

Liste des abréviations

$\mu\text{g/l}$	Microgramme par litre.
μm	Micromètre.
$\mu\text{S/cm}$	Micro-siemens par centimètre.
CAG	Le charbon actif en grain.
CAP	Le charbon actif en poudre.
C_c	Concentration du coagulant.
C_f	Concentration du floculant.
MES	Matière en suspension.
mg/l	Milligramme par litre.
nm	Nanomètre.
NTU	Unité Néphélométrique de Turbidité.
OMS	Organisation mondiale de la santé.
pH	Potentiel d'hydrogène.
Ppm	Partie par million.
R	Rendement.
T	Température de l'eau.
THM	Les trihalométhanes.
tr/min	Tours/minute.
τ	La tension superficielle.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE :	1
-------------------------------	---

Partie I : Partie théorique

Chapitre I : Généralité sur l'eau

I.1. INTRODUCTION	3
I.2. DEFINITION DE L'EAU	3
I.2.1. L'eau brute	4
I.2.2. L'eau potable	4
I.2.3. Les paramètres de l'eau de consommation	4
I.3. LES ETATS PHYSIQUES DE L'EAU	6
I.3.1. L'état vapeur	6
I.3.2. L'état solide	6
I.3.3. L'état liquide	7
I.4. LE CYCLE DE L'EAU	7
I.5. LES PROPRIETES DE L'EAU	8
I.5.1. Les propriétés physiques	9
I.5.1.1. La masse volumique	9
I.5.1.2. La viscosité	9
I.5.1.3. Les propriétés thermiques	9
I.5.1.4. Les propriétés électriques	10
I.5.1.5. Les propriétés optiques	10
I.5.1.6. La tension superficielle	11
I.5.2. Les propriétés chimiques de l'eau	11
I.6. LES RESSOURCES DE L'EAU DANS LA NATURE	12
I.6.1. Les eaux de pluies	12
I.6.2. Les eaux de surface	12
I.6.2.1. Les eaux de rivière partie amont	12
I.6.2.2. Les eaux de rivière partie aval	13
I.6.2.3. Les eaux de lac	13
I.6.2.3. Les eaux souterraines	13
I.6.3. Les eaux de mer	14
I.6.3.1. Les mers	14
I.6.3.2. Les océans	15
I.7. LA POLLUTION DE L'EAU	16
I.7.1. Selon la répartition géographique	16

I.7.1.1. La pollution diffuse.....	16
I.7.1.2. La pollution ponctuelle	16
I.7.2. En fonction de l'origine de la pollution	16
I.7.2.1. La pollution agricole	16
I.7.2.2. La pollution industrielle	17
I.7.2.3. La pollution domestique	17
I.7.2.4. La pollution par les hydrocarbures (ou pollution pétrolière)	17
I.7.3. Selon la nature des polluants	18
I.7.3.1. La pollution physique	18
I.7.3.2. La pollution chimique	18
I.7.3.3. La pollution organique	18
I.7.3.4. La pollution microbiologique, biologique et bactériologique	19
I.8. LES MALADIES A TRANSMISSION HYDRIQUE	19
I.8.1. Les maladies d'origine bactérienne	19
I.8.1.1. Le choléra	19
I.8.1.2. Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes	20
I.8.1.3. Les gastro-entérites	20
I.8.2. Les maladies d'origine virale	20
I.8.2.1. Les hépatites virales	20
I.8.2.2. La poliomyélite	21
I.8.3. Les maladies d'origine parasitaire	21
I.8.3.1. La dysenterie amibienne	21
I.9. CONCLUSION	22

Chapitre II : les étapes et les procédés de traitement des eaux

II.1. INTRODUCTION	23
II.2. L'OBJECTIF DU TRAITEMENT DES EAUX	23
II.3. LES ETAPES DE TRAITEMENT DES EAUX	23
II.3.1. Le prétraitement	24
1.Fosse à bâtard	24
2.Le dégrillage	24
3.La dilacération	25
4.Le dessablage	26
5.Le dégraissage-déshuilage	26
6.Le débouillage	27
7.Le tamisage	27
II.3.2. Le traitement primaire	27

II.3.3. Le traitement secondaire (traitement physico-chimique)	28
II.3.3.1. La coagulation-floculation	28
II.3.3.2. La décantation	29
II.3.4. Le traitement tertiaire	29
II.3.4.1. La filtration	30
II.3.4.2. L'adsorption	33
II.3.4.3. La désinfection	33
II.3.4.4. La déminéralisation	34
II.4. LES PROCÉDES DE TRAITEMENT DES EAUX CONVENTIONNELLES	40
II.4.1. Les procédés de traitement des eaux superficielles	40
II.4.1.1. Le prétraitement	41
II.4.1.2. L'oxydation ou préoxydation	41
II.4.1.3. La clarification	42
II.4.1.4. La désinfection	42
II.4.1.5. L'affinage	43
II.4.2. Les procédés de traitement des eaux souterraines	45
II.4.2.1. la préchloration	45
II.4.2.2. La déferrisation	45
II.4.2.3. La démanganisation	46
II.4.2.4. Le traitement de la turbidité	46
II.4.2.5. L'élimination de l'ammoniaque	47
II.4.2.6. L'élimination des nitrates	47
II.4.2.7. La neutralisation	48
II.4.2.8. L'adoucissement et la décarbonatation	49
II.5. LES PROCÉDES DE TRAITEMENT DES EAUX NON CONVENTIONNELLES	50
II.5.1. Les procédés de traitement des eaux saumâtres	50
II.5.2. Les procédés de traitement des eaux usées épurées	52
II.6. CONCLUSION	53

Chapitre III : coagulation-floculation et décantation

III.1. INTRODUCTION	54
III.2. LES PARTICULES EN SUSPENSION	54
III.3. LES PARTICULES MISE EN JEU ; COLLOÏDES	54
III.3.1. Les types de colloïdes	55
III.3.1.1. Les colloïdes hydrophiles	55
III.3.1.2. Les colloïdes hydrophobes	55
III.3.2. La théorie de la double couche	55

III.3.3. Le potentiel Zêta	57
III.4. LA COAGULATION-FLOCULATION	58
III.4.1. La coagulation	58
III.4.1.1. Le principe de phénomènes	58
III.4.1.2. Les modes de déstabilisation des particules colloïdales	58
III.4.1.3. Les coagulants utilisés	61
III.4.1.4. Les facteurs influençant la coagulation	64
III.4.2. La floculation	67
III.4.2.1. Le principe de phénomènes	67
III.4.2.2. Les types de floculation	67
III.4.2.3. Les flocculants utilisés	69
III.4.3. La mise en œuvre de la coagulation- floculation	70
III.4.4. Les avantages et les inconvénients de la coagulation-floculation	71
III.4.4.1. Les avantages	71
III.4.4.2. Les inconvénients	71
III.5. LA DECANTATION	72
III.5.1. Définition de la décantation	72
III.5.2. La classification des matières décantables	72
III.5.3. Les types de décantation	72
III .5.3.1. Décantation de particules discrètes	72
III.5.3.2. Décantation de particules flocculantes	76
III.5.3.3. Décantation freinée	76
III.5.3.4. Décantation en compression de boue	77
III.5.4. Les décanteurs	77
III.6. LA MISE EN ŒUVRE DE LA CLARIFICATION PAR COAGULATION-FLOCULATION ET DECANTATION	78
III.7. CONCLUSION	79

Partie II : partie expérimentale

Chapitre VI : Mode opératoire, les appareillages et les réactifs

IV.1. INTRODUCTION	80
IV.2. LES OBJECTIFS DU TRAVAIL	80
IV.3.LA MANIPULATION	81
IV.4. MODE OPERATOIRE	81
IV.4.1. Mode opératoire de l'influence de concentration de coagulant	81
IV.4.2. Mode opératoire de l'influence de concentration de flocculant	82
IV.4.3. Mode opératoire de l'influence de la vitesse et de la durée d'agitation	82

IV.4.3.1. Mode opératoire de l'influence de la vitesse et de la durée d'agitation durant la coagulation	82
IV.4.3.2. Mode opératoire de l'influence de la vitesse et durée d'agitation durant la floculation	83
IV.4.4. Mode opératoire de l'influence de la turbidité de l'eau	83
IV.4.5. Mode opératoire de la coagulation-floculation et décantation sur le pilote	84
IV.4.5.1. La coagulation- floculation et décantation lamellaire co-courant	85
IV.4.5.2. La coagulation- floculation et décantation lamellaire contre-courant	85
IV.4.5.3. La coagulation- floculation et décantation classique	86
IV.5. DESCRIPTION DES APPAREILLAGES	86
IV.5.2. Description du pilote TE 600	86
IV.5.2.1. Construction	86
IV.5.2.2. Procédure générale de mise en route	89
IV.5.2.3. Liste des vannes	92
IV.5.2. Description du Jar-test	95
IV.6. DESCRIPTION DES APPAREILLAGES DE MESURE	95
IV.6.1. Le turbidimètre	95
IV.6.2. Le conductimètre/ salinomètre	96
IV.6.3. Le pH mètre	98
IV.6.4. Le thermomètre	99
IV.6.5. Autres équipements	99
IV.7. LES REACTIFS UTILISES	100
IV.7.1. Le réactif coagulant	100
IV.7.2. Les réactifs floculant	101
IV.7.3. Autres réactifs	101
IV.8. PREPARATION DES SOLUTIONS	101
IV.8.1. Préparation du coagulant	101
IV.8.1.1. Calcul de la concentration de coagulant	101
IV.8.1.2. Calcul de la masse de coagulant	102
IV.8.1.3. Calcul de volume de coagulant	102
IV.8.2. Préparation du floculant	102
IV.8.2.1. Calcul de la masse de floculant	102
IV.8.2.2. Calcul de volume de floculant	103
IV.8.2.3. Calcul le débit de réactif floculant $Q_{R.f}$ (l/h)	103
IV.8.3. Calcul pour le bac d'alimentation	103
IV.8.3.1. Calcul du volume du bac (V)	103
IV.8.3.2. Calcul de la hauteur de l'eau à traiter	103

Chapitre V : résultats expérimentaux et discussion

V.1. INTRODUCTION	104
V.2. L'ETUDE DE L'INFLUENCE DE CONCENTRATION DE COAGULANT	104
V.2.1. Interprétation des résultats expérimentaux	108
V.3. L'ETUDE DE L'INFLUENCE DES CONCENTRATIONS DE FLOCULANTS	111
V.3.1. Interprétation des résultats expérimentaux	114
V.3.2. Comparaison des résultats	116
V.4. L'INFLUENCE DE LA VITESSE ET DUREE D'AGITATION.....	116
V.4.1. L'influence de la vitesse et durée d'agitation durant la coagulation	116
V.4.1.1. L'influence de la vitesse d'agitation durant la coagulation	116
V.4.1.2. L'influence de la durée d'agitation durant la coagulation	118
V.4.1.3. Interprétation des résultats expérimentaux	120
V.4.2. L'influence de la vitesse et de la durée d'agitation durant la floculation	121
V.4.2.1. L'influence de la vitesse d'agitation durant la floculation	121
V.4.2.2. L'influence de la durée d'agitation durant la floculation	123
V.4.2.3. Interprétation des résultats expérimentaux	125
V.5. L'INFLUENCE DE LA TURBIDITE DE L'EAU	125
V.5.1. Interprétation des résultats expérimentaux	131
V.6. LA COAGULATION-FLOCULATION ET DECANTATION SUR LE PILOTE	132
V.6.1. Interprétation	132
V.6.2. comparaison des résultats	133
CONCLUSION GENERALE	134

Liste de figures

Figure N°1: la particule d'eau	3
Figure N°2: Les différentes dispositions des molécules d'eau dans ses trois états	7
Figure N°3: le cycle de l'eau	8
FigureN°4: Coagulation-Floculation	29
FigureN°5: Distillateur simple effet.....	35
Figure N°6: Compression mécanique de vapeur	36
Figure N°7: Distillateur par détente successives.	37
Figure N°8: principe de l'osmose inverse.....	38
Figure N°9: Schéma d'une installation de dessalement par l'osmose inverse.....	39
Figure N°10: principe de l'électrodialyse	40
Figure N°11: polluants éliminés par filtration membranaire	44
Figure N°12: Déferrisation et démanganisation physico-chimique.....	46
Figure N°13: La dénitratisation par résine échangeuse d'ions.	48
Figure N°14: Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale.....	56
Figure N°15: Stabilité d'une suspension colloïdale	57
Figure N°16: Représentation schématique de la compression de la couche diffuse.....	59
FigureN°17: Représentation schématique de neutralisation des charges	60
Figure N°18: Emprisonnement des particules dans les floes pendant la décantation.....	60
Figure N°19: Adsorption et pontage à l'aide de polymères.	61
Figure N°20: Forces agissantes sur une particule qui chute.	73
FigureN°21: Décanteur lamellaire à contre-courant.....	78
Figure N°22: Décanteur lamellaire à Co-courant	78
Figure N°23: Processus de coagulation, floculation et de sédimentation.....	79
Figure N°24: Schéma de montage	88
FigureN°25: Schéma des vannes	93
Figure N°26: Variation du rendement en fonction de la concentration du coagulant pour une concentration de 1 g/l de sel.....	106
Figure N°27: Variation du rendement en fonction de la concentration du coagulant pour une concentration de 3 g/l de sel.....	106
FigureN°28: Variation du rendement en fonction de la concentration du coagulant pour une concentration de 5 g/l de sel.....	107
FigureN°29: Variation du pH après manipulation en fonction de la concentration du coagulant.	107

Figure N°30: Variation de la salinité en fonction de la concentration du coagulant.	108
Figure N°31: Corrélation de la salinité en fonction de la concentration du coagulant.	108
Figure N°32: Variation de la dose optimale du coagulant en fonction de la concentration de sel initiale.	110
Figure N°33: Le pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du flocculant.	112
Figure N°34: Le pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du flocculant.	113
Figure N°35: Le pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du flocculant.	114
Figure N°36: Variation de la dose optimale du flocculant en fonction de la concentration de sel initiale.	115
Figure N°37: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la coagulation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	117
Figure N°38: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la coagulation (pour 3g/l de sel et 1g/l de chaux).	117
Figure N°39: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la coagulation.	118
FigureN°40: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la coagulation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	119
Figure N°41: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la coagulation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	119
Figure N°42: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la coagulation.	120
Figure N°43: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la floculation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	121
Figure N°44: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la floculation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	122
Figure N°45: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la floculation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	122
Figure N°46: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la floculation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	123
FigureN°47: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la floculation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	124

Figure N°48: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la floculation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	124
Figure N°49: variation de la dose optimale du coagulant en fonction de la turbidité	127
Figure N°50: variation de la dose optimale du coagulant en fonction de la turbidité.	129
Figure N°51: variation de la dose optimale en fonction de la turbidité.	131
Figure N°52: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du type de décantation.	132

Liste de photos

Photos N°1 : pilote de coagulation-floculation et décantation (TE 600)	93
Photos N°2: Jar-test (floculateur 11197)	94
Photos N°3 : Le turbidimètre	95
Photos N°4: Le conductimètre / Salinomètre	96
Photos N°5: pH mètre (PHM220)	97
Photos N°6: pH mètre manuel	97
Photos N°7: la balance électronique	98
Photos N°8: Erlenmeyer	99
Photos N°9: Les béchers	99

Liste de tableaux

Tableau N°1: les normes des substances indésirables.	5
Tableau N°2: les normes des substances toxiques.	6
Tableau N°3: Les caractéristiques de l'eau souterraine [20].	14
Tableau N°4: la salinité des principales eaux de mer[10].	15
Tableau N°5: Les principales maladies d'origine hydrique et leurs agents pathogènes [40].	21
Tableau N°16: l'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la coagulation-floculation d'eau saumâtre (concentration de sel=3g/l) avec 1 g/l de la chaux :	105
Tableau N°17: l'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la coagulation-floculation d'eau saumâtre (concentration de sel=5g/l) avec 1 g/l de la chaux :	105
Tableau N°18: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de 1 ^{ère} flocculant : le Kaolin.	111
Tableau N°19: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de 1 ^{ère} flocculant : le Kaolin.	112
Tableau N°110: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de 2 ^{ème} flocculant : le polyamide.	112
Tableau N°111: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de 1 ^{ère} flocculant : le Kaolin.	113
Tableau N°112: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de 2 ^{ème} flocculant : le polyamide.	113
Tableau N°13: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la coagulation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	117
Tableau N°14: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la coagulation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	118
Tableau N°15: Réduction de la turbidité pour différents temps durant la coagulation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	118
Tableau N°16: Réduction de la turbidité pour différents temps durant la coagulation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	119
Tableau N°17: Réduction de la turbidité pour différents temps durant la coagulation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	120
Tableau N°18: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la floculation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	121
Tableau N°19: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la floculation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	121
Tableau N°20: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la floculation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	122
Tableau N°21: Réduction de la turbidité pour différents durées de la floculation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	123
Tableau N°22: Réduction de la turbidité pour différentes durée de la floculation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	123
Tableau N°23: Réduction de la turbidité pour différentes durée de la floculation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).	124
Tableau N°24: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 0,5 g/l de la chaux :	125
Tableau N°25: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1 g/l de la chaux :	125
Tableau N°26: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1,5 g/l de la chaux :	126
Tableau N°27: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 2 g/l de la chaux :	126
Tableau N°28: L'influence de la turbidité de l'eau saumâtre sur la coagulation-floculation avec la dose optimale :	126
Tableau N°29: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 0,5 g/l de la chaux :	127
Tableau N°30: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1 g/l de la chaux :	127
Tableau N°31: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1,5 g/l de la chaux :	128
Tableau N°32: influence de la turbidité de l'eau saumâtre sur la coagulation-floculation avec la dose optimale : ..	128
Tableau N°33: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 0,5 g/l de la chaux :	129
Tableau N°34: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1 g/l de la chaux :	129
Tableau N°35: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1,5 g/l de la chaux :	130

Tableau N°36: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 2 g/l de la chaux :	130
Tableau N°37: influence de la turbidité de l'eau saumâtre sur la coagulation-floculation :	130
Tableau N°38: influence de type de décantation(La concentration optimale du coagulant= 0,054 g/l)(La concentration optimale du floculant = $4 \cdot 10^{-3}$ g/l)	132



Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

A la fin du siècle dernier, le nombre de personnes qui n'avaient pas accès à l'eau potable était estimé à 1,1 milliards soit 1/6 de la population mondiale [1].

Les besoins en eau potable augmentent régulièrement avec l'accroissement démographique et l'industrialisation dont de nombreux pays émergents. Souvent réputée être liée au tiers monde, la problématique de l'eau potable s'est généralisée au point que les pays développés comme les Etats-Unis et l'Australie commencent à ne plus négliger la préservation de cette ressource naturelle. Le principal problème de l'accès à l'eau potable est dû à une mauvaise répartition dans le monde mais aussi à une pollution continue des ressources en eau par l'industrie, l'agriculture et les rejets urbains [2].

Les réserves souterraines, nappes ou gisement n'existent pas partout où elles sont surexploitées ou même pollués.

Les besoins actuels ne sont donc assurés que par le recours à autres sources en eaux, les eaux superficielles, les eaux de mer et les eaux saumâtres qui sont plus ou moins polluées et salées.

L'eau de consommation doit répondre aux normes de potabilité. Et afin d'utiliser les différentes catégories d'eaux précitées et de les rendre potables on doit faire appel à un traitement.

Les procédés mécaniques et physiques comme le dégrillage, le dessablage et les traitements biologiques par boues activées ont permis d'éliminer une grande partie des matières contenues dans l'eau. Mais après ces opérations l'eau contient toujours une quantité des substances composées de matière en suspension, de colloïdes et des particules très fines difficilement décantables.

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres [1].

Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation-floculation et décantation. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension [3], c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation [1].

L'objectif général de notre travail est de voir l'efficacité de la coagulation-floculation et décantation pour l'élimination ou la diminution des MES d'une eau saumâtre. Nous allons d'abord trouver la concentration optimale du coagulant et du floculant utilisé à l'aide d'un Jar-

INTRODUCTION GENERALE

Test ; ensuite appliqué les résultats obtenus sur le pilote de coagulation floculation et décantation « TE600 », qui est considéré comme une petite station.

Pour ce faire, ce présent travail est subdivisé principalement en cinq grand chapitres:

Le chapitre I donne un aperçu général sur l'eau.

Le chapitre II donne les différentes procédures de traitement des eaux.

Le chapitre III présente une étude bibliographique et un rappel théorique sur la coagulation-floculation et décantation.

Dans le chapitre IV, nous présentons les principaux objectifs de notre travail, en mesurant l'influence d'un certain nombre de facteurs sur la coagulation- floculation, comme la dose optimale du coagulant et de floculant ainsi que la vitesse et le temps d'agitation.

Le chapitre V a été réservé pour interpréter les résultats expérimentaux enregistrés, et pour l'exploitation de l'influence des paramètres mesurés sur la coagulation floculation et décantation.

Et enfin, une conclusion est donnée pour résumer le fruit de notre travail.

