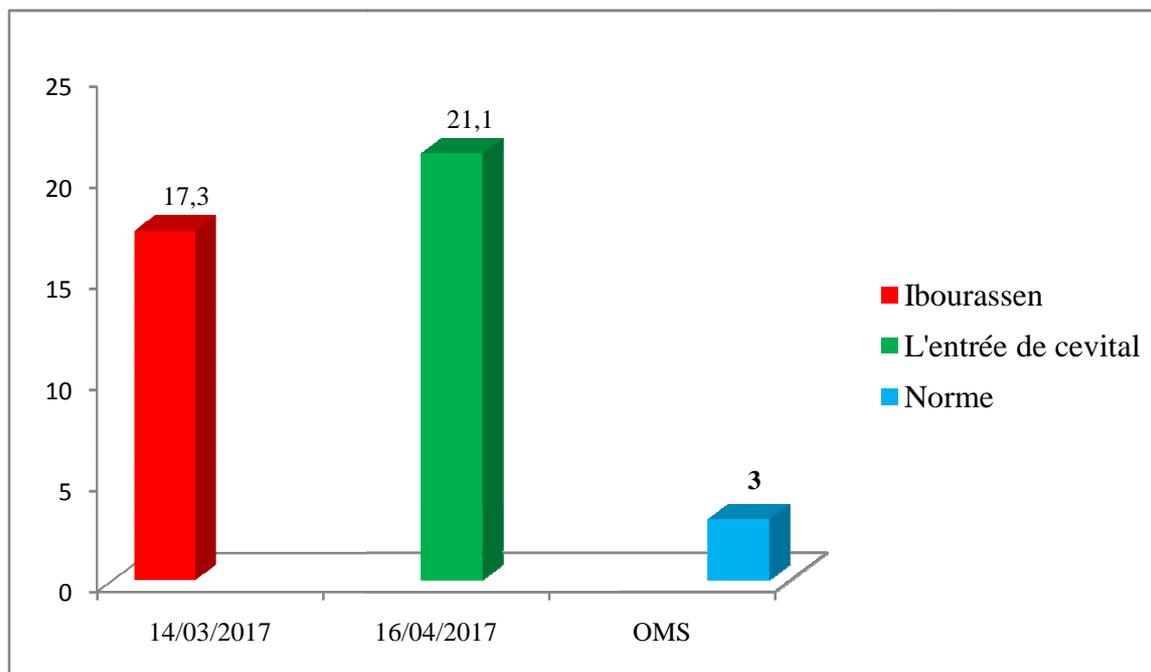


Figure III.12: Variation d'IP de l'eau brute des deux prélèvements.

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que l'IP de l'eau d'Ibourassen est légèrement inférieure à celle de la rentrée de Cevital. En revanche les valeurs de l'IP pour les deux stations dépassent largement la norme OMS, ce qui laisse supposer une contamination des échantillons d'eau par des matières organiques.

C. Analyse spectrophotométrique par UV-visible et par SAA :

a. UV-visible :

❖ La silice :

Tableau III.14 : Les teneurs en silice dans l'eau brute des deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
[SiO ₂] (mg/l)	0,44	0,42	12

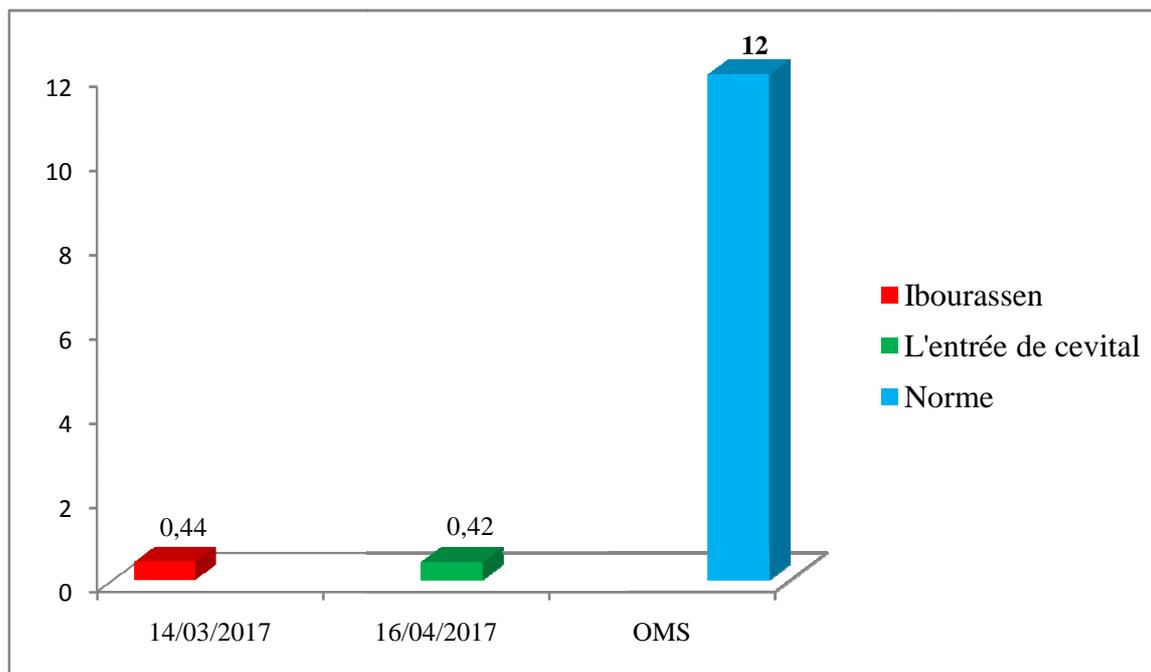


Figure III.13 : Variation de la teneur en silice de l'eau brute des deux stations.

Les concentrations en silice de l'eau brute pour les deux stations sont très proches et très faibles (fig III.13). En comparant ces valeurs à la norme OMS, nous pouvons conclure que la silice est peu présente dans l'eau brute étudiée.

b. SAA :

❖ Le fer :

Tableau III.15 : Les teneurs en fer de l'eau brute des deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
[Fe] (mg/l)	0,13	0	0,3

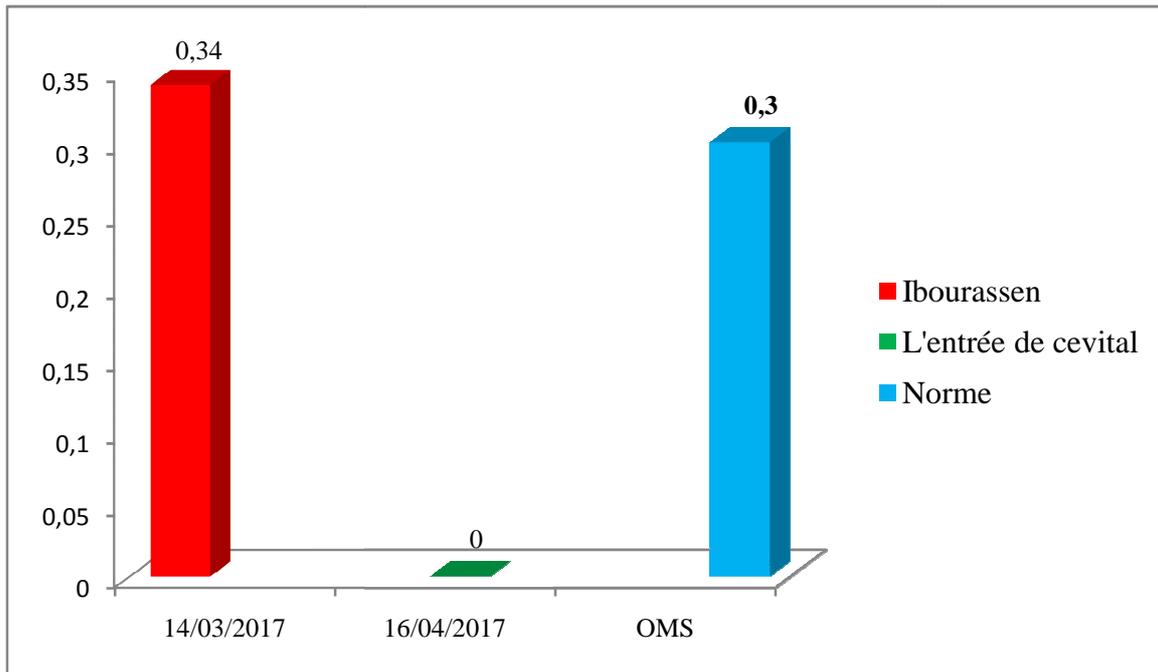


Figure III.14 : Variation des teneurs en fer de l'eau brute des deux prélèvements.

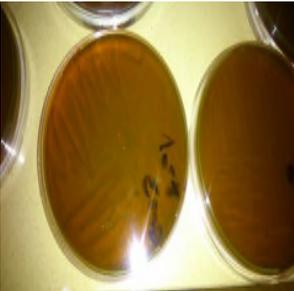
Les résultats obtenus mettent en évidence d'une part : la présence d'une quantité importante de fer dans l'eau brute d'Ibourassen, cette quantité est très élevée comparé à la valeur OMS. D'autre part l'absence totale du fer dans l'eau brute de la station Cevital. Signalant que. Lorsque la concentration du fer dans l'eau dépasse 0,3 mg/L, ce dernier peut modifier le goût et la couleur, causant aussi des tâches et encrassement des installations et des équipements.

III.1.3 Contrôles microbiologique de l'eau :

D'après les résultats ci-après (Tab. III.16), nous constatons que l'eau prélevée au niveau d'Ibourassen est de qualité moyenne vis-à-vis du paramètre microbiologique, à cause de la présence de quelques germes qui ne sont pas pathogènes (levures et cocci.). Pour l'eau brute de l'entrée de Cevital, nous remarquons l'absence des germes totaux dans le milieu PCA, ce qui explique l'absence de ces derniers dans notre échantillon. Nous relevons aussi l'absence totale d'*E.coli* dans l'eau brute des deux stations (Ibourassen et l'entrée de Cevital).

Selon Dupont [37], *E.coli* est le meilleur indice des contaminations fécales récentes. Une eau est impropre à la consommation quant elle renferme *E.coli* dans 100ml. Le fait de trouver des colonies d'*E.coli* dans une eau peut donc faire penser à l'existence éventuelle de germes plus dangereux.

Tableau III.16 : les bactéries présentent dans l'eau brute des deux prélèvements.

Date et lieu de prélèvement	14/03/2017	16/04/2017	La norme de L'OMS
	Ibourassen	L'entrée de Cevital	
Germes totaux	Levures - cocci 	0 	0
E-coli	0 	0 	0

Le tableau suivant présente une synthèse des résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau brute des deux stations à savoir Ibourassen et l'entrée de Cevital.

Tableau III.17 : Récapitulatif des résultats d'analyses physico-chimique et bactériologique des deux prélèvements des eaux (au niveau de Ibourassen et a l'entrée de Cevital).

N°	1 ^{er} prélèvement	2 ^{ème} prélèvement	Les normes		Unité
			OMS	algériennes	
Date, lieu et heure de prélèvement	14/03/2017 Ibourassen 11h30	16/04/2017 L'entrée de Cevital 13h30			
climat	Nuageux	Ensoleillée			
Odeur	supportable	inodore	inodore	inodore	/
couleur	jaunâtre	incolore	incolore	incolore	/
T	21	20	25	25	°C
pH	7,42	7,45	6,5-8,5	6,5-8,5	/
conductivité	2120	2130	2000	2800	µS/cm
turbidité	19,3	6,44	< 5	< 5	NTU
Résidu sec	1436	1760		1500	mg/l
MES	98	326			mg/l
LSI	0,02	0,36	0	0	/
TH	79	63	50		°F
THca	43	54			°F
TA	0	0	0	0	°F
TAC	26	24	50		°F
Cl ⁻	317,6	317,6	250		mg/L
IP	17,3	21,1	3	3	mg/l O ₂
Silice	0,44	0,42	< 12		mg/l
fer	0,13	0	< 0,3	0,3	mg/l
Germes totaux	Levures - cocci	0	0	0	/
<i>E-coli</i>	0	0	0	0	/

-Deuxième partie-**III.2 : Analyses physico-chimiques et bactériologiques après traitement de coagulation-floculation et adoucissement :**

Les résultats finaux des analyses physico-chimiques et microbiologiques de l'eau brute ayant subi différents traitements sont présentés dans les tableaux et les figures suivantes.

A. Influence de la quantité de la chaux :

Dans ce traitement, on examine l'influence de la chaux sur le pH, λ , TH, TA, TAC.

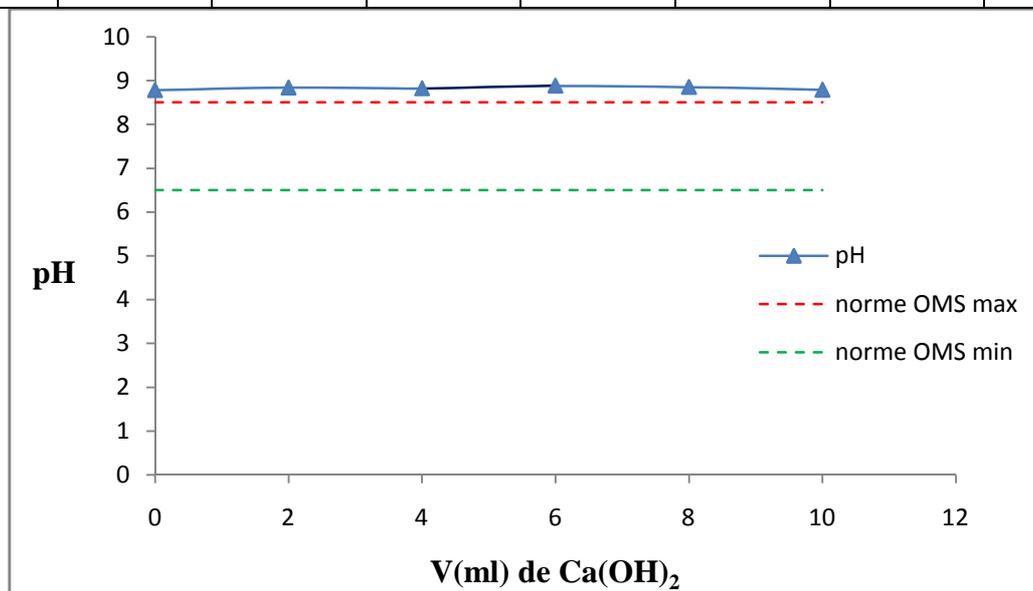
A- 1-L'eau de la station d'Ibourassen :

Lors du traitement, l'échantillon subit trois phases successives : coagulation, floculation et adoucissement.

Les résultats obtenus sont comme suit :

A.1.1- Potentiel d'hydrogène (pH):**Tableau III.18 :** pH de l'eau brute après le traitement à la chaux

1 ^e traitement (variation de volume de la chaux)							Norme OMS
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de $\text{Ca}(\text{OH})_2$	0	2	4	6	8	10	
pH	8,78	8,84	8,82	8,88	8,85	8,79	6,5-8,5

**Figure III.15 :** Variation du pH de l'eau brute après le traitement par la chaux.

Nous constatons, à partir des résultats (fig. III.15), que les valeurs de pH de l'eau traitée augmentent légèrement avec les doses croissantes de Ca(OH)_2 , elles deviennent ainsi alcalines.