Partie I : Partie théorique



Chapitre I : **Généralité sur l'eau**

I.1. INTRODUCTION :

L'eau est un élément essentiel à la vie, nécessaire à l'homme d'abord pour ses besoins alimentaires, ensuite pour ses activités agricoles et industrielles. Il en résulte que de tout temps, l'installation des populations humaines sur la terre s'est faite en fonction des ressources en eau douces.

Les ressources en eau se raréfient et leurs traitements deviennent de plus en plus difficiles et coûteux. Les maladies, l'insalubrité et bien d'autres maux freinent la marche rigoureuse vers le développement [4].

I.2. DEFINITION DE L'EAU :

L'eau est un corps, incolore, inodore et sans saveur. C'est un composé chimique simple, liquide à température et pression ambiantes. Sa formule chimique est H_2O [5], c'est-à-dire que chaque molécule d'eau est constituée d'un atome d'oxygène (O) relié à deux atomes d'hydrogène (H) par deux liaisons covalentes simples, formant un angle de $104,5^\circ$. La représentation de la molécule d'eau sous sa forme compacte donne une image de la forme réelle de la molécule et de l'encombrement des atomes qui la constituent [6].

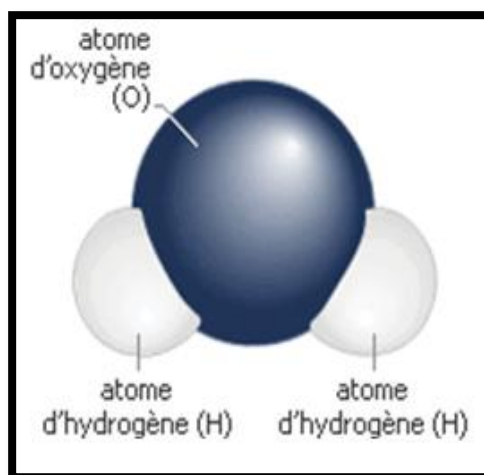


Figure N°1: la particule d'eau [6].

Cette ressource naturelle se trouve presque partout elle recouvre près de 70 % de la surface de la Terre. 97 % d'eau est salée, essentiellement sous forme d'océans et mer, alors que la fraction douce ne présente que 3 % [5].

Le terme eau dérive du latin aqua. Ce dernier a été ensuite repris pour former quelques mots comme aquarium, un mélange aqueux.

Suivant la composition chimique de l'eau qui induit son origine ou son usage, on précise :

- Eau brute, eau potable, eau minérale, eau de source, eau de mer, eau douce, eau de pluie, eau du robinet, eau gazeuse...
- En chimie, on parle d'eau lourde, eau dure, eau distillée [7].

I.2.1. L'eau brute :

L'eau brute désigne celle qui n'a pas été traitée, c'est-à-dire, l'eau dans l'état où elle est prélevée dans le milieu naturel, et qui n'a pas été introduite dans le réseau de distribution [8].

I.2.2. L'eau potable :

L'eau potable est une eau brute ; qui a subi des traitements avant sa distribution [9]. On appelle aussi une eau de consommation qui peut être définie en ce référent à l'OMS comme une eau ne contenant en quantité dangereuse, ni substances chimiques, ni des germes nocifs à la santé de consommateur [10].

La qualité de l'eau ne doit pas nuire à la santé du consommateur. Elle doit être conforme à la réglementation sanitaire [11].

I.2.3. Les paramètres de l'eau de consommation :

I.2.3.1. Les paramètres organoleptiques :

A. La couleur :

La couleur d'une eau liée à la présence de matières organiques dissoutes et de la matière en suspension. L'eau ne doit pas présenter une coloration dépassant 0,15 µg de platine en référence à l'échelle platine-cobalt [12].

B. La turbidité :

La turbidité d'eau est l'inverse de sa transparence. Elle est due à la présence de matière en suspension. Le MES ne doit pas dépasser 1mg/l dans l'eau potable [10]. La turbidité est mesurée par la diffusion d'un faisceau lumineux traversant l'eau [12].

C. L'odeur et saveur :

L'odeur et la saveur d'une eau sont imputables à la présence de certains éléments organiques, ou minéraux. Eaux potables ne doivent présenter ni odeur, ni saveur perceptibles.

I.2.3.2. Les paramètres physico-chimiques :

Ces paramètres sont des indicateurs des eaux naturelles. Leur valeur dépend en particulier de la nature des sols contact avec l'eau [10].

A. Le pH (potentiel hydrogène) :

Ce paramètre influe sur les phénomènes de corrosion ou d'entartrage des conduites. On admet que le pH des eaux de consommation doit être compris entre 6,5 et 8,5.

B. La dureté :

La dureté de l'eau est due à la présence des ions de calcium Ca^{2+} et des ions de magnésium Mg^{2+} . La dureté provoque l'entartrage des conduites [12].

La mesure de la dureté de l'eau porte le nom de titre hydrométrique. On l'exprime en degré français sachant qu'un degré équivalent à 10 mg de carbonate de calcium par litre.

C. La minéralisation et la conductivité :

La minéralisation de l'eau est de la concentration en sels dissous principalement le calcium, le magnésium. La conductivité, ou son inverse la résistivité sont des paramètres dont la valeur est fonction de la teneur en ions dans l'eau.

En principe la conductivité d'une eau potable doit être comprise entre 180 et 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C.

1.2.3.3. Les paramètres concernant les substances indésirables :

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées dans le tableau ci-après : [13].

Tableau N°1: les normes des substances indésirables.

<i>Substances</i>	<i><= Valeurs</i>
Nitrates(NO_3)	50 mg/l
Ammonium (NH_4)	0,1 mg/l
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés	0,1 $\mu\text{g}/\text{l}$
Fer (Fe)	200 $\mu\text{g}/\text{l}$
Manganèse (Mn)	50 $\mu\text{g}/\text{l}$
Cuivre (Cu)	2 mg/l
Fluor(F)	1,5 mg/l

1.2.3.4. Les paramètres concernant les substances toxiques :

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées dans le tableau ci-après :[13].

Tableau N°2: les normes des substances toxiques.

<i>Substances</i>	<i><=Valeurs (µg/l)</i>
Arsenic	10
Cadmium	5
Cyanures	50
Chrome	50
Mercure	1
Nickel	20
Plomb	10
Antimoine	5
Sélénium	10

1.2.3.5. Les paramètres microbiologiques :

L'eau ne doit contenir de germes pathogènes en particulières salmonelle et les Escherichia coli dans 5 litres d'eau prélevée, en staphylocoques pathogène dans 100 ml d'eau prélevée. L'eau ne doit pas contenir de coliformes streptocoques dans 100000 litres d'eau prélevée [10].

I.3. LES ETATS PHYSIQUES DE L'EAU :

On peut trouver l'eau sous trois formes ou « états »: liquide, solide et gazeux.

I.3.1. L'état vapeur :

Il est obtenu à partir de 100°C à la pression atmosphérique ; les molécules sont relativement indépendantes les unes des autres et correspondent au modèle angulaire [14].

L'humidité de l'air provient de l'évaporation des mers et eaux douces et de l'évapotranspiration des plantes. On pourra alors la trouver aussi sous forme de nuages puisqu'il s'agit là d'un amas de gouttelettes [15].

I.3.2. L'état solide :

On trouve également l'eau sous forme solide, c'est à dire sous forme de glace: glaciers, icebergs etc. [15].

Il est obtenu en dessous de 0°C sous la pression atmosphérique ; les molécules sont disposées suivant un tétraèdre avec une molécule d'eau centrale et quatre autres disposées suivant les quatre sommets d'un tétraèdre régulier. Le réseau qui en résulte est hexagonal. Les molécules sont assemblées par des liaisons hydrogène, chaque atome d'hydrogène d'une molécule d'eau étant liée à l'atome d'oxygène de la molécule voisine [14].

I.3.3. L'état liquide :

Sur terre c'est sous sa forme liquide qu'elle est la plus présente. En effet près de 70% de la surface de la terre est recouverte d'eau (97% d'eau salée et 3% d'eau douce) essentiellement sous forme d'océans, mais on va aussi la trouver dans la mer, dans des zones humides du type tourbière ou marécage, dans les lagunes, les lacs, les étangs, les mares, les fleuves, les rivières, les ruisseaux, ainsi que dans les réseaux de type canaux, fossés [15].

Au cours de la fusion de la glace, les liaisons hydrogène se rompent, le cristal s'effondre et les molécules se rapprochent les unes des autres, la masse volumique augmente jusqu'à une valeur maximale correspondant à une température de 4°C sous 1 atmosphère [14].

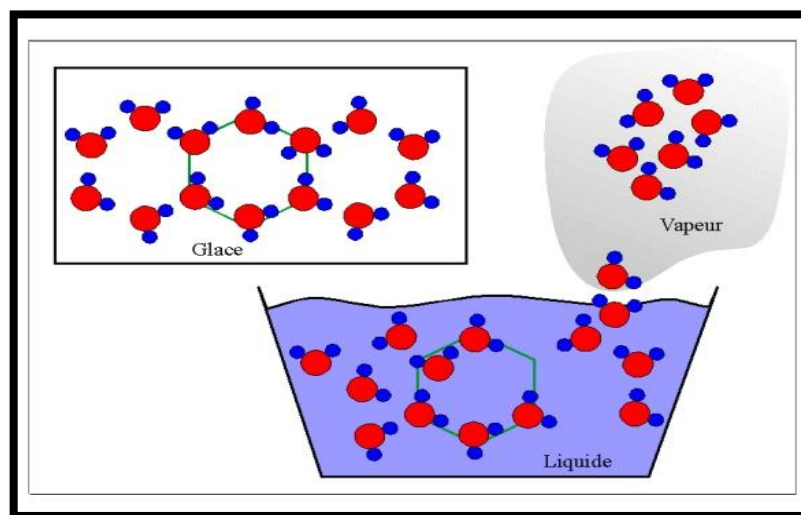


Figure N°2: Les différentes dispositions des molécules d'eau dans ses trois états [16].

I.4.LE CYCLE DE L'EAU :

La quantité d'eau créée avec l'univers n'a pas changé, par contre elle s'est considérablement dégradée à cause de la pollution. Cette eau qui se trouve sous forme liquide, solide ou vapeur est en mouvement perpétuel [17].

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

Ce cycle se divise en deux parties intimement liées :

- une partie atmosphérique qui concerne la circulation de l'eau dans l'atmosphère, sous forme de vapeur d'eau essentiellement,
- une partie terrestre qui concerne l'écoulement de l'eau sur les continents, qu'il soit superficiel ou souterrain [18].



Figure N°3: le cycle de l'eau [18].

I.5. LES PROPRIETES DE L'EAU :

Même si l'eau est un liquide inodore, incolore et sans saveur, d'autres propriétés physiques ou chimiques lui confèrent des qualités qu'il faut connaître pour comprendre mieux le rôle

fondamental que joue cette molécule sur notre planète aussi bien comme facteur essentiel pour les écosystèmes que comme élément vital pour les êtres vivants [16].

I.5.1. Les propriétés physiques :

L'eau a des propriétés physiques assez particulières par rapport aux autres liquides. Elle apparaît comme un liquide "structurée", et non désordonné comme les autres liquides, par le fait que ses constituants élémentaires sont associés [19].

Parmi les propriétés physiques les plus intéressants pour le traitement de l'eau sont les suivants :

I.5.1.1. La masse volumique :

Pour l'eau pure sous pression normale, elle passe par un maximum à environ 4°C (1 Kg/l) et sa variation en fonction de la température [20].

I.5.1.2. La viscosité :

La viscosité est un concept qui paraît simple et clair, à première vue, mais qui devient fort complexe lorsqu'on va au fond des choses. Il intervient notamment dans la force avec laquelle les couches plus rapides entraînent les couches plus lentes d'un fluide en écoulement laminaire [21].

C'est la propriété que présent un fluide d'opposer une résistance aux divers mouvements soit internes (ex : turbulence), soit globaux (ex : écoulement).

Cette résistance est due aux frottements réciproques des molécules en mouvement elle est à la base des pertes d'énergie cinétique (pertes de charge) et joue donc un rôle important en traitement d'eau [20].

I.5.1.3. Les propriétés thermiques :

I.5.1.3.1. La chaleur massique (ou capacité thermique massique) :

Très élevée pour un liquide, elle vaut 4,18 KJ. (Kg.C°)⁻¹ ou KJ. (Kg.K)⁻¹ à 20 °C. Elle varie avec la température en présentant un minimum de 4,1784 KJ. (Kg.K)⁻¹ à 30°C, pour remonter à 4,2159 KJ. (Kg.K)⁻¹ à 100°C[20].

1.5.1.3.2. Les chaleurs latentes (les enthalpies) :

La chaleur latente de transformation est la quantité de chaleur nécessaire pour effectuer le changement d'état de l'unité de masse portée au préalable à la température associée à la pression régnante. Cette chaleur est libérée lors du passage à l'état condensé [22].

Les enthalpies de transformation sont pour la fusion de 334 (KJ.Kg⁻¹) et pour la vaporisation de 2259 (KJ.Kg⁻¹) à la pression normale et à 100°C.

L'importance de la chaleur massique et de l'enthalpie de vaporisation fait que les grandes étendues d'eau à la surface de la terre constituent de véritables volants thermiques. C'est également la raison de l'utilisation de l'eau comme fluide colporteur [20].

1.5.1.4. Les propriétés électriques :

1.5.1.4.1. La constance diélectrique :

Le constant diélectrique élevé de l'eau explique pourquoi les substances qu'elle dissout facilement se retrouvent fréquemment sous forme d'ions [16].

Il est de l'ordre de 80 farads stérassions par mètre [20].

1.5.1.4.2. La conductivité électrique de l'eau :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 2cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm [23].

La conductivité de l'eau la plus pure l'on ait obtenue est de 4,2 microsiemens par mètre à 20°C. Elle augmente lorsque des sels sont dissous dans l'eau et elle varie en fonction de la température [20].

Elle est l'inverse de la résistivité électrique. La relation entre la résistivité et la conductivité est la suivantes :

$$\text{Résistivité } (\Omega.\text{cm}) = \frac{1\,000\,000}{\text{conductivité } (\mu\text{S}/\text{cm})} [23].$$

1.5.1.5. Les propriétés optiques :

La transparence de l'eau dépend de la longueur d'onde de la lumière qui la traverse. Si l'ultraviolet passe bien, l'infrarouge, si utile au point de vue physique et biologique, pénètre à peine. L'eau absorbe fortement l'orangé et le rouge dans le visible, d'où la couleur bleue de la lumière transmise en couche épaisse.

Cette transparence est souvent utilisée pour apprécier certaine forme de pollution, et en conséquence l'efficacité des traitements d'épuration, de même elle conditionne l'emploi des ultraviolets en désinfection [20].

I.5.1.6. La tension superficielle :

La tension superficielle est définie comme une force de traction qui s'exerce à la surface du liquide en tendant toujours à réduire le plus possible l'étendue de cette surface [20].

Cette propriété est fondamentale pour le stockage de l'eau dans les aquifères et pour l'érosion superficielle des roches. La forte tension superficielle explique également la forme sphérique des gouttes d'eau [19].

La tension superficielle de l'eau (τ) très élevée est due à l'existence de liaisons hydrogène ; $\tau(\text{H}_2\text{O}) = 0,073 \text{ N/m}$ à 18°C = $0,0525 \text{ N/m}$ à 100°C [14].

I.5.2. Les propriétés chimiques de l'eau :

L'eau est un excellent solvant qui dissout un très grand nombre de sels, de gaz, de molécules organiques [19] ; donc facilement polluée.

Elle est comme un agent chimique très agressif qui risque d'attaquer les parois du récipient qui la contient.

Les réactions chimiques de la vie se passent en milieu aqueux; les organismes sont très riches en eau (jusqu'à plus de 90%) [19].

Le processus de dissolution d'une substance est une destruction de sa cohésion interne, cohésion qui due à des forces :

- Interatomiques : liaisons chimiques fortes (liaisons de covalences (entre atomes), liaisons d'électrovalence ou ioniques (atome-électrons)) ;
- Intermoléculaires : liaisons de cohésion entre molécules (liaison hydrogène)[14].
- De faibles forces attractives (Van der Waals) qui assurent la liaison générale de l'ensemble [22].

I.6. LES RESSOURCES DE L'EAU DANS LA NATURE :

Il ya quatre sources principales d'eau brute dans la nature qui sont :

- 1) Les eaux de pluies ;
- 2) Les eaux de surfaces ;
- 3) Les eaux souterraines ;
- 4) Les eaux de mer [10].

I.6.1. Les eaux de pluies :

Les eaux de pluie sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contient aucun sel dissous, comme les sels de magnésium et de calcium ; elles sont donc très douce. Elles sont de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques dans les régions industrialisées [10].

Les eaux de précipitation non collectées serrant divisées en deux parties : une partie ruissellent à la surface des continents pour former les cours d'eau, alors que l'autre partie s'infiltre dans le sol pour donner ce qu'on appelle les eaux souterraines [24].

I.6.2. Les eaux de surface :

Les eaux de surface sont constituées des eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Cette eau de surface peut être chargée de gaz dissout, issus de l'atmosphère : (le dioxyde de carbone CO₂, l'azote N₂, l'oxygène O₂...) ; elle est aussi chargée de particules, matériaux divers,... en suspension : (matières en suspension ; les colloïdes ; les matières organiques ; les planctons (Phytoplancton, Zooplancton))[25].

On peut répartir les eaux de surface en trois catégories :

- Les eaux de rivière partie amont ;
- Les eaux de rivière partie aval ;
- Les eaux de lac [10].

I.6.2.1. Les eaux de rivière partie amont :

L'amont d'une rivière est en général situé dans une région montagneuse, où la densité de la population est faible et les industries pratiquement inexistantes. Les caractéristiques de ces eaux sont comme suit :

- La turbidité élevée ;
- La contamination bactérienne est faible ;
- La température froide et l'indice de couleur est faible [10].

I.6.2.2. Les eaux de rivière partie aval :

L'aval d'une rivière est en général situé dans une région où la population est dense, l'agriculture est développée et les industries plus ou moins nombreuses.

Les eaux sont de moins bonne qualité et plus difficiles à traiter qu'en amont.

Les caractéristiques de ces eaux sont comme suit :

- La contamination bactérienne élevée ;
- Une contamination organique et minérale élevée et l'indice de couleur souvent élevé ;
- Indice de couleur peuvent être élevé [10].

I.6.2.3. Les eaux de lac :

Les lacs peuvent être considérés comme des grands bassins naturels de décantation dont le temps de rétention est très long. Leurs eaux sont donc caractérisées par une faible turbidité et une contamination bactérienne habituellement peu importante. Ces caractéristiques varient très lentement au cours de l'année [10].

I.6.2.3. Les eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont une ressource cachée que l'on a tendance à oublier. À l'échelle du cycle hydrologique, les eaux souterraines ne représentent qu'une faible partie de toutes les eaux marines et océaniques, elles représentent alors une fraction importante des eaux douces continentales [26]. Les aquifères souterrains sont la réserve majeure (97%) de l'eau douce exploitable sur les terres émergées [27].

L'eau souterraine est l'eau qui existe dans les pores, les fissures des roches et dans les sédiments sous la terre et aussi sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, et qui transite plus ou moins rapidement [28], dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol. Elles sont souvent contenues dans des couches aquifères [27].

La qualité de l'eau dépend du terrain car il y a un équilibre et un échange de matières entre le terrain et l'eau qui s'y trouve [25].

Tableau N°3: Les caractéristiques de l'eau souterraine [20].

<i>Caractéristique</i>	<i>Eau souterraine</i>
Température	relativement constant
Turbidité, MES	faible ou nul (sauf en terrain karstique)
Couleur	Liée surtout aux matières en solution (acide humique) ou due à une précipitation (Fe-Me).
Gouts et odeurs	Rares (sauf H ₂ S).
Minéralisation globale(ou salinité).	Sensiblement constante ; général, nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région.
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	Généralement présent
CO₂ agressif	Souvent présent en grande quantité
O₂ dissous	Absent la plupart du temps
H₂S	Souvent présent
NH₄	Présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps.
Solvants Chlorés	Peuvent être présents (pollution de la nappe).
Nature eutrophique	Nul

I.6.3. Les eaux de mer :

Les océans et mers occupent un volume estimé à 1 340 millions de km³. Ce volume n'inclut pas les eaux souterraines (aquifères), dont environ 85 % sont salées à différents degrés [19].

I.6.3.1. Les mers :

Les mers sont plus petites que les océans. Il existe 3 types de mers : les mers fermées, les mers intérieures et les mers de type méditerranéen.

I.6.3.1.1. Les mers fermées :

Sont la mer Caspienne et la mer d'Aral(en Asie) et la mer Morte (au Proche-Orient). Ces mers, qui ne communiquent avec aucune autre mer ni aucun océan, ne sont alimentées que par des fleuves. Ce sont en fait d'immenses lacs salés ; le sel y est d'ailleurs en quantité plus importante que dans les autres mers et océans.

I.6.3.1.2. Les mers intérieures :

S'ouvrent sur d'autres mers. C'est le cas de la mer du Nord (qui donne sur la mers et océans. mer Baltique) ou de la mer Noire (qui communique avec la mer Méditerranée par le Bosphore en Turquie). Ces mers sont de faible profondeur.

I.6.3.1.3. Les mers de type méditerranéen :

Sont les plus grandes mers et communiquent avec des océans, comme la mer Méditerranée (qui donne sur l'océan Atlantique), la mer des Philippines (océan Pacifique), la mer des Caraïbes (océan Atlantique) ou la mer d'Arabie (océan Indien) [6].

I.6.3.2. Les océans :

Les océans ont pour principales caractéristiques d'être d'une superficie bien supérieure à celle des mers et d'être délimités par plusieurs continents. On trouve : L'océan Pacifique ; l'océan Atlantique ; l'océan Indien ; l'océan Arctique ; et l'océan Glacial Antarctique [6].

Les eaux de mer sont considérées comme une source d'eau brute en cas d'absence des eaux conventionnelles [29]. Elles sont caractérisées par leur concentration en sels dissous ; c'est ce qu'on appelle leur salinité.

Tableau N°4: la salinité des principales eaux de mer [10].

Mer ou océan	Concentration (mg/l)
Mer rouge	43 000
Golfe arabique	43 000
Mer méditerranée	39 400
Océan atlantique	36 000
Océan indien	33 800
Océan pacifique	33 000
Océan adriatique	25 000
Mer noire	13 000
Mer baltique	7 000

I.7. LA POLLUTION DE L'EAU :

La pollution est la dégradation ou la modification de l'équilibre d'un milieu aquatique par introduction d'une substance provenant de l'activité humaine [28].

I.7.1. Selon la répartition géographique :

I.7.1.1. La pollution diffuse:

La pollution diffuse (indirecte) est la pollution la plus répandue et, de nos jours, la plus néfaste. Ce type de pollution contamine l'eau sur de longues périodes.

La pollution diffuse est plus difficile à contrôler que la pollution ponctuelle parce qu'elle est liée à une multitude de sources réparties sur l'ensemble du territoire [30].

I.7.1.2. La pollution ponctuelle:

La pollution ponctuelle (directe) est la pollution qui provient d'un point unique et identifiable, par exemple, l'effluent d'une usine. Ce type de pollution est le plus connu et souvent le plus polluant à court terme. Les émissions de ce type de pollution sont généralement beaucoup plus polluantes que celles produites par la pollution diffuse [30].

I.7.2. En fonction de l'origine de la pollution:

On a quatre principaux origines de pollution sont :

I.7.2.1. La pollution agricole :

Les agriculteurs utilisent l'eau pour abreuver le bétail et irriguer les terres cultivables. Les déjections animales (lisier, fumier) sont source de pollution. Lorsque les animaux sont concentrés de façon importante sur un même site (élevage hors-sol), il y a concentration de la pollution.

Les agriculteurs utilisent des engrais minéraux et des pesticides pour améliorer le rendement de leur culture. La mauvaise utilisation d'engrais, de façon non adaptée aux besoins des sols et des cultures, est source de pollution diffuse. Les produits épandus en surplus ne sont pas absorbés par les plantes. Ils ruissellent à la surface du sol ou s'infiltrent dans le sol en direction des rivières ou des nappes souterraines [31].

I.7.2.2. La pollution industrielle :

Les industriels peuvent utiliser l'eau pour fabriquer les produits (eaux de procédé), pour refroidir les machines (eaux de refroidissement), pour l'hygiène des employés (eaux sanitaires) ou pour nettoyer l'usine (eaux de lavage). Tous les ateliers de production ne génèrent pas une pollution de même type ni de même importance.

On distingue différents types d'activités industrielles. Par exemple, les industries lourdes, les industries chimiques et certaines industries de transformation des métaux peuvent être la source d'une pollution toxique et persistante. Certains produits rejetés ont une durée de vie longue avant de pouvoir être biodégradés. Les industries de fabrication des produits alimentaires rejettent principalement de la matière organique et des fertilisants [32]. Les rejets d'eau polluée des industries sont appelés les effluents industriels.

I.7.2.3. La pollution domestique :

Les hommes utilisent l'eau tous les jours pour se désaltérer, se laver, cuisiner et accomplir un grand nombre de tâches domestiques. Dans les villes, après avoir été utilisée, l'eau dite « usée » est collectée par un réseau d'égouts. Les effluents urbains sont acheminés par ce réseau jusqu'à une station d'épuration où ils sont traités avant d'être rejetés à la rivière. Il existe différents types de stations d'épuration. Les effluents doivent respecter certaines normes avant d'être rejetés. Le couple « réseau d'égouts + station d'épuration » s'appelle un système d'assainissement. Les eaux de pluies qui ruissellent sur des surfaces imperméabilisées (rues, stationnement, toitures) peuvent aussi être source de pollution. Il devient nécessaire de les prendre en compte dans les projets d'assainissement. Dans les campagnes, lorsque les habitations ne sont pas concentrées autour d'un centre-ville, les effluents ne peuvent pas être traités de façon collective. Chaque habitation doit alors être équipée d'une fosse septique et d'un système d'épandage souterrain qui permet d'infiltrer les eaux traitées dans le sol [32].

I.7.2.4. La pollution par les hydrocarbures (ou pollution pétrolière) :

L'homme gagne progressivement du terrain sur des régions restées intactes – ou presque – et inhabitées, s'étendant jusqu'aux contrées autrefois considérées comme inaccessibles. Des besoins en énergie sans cesse croissants conduisent à l'exploitation pétrolière des régions arctiques, mettant en péril le fragile équilibre des écosystèmes qui constituent la toundra [33].

I.7.3.Selon la nature des polluants:

I.7.3.1. La pollution physique :

L'utilisation de l'eau comme liquide de refroidissement dans des centrales thermiques réchauffe les rivières dans lesquelles le rejet s'effectue. Cette élévation de température diminue la teneur en oxygène de l'eau et donc la capacité de vie des différentes espèces. La pollution thermique agit sur la température de l'eau, la pollution mécanique altère sa transparence par les matières en suspension.

D'autres pollutions physiques agissent sur l'acidité, la salinité, la radioactivité, etc. Ces pollutions perturbent les écosystèmes et diminuent la biodiversité [28].

I.7.3.2. La pollution chimique :

Elle provoque des déséquilibres biologiques à court ou long terme.

- A court terme : la dose fait le poison, souvent, si l'on supprime la cause, l'effet disparaît rapidement ;
- A long terme : Les rejets de substances toxiques : ils proviennent d'industrie, d'égouts urbains, des transports ou de l'utilisation de pesticides en agriculture [28].

I.7.3.3. La pollution organique :

La pollution organique constitue souvent la fraction la plus importante d'autant plus que dans son acception la plus large, cette forme de pollution peut être considérée comme résultant de diverses activités (urbaines, industrielles, artisanales et rurales).

Dans les eaux usées urbaines, on peut trouver les matières organiques banales (protides, lipides, glucides), les détergents, les huiles et goudrons, les micropolluants organiques peuvent entraîner la modification des caractères organoleptiques de l'eau, ainsi que l'apparition des phénomènes toxiques [25].

Les polluants organiques évoluent dans le temps car ils sont constitués de matières vivantes qui ont besoin d'oxygène et dégageront des odeurs de putréfaction [34].

I.7.3.4. La pollution microbiologique, biologique et bactériologique :

Il provient de l'agriculture, des hôpitaux et même de la vie domestique. Elle peut introduire dans l'eau des micro-organismes dont certains sont pathogènes.

I.7.3.4.1. Les nouveaux polluants : Ce sont principalement des médicaments rejetés dans l'eau au travers des réseaux de collecte d'effluents.

I.7.3.4.2. Les retombées acides : la pollution acide est générées par les retombées des polluants industriels et urbains (soufre, azote, ammoniac) sous l'effet des vents et des pluies. Elle est considérée comme en partie responsable de la dégradation des forêts, de l'altération des sols, de la disparition de la faune aquatique dans les rivières et les lacs, de la corrosion des pierres et autres matériaux [28].

I.8. LES MALADIES A TRANSMISSION HYDRIQUE:

Les eaux polluées ont une influence nocifs sur la santé humaine, ses effets nocifs touchent plus de 2,2 millions de personnes meurent chaque année de maladies liées à la mauvaise qualité de l'eau et à des conditions sanitaires déplorables, essentiellement dans les pays en voie de développement. Toutes les huit secondes, quelque part dans le monde, un enfant meurt d'une maladie liée à une eau souillée [35 ; 36]. Chaque jour, 5000 personnes meurent à cause de l'eau insalubre [37].

L'eau non traitée ou polluée est donc responsable de maladies graves chez l'homme, bien souvent mortelles dans les pays en voie de développement.

L'eau véhicule des virus, des bactéries, des parasites, des micro-organismes végétaux ou animaux, qui peuvent provoquer des maladies graves, voire mortelles pour être humain.

Les maladies hydriques s'étalent par la contamination des systèmes de distribution d'eau potable par l'urine et les fèces des personnes ou animaux infectés. On dénombre de nombreuses maladies véhiculées par les micro-organismes présents dans l'eau : [38]

I.8.1. Les maladies d'origine bactérienne :

I.8.1.1. Le choléra :

Maladie infectieuse contagieuse se propageant sous forme d'épidémies essentiellement par l'intermédiaire de l'eau, due à une toxine bactérienne et caractérisée par une diarrhée aiguë généralement sévère. La bactérie responsable du choléra est le vibron cholérique. La transmission se fait par contact direct, ou indirectement par la nourriture et surtout par l'eau de boisson contaminée par des bactéries provenant des selles de malades [32].

Le choléra est capable de survivre 7 à 12 jours dans l'eau des puits, il est sensible aux solutions chlorurées. Le choléra est soumis au règlement sanitaire international (O.M.S) [39].

I.8.1.2. Les fièvres typhoïdes et paratyphoïdes :

C'est une maladie due aux germes salmonella (salmonella typhi ou bacille d'ebert et Salmonella Paratyphi A, B, C) se caractérise par une forte température, accompagnée de vertiges et d'insomnie, une diarrhée, déshydratation, souvent on note aussi une constipation. Elle est contagieuse, qui peut être mortelle sauf si la personne est traitée rapidement. Les salmonella sont des bacilles (2-3u) ; mobiles, aéro-anaérobie facultatifs capables de survivre plusieurs semaines dans l'eau et dans le sol [39].

La contamination est surtout hydrique (eau souillée par des selles contaminées), parfois alimentaire (aliments souillés, coquillages, crudités), exceptionnellement directe, par les mains sales [19].

I.8.1.3. Les gastro-entérites:

Les gastro-entérites sont provoquées par des Salmonella ubiquistes présentes chez l'homme et les animaux. La durée d'incubation est généralement de 1 à 2 jours et dépend de la dose ingérée. Elles se manifestent par une fièvre, une diarrhée, des vomissements et douleurs abdominales. La contamination se fait par des aliments contaminateurs peu ou pas cuits (œufs, lait, charcuterie, eau, coquillages souillés) [19].

I.8.2. Les maladies d'origine virale :

I.8.2.1. Les hépatites virales :

Hépatites, groupe de maladies aiguës ou chroniques caractérisées par une inflammation du foie [19]. C'est une maladie infectieuse, contagieuse due au virus A, le virus mesuré 27Nanomètres ; sensible à l'eau de Javel de concentration 1mg/l. Son réservoir est l'homme son mode de contamination : L'eau et les sols, sa voie de pénétration est orale [39].

I.8.2.2. La poliomyélite :

C'est une maladie des pays à mauvaise hygiène fécale. Elle atteint surtout les jeunes enfants entre 3 mois et 5 ans (paralysie dite infantile). Il faut donc éviter autant que possible que l'eau soit contaminée majoritairement via le réseau d'évacuation des eaux usées [19].

I.8.3. Les maladies d'origine parasitaire :

I.8.3.1. La dysenterie amibienne:

La dysenterie amibienne est entraînée par la présence de l'amibe pathogène *Entamoeba HISTOLYTICA*. Elle est façon directe par les mains sales ou indirecte par les aliments et les eaux polluées. La maladie se transmet à partir de sujets malades ou des porteurs sains [39].

Tableau N°5: Les principales maladies d'origine hydrique et leurs agents pathogènes [40].

Maladies	Agents
<ul style="list-style-type: none"> Origine bactérienne Fièvres typhoïdes paratyphoïdes Dysenteries bacillaires Choléra Gastro-entérites aiguës et diarrhées	<i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi A et B</i> <i>Shigella</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>Escherichia coli</i> entérotoxigène <i>Campylobacter jejuni/ coli</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Salmonella sp</i> <i>Shigella sp</i> <i>Legionella pneumophila</i>
<ul style="list-style-type: none"> Origine virale Hépatite A et E Poliomyélite Gastro-entérites aiguës et diarrhées	Virus hépatites A et E Virus poliomyélitique Virus de Norwalk Rotavirus Astrovirus Calicivirus Coronavirus Entérovirus Adénovirus Réovirus
<ul style="list-style-type: none"> Origine parasitaire Dysenteries amibiennes Gastro-entérites	<i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>Cryptosporidium</i>

I.9. CONCLUSION:

L'eau de consommation ne doit contenir ni de germes pathogènes ni de substances toxiques susceptibles de provoquer de graves contaminations chez le consommateur. Et afin d'utiliser les différentes catégories d'eaux et de les rendre potables on doit faire appel à un traitement [41].

Chapitre II : les étapes et procédés de traitement des eaux

II.1. INTRODUCTION :

Toutes les eaux de la nature ne sont pas bonnes à boire. Même une eau d'apparence limpide transporte en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. Ces substances proviennent soit du milieu physique dans lequel l'eau a évolué, soit des rejets de certaines activités humaines dont l'eau est devenue le réceptacle. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de nombreuses maladies. Pour pouvoir être consommée sans danger, l'eau doit donc être traitée [42].

Pour parvenir aux résultats recherchés depuis l'obtention d'un liquide clair et limpide pour la consommation humaine jusqu'à celle de l'eau extra pur, il faudra appliquer seuls ou en combinaison différents types de traitements [43].

II.2. L'OBJECTIF DU TRAITEMENT DES EAUX :

- La santé publique, qui implique que l'eau distribuée ne doit apporter aux consommateurs ni substances toxiques (organiques ou minérales), ni organismes pathogènes. Elle doit donc répondre aux normes physico-chimiques et bactériologiques ;
- L'agrément du consommateur, qui est différent du premier point car une eau peut être agréable à boire tout en étant dangereuse (source polluée...) il s'agit des qualités organoleptiques, c'est-à-dire ce qui est perçu par les sens olfactifs de l'homme à savoir la couleur, l'odeur et le goût ;
- La protection du réseau de distribution, et aussi des installations des usages (robinetterie, chauffe-eau) contre l'entartrage (et/ ou) la corrosion [44].

II.3. LES ETAPES DE TRAITEMENT DES EAUX :

Un traitement d'une eau brute destinée à la consommation suit généralement les étapes suivantes :

1. Le prétraitement ;
2. Le traitement primaire ;
3. Le traitement secondaire (physico-chimique);
4. et le traitement tertiaire [44].

II.3.1. Le prétraitement :

Une eau, avant d'être traitée, doit être débarrassée de la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs [45]. Le prétraitement consiste à une série d'opération uniquement physique ou mécanique [46].

Les opérations de prétraitement connues sous le nom de grossissage sont :

- Fosse à bâtard ;
- Le dégrillage ;
- La dilacération ;
- Le dessablage ($d > 200 \mu$) ;
- Le dégraissage-déshuilage ;
- Le débouage ($d < 200 \mu$) et
- Le tamisage [22].

1. Fosse à bâtard :

Cette étape est réalisée pour réduire la pression imposée par la charge d'eau sur les dégrilleurs. Elle consiste à imperméabiliser une fosse devant le courant d'eau brute de manière qu'on peut éliminer les dépôts pour séparer les matières lourdes, de grandes tailles, charriées dans l'eau (pierres, branches d'arbres, cadavres inertes...etc.) et qui peuvent gêner le processus des étapes ultérieures [22].

2. Le dégrillage :

Au cours du dégrillage, Les eaux passent au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les matières les plus volumineuses [32].

Le dégrillage permet d'évacuer, aussi bien des eaux de surfaces que des eaux résiduaires, les gros objets du type tronc d'arbre, bidon et des matières de taille plus faible (branches, feuilles, objets métalliques ...). Tous ces rejets peuvent être mis dans la classe : "matières grossières". Il permet de protéger les ouvrages aval contre l'arrivée de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation .

L'efficacité du dégrillage est fonction de l'écartement entre les barreaux de la grille, on peut distinguer :

- le prédégrillage, pour un écartement supérieur à 40 mm
- le dégrillage moyen, pour un écartement de 10 à 40 mm
- le dégrillage fin, pour un écartement inférieur à 10 mm [47].

Suivant le mode d'élimination des refus, on trouve différents types de grilles:

- **les grilles manuelles** : composées de barreaux le plus souvent inclinés à 60-80° sur l'horizontale, Elles sont réservées pour les petites stations ; le nettoyage quotidien est effectué manuellement à l'aide d'un râteau [13].
- **les grilles mécaniques** : pour les grandes stations, on utilise souvent des grilles mécaniques afin d'éviter un colmatage rapide des canalisations. Il y a les grilles courbes et les grilles droites : [13].
 - ❖ **Les grilles courbes** : Elles sont conseillées pour les installations de moyenne importance avec des eaux pas trop chargées. Le nettoyage se fait à l'aide de deux peignes montés sur un bras tournant autour d'un axe horizontal [13].
 - ❖ **Les grilles droites** : Elles sont fortement relevées avec des inclinaisons d'environ 80°. Elles sont fabriquées avec des dispositifs de nettoyage mécanique [13].

3. La dilacération :

Cette opération concerne particulièrement les eaux résiduaires. Elle a pour but de broyer les matières solides et de les transformer en particules plus fines qui sont envoyées vers les décanteurs (pour faciliter la gestion des déchets de dégrillage). Elle peut être mise en œuvre en remplacement du dégrillage fin [46].

On distingue les dilacérateurs au fil de l'eau et les dilacérateurs associés [22].

L'avantage de cette opération est de :

- Supprimer les sujétions et nuisances découlant de la gestion des déchets du dégrillage.

Les inconvénients de cette opération sont :

- Appareillage cher et délicat nécessitant des interventions fréquentes ;
- Risque de colmatage des canalisations et d'engorgement des pompes [14].

4. Le dessablage :

Les effluents brute véhiculent souvent des quantités de sables qui elle est indispensables pour les éliminer [13].

Le dessablage concerne les particules minérales de diamètre supérieur à 0,2 mm et de masse spécifique de l'ordre de 2,65g/cm³ [14].

L'élimination des sables est une opération indispensable pour :

- Eviter les dépôts dans les canalisations conduisant à leur bouchage ;
- Protéger les pompes et autres organes mécaniques contre l'abrasion ;
- Eviter de perturber les autres stades du traitement (surtout au niveau du réacteur biologique) ;
- Réduire la production des boues [48].

La technique consiste à faire circuler l'eau brute à traiter dans des bassins dans lesquelles la vitesse de circulation est environ de 0,3 m/s pour éliminer les sables et les graviers.

La vitesse de sédimentation des particules est fonction de leur nature, de leur diamètre et de la viscosité du liquide dans lequel elles se trouvent.

Tableau N°6: Une idée de la vitesse de sédimentation de quelques matériaux : [13].

<i>Matériaux</i>	<i>Diamètre mm</i>	<i>Masse spécifique g/cm³</i>	<i>Vitesse de sédimentation cm/s</i>
Sable fin	0.02-2	2.65	2.00-100
Limons	0.002-0.02	2.65	0.4-2
Argile	0.002	2.65	0.005-0.04
Matières organiques	0.01-0.4	1.01	0.3-0.2

On distingue deux types de déssableurs suivant la géométrie des bassins ou la circulation du fluide :

- Les déssableurs à canaux gravitaires ;
- Les hydrocyclones[48].

5. Le dégraissage-déshuilage :

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent en une séparation des huiles et graisses, produits de densité légèrement inférieure à celle de l'eau, de l'effluent brut. Elle a pour but d'éviter divers problèmes au cours du traitement :

- Les boules graisseuses, diminution des transferts d'oxygène, apparition de bactéries filamenteuses ;

- L'endommagement des équipements et des pompes ;
- La mauvaise sédimentation dans les décanteurs ;
- La surconsommation des produits chimiques lors de la préchloration et coagulation-floculation ;
- Le déshuilage par flottation assistée (utilisation de bulles d'air) est généralement abordé [4].

6. Le débouillage :

C'est une opération effectuée généralement sur des eaux particulièrement chargées (dépassant une teneur de 10 g/l en matières en suspension). C'est une prédécantation ayant pour but d'éliminer les sables fins et les limons.

On trouve des débouilleurs de forme rectangulaires ou circulaires, raclés ou non [22].

7. Le tamisage :

Cette opération constitue un dégrillage fin ; elle est mise en œuvre dans le cas d'eaux résiduelles chargées de matières en suspension de petites tailles [4].

Le tamisage est une filtration sur toile utilisable dans de nombreux domaines du traitement de l'eau. Suivant la dimension des mailles de la toile, on distingue :

- Le macrotamisage qui est destiné à tenir certaines matières en suspension, flottantes ou semi flottantes (débris végétaux ou animaux, insectes, brindilles, algues, herbes, etc...) de dimension comprise entre 0,2 et quelques millimètres.
- Le microtamisage qui est destiné à tenir les matières en suspension de très petites dimensions contenues dans les eaux de consommation (plancton), les dimensions des mailles comprises entre 30 μm et 150 μm [22].