Cette augmentation liée aux réactifs basiques utilisés lors du traitement tels que : la chaux, le carbonate de sodium et l'hydroxyde de sodium, utilisé en tant que clarificateur, ceux-ci font augmenter la valeur du pH de l'eau (augmente son alcalinité) et entraîne la précipitation du carbonate de sodium. On doit compléter le traitement à la fin par la correction du pH en ajoutant une quantité contrôlée d'acide chlorhydrique, en filtrant l'eau traitée à travers un matériau granulaire.

A. 1.2. La conductivité :

Tableau 19 : les valeurs de la conductivité de l'eau brute après le traitement à la chaux.

1 ^e traitement (variation de la chaux)							Norme OMS
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de Ca(OH)_2	0	2	4	6	8	10	
Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	2180	2190	2170	2150	2150	2140	2000

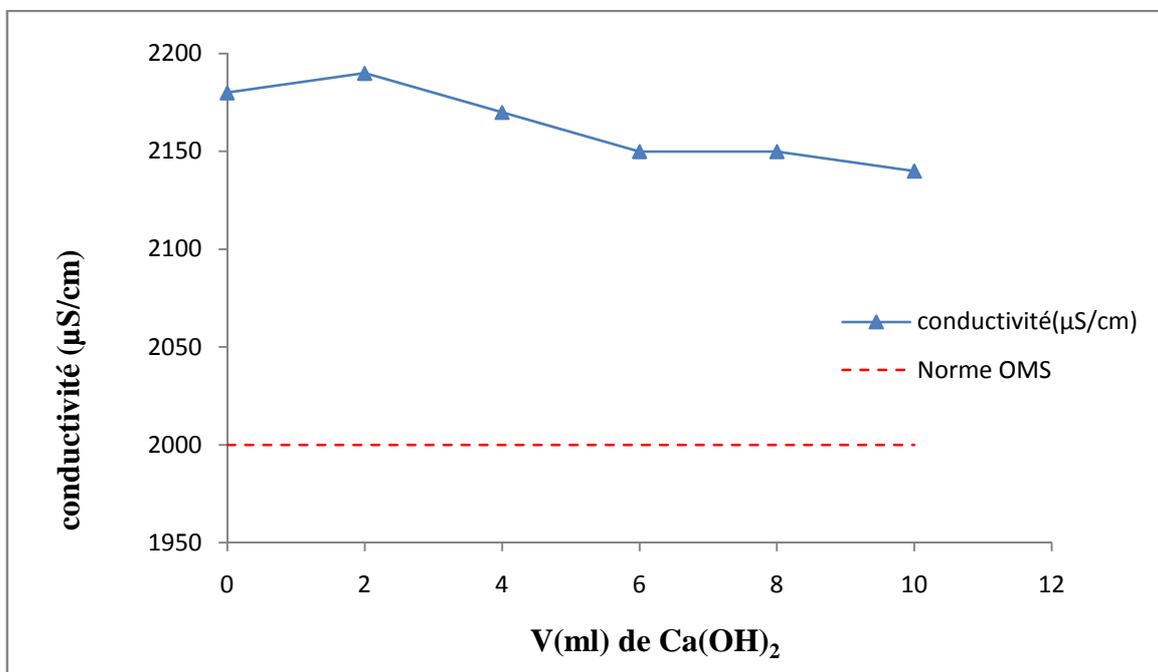


Figure III.16 : Variation de la conductivité de l'eau brute après le traitement à la chaux.

Les résultats (fig. III.16) montrent que les valeurs de la conductivité de l'eau traitée diminuent avec les doses croissantes de Ca(OH)_2 . Malgré cela, les valeurs sont supérieures à la norme dues à un excès de chaux dans l'eau traitée.

A. 1.3. La dureté totale TH :

Tableau III.20 : TH de l'eau brute après le traitement à la chaux.

N°	1 ^e traitement (variation de la chaux)						Norme OMS
	1	2	3	4	5	7	
V (ml) de Ca(OH)_2	0	2	4	6	8	10	
TH (F°)	38	45	39	35	40	39	50

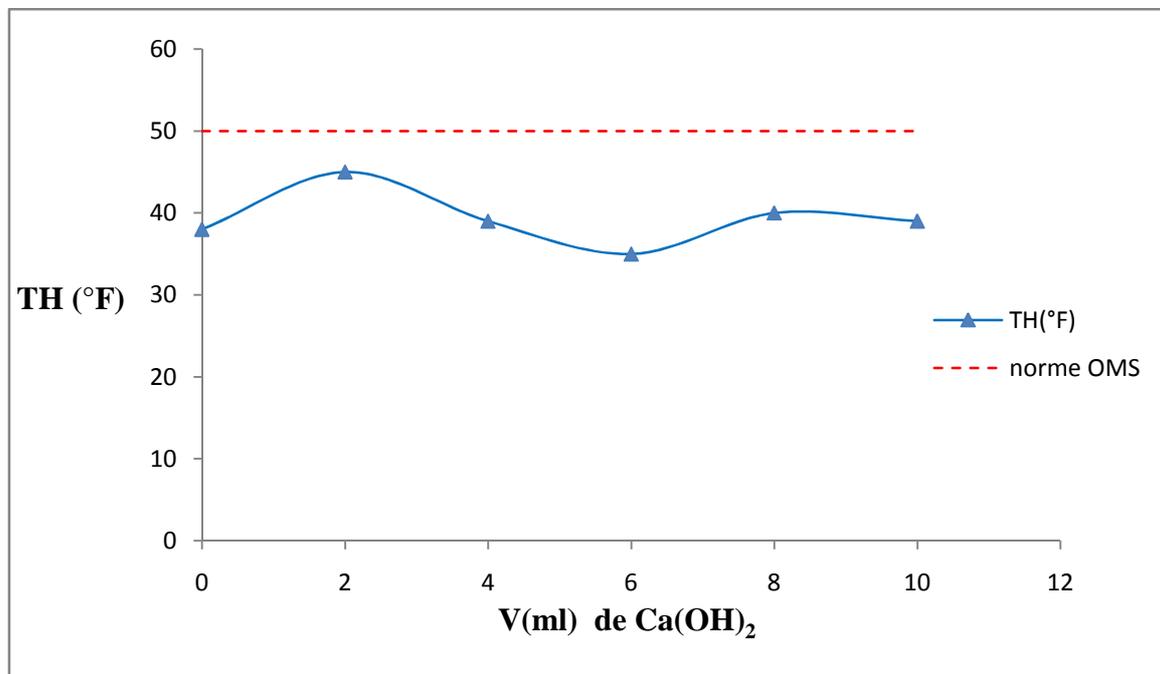


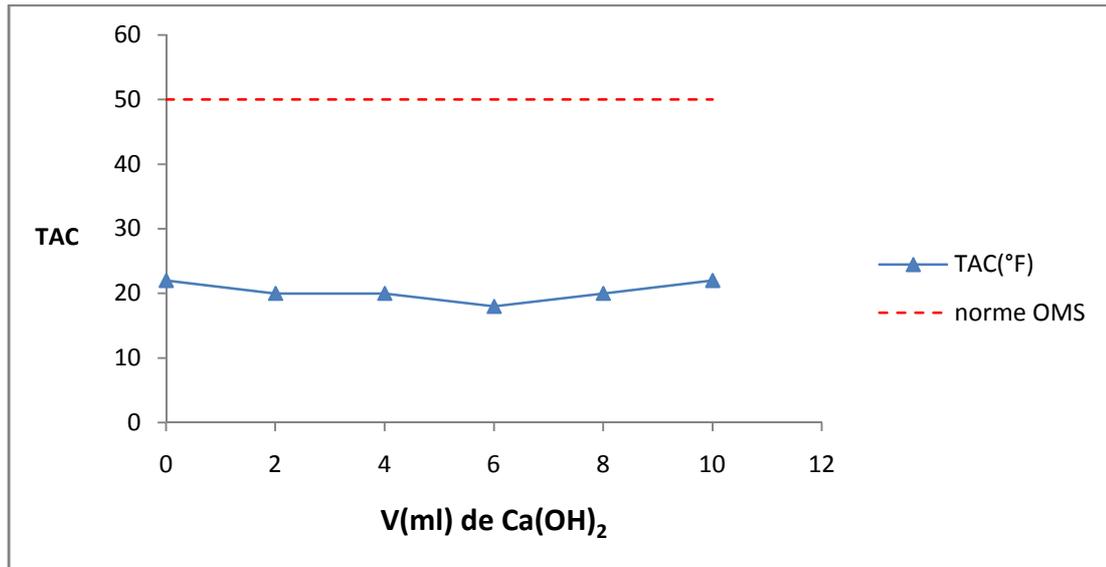
Figure III.17: Variation de TH de l'eau brute après le traitement à la chaux.

L'analyse de la figure ci-dessus (Fig. III.17), montre que la TH fluctue beaucoup, mais les valeurs sont non seulement inférieures à la valeur initiale de l'eau brute, mais aussi elles sont inférieures à la norme de l'OMS. La diminution la plus importante du TH a été obtenue pour la dose optimale 6 ml de chaux.

A.1.4. TAC et TA :

Tableau III.21 : TA et TAC de l'eau brute après le traitement à la chaux.

1 ^e traitement (variation de la chaux)							Norme OMS
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de Ca(OH) ₂	0	2	4	6	8	10	
TA (°F)	0	0	0	0	0	0	0
TAC (°F)	22	20	20	18	20	22	50

**Figure III.18** : Variation de TAC de l'eau brute après le traitement à la chaux.

L'analyse de la figure III.18 montre que les valeurs du TAC ont diminué par rapport à la valeur initiale du TAC de l'eau brute. La plus forte diminution des TAC a été obtenue pour la dose optimale de 6ml de chaux. Notons aussi que ces valeurs sont très inférieures à la norme de l'OMS.

A.1.5. les chlorures Cl⁻ :**Tableau III.22** : Mesures de chlorure de l'eau brute après le traitement à la chaux.

1 ^e traitement (variation de la chaux)							Norme OMS
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de Ca(OH) ₂	0	2	4	6	8	10	
Cl ⁻ (mg/l)	247,09	247,09	247,09	247,09	247,09	247,09	250

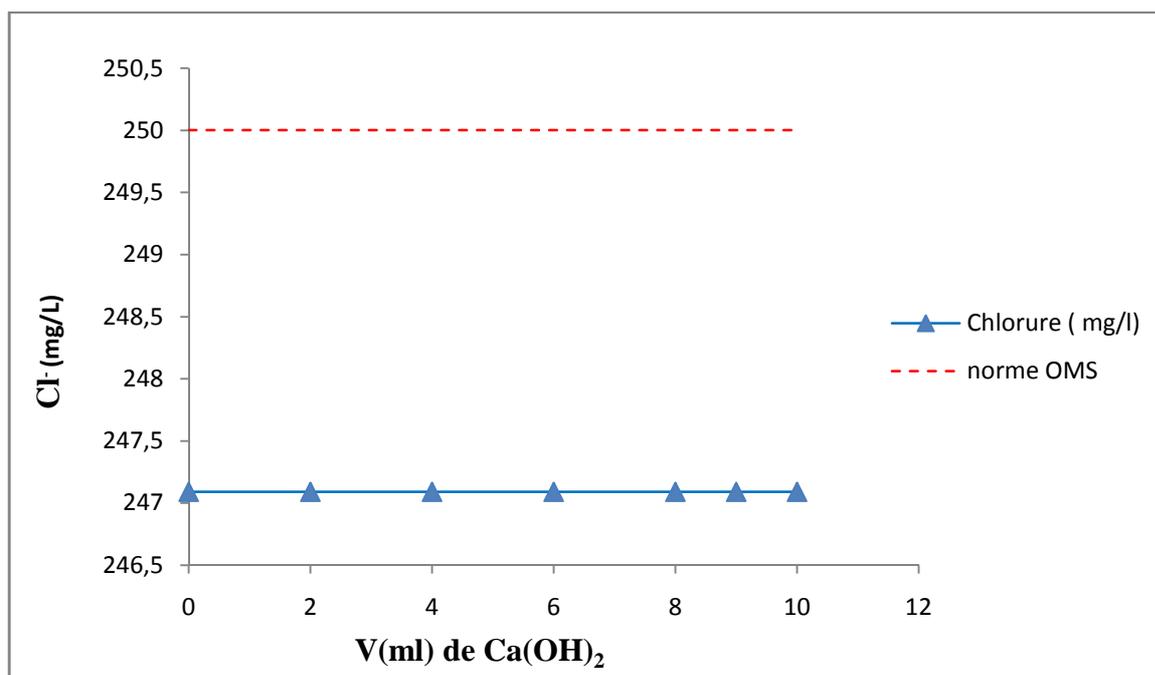


Figure III.19 : Variation de chlorure de l'eau brute après le traitement à la chaux.

On constate, à partir des résultats de la figure III.19, que les concentrations en chlorures diminuent légèrement après traitement avec les doses croissantes de Ca(OH)_2 , les valeurs sont constantes pour toutes les doses, et elles sont au-dessous de la norme OMS.

A.1.6. La turbidité :

Tableau III.23 : Turbidité de l'eau brute après le traitement à la chaux.

1 ^e traitement (variation de la chaux)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de Ca(OH)_2	0	2	4	6	8	10	
Turbidité (NTU)	3,14	3,11	3	2,85	3,01	3,20	5

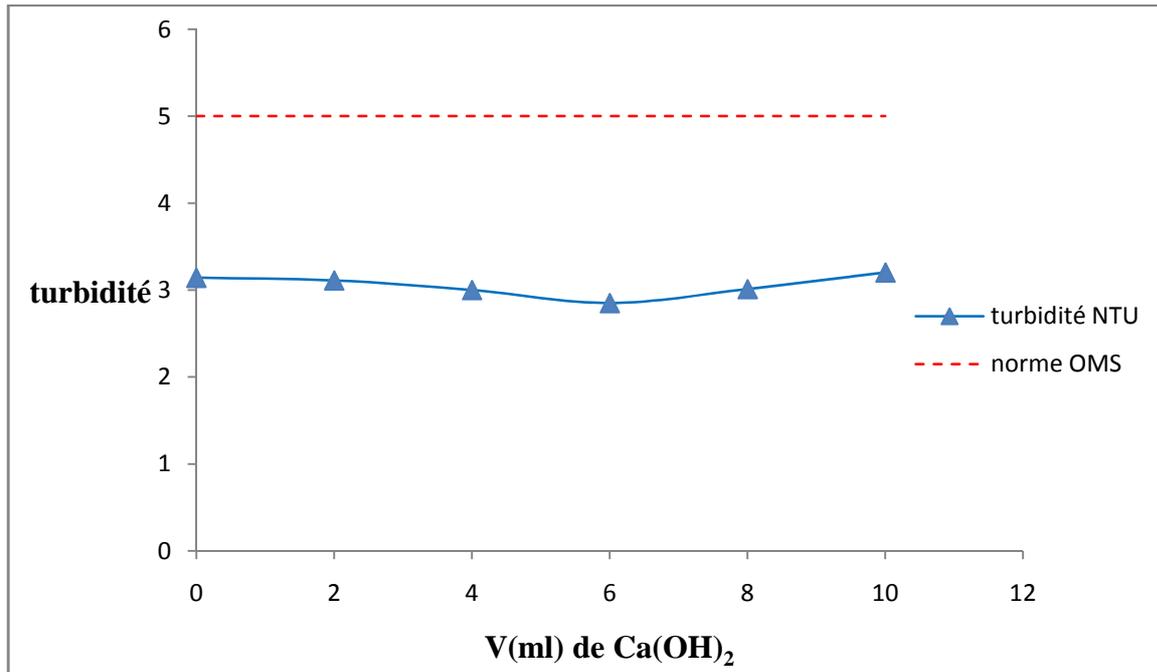


Figure III.20 : Turbidité de l'eau brute après le traitement à la chaux.