II.3.2. Le traitement primaire :

Les traitements primaires regroupent les procédés physiques ou physico-chimiques visant à éliminer par décantation une forte proportion de matières minérales ou organiques en suspension [49].

Le processus principal du traitement primaire est la décantation qui est considérée comme un procédé physique, elle a pour but d'éliminer les particules décantables en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau (diamètre > 1 μm).

La décantation primaire classique consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé décanteur pour former les boues primaire [50].

Elle est adaptée pratiquement dans toutes les usines de traitement des eaux puisqu'elle est la plus économique pour éliminer les polluants, elle a pour objectif d'éliminer :

- Les matières flottantes ;
- Une fraction de matières colloïdales ;
- Les matières solides finement dispersées par formation des floes avec des particules plus grosses[4].

II.3.3. Le traitement secondaire (traitement physico-chimique) :

L'objectif principal du traitement physico-chimique est l'élimination des matières non décantables qui se trouvent dans l'eau sous forme colloïdales et qui ont besoin au procédé de coagulation -floculation et décantation [29].

II.3.3.1. La coagulation-floculation :

Dans le traitement des eaux, la coagulation-floculation est un procédé chimique souvent confondu [29].

Ce processus facilite l'élimination des solides en suspension et des particules colloïdales [51].

La coagulation est la première étape dans le processus de traitement physico-chimique des eaux, elle consiste essentiellement à neutraliser à diminuer la charge électrique et favoriser ainsi le rapprochement des particules en vue de leur agglomération [4].

La Floculation est l'agglomération de particules déstabilisées en micro floc et ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle floes. On peut rajouter un autre réactif appelé flocculant ou adjuvant de floculation pour faciliter la formation de floes [51].

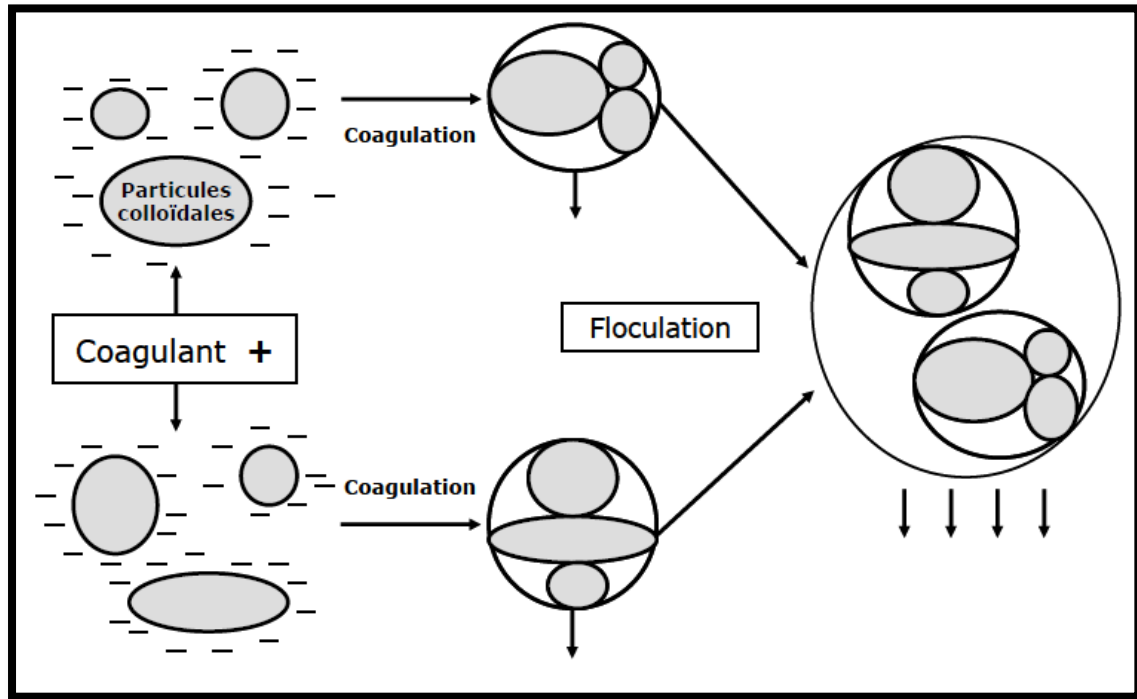


Figure N°4: Coagulation-Floculation [45].

III.3.3.2. La décantation :

La décantation est une technique de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation-floculation [52]. C'est un procédé utilisé pratiquement dans toutes les stations de traitement des eaux [4].

Lors de la décantation, les particules, dont la densité est supérieure à l'eau, vont avoir tendance à s'accumuler au fond du décanteur sous l'effet de la pesanteur. Les particules seront éliminées du fond du bassin périodiquement. L'eau clarifiée se situant à la surface du décanteur est ensuite redirigé vers un filtre [52].

Selon la concentration en solide et la nature des particules (densité et forme), on distingue quatre types de décantation :

- La décantation de particules discrètes ;
- La décantation de particules floculantes ;
- La décantation freinée ;
- La décantation en compression de boues [4].

II.3.4. Le traitement tertiaire :

Les traitements tertiaires regroupent toutes les opérations physiques, chimiques ou biologiques qui complètent les traitements primaires et secondaires. Les traitements tertiaires

sont nombreux et peuvent constituer une chaîne complexe ; les opérations qui les composent dépendent de l'usage que l'on fera de l'eau traitée [14].

II.3.4.1. La filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire [53].

Si ces matières à retenir sont de dimensions supérieures à celle des pores de filtre, elles sont retenues à la surface et la filtration est dite « en surface », ou en « gâteau » ou encore « sur support ». Dans le cas contraire, les matières en suspension sont retenues à l'intérieur de la masse poreuse, et la filtration est dite « en volume » ou « en profondeur » ou encore « sur lit filtrant ». Les solides en suspensions ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente.

La filtration, habituellement précédée des traitements de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs [53].

II.3.4.1.1. Les différents procédés de filtration :

On distingue:

A. La filtration par gravité:

Le mélange est soumis uniquement à la pression atmosphérique. Le liquide passe à travers le support filtrant, tandis que le solide est récupéré sur le support filtrant.

B. La filtration par surpression:

L'effluent, arrive sous pression dans le filtre.

C. La filtration sous pression réduite:

Le mélange est soumis d'un côté du filtre à la pression atmosphérique, et de l'autre côté, où sort le filtrat, à une dépression réalisée grâce à une pompe à vide.

Le passage de l'eau à travers un milieu filtrant entraîne, une dissipation d'énergie qui se traduit par une perte de pression, ou « perte de charge », entre l'amont et l'aval. Cette perte de charge croît plus ou moins rapidement au fur et à mesure que le milieu filtrant charge d'impuretés, et le flux d'eau filtrée décroît en conséquence, pour une pression donnée [54].

II.3.4.1.2. Les types de filtres:

Pour le traitement des eaux potables, on utilise principalement :

- Des filtres de sables rapides;
- Des filtres de sables lentes ;
- Des filtres sous pression ;
- Des filtres à terre diatomée [10].

1. Des filtres de sables rapides :

Ces filtres sont généralement les plus utilisées en traitement des eaux, ils sont appliqués après coagulation floculation et décantation [29].

Ils sont caractérisés par leur débit spécifique important, par contre le colmatage des filtres se fait très rapidement [29].

Lors d'une filtration rapide l'eau traverse la couche filtrante à des vitesses de 5 à 25 m/heure. Vu de cette grande vitesse il faut fréquemment laver les filtres sous peine de voir exagérément augmenter la perte de charge. C'est pourquoi ces filtres comportent toujours un système de lavage rapide et énergétique [55].

Les eaux filtrées sont recueillies en utilisant l'une des deux méthodes suivantes :

- ❖ la couche filtrante peut reposer directement sur des dalles de béton, qui sont soit poreuses soit munies de bougies poreuses;
- ❖ la deuxième méthode consiste à recueillir l'eau filtrée au moyen de tuyaux perforés qui sont noyés dans une couche de sable fin.

La filtration rapide a pour inconvénient qu'elle est une opération relativement complexe, nécessitant du personnel qualifié. D'autre part, la surface nécessaire à l'installation d'un filtre rapide est très réduite et les débits d'eau filtrée très élevés [56].

2. Des filtres de sables lentes :

La filtration lente assure l'épuration des eaux de surface, sans coagulation ni décantation préalable quand l'eau n'est pas trop chargée en matière en suspension [55].

Elle consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique.

Un filtre de ce type est un filtre ouvert, constitué le plus généralement d'un bassin rectangulaire en béton armé - divisé en deux compartiments horizontaux par un faux-plancher situé à quelques décimètres au-dessus du radier [53].

Ce procédé a un avantage de produire une bonne qualité d'eau, par contre elle a plusieurs inconvénients :

- ❖ Elle occupe une grande superficie ;
- ❖ Elle produit un débit de traitement faible ;
- ❖ Elle est sensible au colmatage et
- ❖ Elle n'arrête pas la turbidité très élevée [29].

3. Des filtres sous pression :

Les filtres sous pression fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapide, sauf que leur couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage, sont situés dans des cylindres horizontaux ou verticaux, les quels sont conçus pour supporter des pressions de l'ordre de 1000 KPa. On peut ainsi filtrer de l'eau sous pression et la distribuer sans recourir au double pompage. Cet avantage ne compense toutefois pas les difficultés auxquelles on se heurte lorsque les filtres sont précédés d'unités de coagulation, de floculation et de décantation. En effet, pour éviter le double pompage, il faut alors que toutes ces unités de traitement fonctionnent sous pression [10].

4. Des filtres à terre diatomée :

La terre diatomée qui constitue le milieu filtrant est produite à partir de dépôts naturels de diatomite, laquelle est une roche formée par des débris de diatomées, ces algues brunes unicellulaire, microscopiques, qui croissent dans les eaux douces ou salées, et dont la membrane est entourée d'une couche siliceuse.

Un filtre à terre diatomée est composé :

- D'un ensemble de tamis, qui jouent sensiblement le même rôle que les drains profonds, mais dont les mailles sont assez fines pour arrêter la terre diatomée ;
- D'un mince revêtement de terre diatomée placé sur ces tamis ;
- D'une cuve, ouverte ou fermée, dans laquelle on installe les éléments filtrants [10].

On utilise fréquemment ces types de filtres pour clarifier l'eau des piscines destinée à être recyclée [53].

II.3.4.2. L'adsorption :

L'adsorption est un procédé utilisé pour éliminer les substances humiques responsables de la couleur, les goûts, les odeurs, les phénols et les crésols [57].

C'est un phénomène de surface consistant en la fixation de certains ions ou molécules du corps adsorbé sur les molécules du corps adsorbant.

En fait, l'adsorption n'est pas uniforme sur toute la surface des particules. Elle se fait de façon préférentielle dans des endroits appelés « sites actifs » caractérisés par la présence de

groupements fonctionnels susceptibles de réagir de façon plus ou moins réversible avec les molécules ou les ions des corps adsorbés.

L'adsorbant le plus utilisé est le charbon actif, d'origine végétale ou minérale, que nous retrouverons lors de l'étude de traitement des eaux destinées à la consommation humaine [58].

II.3.4.3. La désinfection :

La désinfection est un traitement visant à éliminer les micro-organismes pathogènes, bactéries, virus et parasites ainsi que la majorité des germes banals moins résistants. C'est le moyen de fournir une eau bactériologiquement potable, tout en y maintenant un pouvoir désinfectant suffisamment élevé pour éviter les reviviscences bactériennes dans les réseaux de distribution [45].

Il existe généralement deux types de désinfection :

- La désinfection chimique ;
- La désinfection physique.

1. La désinfection chimique :

Les agents de cette désinfection sont des oxydants chimiques à double effet, la destruction de la population microbienne et l'oxydation des molécules organiques et des métaux lourds.

Les produits oxydants les plus utilisés dans la désinfection des eaux sont :

- Le chlore gazeux ;
- Les hypochlorites de sodium (eau de javel) ;
- Les hypochlorites de calcium ;
- Le dioxyde de chlore ;
- Le brome ;
- L'ozone.

2. La désinfection physique :

Les agents de cette désinfection sont des stérilisants physiques capables de détruire complètement les micro-organismes. Ils sont présentés par :

- L'ébullition ;
- L'ultraviolet ;
- Les rayons gamma ;
- L'ultrason [59].

II.3.4.4. La déminéralisation :

Les eaux très chargées en sels minéraux dissous peuvent présenter des inconvénients dans certains usages. Ainsi, souvent on est appelé à éliminer totalement ou partiellement certains ions gênants tel que : Ca^{2+} et Mg^{2+} est donc la dureté, CO_3^{-2} et HCO_3^{-} et donc l'alcalinité ou SO_4^{-2} est donc l'agressivité.

Pour l'élimination de ces sels minéraux, plusieurs méthodes sont utilisées dont les plus utilisées sont :

- Les procédés d'échange ionique,
- Les procédés de distillation,
- Les procédés membranaires [59].

1. Les procédés d'échange ionique :

Les échangeurs d'ions sont des substances granuleuses qui ont une structure moléculaire possédant des groupements fonctionnels basiques et acides qui peuvent être échangés. Les ions positifs ou négatifs de ces groupements fonctionnels peuvent être échangés par des ions de même signe en solution dans un liquide en contact avec eux [60].

Les échangeurs peuvent être d'origine minérale mais les substances organiques (les résines synthétiques et certains polymères organiques) sont les plus utilisés pour les applications en traitement des eaux.

Il existe deux grands groupes d'échangeurs ioniques :

- Les échangeurs des cations : qui sont caractérisés par la présence dans leurs molécules des radicaux à fonction acide, type sulfonique (HSO_3^-) pour les fortement acides ou carboxyliques (COOH) pour les faiblement acides qui sont susceptibles de fixer des cations minéraux ou organiques et de les échanger soit entre eux, soit avec l'ion hydrogène (H^+) ;
- Les échangeurs d'anions ; renferment des radicaux à fonction basique du type ammonium quaternaire comme le NH_3OH , qui sont susceptibles de fixer des anions minéraux ou organiques et de les échanger soit entre eux, soit avec l'ion hydroxyde (OH^-)[29].

2. Les procédés de distillation :

C'est le premier procédé qui a été employé. On chauffe de l'eau, et la condensation par refroidissement de la phase vapeur qui ne contient plus de sel produit de l'eau douce.

Sous sa forme la plus simple (distillation à simple effet) c'est ce type de dispositif qui a tout d'abord été installé sur les bateaux : l'énergie pour le chauffage vient du diesel de

propulsion ; le refroidissement est assuré par de l'eau de mer froide qui circule dans un échangeur ; des pompes récupèrent l'eau douce condensée et évacuent la saumure [61].

L'inconvénient majeur de ce procédé est leur consommation énergétique importante [17].

2.1. Distillation à simple effet :

Son principe est simple : il reproduit le cycle naturel de l'eau.

- ❖ Dans une enceinte fermée, un serpentin de réchauffage porte à ébullition l'eau de mer.

La vapeur produite se condense au contact d'un deuxième serpentin alimenté par l'eau de mer froide. Un groupe électropompe soutire l'eau condensée ; un deuxième l'eau de mer concentrée ou saumure [8].

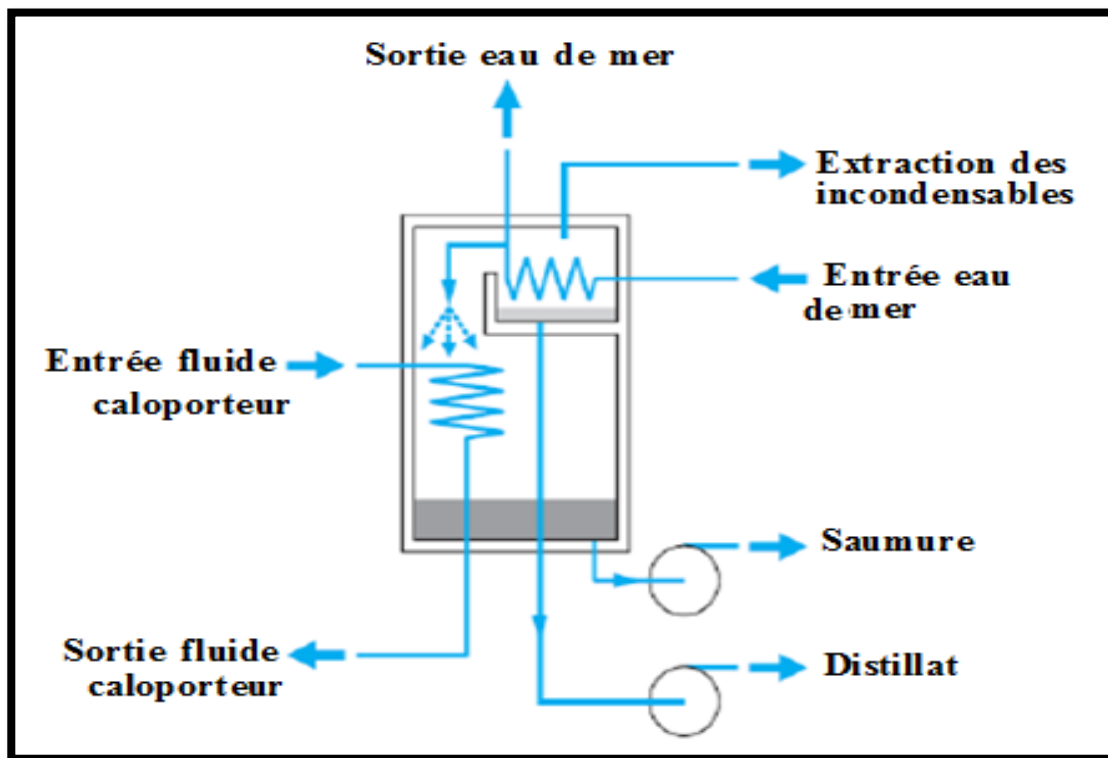


Figure N°5: Distillateur simple effet [62].

2.2. Distillation à multiples effets (MED):

L'évaporateur MED est constitué de plusieurs cellules simples successives. Chaque cellule (aussi appelé effet) contient un faisceau de tubes. Le sommet du faisceau est arrosé avec l'eau de mer qui coule autour des tubes par gravité. La chaleur cédée lors de la condensation réchauffe l'eau de mer à l'extérieur des tubes qui s'évapore en partie. Après l'évaporation, l'eau de mer se concentre en donnant de la saumure au fond de la cellule [8].

L'excédent de vapeur, non utilisé pour la chauffe ou vapeur condensée est récupéré à chaque étage sous forme d'eau distillée [58].

On distingue deux principaux procédés de traitement faisant appel à ce principe : les évaporateurs à tubes verticaux arrosés et ceux à tubes horizontaux [58].

2.3. Compression de vapeur :

Dans ce procédé, l'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte isolée thermiquement. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée.

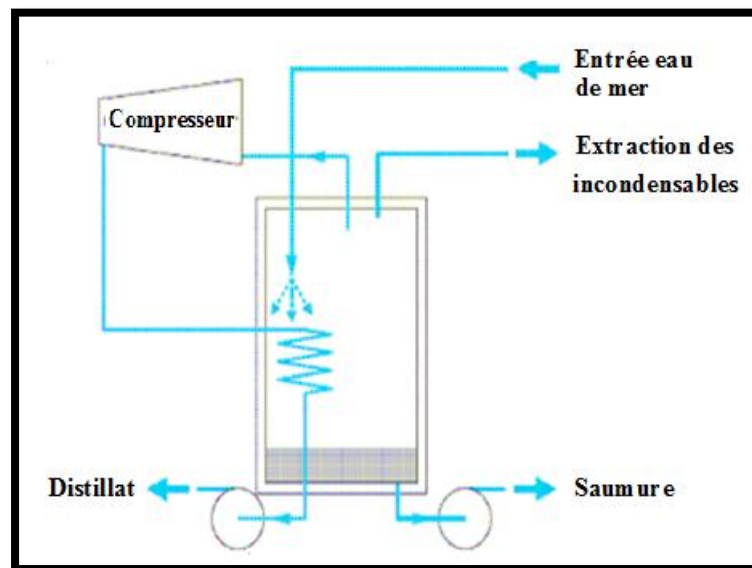


Figure N°6: Compression mécanique de vapeur[62].

2.4. Multiflash ou MSF :

Cette technologie est apparue en 1960 pour faire face aux problèmes d'entartrage que connaissaient les procédés de distillation à multiples effets [8].

L'eau saumâtre est mise sous pression à une température de 120°C. Elle est introduite dans une enceinte à pression réduite où se produit une vaporisation immédiate. Une partie est condensée sur un condenseur.

L'eau qui a fourni de l'énergie pour la vaporisation cesse de bouillir pour se mettre en équilibre avec la pression de vapeur régnant dans l'enceinte. Elle passe ensuite dans une deuxième enceinte soumise à une pression encore plus faible.

Un nouveau flash, une nouvelle condensation, une nouvelle enceinte où la pression est encore plus faible, etc [63].

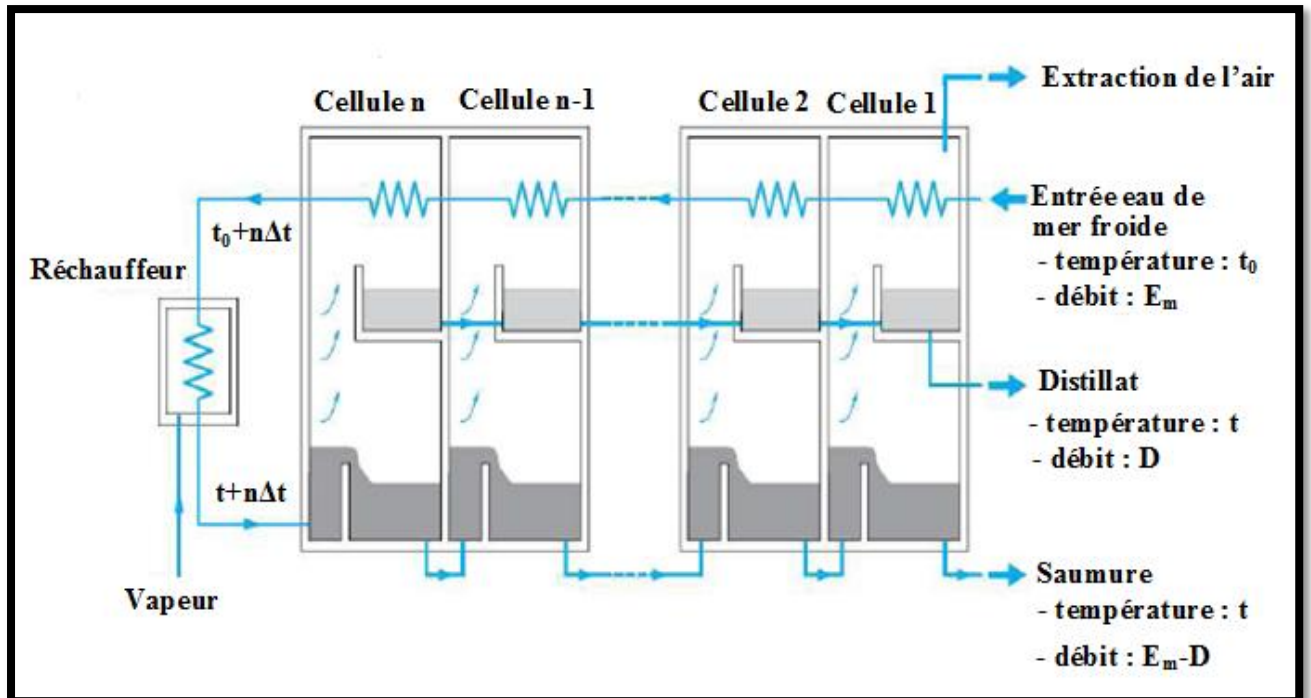


Figure N°7: Distillateur par détente successive [62].

3. Les procédés membranaires :

3.1. L'osmose inverse :

Le phénomène d'osmose va se traduire par un flux d'eau dirigé de la solution diluée vers la solution concentrée.

Si l'on essaie d'empêcher ce flux d'eau appliquant une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va diminuer. Il arrivera un moment où la pression appliquée sera telle que le flux d'eau va s'annuler. Si, pour simplifier, nous supposons que la solution diluée est de l'eau pure, cette pression d'équilibre est appelée pression osmotique.

Une augmentation de la pression au-delà de la pression osmotique va se traduire par un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique, c'est-à-dire de la solution concentrée vers la solution diluée : c'est le phénomène d'osmose inverse [64].

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de pression. Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas de changement de phase. Les membranes utilisées laissent passer les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de 10^{-7} mm de taille. L'énergie requise par l'osmose inverse est uniquement l'énergie électrique consommée principalement par les pompes haute pression [17].

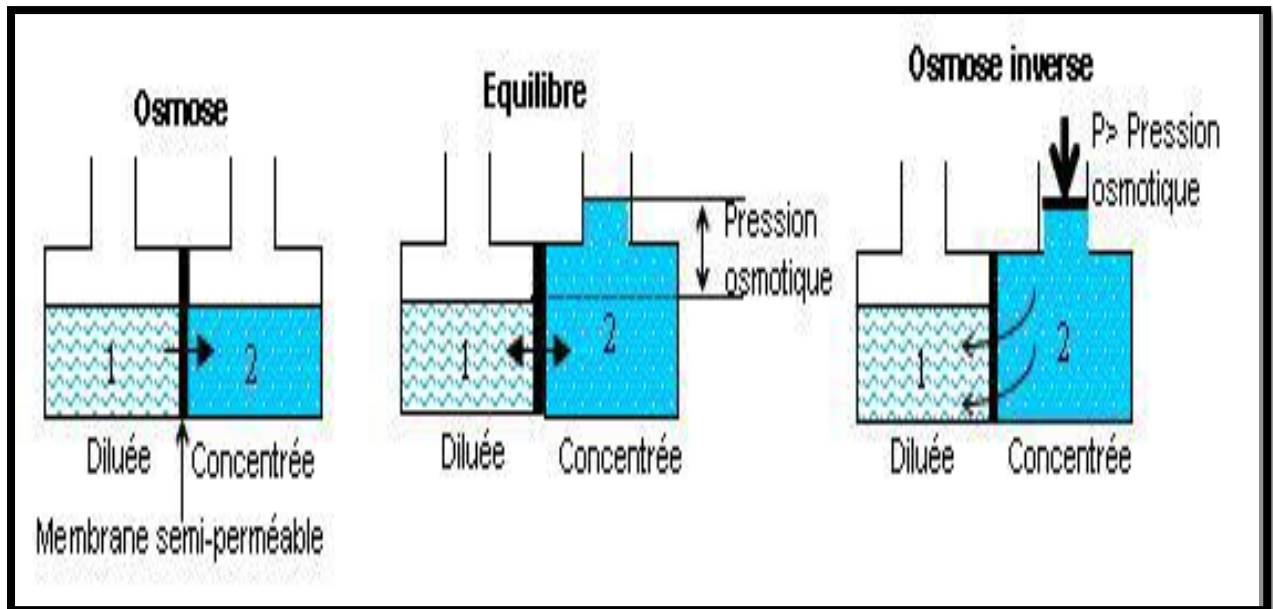


Figure N°8: principe de l'osmose inverse [65].

Cette technique est utilisée pour :

- Le dessalement des eaux de mer ;
- Le dessalement des eaux saumâtres ;
- La production d'eau ultra pure ...etc. [66].

Une installation de dessalement par osmose inverse des eaux de mer peut regrouper les constituants suivants :

- Le poste de prétraitement ;
- La pompe haute pression ;
- La membrane proprement dite ;
- Le module d'osmose inverse [4].

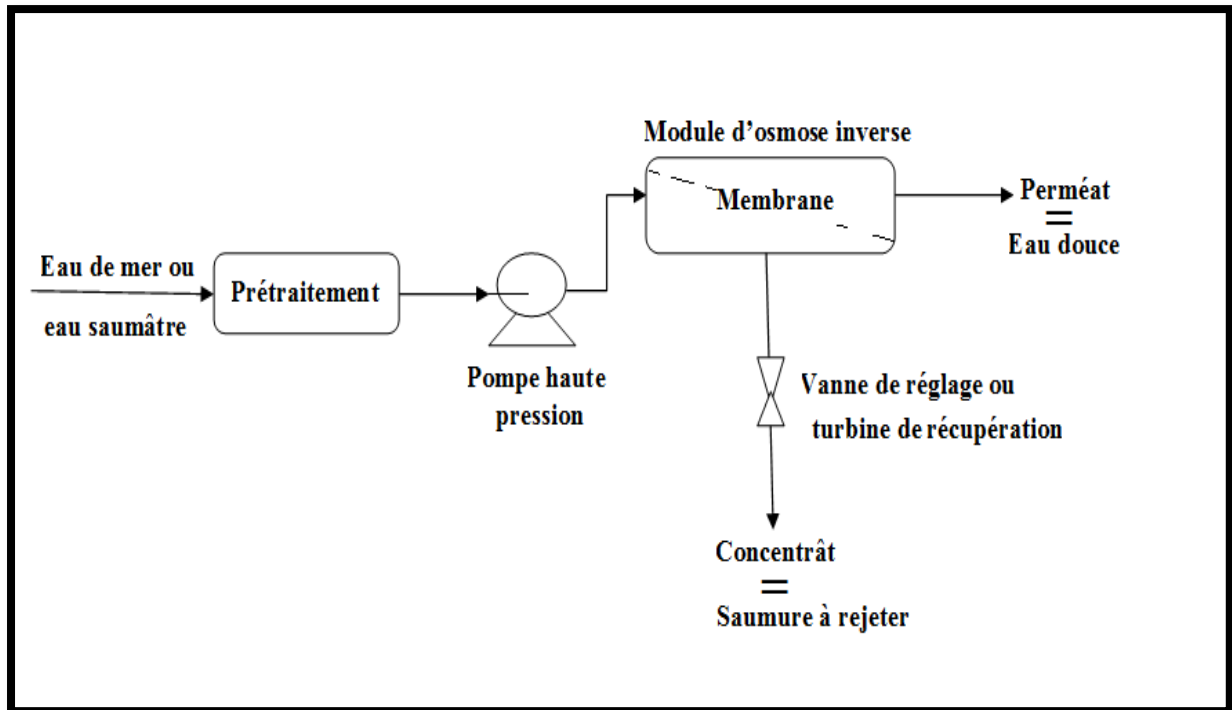


Figure N°9: Schéma d'une installation de dessalement par l'osmose inverse [4].

3.2. Electrodialyse (ED) :

L'électrodialyse est un procédé à membranes très ancien puisque la première installation date des années 1960. Ce procédé consiste à éliminer les sels dissous dans l'eau saumâtre par migration à travers des membranes sélectives sous l'action d'un champ électronique [64].

Le principe de l'électrolyse est bien connu. Les ions d'un sel dissous dans l'eau (NaCl par exemple), se déplacent sous l'action d'un champ électrique créé par deux électrodes trempant dans le liquide. Les ions positifs ou cations (par Na^+) sont attirés par l'électrode négative (ou cathode) tandis que les ions négatifs (Cl^-) sont attirés par l'électrode positive. Des membranes filtrantes imperméables soit aux anions ou aux cations, sont alternativement intercalées. On obtient ainsi une série de compartiments à forte concentration de sels et d'autres à faible concentration [63].

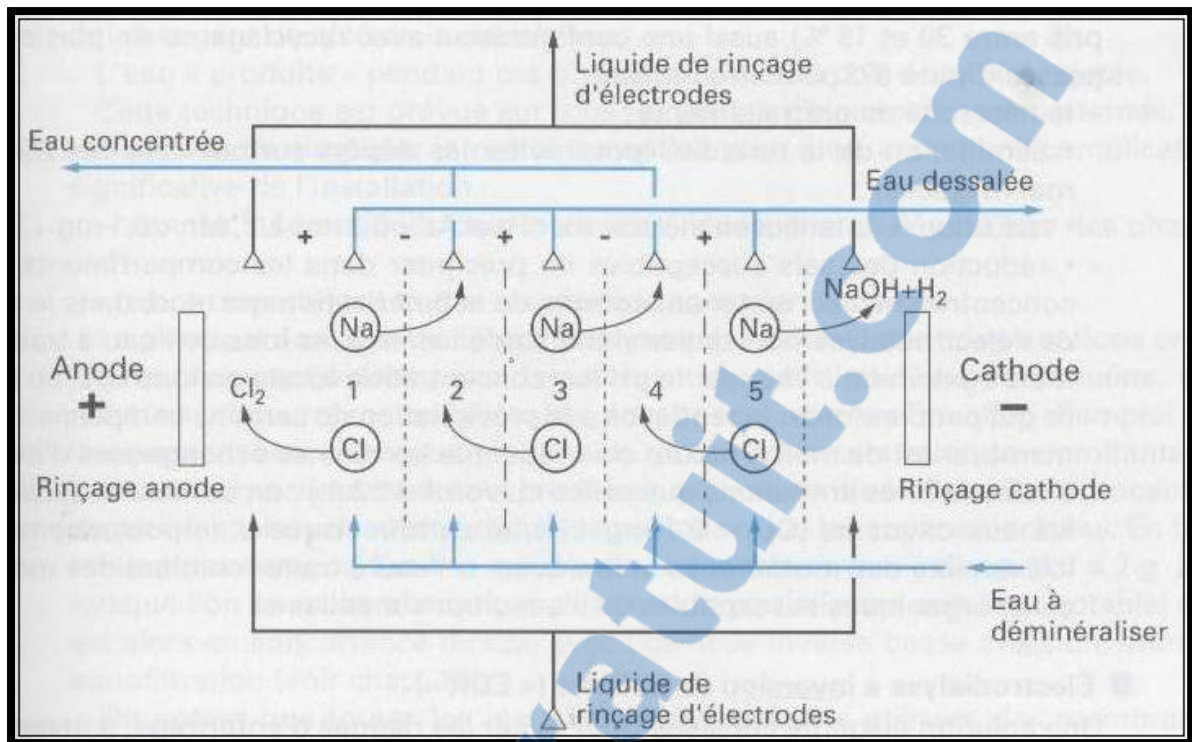


Figure N°10: principe de l'électrodialyse [20].

L'électrodialyse est bien adaptée aux eaux saumâtres dont la salinité est assez faible, inférieure à celle de l'eau de mer.

Les membranes utilisées en électrodialyse laissent passer les ions mais sont imperméables à l'eau. C'est exactement l'inverse pour les membranes utilisées en osmose inverse [61].

II.4.LES PROCEDES DE TRAITEMENT DES EAUX CONVENTIONNELLES :

On entend par une eau conventionnelle toute une eau superficielle ou souterraine qu'on peut facilement traiter pour la rendre potable à la consommation. Elle accepte deux procédés de traitement différents :

- Les procédés de traitement des eaux superficielles ;
- Les procédés de traitement des eaux souterraines [59].

II.4.1. Les procédés de traitement des eaux superficielles :

Les eaux superficielles sont constituées par les eaux des ruisseaux, rivières, fleuves, étangs, lacs, barrages- réservoirs, glaciers [58].

Elles sont utilisées pour l'alimentation en eau potable, lorsqu'il y a insuffisance de la ressource en eaux souterraines en raison de la nature des terrains, qui sont peu aquifères ou d'une

forte concentration de population, dont les besoins ne peuvent pas être totalement couverts par les seules eaux souterraines [40].

Les eaux superficielles ne sont pas directement utilisables pour l'alimentation en eau potable, car elles contiennent des impuretés ont l'origine de :

- La dissolution des encaissants qui sont responsables du pH et de la conductivité (roches, terrains traversés ...etc.) ;
- Les colloïdes minéraux responsables de la turbidité (argile, gel de silice...etc.) ;
- Les matières organiques que ce soit d'origine naturelle, comme les produits de dégradation des végétaux, métabolismes des algues et des micro-organismes, ou d'origines artificielles dues à la pollution urbaine, industrielle et agricole. Aussi, ces eaux devraient subir des traitements physiques, chimiques et biologiques pour les rendre potables [59].

Le traitement moderne des eaux de surface met en œuvre une combinaison de procédés adaptés aux caractéristiques de chaque eau brute. Cette combinaison constitue la filière de traitement.

II.4.1.1. Le prétraitement :

Pour éliminer, par des procédés mécaniques, tous les éléments grossiers qui pourraient détériorer les équipements de la filière ou constituer une gêne pour les traitements ultérieurs. Le dégrillage retient les corps flottants volumineux, qui pourraient boucher les pompes et obstruer les canalisations. Le dessablage et le débouage retiennent les particules minérales grossières et une partie des limons, dans le but de protéger les équipements tournants de l'abrasion et d'éviter la surcharge du décanteur. Le tamisage et le microtamisage visent à éliminer les particules les plus fines (25 à 150 μm)[40].

II.4.1.2. L'oxydation ou préoxydation :

L'oxydation peut avoir différents objectifs :

- Éliminer le goût, les odeurs et la couleur ;
- Éliminer l'ammoniaque ;
- Éliminer le fer et le manganèse : l'oxydation les transforme en hydroxydes insolubles facilement séparables du liquide par décantation et filtration ;
- Améliorer la clarification (meilleure cohésion des boues dans le décanteur qui permet d'augmenter la vitesse de l'eau) ;

- Oxyder les matières organiques dissoutes, qui se transforment en composés plus facilement biodégradables.

Les composés les plus souvent utilisés sont des agents chlorés- le chlore gazeux(Cl_2) – l'hypochlorite de sodium ou « eau de javel » (NaOCl), le dioxyde de chlore (ClO_2) – l'ozone (O_3) et le permanganate de potassium (KMnO_4).

Le choix de l'oxydant dépend de la qualité des eaux brutes utilisées et des objectifs que l'on veut atteindre [40].

II.4.1.3. La clarification :

La clarification des eaux de surface se déroule en plusieurs étapes : coagulation-floculation-décantation-filtration [40].

II.4.1.4. La désinfection :

L'objectif de cette étape est la destruction de la population microbienne contenue dans l'eau afin de protéger la santé publique [59].

Les réactifs mis en œuvre pour la désinfection des eaux alimentaires sont identiques à ceux de l'oxydation. Néanmoins, l'oxydation et la désinfection restent deux étapes bien distinctes :

- L'oxydation intervient au début de la chaîne de traitement-entre le traitement physique et la clarification- on parle généralement de « préoxydation » ;
- La désinfection intervient en toute fin de traitement-avant la mise en distribution de l'eau- on parle souvent de « post chloration ».

La désinfection au chlore ou à l'hypochlorite de sodium- est simple à mettre en œuvre (injection directe à partir d'une bouteille de chlore ou d'une pompe doseuse).

La désinfection au chlore a l'inconvénient de former des composés organiques chlorés tels que les trihalométhanes (THM) et de générer des mauvais goûts.

Le dioxyde de chlore (ClO_2) est également un bon désinfectant. Son pouvoir rémanent est plus important que celui du chlore. Il persiste donc plus longtemps dans les réseaux de distribution. Le pH a peu d'effet sur son efficacité et il ne forme pas de composés indésirables comme les THM. Il peut par contre former d'autres sous-produits : les chlorites et les chlorates.

L'ozone est un désinfectant puissant, capable notamment d'éliminer les virus. Il a l'inconvénient de ne pas être rémanent. Son pouvoir désinfectant important permet néanmoins de limiter la chloration de l'eau avant sa mise en distribution : ce qui a pour conséquence d'améliorer sa qualité gustative.

Le **permanganate de potassium** n'est généralement pas utilisé pour la désinfection des eaux, principalement en raison de sa faible vitesse de réaction vis-à-vis des bactéries.

Deux autres techniques, ne faisant pas appel à des oxydants chimiques peuvent également être en œuvre pour la désinfection des eaux alimentaires :

Les rayonnements ultra-violets : ils ont un effet bactéricide maximum à 250 nm et sont obtenus au moyen de lampes à basse pression de vapeur de mercure. Ils ne produisent pas de sous-produit indésirable, mais exigent une très bonne qualité d'eau vis-à-vis de MES et de la turbidité. Leur absence d'effet rémanent limite généralement leur utilisation aux réseaux de distribution courts. Sinon, il faut les faire suivre d'une chloration, ce qui fait perdre de son intérêt à cette technique.

Les membranes de filtration sont plus ou moins capables de retenir, en fonction de leur seuil de coupure, les microorganismes présents dans l'eau (la microfiltration retient la plupart des bactéries et protozoaires, l'ultrafiltration et la nanofiltration retiennent tout ou partie des virus). Actuellement, leur mise en place pour la seule désinfection est peu réaliste sur le plan économique, car ce type d'équipement entraîne sur une filière complète de traitement un surcoût important (de l'ordre de 30 %). On peut néanmoins bénéficier de cette technologie récente lorsque plusieurs paramètres sont à éliminer (turbidité, matières organiques, pesticides) et sur des sites de production importants.

Enfin, quel que soit le mode de désinfection, il est conseillé de laisser un résiduel de chlore, de l'ordre de 0,1 à 0,2 mg/l ; pour protéger le réseau de distribution contre les reviviscences bactériennes [40].

II.4.1.5. L'affinage :

Cette étape est pour éliminer les matières minérales et organiques dissoutes dans l'eau et améliorer la qualité organoleptique de l'eau.

➤ L'utilisation du charbon actif :

L'utilisation du charbon actif permet :

- D'améliorer la qualité organoleptique de l'eau ;
- D'éliminer les micropolluants ;
- D'éliminer l'ammoniaque ;
- De stabiliser la demande en chlore ;
- De diminuer les risques de reviviscence bactérienne dans les réseaux de distribution.

Il existe sous forme de grains (CAG) ou de poudre (CAP).

Le charbon actif en grain (CAG) peut être utilisé à la place de la filtration sur sable. On parle dans ce cas de « filtration sur charbon actif ».

Le charbon actif en poudre (CAP) est utilisé sous forme de suspension, généralement injectée au niveau de la floculation. Il est ensuite éliminé dans le décanteur, avec le floc. Sa mise en œuvre est simple et nécessite peu d'investissement.