Les valeurs de la turbidité ont baissé par rapport aux valeurs initiales de l'eau brute avant traitement. La plus forte diminution de la turbidité a été obtenue pour la dose optimale de 6 ml de chaux. Signalant aussi que les valeurs sont inférieures à la norme de l'OMS. Ceci pourrait s'expliquer par l'élimination des colloïdes et les MES de l'eau par coagulation puis par floculation des colloïdes, dans un second temps par leur agglomération durant la phase de floculation.

A.1.7. La silice :

Tableau III.24 : la silice de l'eau brute après le traitement à la chaux.

1 ^e traitement (variation de la chaux)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de Ca(OH)_2	0	2	4	6	8	10	
$[\text{SiO}_2]$ (mg/l)	0,40	0,41	0,39	0,38	0,38	0,39	12

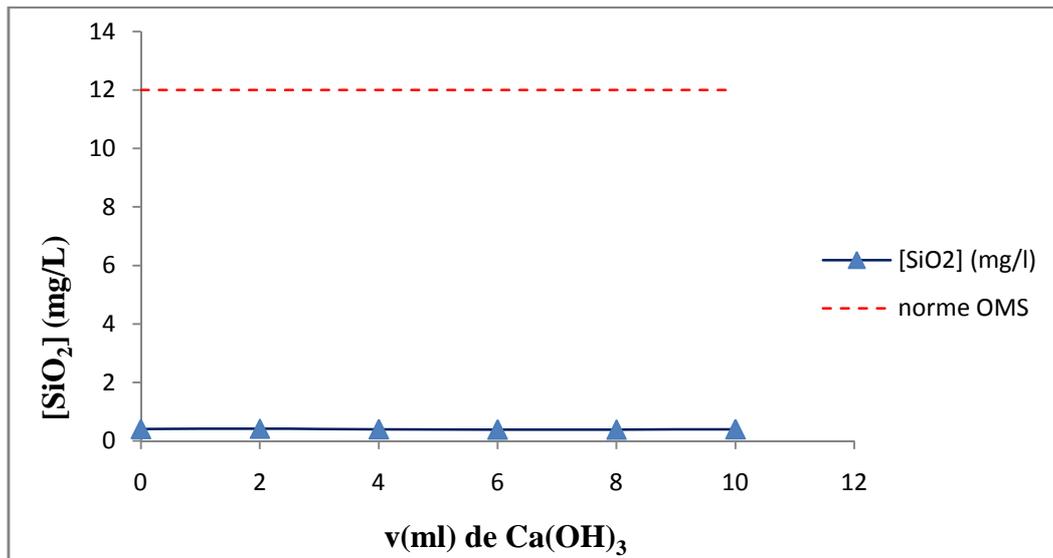


Figure III.21 : Variation de la silice de l'eau brute après le traitement à la chaux.

L'analyse de la figure III.21 montre que les concentrations des silices ont baissé après traitement, relativement aux quantités enregistrées dans l'eau brute avant traitement. La plus forte diminution de la silice a été obtenue pour les doses optimales de 6 et 8 ml de coagulant, les valeurs sont largement inférieures à la norme OMS.

A.1.8. Le fer et l'indice d'oxydation au permanganate :

Tableau III.25 : Concentrations en fer et indice de permanganate de l'eau brute après le traitement à la chaux.

N°	1 ^e traitement (variation de la chaux)						Norme OMS
	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de Ca(OH) ₂	0	2	4	6	8	10	
[Fe] (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0,3
IP (mg/l O ₂)	0	0	0	0	0	0	3

Les résultats obtenus marquent clairement la disparition du fer et une baisse nette de l'indice de permanganate dans l'eau traitée, les valeurs deviennent nettement inférieures à la norme OMS. Ce qui signifie que le traitement a éliminé tout le fer et la matière organique présente dans l'échantillon avant le traitement. Sachant que la décarbonatation à la chaux, génératrice d'un pH élevé, est favorable à l'élimination du fer par précipitation sous forme d'hydroxydes.

Pour l'interprétation des résultats de l'IP, il est fort probable qu'ils soient liés aux résultats bactériologiques ; car une teneur élevée en matières organiques devra toujours faire suspecter une contamination microbiologique.

A.1.9. Contrôles microbiologiques de l'eau traitée :

Tableau III.26 : Résultats microbiologiques des eaux après traitement à la chaux.

1 ^e traitement (variation de la chaux)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de Ca(OH) ₂	0	2	4	6	8	10	
Germe totaux	0	0	0	0	0	0	0
E-coli	0	0	0	0	0	0	0

Les analyses bactériologiques montrent une bonne élimination des germes totaux et de *E. Coli*... On conclue que le traitement coagulation-floculation en présence de la chaux est très efficace pour éliminer la totalité des germes présents initialement, due à la Co-précipitation des bactéries avec les MES.

A.2 .Conclusion :

Les résultats obtenus confirment l'efficacité du traitement, la meilleure dose de chaux est fixée à 6ml.

B. Influence de la quantité de chlorure ferrique:

Dans cette deuxième partie des résultats, on examine l'influence du chlorure ferrique dans l'étape de coagulation sur le pH, λ , TH, TA, TAC.

B.1 La station de l'entrée de Cevital :

Les phases de coagulation, floculation et adoucissement sont aussi respectées dans ce traitement.

B.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH):

Tableau III.27 : pH de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl)₃.

2 ^{ème} traitement (variation de chlorure ferrique)							Norme OMS
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de Fe (Cl) ₃	0	2	4	6	8	10	
pH	8,55	8,56	8,51	8,48	8,44	8,43	6,5-8,5

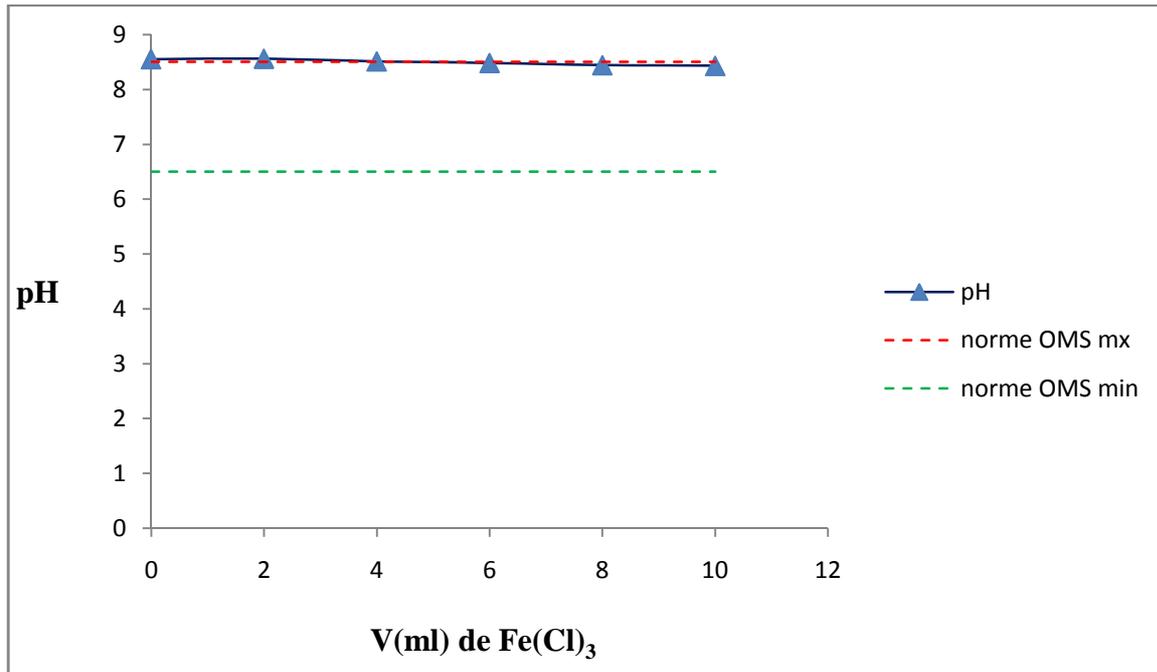


Figure III.22 : Variation de pH de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl₃).

Nous constatons, à partir des résultats (fig III. 22), que les valeurs de pH sont presque constantes et à la limite de la norme maximale de l'OMS. Les valeurs de pH pour 0 et 2 ml de Fe(Cl₃) dépassent légèrement la norme, puis on note une diminution à partir de la dose 4ml de coagulant. Cette élévation de pH est causée par l'ajout d'un excès de chaux lors de l'étape de coagulation.

B.1.2. La conductivité :

Tableau III.28 : Conductivité de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl₃).

2 ^{ème} traitement (variation de chlorure ferrique)							Norme OMS
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de Fe(Cl ₃)	0	2	4	6	8	10	
Conductivité (μS/cm)	2210	2210	2210	2190	2180	2160	2000

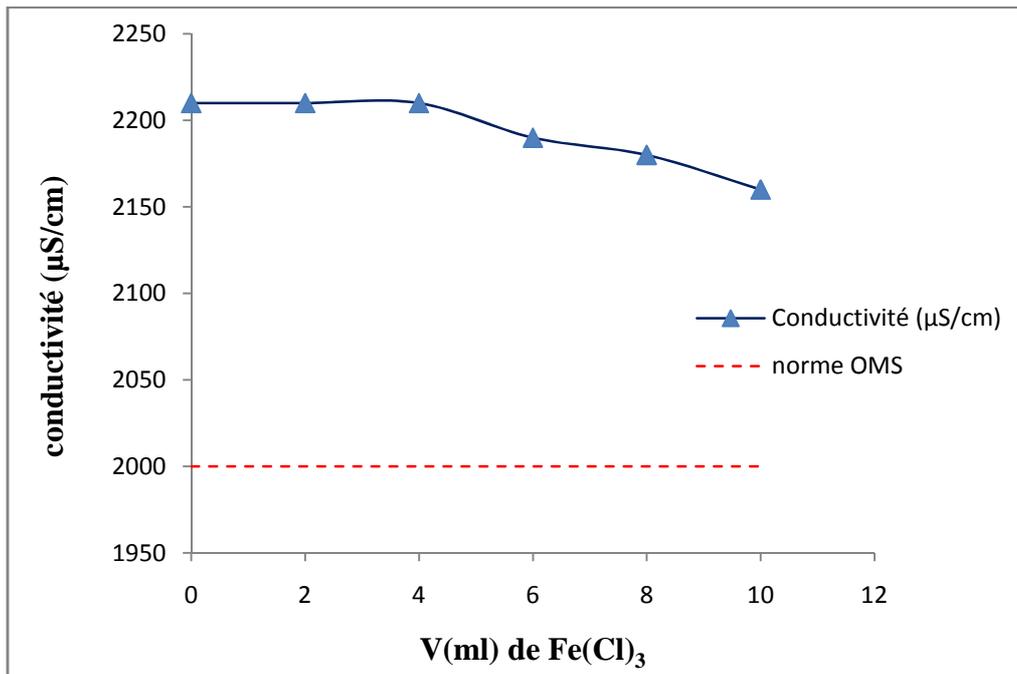


Figure III.23: Variation de la conductivité de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$.

On constate, à partir des résultats (fig. III. 23) que les valeurs de la conductivité de l'eau traitée diminuent avec les doses croissantes de $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$, liée à une forte minéralisation de l'eau traitée par ajout de réactifs.

B.3.1. La dureté totale TH :

Tableau III.29 : TH de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$.

2 ^{ème} traitement (variation de chlorure ferrique)							Norme OMS
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de $\text{Fe}(\text{Cl})_3$	0	2	4	6	8	10	
TH (°F)	45	36	35	40	35	40	50

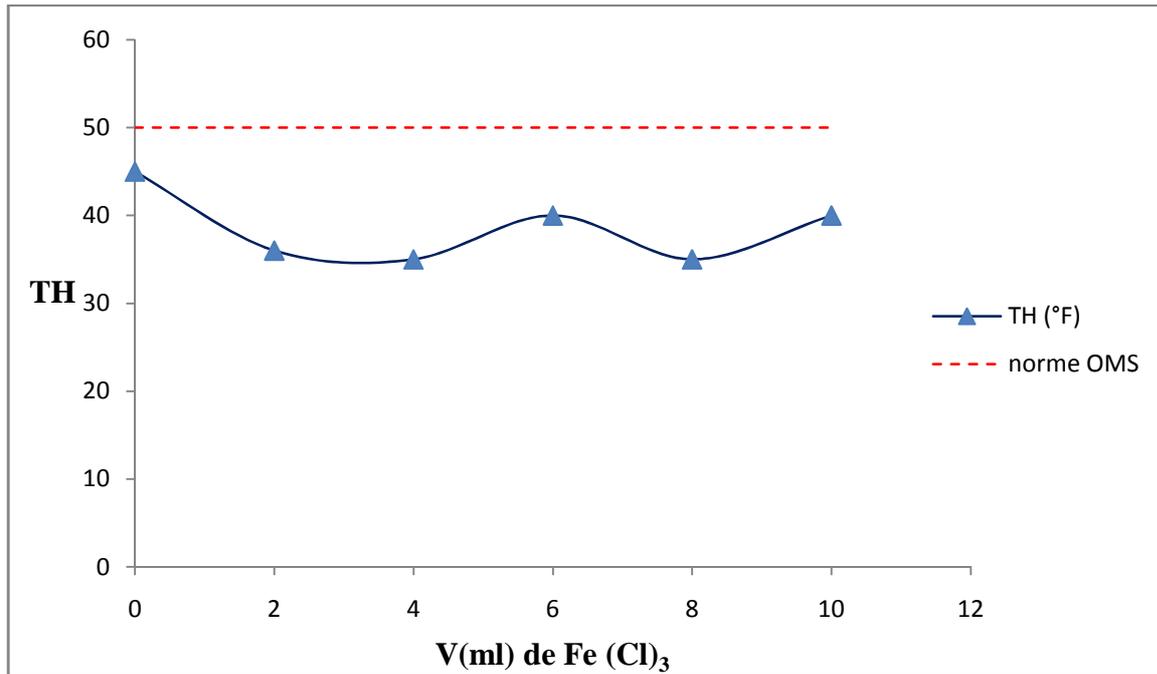


Figure III.24 : Variation de la dureté totale de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$.

L'analyse de la figure III.24 montre que les valeurs de TH fluctuent considérablement en fonction de la dose de $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$. Mais ces valeurs ont diminué par rapport aux quantités initiales de l'eau brute avant le traitement. La plus forte diminution de TH a été obtenue pour les doses optimales 4 et 8 ml de coagulant.

B .1.4. TA et TAC :

Tableau III.30 : TA et TAC de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$.