➤ Les membranes de filtration :

La technologie membranaire a pris un essor très important en matière de traitement des eaux potables au cours de la dernière décennie. Les membranes de filtration sont des filtres sélectifs qui constituent une barrière physique capable-en fonction de leur seuil de coupure- de retenir des microorganismes et des particules de très petite taille [40].

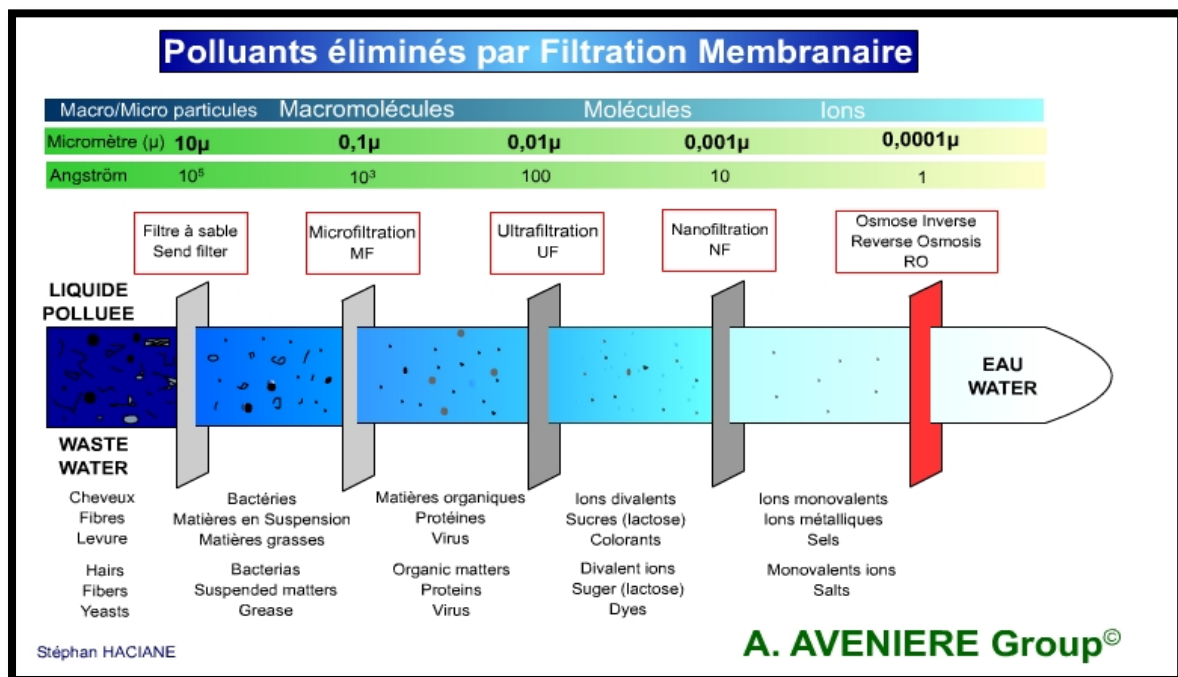


Figure N°11: polluants éliminés par filtration membranaire [67].

On distingue 4 types de membranes :

1. les membranes de microfiltration sont caractérisées par des pores entre 0,1 et 0,45 μm qui leur permettent d'éliminer les bactéries, les protozoaires et les colloïdes grossiers [20].
2. Les membranes d'ultrafiltration : elles laissent passer librement les sels et ne rejettent que les solutés les plus gros (macromolécules) et les éléments particulières tels que les virus, bactéries, colloïdes...

Elles sont communément caractérisées par leur seuil de coupure : taille de la protéine de plus faible masse molaire rejetée à plus de 90% par la membrane [20].

3. La nanofiltration : Elle est souvent utilisée pour l'adoucissement des eaux (enlèvement des ions bivalents, en l'occurrence le calcium et le magnésium responsables de la dureté) [68].

La nanofiltration permet de retenir tous les polluants dissous, qu'ils soient biologiques, organiques ou minéraux et quelle que soit leur concentration [69].

Ce procédé inclut la déminéralisation des produits laitiers, la récupération des protéines hydrolysées, la concentration des sucres ainsi que la purification des colorants solubles et des pigments [70].

4. L'osmose inverse est un procédé de purification de l'eau. Cette technique permet de dessaler l'eau de mer et de produire de l'eau ultra-pure pour l'industrie [40].

II.4.2. Les procédés de traitement des eaux souterraines :

Les eaux souterraines sont souvent considérées comme des eaux naturellement pures ce qui est une erreur, car souvent, elles contiennent du fer, manganèse, ammoniacque et matières organiques, sans parler de la présence de H_2S , teneur excessive en fluor, nitrate, teneur en CO_2 agressif, dureté élevée, salinité, manque d' O_2 dissous et présente de goût et d'odeur [59].

II.4.2.1. la préchloration :

Elle est réalisée, pour des raisons d'efficacités, par le bioxyde de chlore (ClO_2) qui permet de plus la réduction de micro-organismes, l'oxydation suffisamment rapide de l'hydrogène sulfuré et des ions de fer et de manganèse pour les décanter sous forme d'un précipité [59].

II.4.2.2. La déferrisation :

La déferrisation a pour objectif d'éliminer le fer ferreux (Fe^{2+}) naturellement dissous dans l'eau, pour éviter une mauvaise qualité organoleptique de l'eau (couleur rouge, goût métallique), ainsi que les risques de bouchage ou de corrosion des canalisations du réseau, favorisés par le développement de bactéries spécifiques. Deux types de traitement peuvent être mis en œuvre :

- L'oxydation physico-chimique : consiste à oxyder le fer ferreux (Fe^{2+}) en fer ferrique (Fe^{3+}) capable de précipiter. L'oxydation du fer est assurée dans la majorité des cas par l'oxygène de l'air : l'eau étant aérée dans un ouvrage spécifique (tour d'aération), garni

d'un matériau qui accroît la surface d'échange liquide/gaz (pouzzolane, lave volcanique).

- L'oxydation biologique : peut également être mise en œuvre pour éliminer le fer. L'élimination rapide et complète du fer peut ainsi être obtenue sous certaines conditions, notamment un milieu pauvre en oxygène. Dans ce cas, la filière de traitement ne comporte qu'un seul ouvrage : un filtre à sable qui sert à la fois de support aux colonies bactériennes et de filtre pour l'eau traitée [40].

II.4.2.3. La démanganisation :

Pour éliminer le manganèse dissous dans l'eau, pour éviter une mauvaise qualité organoleptique de l'eau (couleur noire, goût métallique).

Les procédés mis en œuvre pour l'élimination du manganèse suivent les mêmes principes que ceux utilisés pour la déferrisation [40].



Figure N°12: Déferrisation et démanganisation physico-chimique [66].

II.4.2.4. Le traitement de la turbidité :

Les matières en suspension et les colloïdes contenues dans l'eau peuvent être éliminés de plusieurs façons :

- Par clarification complète (coagulation-floculation-décantation-filtration)
- Par coagulation sur filtre : le procédé consiste à floculer directement les particules sur le filtre qui va les retenir. Ce procédé n'est utilisé que sur des eaux peu chargées et nécessite peu de réactif, pour éviter le colmatage rapide des filtres.
- Au moyen de membranes de filtration : seules les membranes de micro et d'ultrafiltration sont actuellement utilisées. Les membranes retiennent également les

micro-organismes, bactéries et une partie des virus qui représente le risque sanitaire principal associé à la turbidité [40].

II.4.2.5. L'élimination de l'ammoniaque :

Pour éviter une dégradation de la qualité de l'eau dans les réseaux. Dans les eaux souterraines, la présence d'ammoniaque à des concentrations comprises entre 0 et 25 mg/l, résulte généralement de pollutions dues à des rejets d'eaux usées domestiques ou industrielles [40].

II.4.2.6. L'élimination des nitrates :

Le traitement de nitrates est rendu nécessaire lorsque sa concentration dans les eaux souterraines dépasse 50 mg/l.

L'élimination des nitrates fait appelle à deux principaux types de traitement : l'un physicochimique et l'autre biologique.

- La dénitratation par résine échangeuse d'ions : Est un processus physicochimique bien connu et assez largement répandu. Le principe consiste à transférer les ions indésirables de l'eau brute vers un support insoluble- la résine- [40].

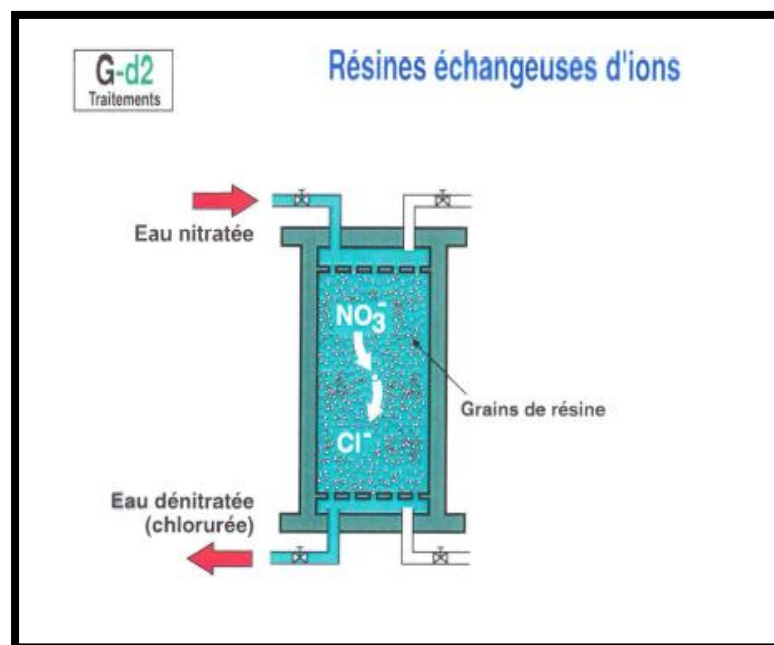


Figure N°13: La dénitratation par résine échangeuse d'ions [40].

- La dénitrification biologique est basée sur la capacité des bactéries dénitrifiantes à réduire les nitrates en azote gazeux en l'absence d'oxygène (milieu anoxique) :



II.4.2.7. La neutralisation:

Corriger l'agressivité de certaines eaux, en éliminant ou en neutralisant le gaz carbonique qu'elle contient en excès [40].

Plusieurs procédés de neutralisation, du point de vue physico-chimique, sont applicables pour ajuster une eau naturelle, dont :

- L'élimination du CO₂ libre par aération;
- La neutralisation par une base (soude caustique, chaux);
- La neutralisation par un carbonate alcalin (Na₂CO₃) ou alcalino-terreux (CaCO₃)[67].

II.4.2.7.1. Élimination du CO₂ par aération ouverte:

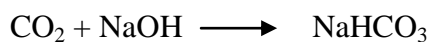
Lorsqu'on met en contact avec l'atmosphère des eaux riches en gaz carbonique, elles laissent échapper une partie du CO₂ dissous. La densité du CO₂ est de 1,98 g/l à 0° C et pression atmosphérique [67].

Cette technique est efficace et peu coûteuse. La technique de l'aération ouverte est employée lorsque la teneur en gaz carbonique est très importante [40].

II.4.2.7.2. La neutralisation par une base (soude caustique, chaux) :

A. Neutralisation par l'ajout de soude caustique :

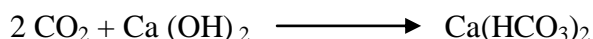
La réaction de neutralisation du CO₂ libre est :



L'addition de soude caustique (NaOH) permet de neutraliser le CO₂ agressif en formant du carbonate de soude soluble.

B. Neutralisation par l'ajout de chaux :

La réaction de neutralisation du CO₂ libre est :

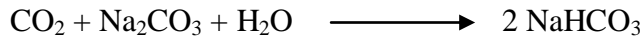


La chaux [Ca(OH)₂] est le produit le plus utilisé soit pour neutraliser le CO₂ libre ou rehausser l'alcalinité afin d'ajuster l'eau au pH de floculation approprié [67].

II.4.2.7.3. La neutralisation par un carbonate alcalin (Na_2CO_3) ou alcalino-terreux (CaCO_3) :

A. Neutralisation par l'ajout de carbonate de sodium :

La réaction de neutralisation du CO_2 libre est :



Le carbonate de sodium (Na_2CO_3) est un sel neutre. Son utilisation est donc très aisée.

Il faut utiliser 2,4 g de Na_2CO_3 pour neutraliser 1 gramme de CO_2 .

A. Neutralisation par une filtration sur produits alcalino-terreux :

Il s'agit de produits à base de carbonate de calcium (CaCO_3) éventuellement mélangés à du carbonate de magnésium (MgCO_3) ou à de la magnésie [$\text{Mg}(\text{OH})_2$]. Au cours de la réaction avec le CO_2 agressif, il se formera des bicarbonates de calcium [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$] et éventuellement de magnésium [$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$] [67].

II.4.2.8. L'adoucissement et la décarbonatation :

Eliminer le calcium de l'eau de manière à diminuer l'entartrage des canalisations et des appareils ménagers.

L'adoucissement calco-sodique : consiste à faire passer l'eau à traiter sur une résine échangeuse d'ions. Ce type de traitement conduit à une libération d'ions sodium et à une diminution de dureté de l'eau. Après percolation de l'eau sur la résine, sa dureté est nulle.

La décarbonatation : consiste à précipiter le carbonate de calcium (CaCO_3) par voie chimique et à l'éliminer par décantation. Les décanteurs utilisés sont du même type que ceux mis en œuvre pour la clarification des eaux de surface. Les réactifs les plus utilisés sont : la soude (NaOH) et la chaux ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) [40].

II.5. LES PROCEDES DE TRAITEMENT DES EAUX NON CONVENTIONNELLES :

Les eaux non conventionnelles sont celles représentées par les eaux saumâtres ou salées et les eaux usées.

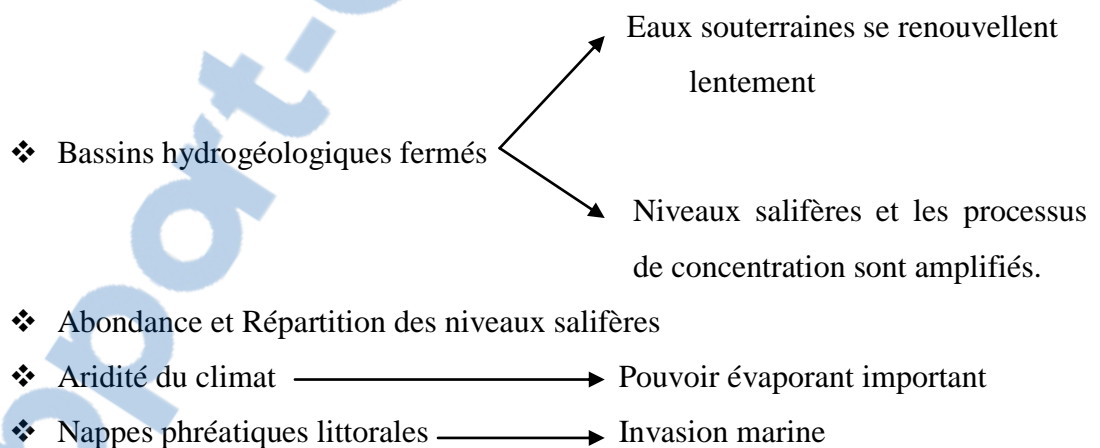
Puisque ces eaux sont traitées difficilement pour les rendre potables à la consommation, on ne les adapte qu'en cas d'absence des eaux conventionnelles [29].

II.5.1. Les procédés de traitement des eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. Les eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en traversant les sols. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl [62].

On distingue plusieurs facteurs pour la formation des eaux saumâtres :

➤ **Les facteurs naturels :**



➤ **Les facteurs liés à l'activité humaine :**

- ❖ Irrigation par les eaux salées ;
- ❖ Irrigation par épandage massif d'eaux de crue[63].

Pour les régions voisines des côtes qui n'ont ni les eaux souterraines douces ni les eaux superficielles ; le recours au traitement des eaux de mer ou saumâtres est pratiquement obligatoire.

L'expérience montre que le procédé d'osmose inverse est le plus économique quand on la compare avec celle d'électrodialyse pour le traitement des eaux de mer et l'inverse pour le traitement des eaux saumâtres.

Les installations couramment utilisées pour traiter les eaux de mer sont celles d'osmose inverse qui peuvent renfermer les étapes suivantes :

- La prise d'eau de mer ;
- Un poste de prétraitement ;
- L'installation proprement dite et
- Un poste de traitement.

1) La prise d'eau de mer :

Elle peut être réalisée par une conduite positionnée à certaines distances au large de mer et matérialisé d'une crépine pour protéger la conduite contre le colmatage rapide, soit par un forage à côté de la mer pour avoir une filtration naturelle des eaux de mer.

2) Un poste de prétraitement :

Cette étape consiste protéger les membranes d'osmose inverse contre l'écrasement par la limite du maximum de particules contenants dans l'eau pour que l'eau qui arrive à la tête de l'unité, ne contient que les sels dissous. Elle est réalisée généralement par la filtration membranaire (microfiltration, nanofiltration ou ultrafiltration) ou filtration sur sable.

3) L'installation proprement dite :

C'est les modules d'osmose inverse où l'écoulement de l'eau de mer prétraitée est tangentiel à la membrane et le débit d'alimentation se divise en deux parties : l'une passe à travers les membranes dites le perméat et l'autre qui ne passe pas dite le concentrât.

4) Un poste de traitement :

C'est l'étape de traitement d'affinage où se fait l'amélioration de l'eau en sels minéraux par un mélange d'eau de mer et d'eau traitée pour la rendre douce, et la désinfection pour la rendre sur la ligne des normes sanitaires [59].

II.5.2. Les procédés de traitement des eaux usées épurées :

L'eau usée est l'eau qui a été utilisée et qui doit être traitée avant d'être réintroduite vers d'autres sources d'eaux pour qu'ils ne causent pas de pollution de ces autres sources. Les eaux usées proviennent de plusieurs sources. Tout ce que vous évacuez en tirant la chasse d'eau et lorsque vous utilisez vos éviers est considéré comme de l'eau usée.

On distingue trois types d'eau usée:

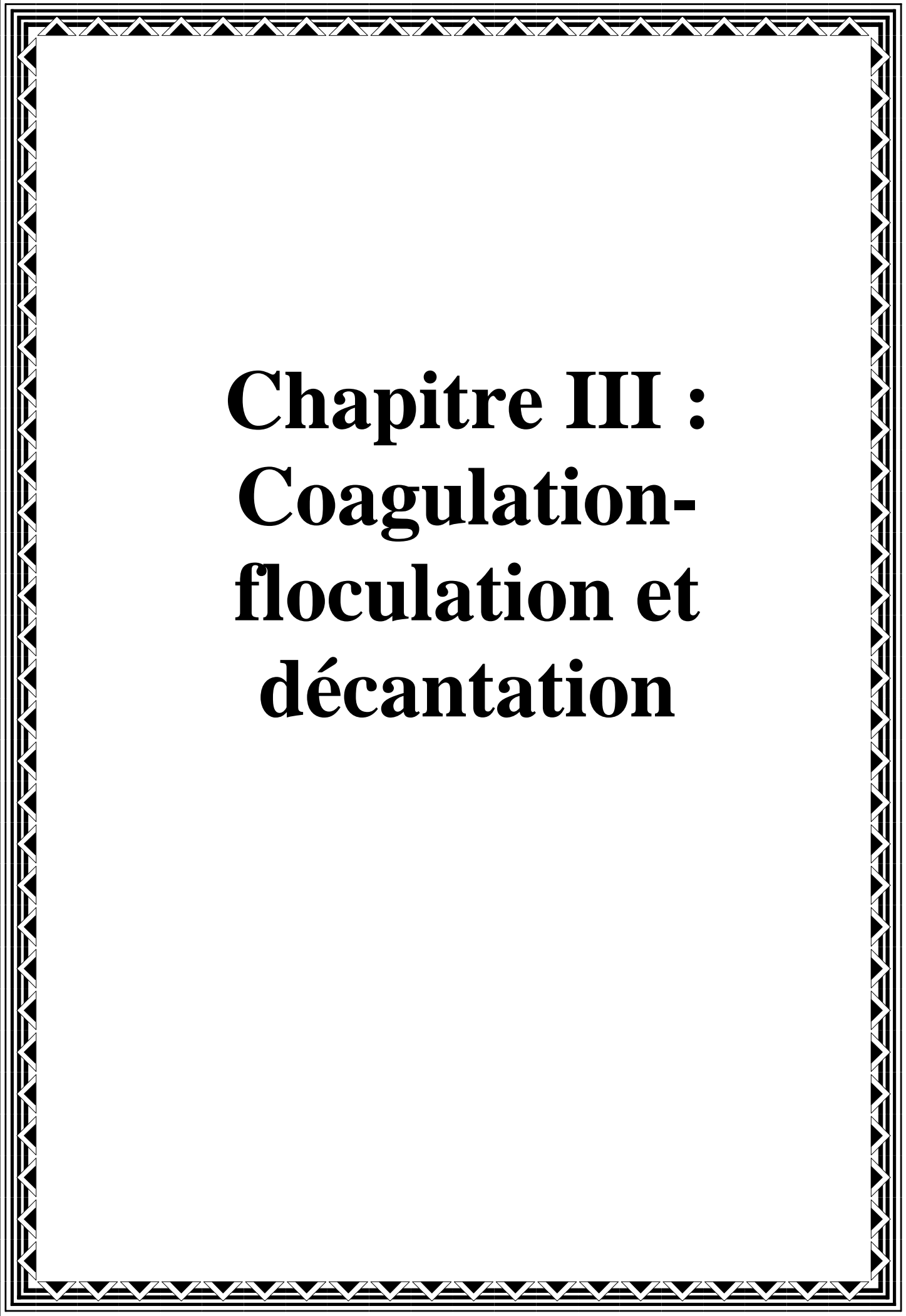
- Les eaux de ruissèlements : ce sont les eaux de pluie, de territoires, de lavage des routes, ainsi que les différents polluants qui s'écoulent dans les égouts, leur pollution est variable.
- Les eaux usées domestiques : comprennent les eaux ménagères (eaux de cuisines, eaux de douches ...etc.) et les eaux vannes (les eaux de toilettes) .elles sont relativement facile à traiter.
- Les eaux usées industrielles : ce sont des eaux qui provenir d'un zone d'activité, de sources agricoles. Elles contiennent des substances minérales et organiques ; leur pollution est variée. Leur traitement est difficile [71].