2 ^{ème} traitement (variation de chlorure ferrique)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de $\text{Fe}(\text{Cl}_3)$	0	2	4	6	8	10	
TA (°F)	0	0	0	0	0	0	0
TAC (°F)	24	24	24	24	24	24	50

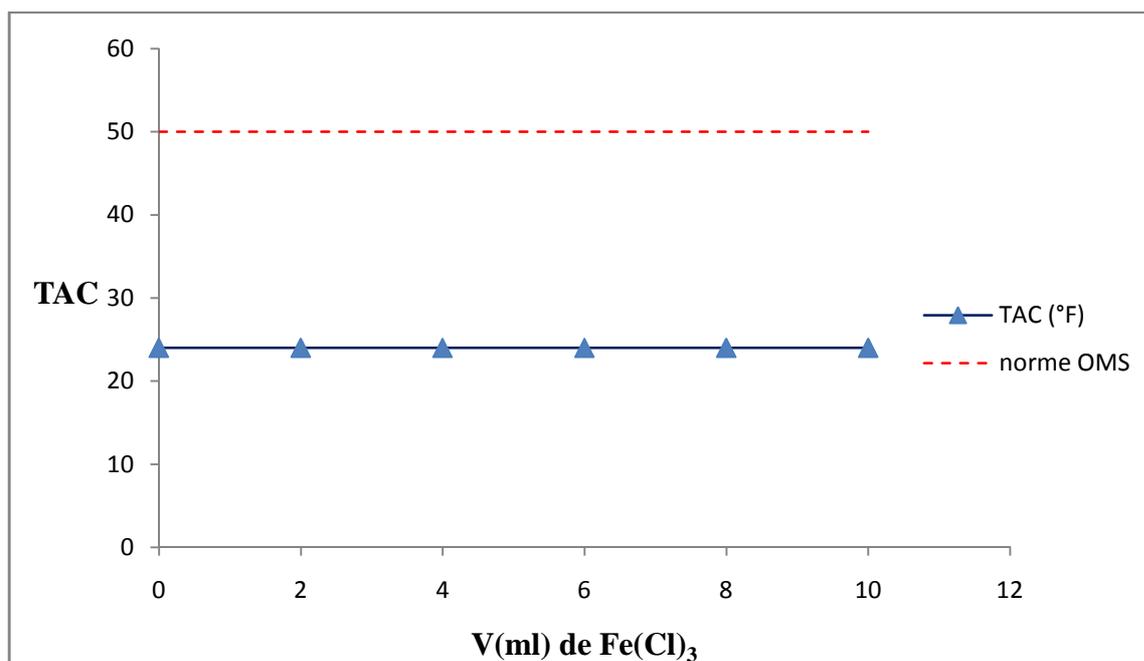


Figure III.25 : Variation de TAC de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl₃).

L'examen de la figure III.25 montre que les valeurs de TAC ont baissé après le traitement par rapport à la valeur initiale de l'eau brute, et elles sont inférieures à la norme OMS.

B.1.5. Les chlorures :

Tableau III.31 : Chlorures de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl₃).

2 ^{ème} traitement (variation de chlorure ferrique)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de Fe (Cl) ₃	0	2	4	6	8	10	
Cl ⁻ (mg/l)	241,06	241,06	241,06	241,06	241,06	241,06	250

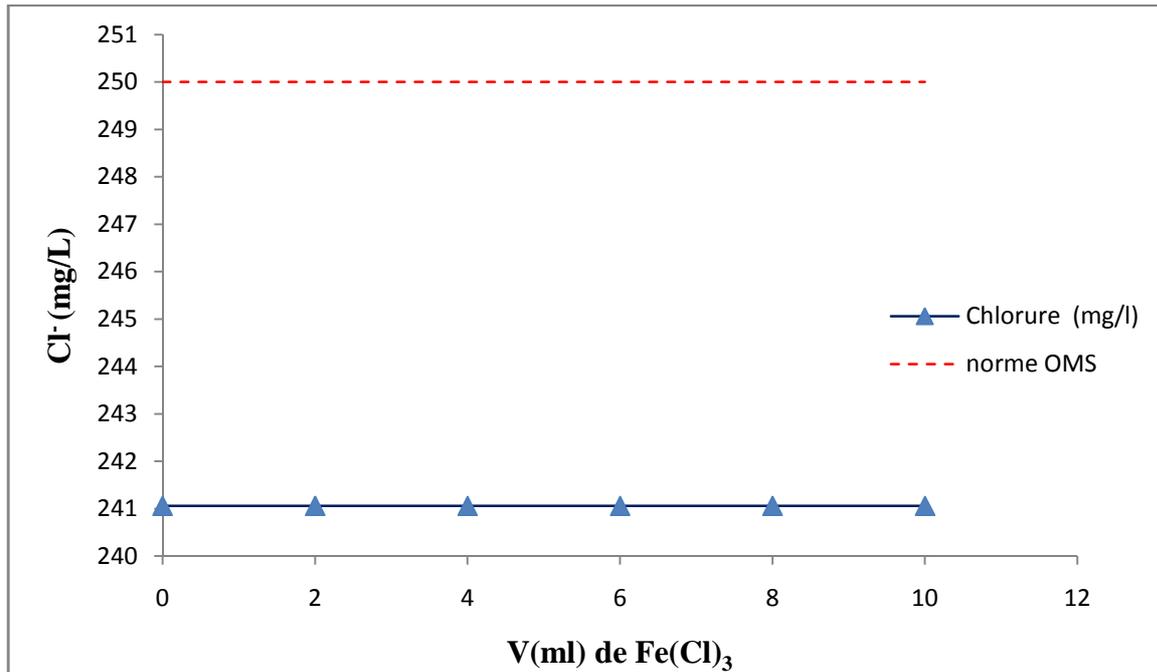


Figure III.26 : Variation des chlorures de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl})_3$.

Les concentrations en chlorures de l'eau traitée diminuent sensiblement par rapport la concentration de l'eau non traitée.

Les valeurs restent stables pour toutes les doses de $\text{Fe}(\text{Cl})_3$, et elles sont inférieures à la norme OMS.

B.1.6. La turbidité :

Tableau III.32 : La turbidité de l'eau brute après le traitement par $\text{Fe}(\text{Cl})_3$.

2 ^{ème} traitement (variation de chlorure ferrique)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de $\text{Fe}(\text{Cl})_3$	0	2	4	6	8	10	
Turbidité (NTU)	1,9	2	1,6	1,7	1,8	2	5

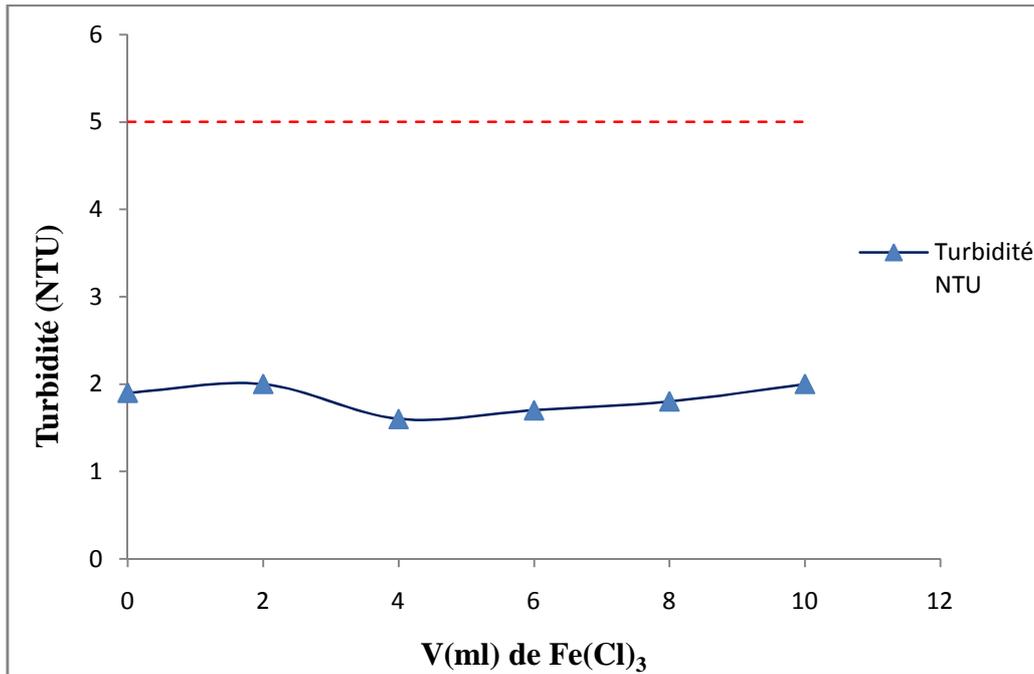


Figure III.27 : Variation de la turbidité de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl₃).

La figure III.27 montre une variation de la turbidité en fonction des doses testées, notons aussi que ces valeurs ont baissées par rapport aux quantités enregistrées dans l'eau brute avant traitement. La diminution la plus importante a été obtenue pour la dose optimale de 4 ml de coagulant. L'élimination des colloïdes et les MES de l'eau est faite dans un premier temps par la coagulation, par différents phénomènes complexes qui permettent de rendre floculables les colloïdes, c'est-à-dire de permettre leur agglomération. Dans un second temps, les colloïdes s'agglomèrent durant la phase de floculation. Nous obtenons ainsi des valeurs de turbidité très inférieures à la norme OMS.

B.1.7. La silice :

Tableau III.33 : La silice dans l'eau brute après le traitement par Fe(Cl₃).

2 ^{ème} traitement (variation de chlorure ferrique)							Norme
N°	1	2	3	4	5	7	
V (ml) de Fe (Cl) ₃	0	2	4	6	8	10	
[SiO ₂] (mg/l)	0,36	0,35	0,33	0,36	0,35	0,36	12

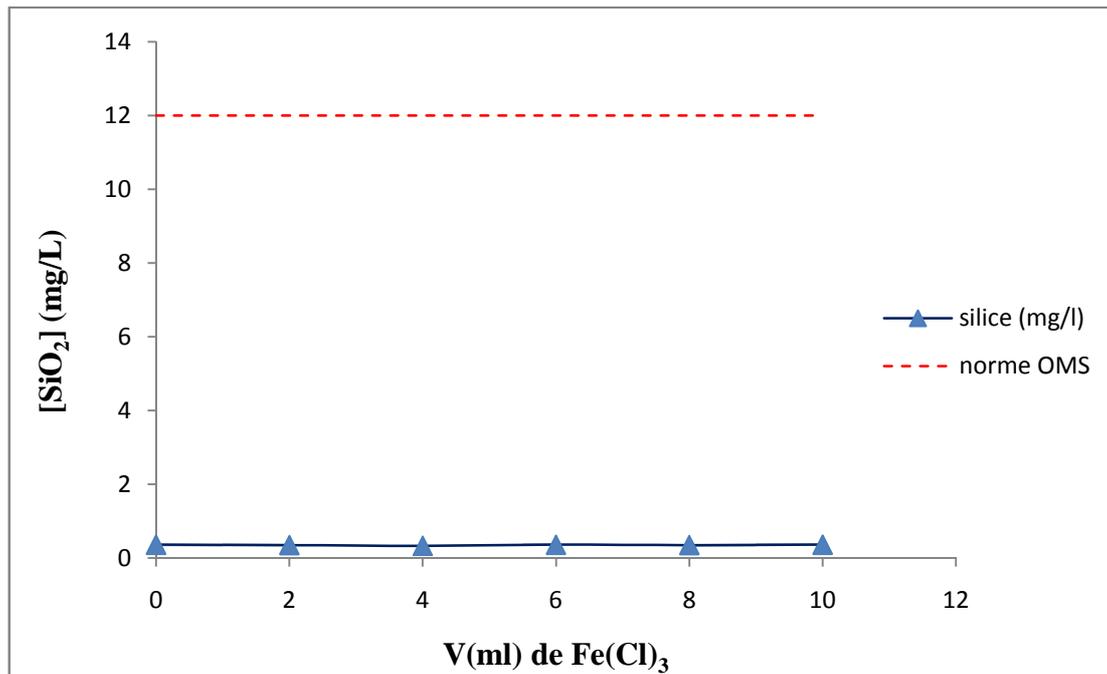


Figure III.28 : Variation des valeurs de la silice de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl₃).

L'examen de la figure III.28 montre que les concentrations des silices ont baissé dans l'eau par rapport à la valeur initiale. La quantité minimale du coagulant est obtenue pour la dose optimale de 4 ml de coagulant.

B. 1.8. Le fer et l'indice de permanganate :

Tableau III.34 : Concentration en fer et indice de permanganate de l'eau brute après le traitement par Fe(Cl₃).

N°	2 ^{ème} traitement (variation de chlorure ferrique)						Norme OMS
	1	2	3	4	5	6	
V (ml) de Fe (Cl) ₃	0	2	4	6	8	10	
[Fe] (mg/l)	0	0	0	0	0	0	0,3
IP (mg/l O ₂)	0	0	0	0	0	0	0

Les résultats marquent la disparition du fer et de l'indice de permanganate dans notre eau ce qui signifie que le traitement a éliminé tout le fer et les matières organiques présentes dans notre échantillon avant le traitement, du à la précipitation des ions ferriques et ferreux sous forme d'hydroxydes lors de la coagulation, et les ions ferriques peuvent oxyder les matières organiques en se réduisant en ions ferreux.

Pour l'interprétation des résultats de l'IP, ceux-ci sont en accord avec les précédents résultats microbiologiques; ce qui signifie qu'une teneur élevée en matières organiques devra toujours faire suspecter une contamination microbienne.

B.2. Conclusion :

D'après ces résultats, nous concluons que le traitement de l'eau par le chlorure ferrique (coagulant) est très efficace avec une dose optimale fixée à 4ml.

C. Influence de la quantité de flocculant (Amidon):

Pour cette troisième étape qui correspond à la floculation, on étudie l'influence de la quantité d'amidon (flocculant) sur le pH, λ , TH, TA, TAC.

C.1. Prélèvement à l'entrée de Cevital :

Dans ce traitement les phases suivantes sont respectivement respectées : Coagulation floculation et adoucissement.

C.1. 1. Potentiel d'hydrogène (pH):

Tableau III.35 : pH de l'eau brute après le traitement par floculation avec l'amidon.

3 ^{ème} traitement (variation de l'amidon)							Norme OMS
N°	1	2	3	4	5	6	
m (g) d'amidon	0	2	4	6	8	10	
pH	8,30	8,40	7,99	7,85	7,71	7,77	6,5-8,5

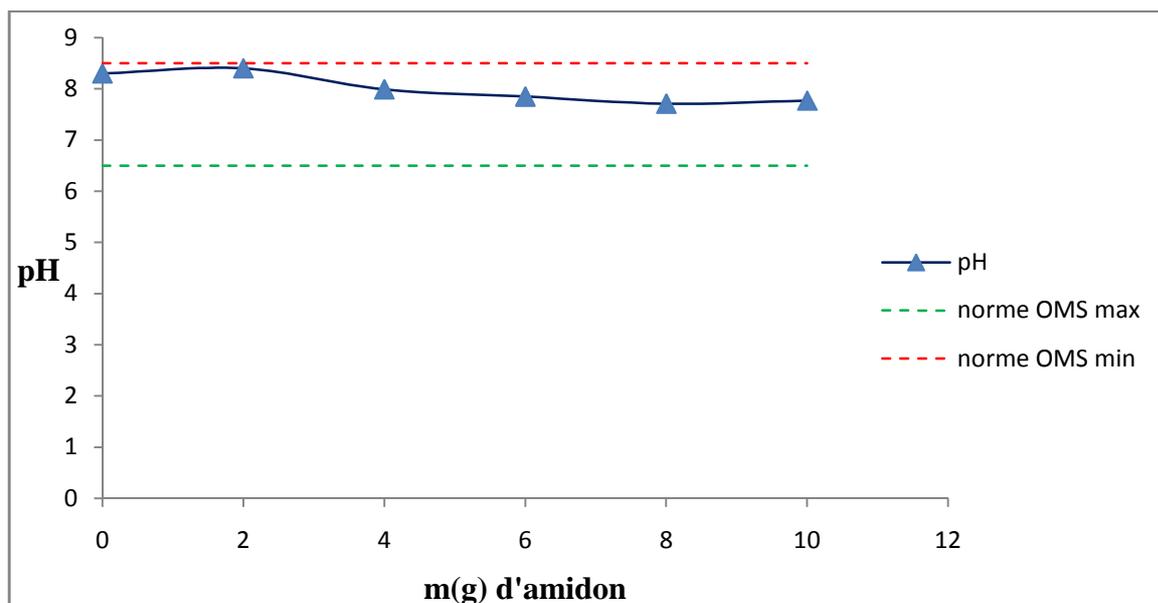


Figure III.29 : Variation du pH de l'eau brute après le traitement par floculation avec l'amidon.

Nous constatons, à partir des résultats (fig. III.29), que les valeurs de pH de l'eau traitée est en diminution en fonction des doses croissantes de l'amidon. Les valeurs sont incluses dans l'intervalle déterminé par l'OMS. Ceci montre que la floculation a un effet positif sur le pH qui tend à se rapprocher de la neutralité. Ceci est dû à la réduction de la basicité de l'eau par précipitation des hydroxydes de l'excès de chaux.

C.1.2. La conductivité :

Tableau III.36 : Conductivité de l'eau brute après le traitement par floculation à l'amidon.

3 ^{ème} traitement (variation de l'amidon)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
m (g) d'amidon	0	2	4	6	8	10	
Conductivité (μS/cm)	2014	2016	2019	2020	2022	2022	2000

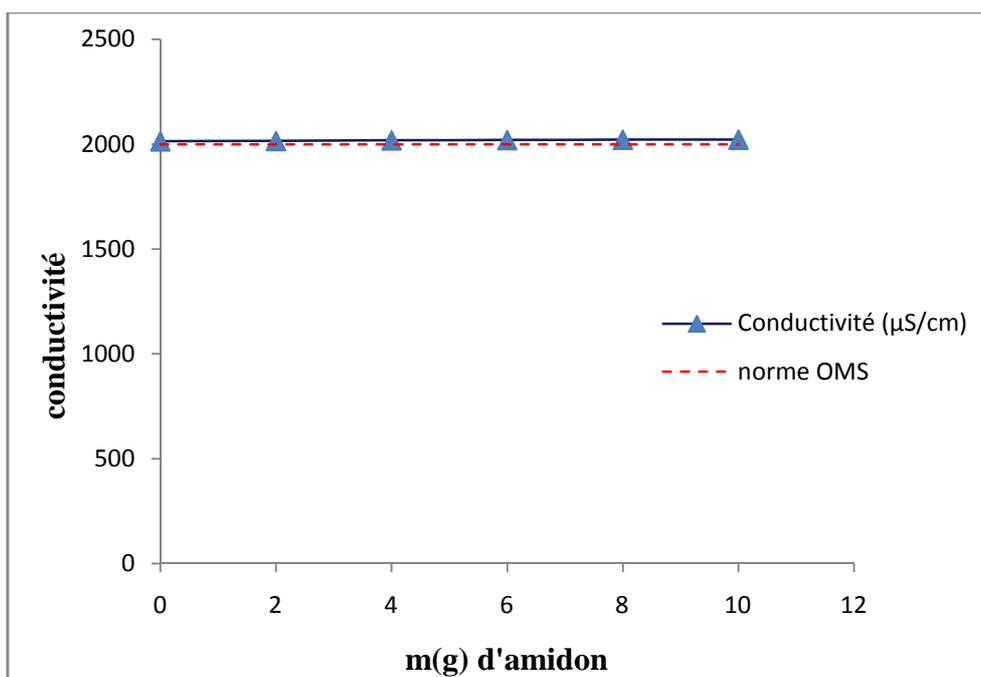


Figure III.30 : Variation de la conductivité de l'eau brute après le traitement par floculation par l'amidon.

On constate, à partir des résultats (fig III.30), que les valeurs de la conductivité de l'eau traitée augmentent légèrement avec les doses croissantes d'amidon, ces valeurs dépassent légèrement la norme OMS. Ceci est un signe d'une forte minéralisation de l'eau traitée due à l'excès en réactif.

C.1.3. La dureté totale TH :

Tableau III.37 : TH de l'eau brute après le traitement par floculation par l'amidon.

3 ^{ème} traitement (variation de l'amidon)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
m (g) d'amidon	0	2	4	6	8	10	
TH (°f)	26	27	26	27	25	27	50

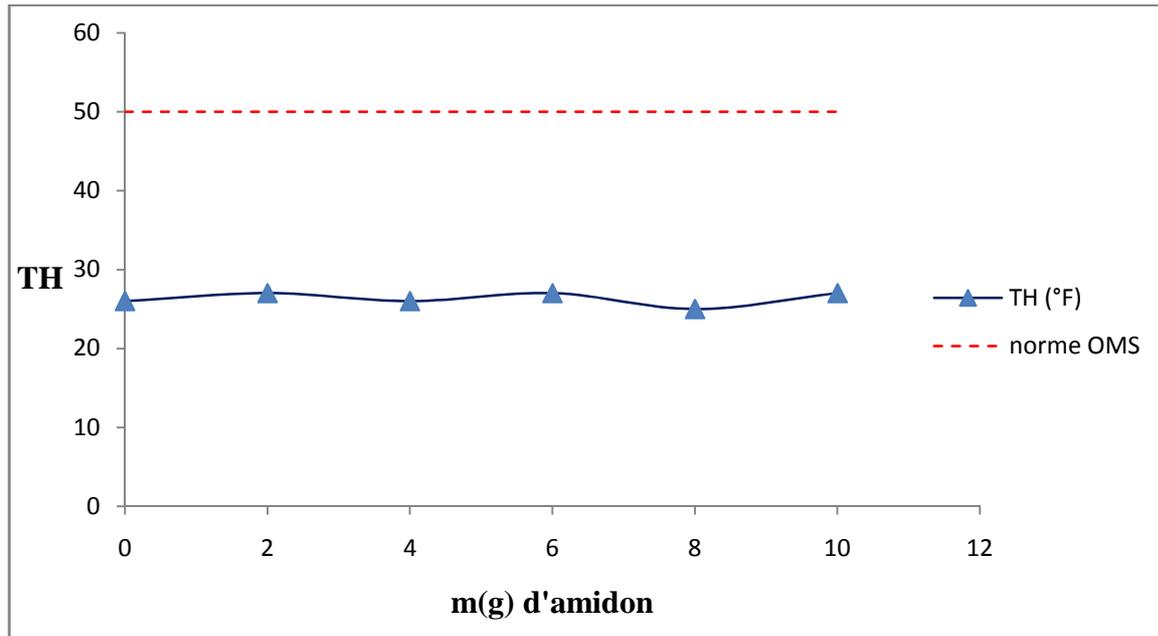


Figure III.31 : Variation de la dureté totale de l'eau brute après le traitement par floculation par l'amidon.

Les résultats montrent que les valeurs de TH ont baissé par rapport aux valeurs initiales relevées dans l'eau brute, et elles sont inférieures à la norme OMS. La plus forte diminution de TH est obtenue pour la dose optimale de 8g de flocculant (amidon).

C.1.4. TAC et TA :

Tableau III.38 : TA et TAC de l'eau brute après le traitement par floculation à l'amidon.

3 ^{ème} traitement (variation de l'amidon)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
m (g) d'amidon	0	2	4	6	8	10	
TA	0	0	0	0	0	0	0
TAC	16	17	16	18	15	18	50

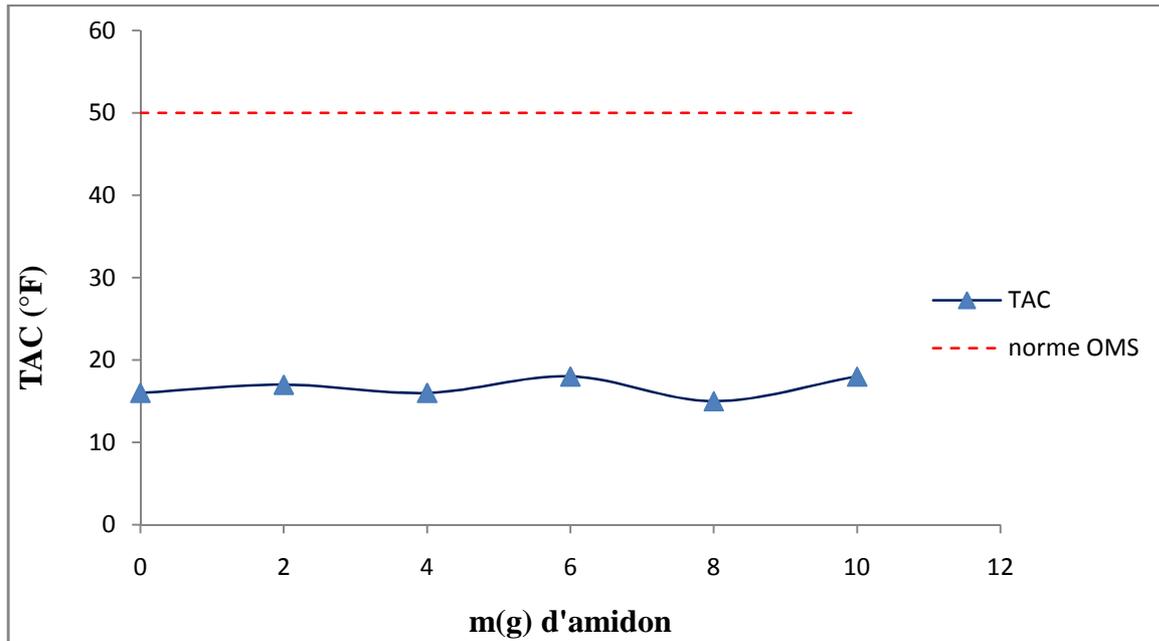


Figure III.32 : Variation de la TAC de l’eau brute après le traitement par floculation à l’amidon.

L’analyse de la figure III.32 montre les variations de TAC, les valeurs ont baissé après le traitement de l’eau brute et elles deviennent largement inférieures à la norme OMS. La plus forte diminution des TAC est obtenue pour la dose optimale de 8g de flocculant (amidon).

C.1.5. Les chlorures :

Tableau III.39 : Concentrations en chlorures de l’eau brute après le traitement par floculation à l’amidon.

3 ^{ème} traitement (variation de l’amidon)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
m (g) d’amidon	0	2	4	6	8	10	
Cl ⁻ (mg/l)	159,87	150,42	169,13	176,51	149,87	190,69	250

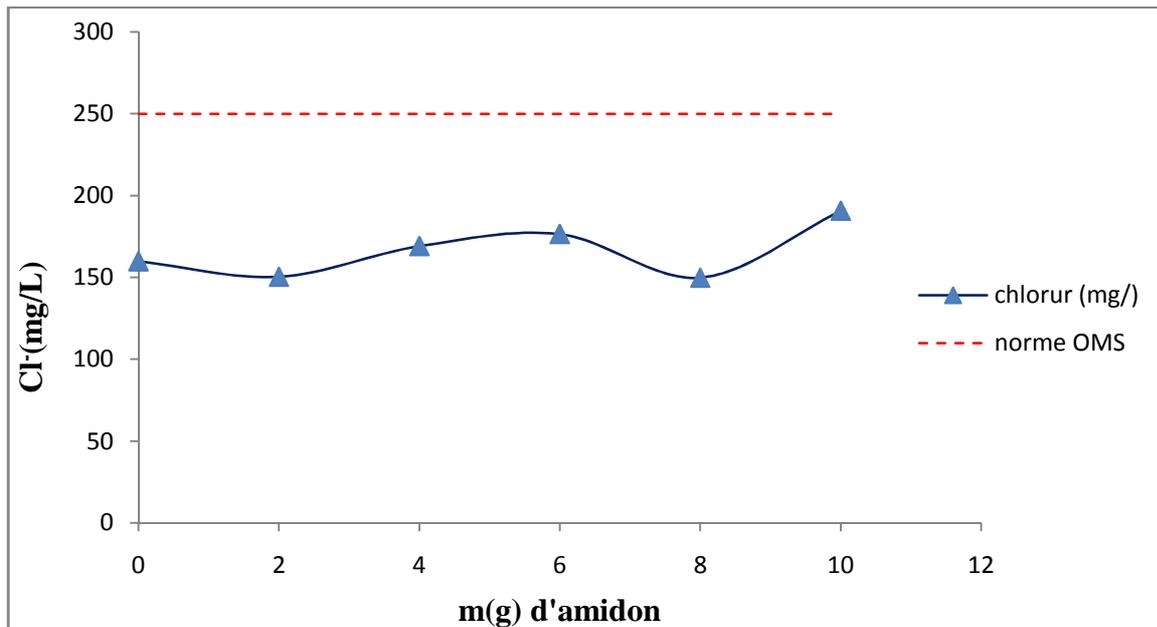


Figure III.33 : Variation des chlorures de l'eau brute après le traitement par floculation à l'amidon.

Les résultats montrent que le traitement a fait baisser la quantité de chlorures dans l'eau, les valeurs enregistrées sont inférieures à la norme OMS. Signalant aussi que la plus petite concentration en chlorures est obtenue pour la dose optimale de 8g de floculant.

C.2. Conclusion :

D'après l'ensemble des résultats obtenus par floculation, nous pouvons dire que le traitement avec l'amidon est efficace, et la meilleure dose de floculant est fixée à 8g.

D. Floculation par la cellulose.

Dans cette étape, on teste un second type de floculant qui est la cellulose, pour étudier l'influence de la nature chimique du floculant sur le pH, λ , TH, TA, TAC.

D.1. à l'entrée de Cevital:

Les phases : coagulation, floculation et adoucissement se sont déroulées successivement lors de ce traitement en remplaçant l'amidon par la cellulose.

D.1. 1.Potentiel d'hydrogène (pH):

Tableau III.40 : pH de l'eau brute après traitement par la cellulose.