On a remarqué qu'il existe un mélange d compréhension entre le traitement et l'épuration des eaux. Le traitement est l'opération qui affecte généralement les eaux destinées à la consommation par contre l'épuration touche seulement les eaux rejetées dans la nature ou réutilisées.

Pour les régions loin des cotés qui enregistrent une absence des ressources en eaux conventionnelles, le recours au traitement des eaux usées épurées pour la consommation s'impose obligatoirement. Généralement, les procédés qu'on peut adapter lors du traitement de ces eaux épurées sont ressemblants à celles du traitement des eaux superficielles [29].

II.6. CONCLUSION :

Ce deuxième chapitre a servi d'introduction au domaine lié à notre étude. Nous avons décrit les différentes étapes d'une chaîne de prétraitement et de traitement d'eau.



Chapitre III : Coagulation- floculation et décantation

III.1. INTRODUCTION :

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 1m 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 filtration [53].

III.2. LES PARTICULES EN SUSPENSION :

Les matières existantes dans l'eau peuvent se présenter sous les trois groupes suivants :

1. Les matières en suspension qui regroupe les plus grosses particules, ces matières sont d'origine minérale ou organique et possèdent un diamètre supérieur à 1 μ m. leur temps requis pour décanter d'un mètre varie de quelques dixièmes de secondes à plusieurs jours selon leur diamètre et leur densité ;

2. Les matières colloïdales sont des MES de même origine mais de diamètre inférieur à 1 micron. Leur vitesse de décantation est pratiquement nulle. Les matières colloïdales d'origine minérale ont une densité relative de l'ordre 2,65 alors que celles d'origine organique ont une densité relative beaucoup plus faible, soit de l'ordre de 1,1. Les particules colloïdales de faible densité peuvent nécessiter théoriquement jusqu'à 66600 années pour décanter de un mètre ;

3. Les matières dissoutes, sont généralement des cations ou anions de quelques nanomètres de diamètre [72].

III.3. LES PARTICULES MISE EN JEU ; COLLOÏDES :

Les particules colloïdales sont des matières inertes ou vivantes (argiles, hydroxydes métalliques, micro-organisme, fibres, pulpes, protéines, etc....) qui ont une taille très petite comprise entre 1nm et 1 μ m [4].

L'origine des colloïdes est très diverse. On peut citer l'érosion des sols, la dissolution des substances minérales, la décomposition des matières organiques, le déversement des eaux résiduaires urbaines et industrielles ainsi que les déchets agricoles [53].

III.3.1. Les types de colloïdes :

Les particules colloïdales sont classées en deux catégories suivant leur comportement vis-à-vis de l'eau. Il s'agit des particules hydrophobes et hydrophiles [43].

III.3.1.1. Les colloïdes hydrophiles :

Les hydrophiles sont des micromolécules complexes à nombre élevé d'atomes, et qui englobent la plupart des corps de la chimie organique [44].

Les particules hydrophiles déshydratées se dispersent spontanément dans l'eau et sont entourées de molécules d'eau qui préviennent tout contact ultérieur entre ces particules [10].

Parmi les substances de cette nature, on peut citer les protéines, les savons, la gélatine et la matière organique naturelle. Les colloïdes hydrophiles sont plus difficiles à déstabiliser que les solutions hydrophobes. En effet, il faut agir d'abord sur les molécules d'eau qui les entourent pour permettre leur agglomération [43].

III.3.1.2. Les colloïdes hydrophobes :

Les hydrophobes sont des micelles ou agrégats de molécules simples, dissoutes et qui comprennent la plupart des corps de la chimie minérale [44].

Les particules hydrophobes ne sont pas entourées de molécules d'eau, leur dispersion dans l'eau n'étant pas spontanée. On doit la faciliter à l'aide de moyens chimiques ou physiques [10].

Ce sont en général des particules minérales telles que la silice et les argiles [4].

III.3.2. La théorie de la double couche :

Les colloïdes sont généralement chargés négativement. Afin de neutraliser cette charge négative de surface, des ions positifs présents dans l'eau brute ou ajoutés sont attirés et forment une couche autour du colloïde. Diverses théories expliquent ce phénomène [1].

1. *Théorie de Helmholtz ;*
2. *Théorie de Gouy- Chapman ;*
3. *Théorie de Stern.*

1- *théorie de Helmholtz :* une couche d'ions positifs recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble (couche fixée) ;

2- *théorie de Gouy-Chapman :* la couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde ; la neutralité est obtenue à une plus grande distance (couche diffuse); [1]

3- La théorie de Stern : est un compromis des deux précédentes. Elle considère la formation de la double couche. La première adhère à la particule et le potentiel décroît rapidement. La seconde est plus diffuse et le potentiel décroît plus lentement [73].

Un colloïde est caractérisé par 2 potentiels :

➤ Potentiel thermodynamique : appelé potentiel de Nernst présent à la surface même du colloïde [20].

➤ Et potentiel électrocinétique [20]: Ce potentiel mesuré au plan de cisaillement et appelée le potentiel Zêta.

Le plan de cisaillement est la limite entre la partie de la solution qui se déplace avec la particule et la partie de la solution qui se déplace indépendamment de la particule [43].

Pour une particule hydrophobe, ce plan est situé à la limite de la couche liée, alors que pour une particule hydrophile, il est situé à la limite extérieure de la couche d'eau liée à la particule [10].

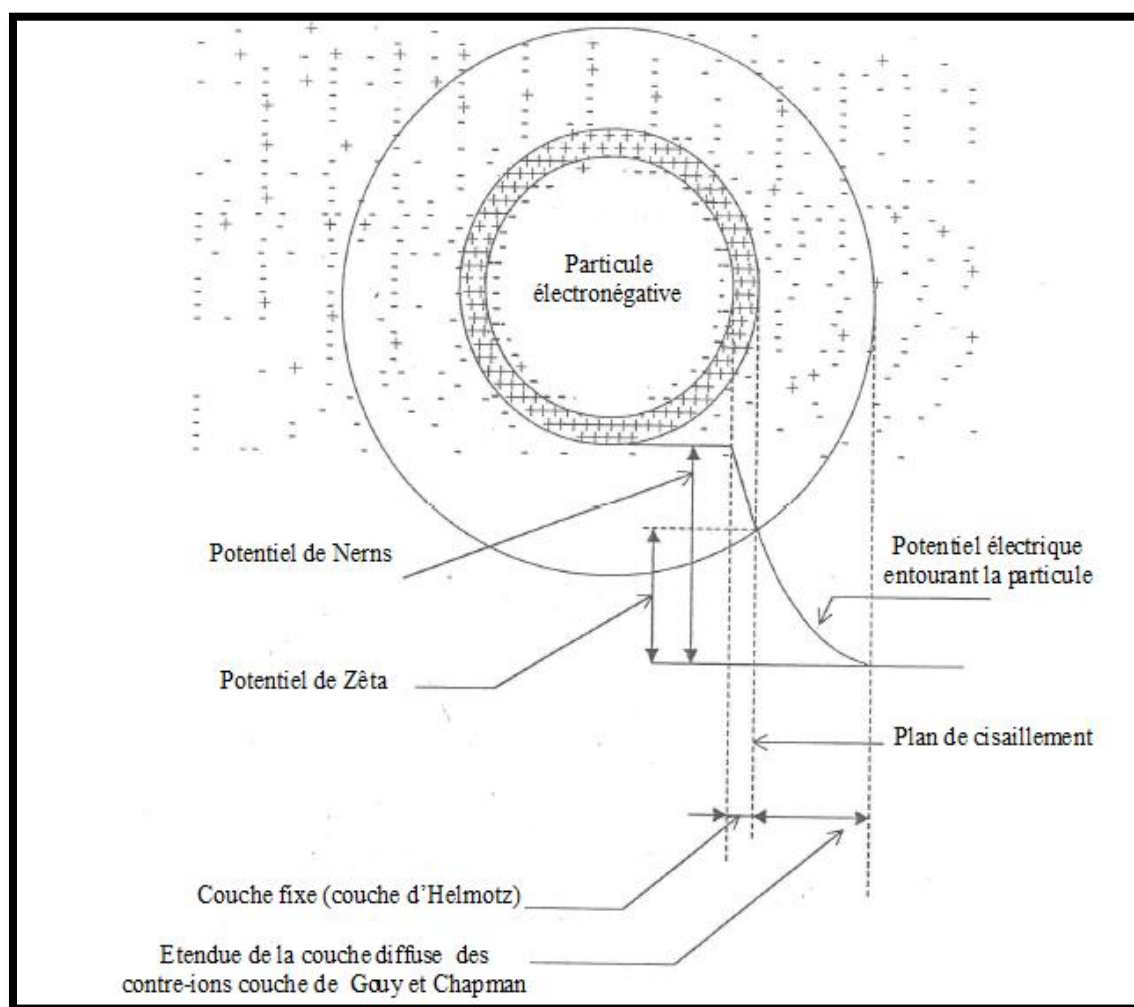


Figure N°44: Représentation schématique de la double couche d'une particule colloïdale [43].

Lorsque deux particules sont sur le point d'entrer en contact, elles sont essentiellement soumises à deux forces: la force d'attraction de van der Waals, et la force de répulsion électrostatique. Le potentiel de répulsion est défini par E_B , et le potentiel d'attraction est défini par E_A . La résultante des deux potentiels, E , traduit l'interaction énergétique nette qui existe entre les deux particules : $E = E_A + E_B$ [72].

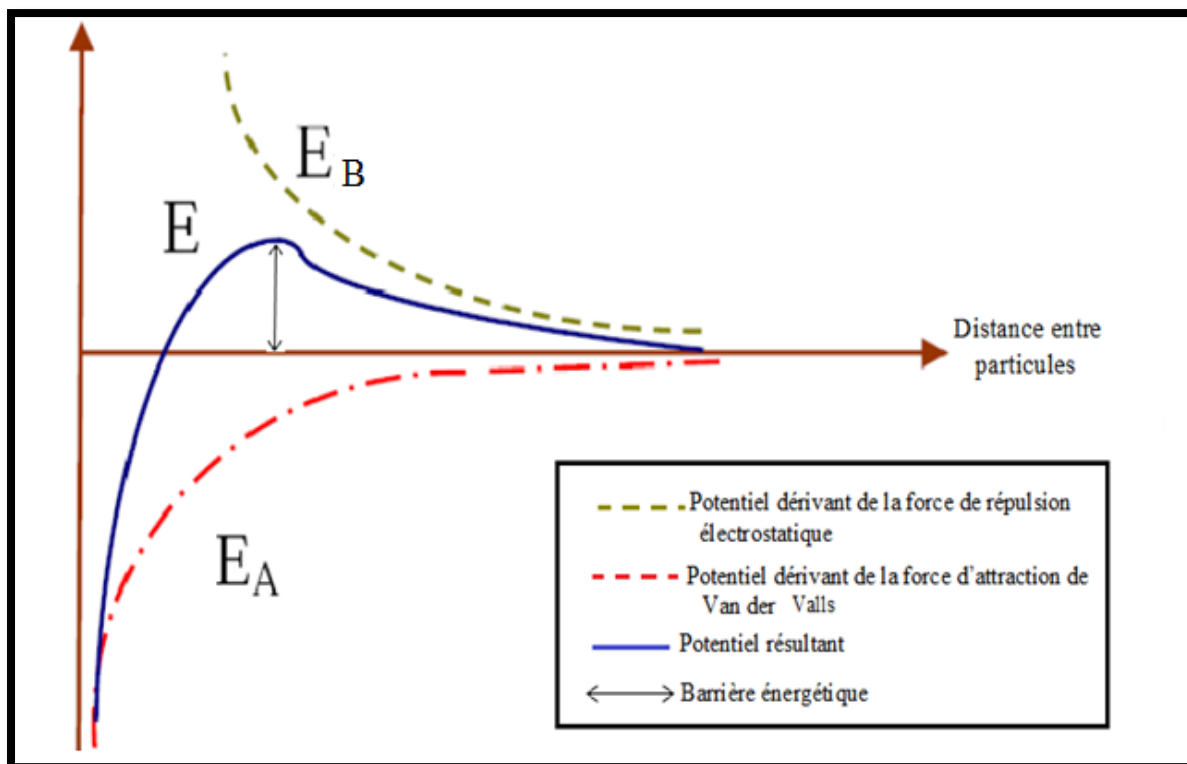


Figure N°15: Stabilité d'une suspension colloïdale [74 ; 1].

III.3.3. Le potentiel Zêta :

Le potentiel Zêta se situe à la limite extérieure de la couche liée [72]. Ce potentiel est responsable du comportement électrocinétique de la particule colloïdale dû à la charge effective de l'ensemble particule-double couche. Quand la charge effective diminue, le potentiel Zêta et la stabilité diminuent [43].

L'annulation du potentiel Zêta est l'objectif de la coagulation. Cela permet de déstabiliser les particules et de favoriser leurs agglomérations [72].

On a le potentiel Zêta(Z) :

$$Z = \frac{k \cdot \mu \cdot me}{\epsilon}$$

Avec :

k : fonction du diamètre de la particule ;

μ : viscosité dynamique (Pa.s) ;

m_e : mobilité électrophorétique ($\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$) ;

ϵ : constante diélectrique du milieu.

On mesure ce potentiel par le Zétamètre [20].

III.4. LA COAGULATION-FLOCULATION :

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 [45].

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique visant la déstabilisation des particules colloïdales présente dans l'eau [43], puis formation de floes par absorption et agrégation. Les floes ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite [45].

III.4.1. La coagulation :

III.4.1.1. Le principe de phénomènes :

Le mot coagulation vient du latin coagulare qui signifie « agglomérer » [45].

Les particules colloïdales en solution sont naturellement chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste dans la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives. On utilise, pour ce faire, des réactifs chimiques nommés coagulants [45].

L'adjonction du coagulant produit dans un premier temps un ensemble de réactions complexes d'hydrolyse, d'ionisation et également de polymérisation et dans un second temps, une déstabilisation des colloïdes par un ensemble de mécanismes complexes [50].

Le procédé nécessite une agitation importante [45].

III.4.1.2. Les modes de déstabilisation des particules colloïdales :

Quatre mécanismes sont proposés pour expliquer la déstabilisation des particules et leurs agglomérations :

- Compression de la double couche ;
- Adsorption et neutralisation des charges ;
- Emprisonnement des particules dans un précipité ;
- Adsorption et pontage entre les particules [4].

III.4.1.2.1. La compression de la double couche :

L'augmentation de la force ionique de l'eau réduit le volume et l'épaisseur de la couche diffuse. Les forces de répulsion sont considérablement réduites alors que les forces d'attraction de van der Waals ne sont pas affectées. La force ionique est représentée par l'équation suivante:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^n C_n Z_n^2$$

Avec :

μ = force ionique ;

C_n = concentration de l'ion n (mol/l) ;

Z_n = valence de l'ion n [72].

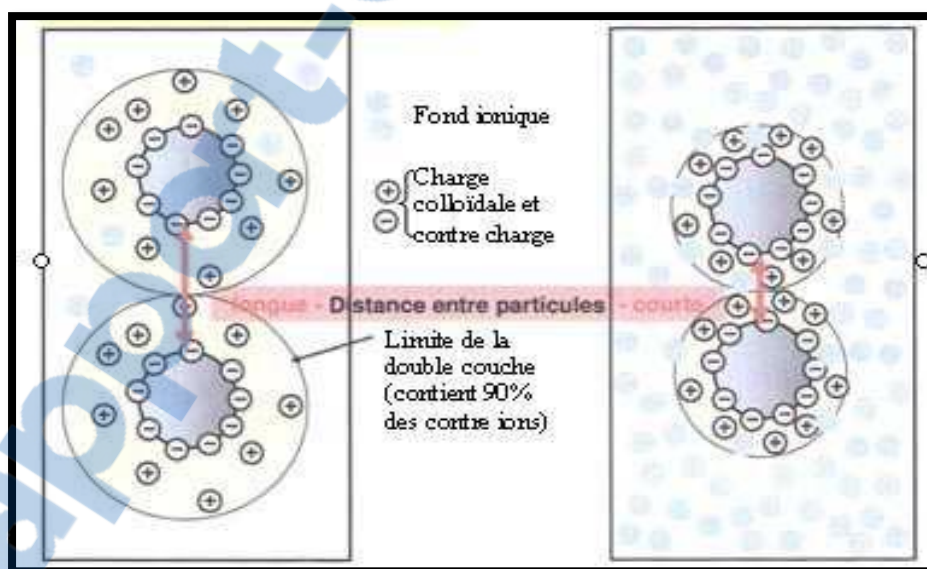


Figure N°16: Représentation schématique de la compression de la couche diffuse [43].

III.4.1.2.2. L'adsorption et neutralisation des charges :

Ce mécanisme repose sur l'ajout suffisant de cations afin de neutraliser la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de cations et

inverser la charge des particules qui devient alors positive. Les particules seraient ainsi restabilisées [4].

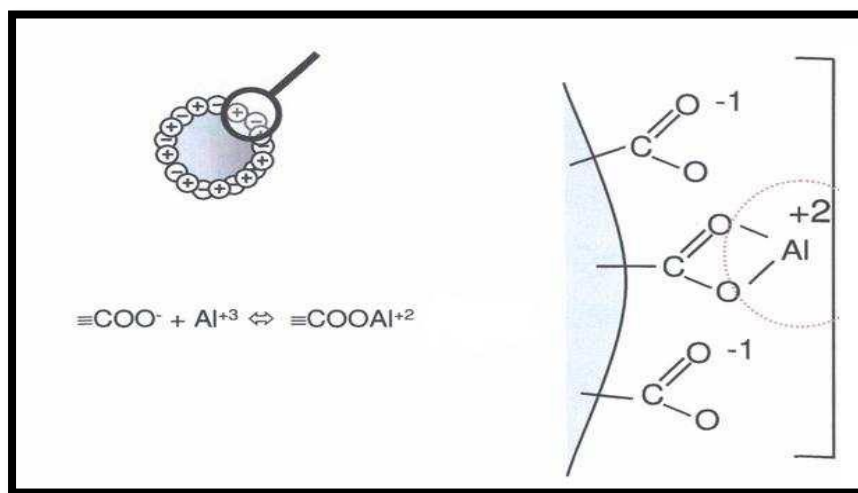


Figure N°17: Représentation schématique de neutralisation des charges [43].

III.4.1.2.3. L'emprisonnement des particules dans un précipité :

Pour déstabiliser les particules colloïdales. On peut en outre les emprisonner dans une particule de floc. Lorsqu'on ajoute en quantité suffisante des coagulants, habituellement des sels de métaux trivalents, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ou FeCl_3 , on obtient un précipité appelé floc. Lorsque le pH de l'eau est situé dans une plage acide ou neutre, le floc constitué de molécules de $\text{Al}(\text{OH})_3$ ou le $\text{Fe}(\text{OH})_3$, possède habituellement une charge positive, la présence de certains anions et de particules colloïdales accélère la formation du précipité. Les particules colloïdales jouent le rôle de noyaux lors de la formation du floc, ce phénomène peut entraîner une relation inverse entre la turbidité et la quantité de coagulant nécessaire [10].