4 ^{ème} traitement (variation de cellulose)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
m (g) de cellulose	0	2	4	6	8	10	
pH	8,61	8,59	8,68	8,29	8,39	8,16	6,5-8,8

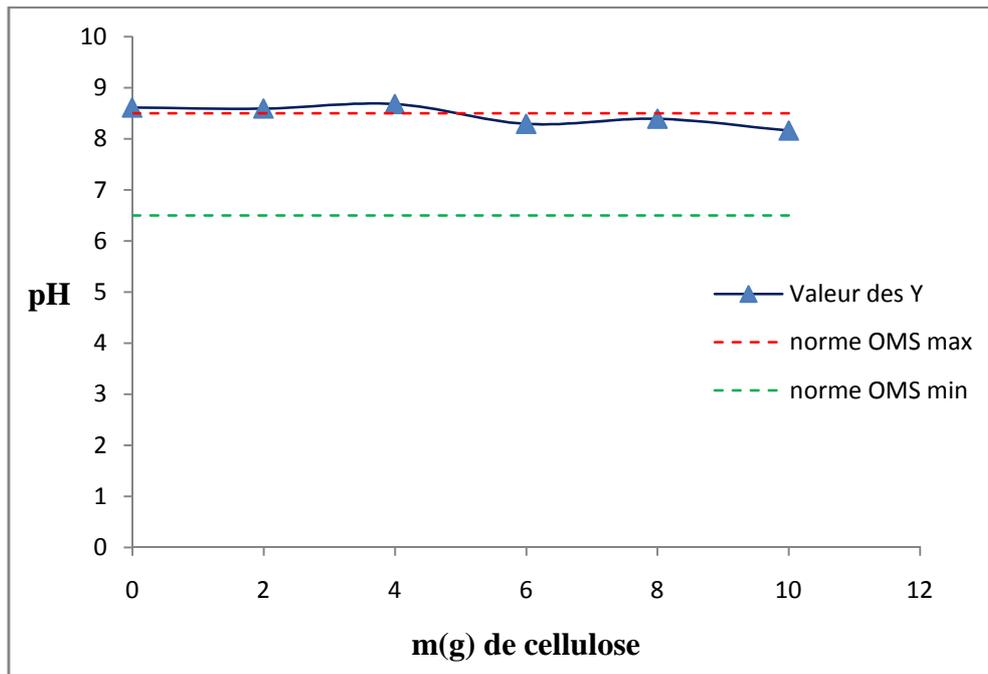


Figure III.34 : Variation de pH de l'eau brute après le traitement par la cellulose.

On constate à partir des résultats de la figure III.34, que les valeurs de pH de l'eau traitée augmentent légèrement avec les doses croissantes de cellulose (0-2-4g). Une diminution de la valeur du pH à partir de la dose 6g de flocculant est constatée. Nous remarquons que les valeurs ne dépassent pas la norme OMS. Cela signifie que l'action de la cellulose est meilleure que celle de l'amidon pour ce paramètre.

D.1.2. La conductivité :

Tableau III.41 : Conductivité de l'eau brute après le traitement par la cellulose.

N°	4 ^{ème} traitement (variation de cellulose)						Norme OMS
	1	2	3	4	5	6	
m (g) de cellulose	0	2	4	6	8	10	
Conductivité (μS/cm)	2220	2230	2220	2230	2230	2250	2000

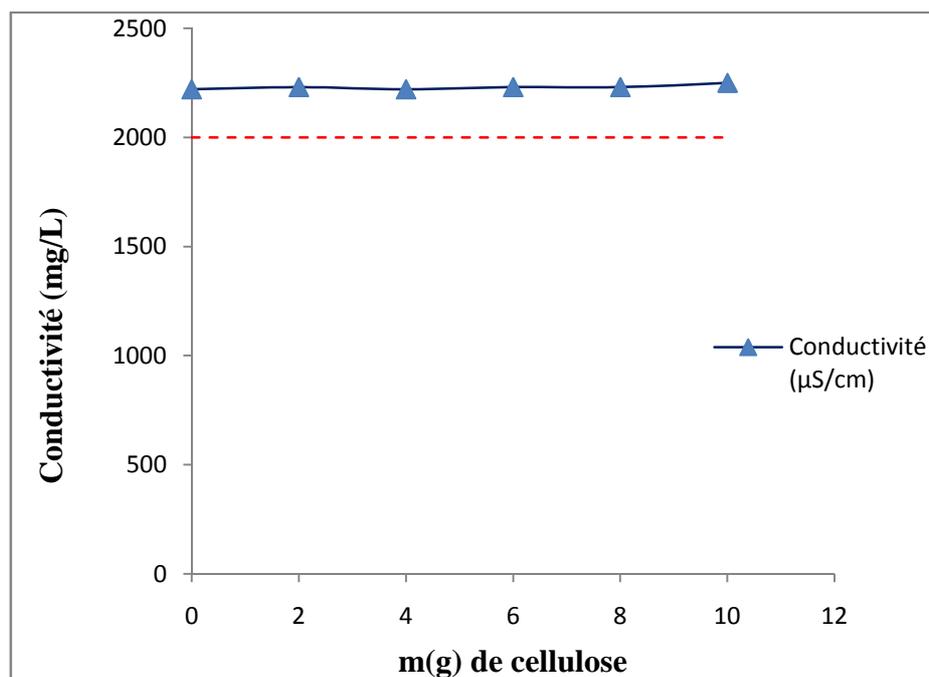


Figure III.35 : Variation de la conductivité de l'eau brute après le traitement par la cellulose.

On constate, à partir des résultats de la figure III.35 que les valeurs de la conductivité de l'eau traitée augmentent légèrement avec les doses croissantes de cellulose, et que les valeurs sont au-dessus de la norme.

D. 1.3 La dureté totale :

Tableau III.42 : TH de l'eau brute après le traitement par la cellulose.

4 ^{ème} traitement (variation de cellulose)							Norme OMS
N°	1	2	3	4	5	6	
m (g) de cellulose	0	2	4	6	8	10	
TH (°F)	32	30	26	28	28	27	50

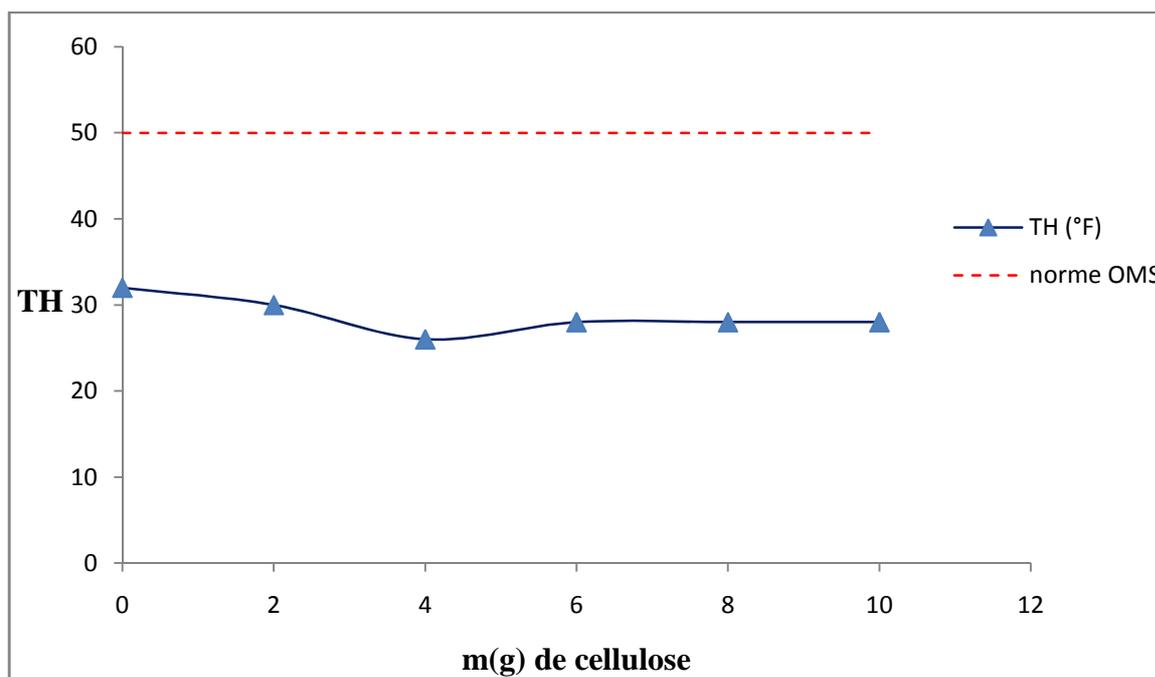


Figure III.36 : Variation de la dureté totale de l'eau brute après le traitement par la cellulose.

L'examen de la figure III.36 montre que les valeurs de TH ont baissé par rapport aux quantités relevées dans l'eau brute avant traitement. La plus forte diminution des TH a été obtenue pour la dose optimale de 4g de flocculant (cellulose) et les valeurs sont inférieures à la norme OMS.

D.1.4. TAC et TA :

Tableau III.43 : TA et TAC de l'eau brute après le traitement par la cellulose.

4 ^{ème} traitement (variation de cellulose)							Norme
N°	1	2	3	4	5	6	
m (g) de cellulose	0	2	4	6	8	10	
TA (°F)	0	0	0	0	0	0	0
TAC (°F)	20	20	20	20	20	20	50

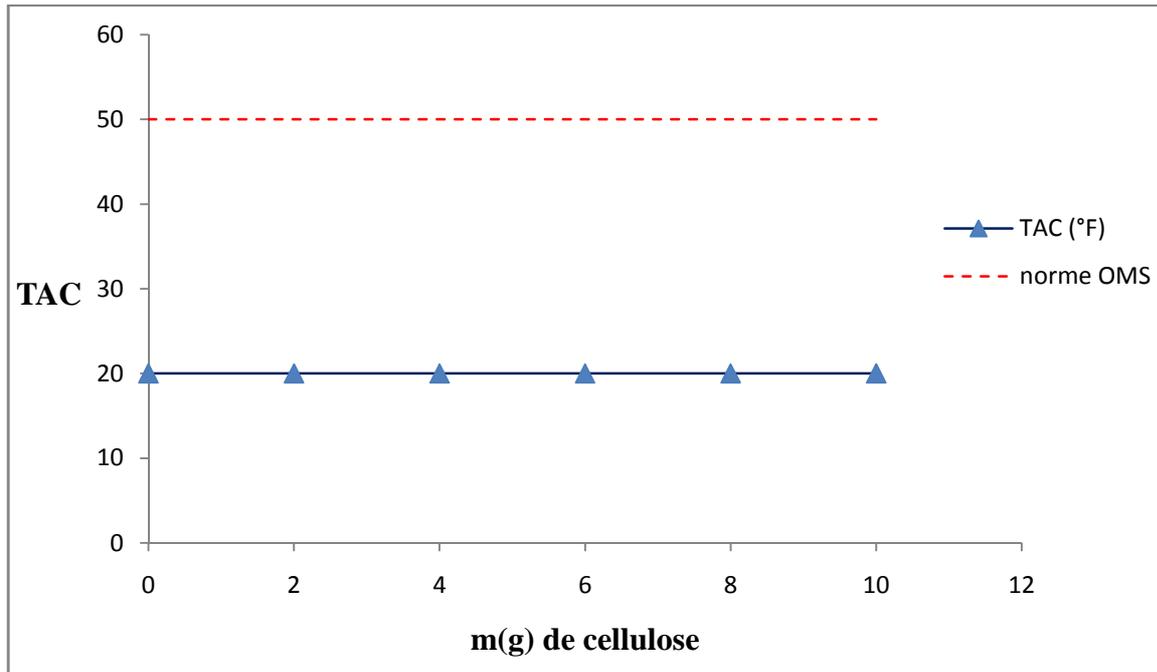


Figure III.37 : Variation du TAC de l'eau brute après le traitement par la cellulose.

L'analyse de la figure III.37 montre que les valeurs de TAC ont baissé par rapport aux valeurs initiales de l'eau brute, ce qui montre que le traitement par floculation avec la cellulose est très efficace pour réduire l'alcalinité de l'eau, soit brute, soit à la fin du traitement après ajout de réactifs basiques.

D.1.5. Les chlorures :

Tableau III.44 : Concentrations en chlorures de l'eau brute après le traitement par la cellulose.

4 ^{ème} traitement (variation de cellulose)							Norme OMS
N°	1	2	3	4	5	6	
m(g) de cellulose	0	2	4	6	8	10	
Cl ⁻ (mg/l)	163,07	155,89	163,07	163,07	155,89	163,07	250

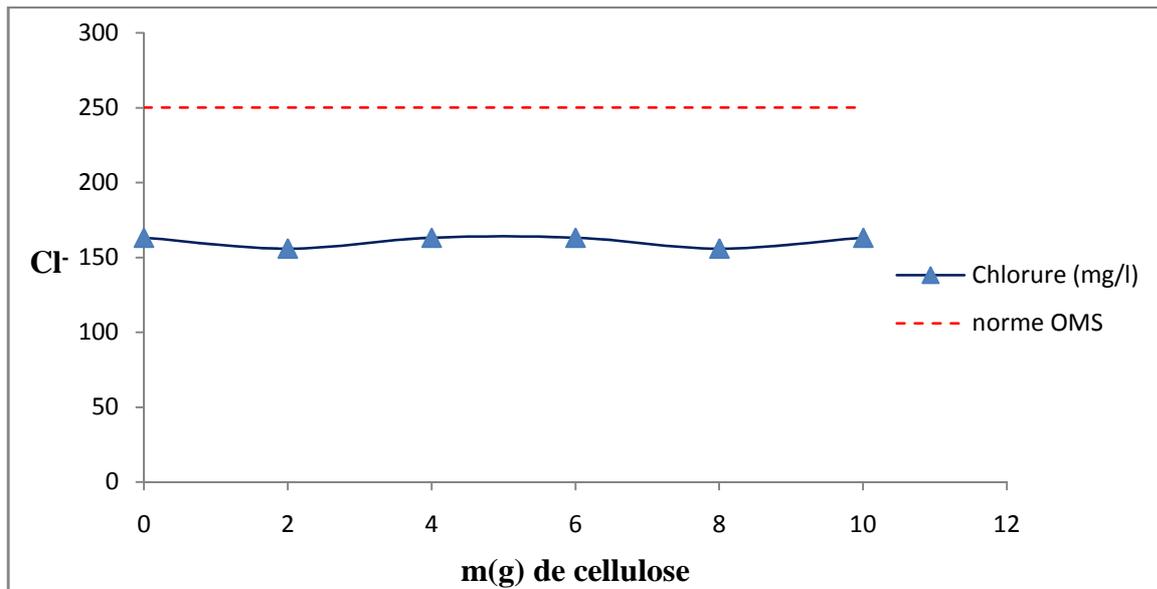


Figure III.38 : Variation des concentrations en chlorures de l'eau brute après le traitement par la cellulose.

L'analyse de la figure III.38, montre que les concentrations en chlorures ont baissé par rapport à la concentration initiale de l'eau brute. La plus forte diminution des chlorures est obtenue pour la dose optimale de 2g de flocculant (cellulose).

D.2. Conclusion :

En comparant le troisième traitement et le quatrième, nous pouvons conclure que le flocculant le plus efficace est l'amidon.

E. Cinquième traitement : adoucissement par résine amberlite :

Dans ce traitement, on maintient la coagulation-floculation par l'amidon et on remplace la dernière étape d'adoucissement chimique au NaOH, par l'adoucissement par la résine cationique Amberlite. Le but de ces tests est de comparer l'influence de deux types d'adoucissement, chimique et par résine échangeuse de cations, Amberlite activée par NaCl, sur les paramètres TH, TA, TAC.

Tableau III.45 : TH, TA et TAC de l'eau brute après le traitement par résine amberlite activée par NaCl.

N°	4 ^{ème} traitement (variation d'amidon)						Norme OMS
	1	2	3	4	5	6	
m(g) d'amidon	0	2	4	6	8	10	
TH (°F)	0	0	0	0	0	0	50
TA (°F)	0	0	0	0	0	0	0
TAC(°F)	0	0	0	0	0	0	50

D'après le tableau III.45 nous remarquons que les résultats obtenus après le traitement par adoucissement sur la résine amberlite activée par une solution de NaCl, sont parfaits, car nous relevons des valeurs nulles pour tous les paramètres quantifiés. Nous pouvons alors conclure que la résine est très efficace pour l'élimination du TH et du TAC.

Le tableau suivant présente une synthèse des résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau brute des deux stations à savoir Ibouressen et l'entrée de Cevital avant et après le traitement.

Tableau III.46 : Récapitulatif des résultats d'analyses physico-chimique et bactériologique des deux prélèvements des eaux (au niveau de Ibouressen et a l'entrée de Cevital) avant et après le traitement.

N°	1ere prélèvement	2eme prélèvement	Normes	
Date et lieu et heure de prélèvement	14/03/2017 Ibouressen 11h30	16/04/2017 L'entrée de Cevital 13h30	OMS	algériennes
temps	Nuageux	Ensoleillée		
Odeur	supportable	inodore	inodore	inodore
couleur	jaunâtre	incolore	incolore	incolore
T	21	20	25	25
pH	7,42	7,45	6,5-8,5	6,5-8,5
conductivité	2120	2130	2000 μ S/cm	2800 μ S/cm
turbidité	19,3	6,44	< 5 NTU	< 5 NTU
Résidu sec	1436	1760		1500 mg/l
MES (mg /l)	98	326		
LSI	0,02	0,36	0	0
TH	79	63	50°F	
THca	43	54		
TA	0	0	0	0
TAC	26	24	50°F	
Cl ⁻	317,6	317,6	250 mg/l	
IP	17,3	21,1	3 mg/l O ₂	3 mg/l O ₂
Silice	0,44	0,42	< 12 mg/l	
fer	0,13	0	< 0,3 mg/l	0,3 mg/l
Germe totaux	Leveur - cocci	0	0	0
E-coli	0	0	0	0
Traitement				

1ere traitement Coagulation-floculation (1ere prélèvement au niveau d'Ibourassen)							
Echantillon		1	2	3	4	5	6
Dosage de coagulant (V (ml))	Ca(OH) ₂	0	2	4	6	8	10
	Fe(Cl) ₃	10	10	10	10	10	10
Dosage de floculant Amidon (g)		2	2	2	2	2	2
Filtration							
pH		7,40	7,48	7,45	7,47	7,44	7,52
Conductivité (µs/Cm)		1995	1972	1946	1942	1938	1942
TH (°F)		60	66	66	60	70	65
TA (°F)		0	0	0	0	0	0
TAC (°F)		20	15	19	17	22	24
Adoucissement							
Echantillon		1	2	3	4	5	6
Dosage de Na ₂ CO ₃ (g)		0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097
Dosage de NaOH (g)		0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
Filtration							
Résultat final							
pH		8,78	8,84	8,82	8,88	8,85	8,79
Conductivité (µs/Cm)		2180	2190	2170	2150	2150	2140
TH (°F)		38	45	39	35	40	39
TA (°F)		0	0	0	0	0	0
TAC (°F)		22	20	20	18	20	22
Cl ⁻ (mg/l)		247,09	247,09	247,09	247,09	247,09	247,09
NTU		3,14	3,11	3	2,85	3,01	3,20
fer		0	0	0	0	0	0
Silice (mg/l)		0,40	0,41	0,39	0,38	0,38	0,39
Ip		0	0	0	0	0	0
Coliforme totaux		0	0	0	0	0	0
E coli		0	0	0	0	0	0
Norme OMS							
							6,8-8,5
							2800
							50
							0
							50
							250
							5
							0,3
							12
							0
							0
							0
2eme traitement Coagulation-floculation (2eme prélèvement à l'entrée de Cevital)							
Echantillon		1	2	3	4	5	6
Dosage de coagulant (V (ml))	Ca(OH) ₂	0	2	4	6	8	10
	Fe(Cl) ₃	10	10	10	10	10	10
Dosage de floculant Amidon (g)		2	2	2	2	2	2
Filtration							
pH		7,87	7,98	7,83	7,76	7,86	7,70
Conductivité (µs/Cm)		2004	2001	2002	2003	2000	1976
TH (°F)		63	62	62	63	64	65
TA (°F)		0	0	0	0	0	0
TAC (°F)		20	20	20	20	20	20
Adoucissement							
Echantillon		1	2	3	4	5	6
Dosage de Na ₂ CO ₃ (g)		0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097
Dosage de NaOH (g)		0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
Filtration							
Résultat final							
pH		8,55	8,56	8,51	8,48	8,44	8,43
Conductivité (µs/Cm)		2210	2210	2210	2190	2180	2160
Norme OMS							
							6,8-8,5
							2800

TH (°F)	45	36	35	40	35	40	50
TA (°F)	0	0	0	0	0	0	0
TAC (°F)	24	24	24	24	24	24	50
Cl ⁻ (mg/l)	241,06	241,06	241,06	241,06	241,06	241,06	250
NTU	1,9	2	1,6	1,7	1,8	2	5
fer	0	0	0	0	0	0	0,3
Silice (mg/l)	0,36	0,35	0,33	0,36	0,35	0,36	12
IP	0	0	0	0	0	0	0
Coliforme totaux	0	0	0	0	0	0	0
E coli	0	0	0	0	0	0	0
3eme traitement Coagulation-floculation (2eme prélèvement à l'entrée de Cevital)							
Echantillon	1	2	3	4	5	6	
Dosage de coagulant (V (ml))	Ca(OH) ₂	6	6	6	6	6	
	Fe(Cl) ₃	4	4	4	4	4	
Dosage de floculant Amidon (g)	0	2	4	6	8	10	
Filtration							
pH	7,87	7,98	7,83	7,76	7,86	7,70	
Conductivité (µs/Cm)	2004	2001	2002	2003	2000	1976	
TH (°F)	63	62	62	63	64	65	
TA (°F)	0	0	0	0	0	0	
TAC (°F)	20	20	20	20	20	20	
Adoucissement							
Echantillon	1	2	3	4	5	6	
Dosage de Na ₂ CO ₃ (g)	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	
Dosage de NaOH (g)	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	
Filtration							
Résultat final							
pH	8,30	8,40	7,99	7,85	7,71	7,77	Norme OMS
Conductivité (µs/Cm)	2014	2016	2019	2020	2022	2022	6,8-8,5
TH (°F)	26	27	26	27	25	27	2800
TA (°F)	0	0	0	0	0	0	50
TAC (°F)	16	17	16	18	15	18	0
Cl ⁻ (mg/l)	159,87	150,42	169,13	176,51	149,87	190,69	50
250							
4eme traitement Coagulation-floculation (2eme prélèvement à l'entrée de Cevital)							
Echantillon	1	2	3	4	5	6	
Dosage de coagulant (V (ml))	Ca(OH) ₂	6	6	6	6	6	
	Fe(Cl) ₃	4	4	4	4	4	
Dosage de floculant Cellulose (g)	0	2	4	6	8	10	
Filtration							
pH	7,49	7,82	7,87	7,73	7,68	7,67	
Conductivité (µs/Cm)	2003	2007	2006	2003	2007	2008	
TH (°F)	70	70	75	60	70	66	
TA (°F)	0	0	0	0	0	0	
TAC (°F)	25	20	19	12	20	20	
Adoucissement							
Echantillon	1	2	3	4	5	6	
Dosage de Na ₂ CO ₃ (g)	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	

Dosage de NaOH (g)	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	
Filtration							Norme OMS
Résultat final							
pH	8,61	8,59	8,68	8,29	8,39	8,16	6,8- 8,5
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{Cm}$)	2220	2230	2220	2230	2230	2250	2800
TH ($^{\circ}\text{F}$)	32	30	26	28	28	27	50
TA ($^{\circ}\text{F}$)	0	0	0	0	0	0	0
TAC ($^{\circ}\text{F}$)	20	20	20	20	20	20	50
Cl ⁻ (mg/l)	163,07	155,89	163,07	163,07	155,89		250
5eme traitement Coagulation-floculation (2eme prélèvement à l'entrée de Cevital)							
Echantillon	1	2	3	4	5		
Dosage de coagulant (V (ml))	Ca(OH) ₂	6	6	6	6		
	Fe(Cl) ₃	4	4	4	4	4	
Dosage de floculant Amidon (g)	0	2	4	6	8		
Filtration							
Adoucissement (résine amberlite)							Norme OMS
Résultat final							
TH ($^{\circ}\text{F}$)	0	0	0	0	0	0	50
TA ($^{\circ}\text{F}$)	0	0	0	0	0	0	0
TAC ($^{\circ}\text{F}$)	0	0	0	0	0	0	50

L'eau est un facteur essentiel pour la vie, c'est un composé fondamental pour tous les organismes vivants.

Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains, elle se charge alors en éléments chimiques, par échange à la surface eau-atmosphère, ces eaux se chargent aussi en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique).

Nous rappelons aussi que l'eau est un milieu favorable pour la prolifération d'un certain nombre de bactéries qui proviennent de différentes origines.

Dans ce travail, il nous est apparu important de commencer par une analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau brute avant traitement, pour mieux montrer l'efficacité des procédés de traitements effectués à savoir : Coagulation-Floculation et Adoucissement.

Nos résultats ont révélé que l'eau des deux stations (Ibourassen, l'entrée de Cevital) avant traitement sont impropres à la consommation et à leur utilisation pour l'alimentation en brute à l'entrée de Cevital. En effet les paramètres physicochimiques quantifiés (pH, Température, conductivité, turbidité, couleur, alcalinité, dureté, MES, chlorures) sont légèrement ou largement supérieur aux normes OMS.

Il ressort de nos résultats que l'état bactériologique de l'eau brute de l'entée de Cevital ainsi que du puits de forage d'Ibourassen sont convenables, comparées aux normes de l'OMS.

Après traitement par les procédés de Coagulation-Floculation et adoucissement, les paramètres physico-chimiques quantifiés pour les deux stations répondent très nettement aux normes de l'OMS. Il est important aussi de signaler d'après les résultats, l'état bactériologique amélioré après traitement de l'eau brute pour les deux stations.

Au terme de ce travail nous pouvons conclure que le traitement par procédés de Coagulation-floculation et d'Adoucissement de l'eau brute est efficace, notamment pour l'élimination des MES, du fer et la réduction de la dureté au seuil minimal. Ce qui prédestine cette eau ainsi traitée à son utilisation pour la fabrication de l'eau ultra pure, qui exige la poursuite du traitement par l'utilisation des membranes par osmose inverse. Ces dernières risquent de subir un encrassement à long terme. Pour éviter la régénération répétée de ces membranes et leur nettoyage par l'acide sulfurique, ce qui peut les endommager, il est recommandé d'alimenter la station de fabrication d'eau ultra pure, en eau brute de meilleure qualité.

Références bibliographiques

- [1] : SAMAKE HAWA, Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la ville de BAMAKO durant la période 2000 et 2001.
- [2] : DE FRANCESCHI M., L'Eau dans tous ses états, édition Ellipse, 1996.
- [3] : JEAN LUC POTELON et KARYNE ZYSMAN, Le guide des analyses de l'eau potable, édition la lettre du cadre Territorial, 1998.
- [4] : VILLAGINE ROLAND, Eau, environnement et santé publique ; introduction à l'hydrologie ; 2^{ème} édition médicale internationale, 2003.
- [5] : BOURGOIS C. M. et LEVAU J.L., Techniques d'analyses et de contrôle dans les industries agro –alimentaires, 2^{ème} édition Lavoisier-Tec. Et Doc, 1980.
- [6] : A. KETTAB, Traitement des eaux « les eaux potables » Office des publications universitaires, 1992.
- [7] : MABILLOT A., Le fourrage de l'eau : guide pratique, édition Johnson, 1986.
- [8] : LOUP J., Les eaux terrestres, édition : Masson et Cie, 1974.
- [9] : J. TRANCHIT, Manuel de chromatographie en phase gazeuse. 4^{ème} édition.
- [10] : PIERRO KOCH, Alimentation en des agglomérations.
- [11] : HESCHUNG MICHEL, Master en architecture et développement durable : guide pour la réhabilitation des moulins hydrauliques en vue de la production d'électricité, 2007.
- [12] : MONIQUE TARDAT HENRY, JEAN-PAUL BEAUDRY, Chimie des eaux, édition le griffon d'argile ,1993.
- [13] : JEAN RODIER, L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires eaux de mers 8^{ème} édition, Editeur Dunod, 2005.
- [14] : R. KHIMOUD et H. KHENNANE, Analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau brute et de l'eau traitée de Barrage « TAKSEBET » Tizi-Ouzou, mémoire de fin études en écologie Végétale et environnement, Université Mouloud Mammeri, Tizi –Ouzou, 2011.
- [15] : LOUP J., Les eaux terrestres, édition : Masson et Cie, 1974.
- [16] : JEAN RODIER, BERNARD LEGUBE, NICOLE MERLET, Analyse de l'eau, 9^{ème} édition, Editeur Durand, 2009.

Références bibliographiques

- [17] : CAMILLE DELLARRRAS, Surveillances sanitaire et microbiologique des eaux : Réglementation, Prélèvement, Analyse, 2003.
- [18] : M. ROUX, Analyse biologique de l'eau, édition Lavoisier –Tec. et Doc, 1989.
- [19] : CYRIL GOMELLA et HENRI GUERRERE, Traitement des eaux industrielles et privées.
- [20] : Zeghni N., S. Boumriche, Traitement des eaux résiduaires industrielles et la gestion des boues de l'unité textile de Draa Ben Khedda, 2012.
- [21] : H. RICARDO HERNANDEZ, Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable, thèse de docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2006.
- [22] : C. LAFLEUR et J. FORTIER, Evaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles, Québec, 2008.
- [23] : Belhoucine D. et K. Azzi, Etude et contrôle physico-chimiques des mélanges d'eaux brutes du barrage de Tichy-haf et du puits de forage d'Ibourassen (Oued Ghir) pour la production de l'eau ultra-pure, 2016.
- [24] : Memotec n°6, Les procédés d'adoucissement en traitement de l'eau potable, révision A , 2006.
- [25] : ISABELLE MONZIE, Echange d'ions pour la production d'eau très pure, thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, 2003.
- [26] : M. JEAN –LUC BOUDENNE, L'évaluation des échangeurs d'ions utilisés pour le traitement d'eau destinée à la consommation humaine, laboratoire de chimie , Agence Française de sécurité sanitaire des aliments, 2009.
- [27] : J.M. BERLAND et C. JUERY, Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau, document technique FANDAE n° 14, nouvelle version, 2002.
- [28] : Technique d'ingénieur, l'ultrafiltration et l'osmose inverse. Technique de l'ingénieur,
- [29] : Potelon J. L., Zysman K., Le guide des analyses de l'eau potable, Edition de La Lettre du Cadre Territorial S.E.P.T, 1998.

Références bibliographiques

- [30] : Gouadia L., Thèse de doctorat en Sciences option hydrogéologie : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride. Cas de la nappe de Meskiana nord-est Algérien, 2008.
- [31] : Degrément, Memento technique de l'eau. Tome 1 : Dixième édition, Paris, 2005.
- [32] : Rodier J., L'analyse de l'eau : eaux naturelles eaux résiduaire, eau de mer. Ed, Dunod, Paris, 1996.
- [33] : Gerard G., L'eau, Milieu naturel et maitrise, Edition INRA : Volume 1, 1999.
- [34] : Laker E., Etude de l'influence des groupes de colorants de base sur le rendement de la décoloration en phase primaire de l'épuration des eaux du complexe textile de D.B.K. Mémoire d'ingéniera d'état en traitement des eaux et fluides industriels. I.N.I.M. Boumerdes, 1998.
- [35] : Moletta R., Gestion des problèmes d'assainissement. Programme d'Assainissement du Littoral de l'Atlantique (PALA), Saint-John, Canada, 2006.
- [36] : Degrément, Memento technique de l'eau. 9^{ème} Edition, Paris, 1989.
- [37] : Dupont A, Hydraulique urbaine. Tome 1 : Hydrologie – captage et traitement des eaux. 5^{ème} Edition, 1981.

Annexe 01 : Le matériel utilisé

A. Les appareils :

a. Une plaque chauffante avec agitateur magnétique

➤ Plaque chauffante est un appareil :

Une plaque chauffante est un appareil de laboratoire portable qui sert de source de chaleur pour chauffer divers objets, elle peut être couplée avec un système d'agitation magnétique afin d'assurer une homogénéisation d'une solution.

➤ Agitateur magnétique :

Instrument quasi-indispensable dans un laboratoire de chimie, l'agitateur magnétique comme sans nom l'indique permet d'agiter une solution en utilisant la force magnétique.



Figure I.1 : Photo de la plaque chauffante avec agitateur magnétique.

b. Une balance :

Une balance est un instrument de pesée qui sert à évaluer des masses par comparaison avec des « poids » dans notre étude on a utilisé une balance de précision 0.1 mg de marque RADWAG.



Figure I.2 : Photo de balance de marque RADWAG.

c. Turbidimètre :

C'est un appareil qui permet de mesurer la turbidité d'un liquide. On utilise un turbidimètre plus précis que les yeux pour déterminer le trouble de l'eau.



Figure I.3 : Photo d'un turbidimètre.

d. pH mètre :

Un appareil permettant de mesurer le pH d'une solution se composant d'un boîtier électronique et d'une sonde dotée de deux électrodes (l'une de référence et l'autre à potentiel variable).



Figure I.4 : Photo d'un pH mètre.

e. Spectrophotomètre :

Un spectrophotomètre est un appareil qui permet mesurer l'absorbance d'une solution à une longueur d'onde donnée ou sur région donnée du spectre.



Figure I.5 : Photo spectrophotomètre UV-Visible.

B. La verrerie :

- ✚ Pipettes 1, 2, 5 et de 10ml
- ✚ Erlenmeyer de 100ml
- ✚ Burettes graduées
- ✚ Poire
- ✚ Béchers
- ✚ Pissettes
- ✚ Entonnoirs
- ✚ Fioles de 50, 100 et 250ml
- ✚ Eprouvettes
- ✚ Barreaux magnétiques
- ✚ Spatules
- ✚ Verres de montre
- ✚ Tubes à essais
- ✚ Porte tubes
- ✚ Mortier et un pilon
- ✚ Papier filtre
- ✚ Papier absorbant

ANNEXES

ANNEXE N° 02 : préparation de la solution (Laboratoire)

1. Préparation d'un V= 500 ml d'une solution de NaOH à 0.02N

- NaOH 0.404g
- Eau distillée 500ml
- Fiole 500ml

2. Préparation d'un V=50 ml d'une solution de Phénophtaléine à 0.5 %

- Phénolphtaléine 0.25g
- Ethanol 25ml
- Eau distillée 25ml
- Fiole 50ml

3. Préparation d'un V=100 ml d'une solution de méthyle orange à 0.5 %

- Méthyle orange 0.5g
- Eau distillée 100ml
- Fiole 100ml

4. Préparation d'un V=250ml d'une solution de H₂SO₄ à 0.02 N

- H₂SO₄ 142.5μl
- Eau distillée 249.9ml
- Fiole 250ml

5. Préparation de noir erriochrome (N.E.T) :

- Noir d'erriochrome T(N.E.T) 0.5g
- Chlorure de sodium NaCl 50g

Broyer dans un mortier, Conserver à l'abri de lumière

6. Préparation d'un V=250ml d'une solution tampon ammoniacal à PH =10 :

- NH₄Cl₂ 16.875g
- NH₄OH 142.5ml
- Eau distillée 107.5ml
- Fiole 250ml

7. Préparation de solution EDTA-Na₂ 0.02N

- EDTA (poudre séchée pendant 1 heure à 180C°) 3.7298g
- Eau distillée 1L
- Fiole 1L

ANNEXES

8. Préparation du Murexide :

- Murexide 0.5g
- NaCl 50g

Broyer dans un mortier Conserver à l'abri de la lumière

9. Préparation d'un V=100ml d'une solution d'hydroxyde de sodium NaOH 1N

- NaOH 4.04g
- Eau distillée 100ml
- Fiole 100ml

10. Préparation d'un V=50 ml d'une solution de Chromate de potassium K₂CrO₄ :

- Chromate de potassium K₂CrO₄ 5g
- Eau distillée 50ml
- Fiole 50ml

Conserver à l'abri de la lumière

11. Préparation d'un V=250 ml d'une solution de Nitrate d'argent 0.02N

- Nitrate d'argent (Ag NO₃ séché) 1.1978g
- Eau distillée 250ml
- Fiole 250ml

Conserver à l'abri de la lumière

12. Préparation d'un V=100ml d'une solution d'acide chlorhydrique à 50% :

- Acide chlorhydrique pure (HCl) 50ml
- Eau distillée 50ml
- Fiole 100ml

13. Préparation d'un V=100ml d'une solution de Molybdate d'ammonium :

- Molybdate d'ammonium 10g
- Eau distillée 100ml
- Fiole 100ml

14. Préparation d'un V=100ml d'une solution d'acide oxalique :

- Acide oxalique 7.5g
- Eau distillée 100ml
- Fiole 100ml

ANNEXES

15. Préparation d'un V=500ml d'une solution de la chaux Ca(OH)_2 :

- Ca(OH)_2 0.063g
- Eau distillée 500ml
- Fiole 500ml

17. Préparation d'un V=250ml d'une solution de FeCl_3 :

- FeCl_3 1.25g
- Eau distillée 250ml
- Fiole 250ml

18. Préparation d'un V=250ml d'une solution de KMnO_4 0.1N :

- KMnO_4 0.8g
- Eau distillée 250ml
- Oxalate de sodium 1.675g
- Eau distillée 250ml
- Fiole 250ml

20. Préparation carbonate de Na :

- Dose de $\text{Na}_2\text{CO}_3 = 10,6(\text{TH}-\text{TAC}) \text{ g/m}^3$

21. Préparation NaOH :

- Dose de $\text{NaOH} = 8(2\text{TAC}-\text{TH}_{\text{ca}}) \text{ g/m}^3$

ANNEXES

ANNEXES

Annexe N° 03 : courbe d'étalonnage

Tableau N°01 : Etablissement de la courbe d'étalonnage pour le dosage de la silice par colorimétrie à 410 nm

C (mg/l)	0	0,1	0,2	0,3	0,4
abs	0	0,072	0,151	0,218	0,278

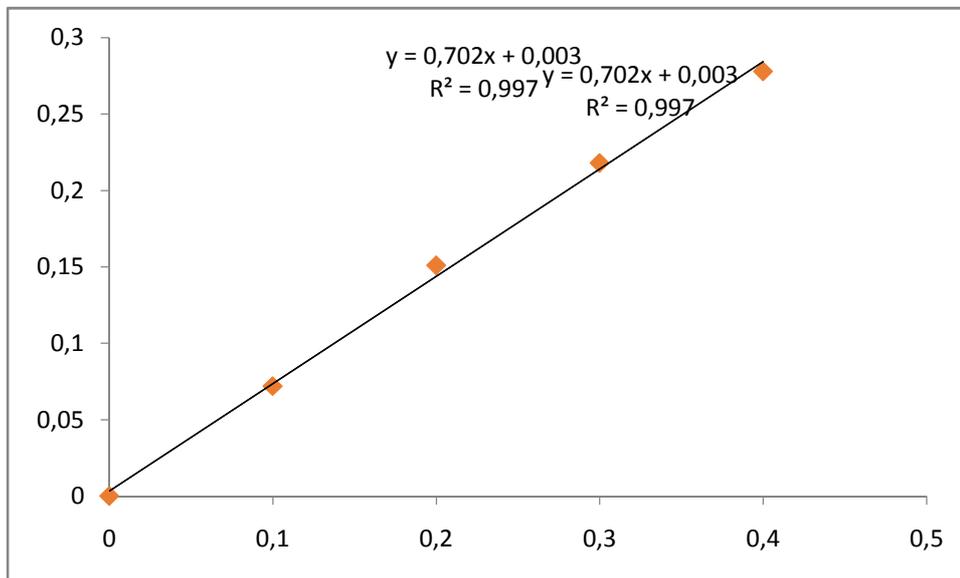


Figure.3.1 : courbe d'étalonnage de la silice (SiO_2) par colorimétrie à 410nm.

ANNEXES

Tableau N°01 : Etablissement de la courbe d'étalonnage pour le dosage de fer par SAA :

C (mg/l)	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
ABS	0,0142	0,0329	0,0492	0,0641	0,0785

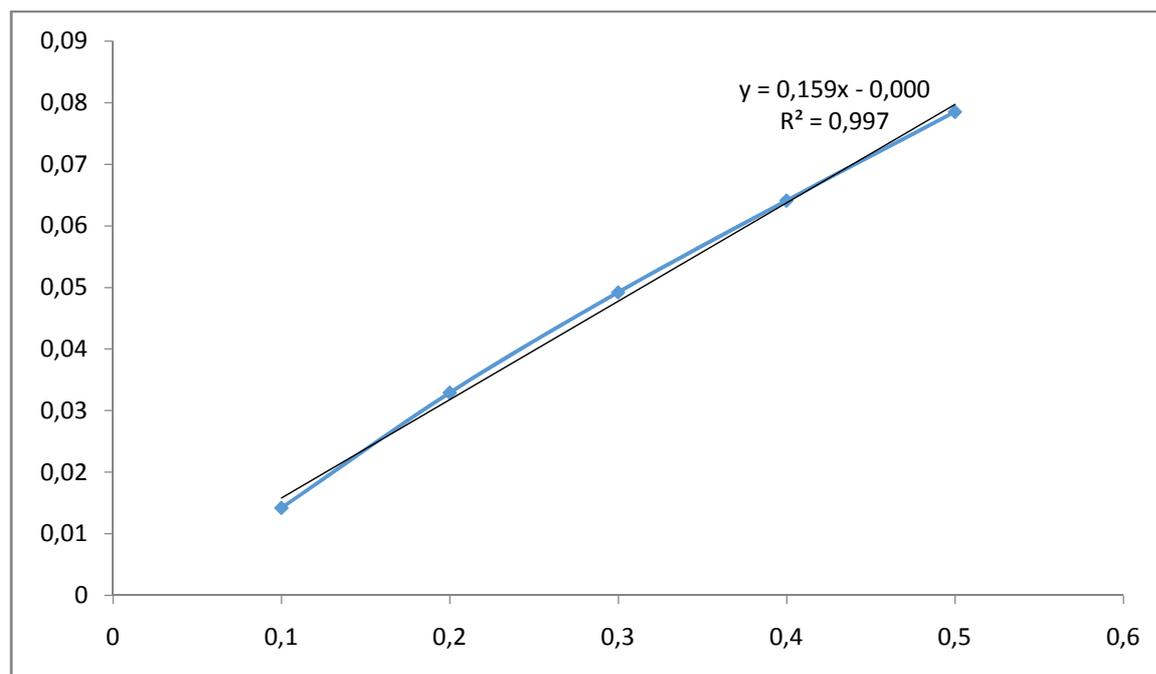


Figure.3.2 : courbe d'étalonnage du fer par SAA.

Résumé

L'eau, dont nous disposons dans la nature n'est pas directement utilisable. Lors de sa circulation dans le sol, à la surface de la terre ou même dans l'air, l'eau se pollue et se charge de matière en suspension ou dissoute, pouvant être des particules d'argile, des déchets de végétation, d'organismes vivants, de bactéries, de virus, des sels divers (chlorures, sulfates, carbonate, sodium, calcium, fer, etc..) et de matières organiques. La présence de toutes ces impuretés de différentes natures impose le traitement des eaux avant leur utilisation.

Pour obtenir une eau claire et limpide pour la consommation humaine et une eau extra pure exigée par l'industrie, il faudra donc appliquer un certain nombre de procédés convenables et efficaces.

Dans ce travail, il nous est apparu important de commencer par une analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau brute avant traitement, pour mieux montrer l'efficacité des procédés de traitements effectués à savoir : Coagulation-Floculation et Adoucissement.

Nos résultats ont révélé que l'eau des deux stations (Ibourassen, l'entrée de Cevital) avant traitement sont impropres à la consommation et à leur utilisation pour l'alimentation en brute à l'entrée de Cevital. En effet les paramètres physicochimiques quantifiés (pH, Température, conductivité, turbidité, couleur, alcalinité, dureté, MES, chlorures) sont légèrement ou largement supérieur aux normes OMS.

Il ressort de nos résultats que l'état bactériologique de l'eau brute de l'entée de Cevital ainsi que du puits de forage d'Ibourassen sont convenables, comparées aux normes de l'OMS.

Mots Clés : eau brute, coagulation, floculation, adoucissement, eau traité.

Summary

The water we have in nature is not directly usable. When it is circulated in the soil, on the earth's surface or even in the air, water is polluted and loaded with suspended or dissolved matter, which may be clay particles, vegetation waste, Living organisms, bacteria, viruses, various salts (chlorides, sulphates, carbonate, sodium, calcium, iron, etc.) and organic matter. The presence of all these impurities of different natures imposes the treatment of the water before their use.

In order to obtain clear, clear water for human consumption and an extra pure water demanded by industry, a number of suitable and effective processes will have to be applied.

In this work, we found it important to start with a physicochemical and bacteriological analysis of the raw water before treatment, to better show the effectiveness of the processes of treatments carried out namely: Coagulation-Floculation and Softening.

Our results revealed that the water from the two stations (Ibourassen, the entry of Cevital) before treatment is unfit for consumption and their use for raw feeding at the entrance of Cevital. Indeed, quantified physicochemical parameters (pH, temperature, conductivity, turbidity, color, alkalinity, hardness, MES, chlorides) are slightly or far superior to WHO standards.

It is clear from our results that the bacteriological state of raw water from the Cevital inlet as well as from the Ibourassen well is adequate compared to WHO standards.

Keywords: raw water, coagulation, flocculation, softening, treated water.