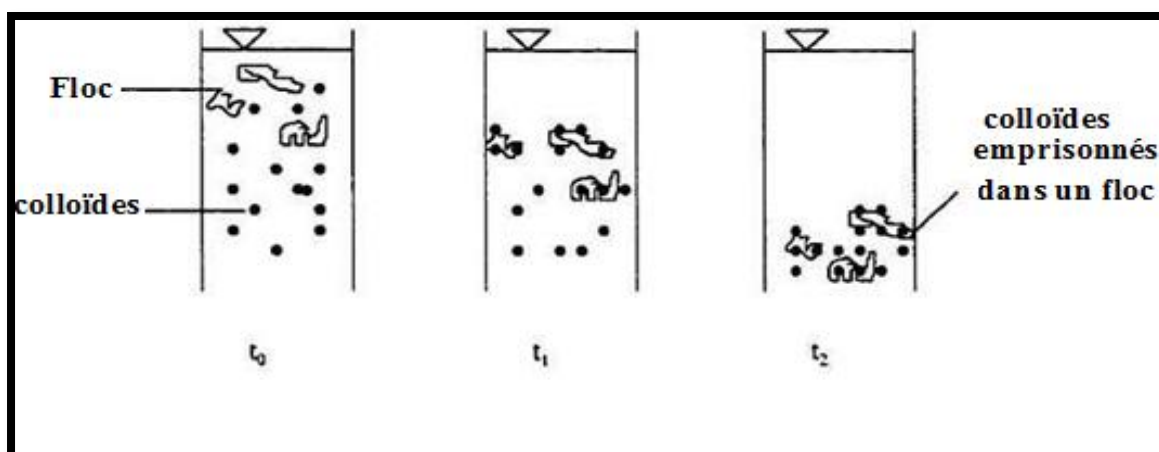


Figure N°18: Emprisonnement des particules dans les floes pendant la décantation [43].

III.4.1.2.4. L'adsorption et pontage :

Ce mécanisme implique l'utilisation de polymères cationiques, non anioniques ou anioniques ayant une masse moléculaire élevée et une structure longitudinale [4].

Ce phénomène, inexplicable à l'aide de la théorie électrique peut toutefois être expliqué par le pontage. Les molécules de polymères, très longues constituent des groupes chimiques qui peuvent adsorber des particules colloïdales. Les molécules de polymères peuvent ainsi adsorber une particule colloïdale à une de ses extrémités, alors que d'autres sites sont libres pour adsorber d'autres particules. On dit alors que les molécules de polymères forment des ponts. Entre les particules colloïdales, il peut y avoir réstabilisation de la suspension, réstabilisation imputable à une concentration excessive de polymères. Dans ces conditions, les sites libres de plusieurs molécules de polymères s'accrochent à une même particule colloïdale. Cet ensemble particule-molécule de polymère ne peut plus par la suite adsorber d'autres particules colloïdales, ce qui est encore contraire au but recherché [10].

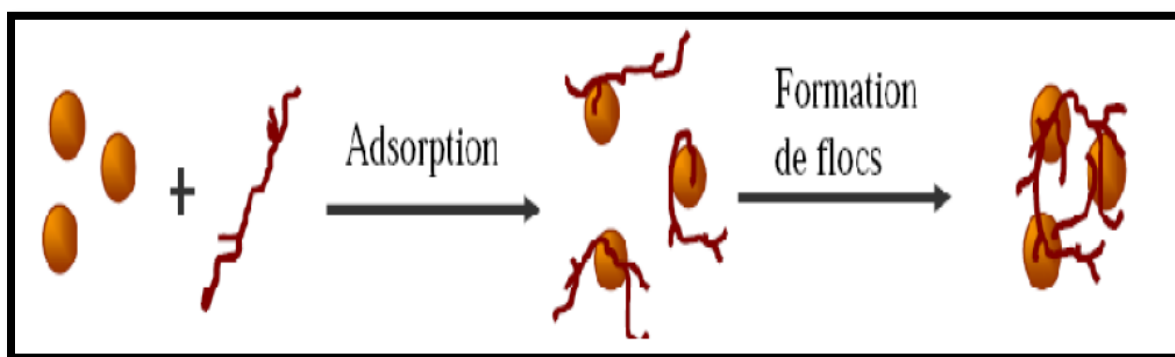


Figure N°19: Adsorption et pontage à l'aide de polymères [1].

III.4.1.3. Les coagulants utilisés :

Les coagulants sont des produits qui neutralisent les charges de surface des matières colloïdales. Les coagulants principalement utilisés pour déstabiliser les particules colloïdales [43].

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les coagulants les plus efficaces sont des sels de métaux, à bases d'aluminium ou de fer [1].

III.4.1.3.1. Les sels d'aluminium :

A. Le sulfate d'aluminium :

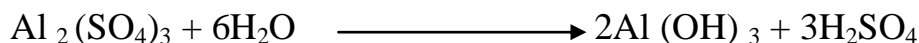
Le sulfate d'aluminium est le plus utilisé en coagulation. C'est un sel basique, hydraté, commercialisé sous la forme solide $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, il se dissocie dans l'eau en ions

CHAPITRE III : COAGULATION-FLOCCULATION ET DECANTATION

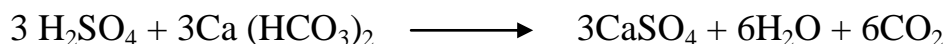
aluminium et sulfate, conduisant à des réactions chimiques avec les ions hydroxydes de l'eau [43].

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 15 à 100 g/m³ [75].

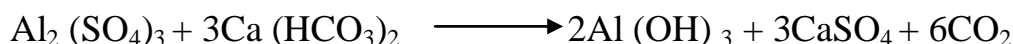
En effet, l'ion aluminium réagit sur l'eau pour former l'hydroxyde d'aluminium qui précipite sous la forme d'un floc volumineux.



Il se forme un acide qui réagit avec le bicarbonate présent dans l'eau.



La réaction globale est :



[43].

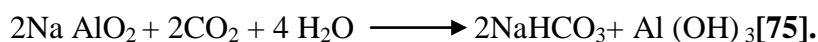
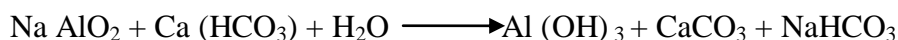
B. Le chlorure d'aluminium :

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 12 et 40 g/m³. La formule de réactif commercial de chlorure d'aluminium est $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$



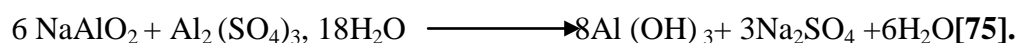
C. L'alumine de sodium seul :

Suivant la turbidité de l'eau, la dose sera comprise entre 5 et 50 g/m³. La formule de réactif commercial d'aluminate de sodium est à 50% de Al_2O_3



D. L'addition de sulfate d'aluminium et l'aluminate de sodium :

Pour une réaction équimoléculaire, il faut que la dose en aluminate de sodium commercial soit égale à 75 % de la dose de sulfate d'alumine commerciale. La dose d'aluminate peut cependant être beaucoup plus faible et dans ce cas le réactif ne sert qu'à amorcer la coagulation de sulfate d'alumine.



E. Le P.C.B.A :

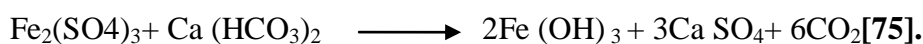
C'est un polychlorure basique d'aluminium dont la formule chimique générale est $[\text{Al}_2(\text{OH})_5\text{Cl}]_n$ il est sous forme très instable [44].

III.4.1.3.2. Les sels de fer :

En général, les composés du fer semblent avoir de légers avantages comparativement aux autres et ces, grâce au fait que le floc formé soit lourd et se dépose facilement sous des conditions favorables [43].

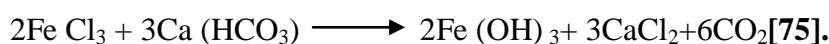
A. Le sulfate ferrique :

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferrique sera comprise entre 10 et 50 g/m³



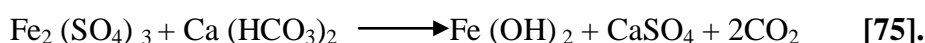
B. Le chlorure ferrique :

La dose de chlorure ferrique sera comprise entre 5 et 150 g/m³, pour la clarification des eaux de surface, et entre 50 et 300 g/m³ pour la clarification des eaux résiduaires.



C. Le sulfate ferreux :

Suivant la turbidité de l'eau, la dose de sulfate ferreux sera comprise entre 5 et 25 g/m³.



III.4.1.3.3. Autres coagulants minéraux :

A. Le sulfate de cuivre :

La dose de sulfate de cuivre est comprise entre 5 et 20 g/m³. ce produit est principalement utilisé comme algicide [50].

B. L'ozone :

L'ozone n'est pas considéré comme un coagulant au sens propre du mot mais il déclenche un mécanisme de coagulation lorsque l'eau présente des complexes liants des matières organiques comme le fer ou manganèse [22].

C. Le chlore :

Sur l'eau de mer le chlore libre est nécessaire pour initier les réactions de coagulation [76].

Les produits les plus utilisés sont le sulfate d'aluminium et le chlorure ferrique. Ces coagulants, une fois introduits dans l'eau, forment des produits d'hydrolyse qui déterminent l'efficacité de la coagulation. Par exemple, lorsque le sulfate d'aluminium est utilisé, plusieurs polymères sont formés [77].

III.4.1.4. Les facteurs influençant la coagulation :

Afin d'optimiser la coagulation, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelation [10].

Ces variables sont liées à la qualité de l'eau à traiter : le pH, la turbidité, la couleur, les sels dissous et la température. D'autres sont liés au traitement lui-même : la nature, la dose du coagulant et le mode d'injection [43].

Les interrelations complexes entre ces facteurs interdisent actuellement toute approche théorique permettant de prédire quelles sont les concentrations optimales de coagulants [10].

III.4.1.4.1. L'influence du pH :

Le pH est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation. Pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation sera faite rapidement qui est en fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter. En cas où la coagulation produit hors de cette plage optimale, on propose soit à augmenter la quantité de coagulant, soit se contenter d'une eau de moins bonne qualité [10].

Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium sont présentées dans le tableau suivant : [43]

Tableau N°7: Les zones de prédominance des hydroxydes de fer et d'aluminium.

Forme prédominante	pH
Al (OH) ₃	5,8 à 7,2
Fe (OH) ₃	5,5 à 8,3

Une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation. En général, le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes [45].

III.4.1.4.2. L'influence de la minéralisation :

Les sels contenus dans une eau exercent les influences suivantes sur la coagulation et la floculation :

- ❖ Modification de la plage de pH optimale ;
- ❖ Modification du temps requis pour la floculation ;
- ❖ Modification de la quantité de coagulant requis ;
- ❖ Modification de la quantité résiduelle de coagulant dans l'effluent [10].

III.4.1.4.3. L'influence de la température de l'eau :

La température est un facteur physique important qui joue un rôle non négligeable lors la coagulation [29].

En effet, une température basse, entraînant une augmentation de la viscosité de l'eau, crée une série de difficultés dans le déroulement du processus : la coagulation et la décantation du floc sont ralenties et la plage du pH optimal diminue. Pour éviter ces difficultés, une solution consiste à changer de coagulant en fonction des saisons [45].

III.4.1.4.4. L'influence du coagulant :

Le choix du coagulant influence les caractéristiques de la coagulation, autrement dit, les finalités de traitement, même si l'alun est le coagulant le plus utilisé. Il peut être avantageux de le remplacer par un autre coagulant ou de mettre de l'adjuvant selon les caractéristiques de l'eau à traiter [4].

On ne peut choisir un coagulant et en déterminer la concentration optimale pour une eau donnée, qui après avoir effectués des essais en laboratoire la théorie qui explique les différents mécanismes de déstabilisation des particules colloïdales n'est pas suffisamment développée pour qu'on puisse résoudre un problème aussi complexe. Cette théorie est cependant très utile aux moments de la planification des essais de laboratoire et de l'interprétation des résultats obtenus.

Ainsi, même si le sulfate d'aluminium est le coagulant le plus fréquemment utilisé, il peut être avantageux de le remplacer par du sulfate ferrique. Ce dernier procure en effet à plusieurs eaux une plage de pH optimal plus large que celle due à l'alumine. De plus pour un même pH élevé, le sulfate ferrique est moins soluble que l'alun [53].

III.4.1.4.5. L'influence de l'agitation :

Le processus de coagulation floculation se déroule généralement en deux étapes [43] :

La première étape c'est l'agitation énergique rapide de courte durée (2 minutes au maximum). Elle a pour but de favoriser la dispersion et l'homogénéisation des produits injectés dans la totalité du volume d'eau à traiter ; mais une agitation intense peut empêcher l'agrégation des particules.

La deuxième étape c'est l'agitation lente (30 à 60 min) et elle a pour but de provoquer les contacts entre les particules pour former des floccs décantables [29].

III.4.1.4.6. L'influence de la turbidité :

La turbidité est un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation [45]. Elle est principalement due à la présence de particules de diamètre de 0,2 à 5 μm . Il s'agit donc là de grosses particules colloïdales qui peuvent se déposer naturellement. [10].

L'augmentation de la quantité de coagulant ne varie tout fois pas de façon linéaire en fonction de la turbidité. Lorsque la turbidité est très élevée, la quantité de coagulant nécessaire est relativement faible, car la probabilité de collision entre les particules est très élevée. Par contre, lorsque la turbidité est faible, la coagulation est difficile [75].

III.4.1.4.7. L'influence de la couleur :

Des études ont révélé que 90% des particules responsables de la couleur avaient de diamètre supérieur à 3,5 nm ; Ces particules sont donc des particules colloïdales les beaucoup plus petites que les particules responsables de la turbidité.

La plupart des particules responsables de la couleur possèdent des charges négatives à leur surface.

La quantité de coagulant requise est fonction de la couleur initiale ; pour un pH optimal, la couleur résiduelle décroît proportionnellement avec l'augmentation de la quantité de coagulant utilisée. Le pH optimal pour l'élimination de la couleur varie entre 4 et 6 [10].

III.4.2. La floculation :

III.4.2.1. Le principe de phénomènes :

Après avoir été déstabilisées, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact les unes avec les autres. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers.

La floculation a justement pour but d'augmenter la probabilité des contacts entre les particules, lesquelles sont provoquées par la différence de vitesse entre ces particules [10].

Ce phénomène est pour la formation de floes de taille plus importante. On utilise, pour ce faire, des flocculants.

Comme pour la coagulation, il existe un certain nombre de paramètres à prendre en compte pour le bon fonctionnement de ce procédé. Le mélange doit être suffisamment lent afin d'assurer le contact entre les floes engendrés par la coagulation. En effet, si l'intensité du mélange dépasse une certaine limite, les floes risquent de se briser. Il faut également un temps de séjour minimal pour que la floculation ait lieu. La durée du mélange se situe entre 10 et 60 minutes [45].

L'expression de SMOLUCHOWSKY permet de comprendre ce phénomène. La formulation est la suivante :

$$\ln \frac{N}{N_0} = - \frac{4}{\pi} \alpha \Omega G t$$

Avec :

N et N_0 : nombre de particules colloïdales libres à l'instant t et t_0 ,

α : facteur de fréquence de collision efficace,

Ω : volume de particules par volume de suspension,

G : gradient de vitesse,

t : temps de contact [45].

III.4.2.2. Les types de floculation :

Pour arriver à la décantation des particules colloïdales coagulées, il est nécessaire de les passer par une opération de floculation. Cette floculation peut être faite à l'aide d'une de ces deux méthodes suivantes :

- La floculation physique ;
- La floculation chimique [4].

III.4.2.2.1. La floculation physique :

Elle consiste à augmenter par la création d'une différence de vitesse entre les particules colloïdales déstabilisées, la probabilité des contacts entre ces particules afin de les agglomérer en flocs denses ensuite de les décanter. [4].

Deux mécanismes assurent la mobilité des particules : le mouvement brownien (floculation péricinétique); et le brassage mécanique (floculation orthocinétique) [72].

A. La floculation péricinétique :

Durant ce type de floculation, les contacts entre les particules sont causés par le mouvement brownien qui est en fonction de la température de l'eau [72 ; 10].

Le taux de variation du nombre des particules est exprimé par l'équation suivante :

$$F_p = \frac{dN}{dt} = -4 \frac{\Gamma k \theta (N)^2}{3\eta}$$

Avec :

N : nombre de particules par m^2 ;

Γ : facteur tenant en compte l'efficacité de collisions ;

K : constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$) ;

θ : température (K) ;

η : viscosité dynamique de l'eau ($\text{Pa} \cdot \text{s}$).

Le taux de variation du nombre de particules, lors de la floculation péricinétique est important lorsque la taille des particules est inférieure à 1 micron [72].

B. La floculation orthocinétique :

Ce type de floculation est fonction de l'énergie dissipée dans le fluide. Elle est donc causée par le brassage de l'eau qui permet d'augmenter les chances de contacts entre les particules. La vitesse du fluide varie dans l'espace et dans le temps et est caractérisée par le gradient de vitesse, G .

L'efficacité du processus est exprimée selon l'équation suivante lorsque le régime est turbulent :

$$\frac{dN}{dt} = - \frac{2}{3} \Gamma G^3 N^2$$

Où :

G : gradient de vitesse (s^{-1}) ;

d : diamètre des particules (m).

Le gradient de vitesse est défini selon l'équation suivant :

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}}$$

Où

P : puissance réellement dissipée (W) ;

V : volume du bassin (m^3) ;

μ : viscosité dynamique de l'eau ($kg/m*s$) [72].

III.4.2.2. La floculation chimique :

C'est la floculation qui est provoquée par l'agitation de l'eau. Cette agitation facilite l'agrégation des particules par augmentation de la probabilité de collisions entre ces particules.

Elle consiste en une agglomération par pontage des particules colloïdales déchargées à l'aide de certains produits chimiques appelés floculants.

Lorsque la turbidité de l'eau est très élevée, la floculation peut être réalisée aussi par recirculation des boues déjà formées par le traitement antérieur pour que les particules colloïdales déstabilisées puissent s'accrocher avec ces boues et par conséquent puissent décanter. La floculation dans ce cas est dite par voile de boue [22].

III.4.2.3. Les floculants utilisés :

Les floculants ou adjuvants de floculation sont, dans leur grande majorité, des polymères de poids moléculaire très élevé [45].

Ces polymères emprisonnent les matières colloïdales agglomérées et forme ainsi des flocons volumineux qui se déposent par gravité. Ils sont ajoutés après la coagulation pour augmenter davantage la taille et la cohésion des flocons [78].

Les floculants peuvent être de trois natures différentes :

- Les floculants minéraux ;
- Les floculants organique ;
- Les floculants de synthèse [4].

A. Les flocculants minéraux :

Ce sont des produits chimiques qui agissent par adsorption ou par neutralisation sur une eau brute qui ne contient pas assez de matières en suspension. Les flocculants connus sont la silice activée, certaines argiles colloïdales comme la bentonite ou le charbon actif en poudre, certains hydroxydes à structure polymère comme l'alumine ou l'hydroxyde ferrique et la sable fin (micro sable)[4].

B. Les flocculants organique :

Ils sont hydrosolubles et qui peuvent voir une charge anionique, cationique ou neutre. On peut citer exemple l'amidon, les alginates ou les polysaccharides.

C. Les flocculants de synthèse :

Ce sont des produits fabriqués à partir de monomères à très haute masse moléculaire (entre 105 et 107). Ces polymères ont un rendement supérieur aux polymères naturels. Ils sont classés suivant leur ionicité :

- Anionique : conçu à partir de polymère d'acrylamide et de l'acide acrylique ;
- Neutre : conçu à partir de polycrylamides ;
- Cationique : conçu à partir d'acrylamide et de méthacrylate de diméthylamino-éthyle ou d'acrylate de diméthylamino-éthyle[4].

III.4.3. La mise en œuvre de la coagulation- flocculation :

Il faut associer dans un temps assez court, deux phases distinctes et incompatibles. En effet, les conditions de mise en œuvre de la coagulation sont différentes de celles de la flocculation. On distingue les deux phases suivantes :

- 1^{ère} phase : mélange rapide et vigoureux ;
- 2^{ème} phase : mélange lent.

Dans un premier temps, un mélange rapide est nécessaire pour disperser les additifs dans la totalité du volume d'eau à traiter. L'injection se fait dans une zone de turbulence créée par des chicanes ou par mélange mécanique avec des pâles ou hélices. La deuxième phase favorise les contacts entre les particules de floes sans les léser. Le mélange doit être néanmoins assez énergétique pour engendrer des différences de vitesse dans le bassin nécessaire à la rencontre des particules [53].

III.4.4. Les avantages et les inconvénients de la coagulation-floculation :

III.4.4.1. Les avantages :

- L'utilisation de ce procédé chimique est très répandue, il y a donc beaucoup d'équipement déjà existant et une multitude d'agents chimiques disponibles;
- Les systèmes de coagulation-floculation chimique sont généralement automatisés et demandent donc peu de surveillance et d'entretien. Une main-d'œuvre hautement qualifiée n'est souvent pas nécessaire;
- Contrairement aux systèmes biologiques, ce système requiert moins d'espace et les coûts d'installation sont moins importants;
- Une réduction significative est obtenue en terme de micropolluants, de métaux lourds, de bactéries et de virus;
- Les systèmes chimiques de coagulation-floculation peuvent être conçus afin d'obtenir un produit à valeur ajoutée [78].

III.4.4.2. Les inconvénients :

- Puisqu'il y a plusieurs réactions en compétition dans ce type de système chimique et plusieurs degrés d'alcalinité en plus des autres facteurs influençant le procédé, il est particulièrement difficile d'établir les bons dosages. Beaucoup d'essais à l'échelle laboratoire sont donc nécessaires pour trouver un traitement optimal. Une surdose de coagulant chimique peut diminuer l'efficacité du système;
- Les coagulants utilisés sont souvent corrosifs, des normes de sécurité doivent être respectées afin que les travailleurs manipulent ces substances avec précaution;
- La présence d'aluminium résiduel peut entraîner des problèmes importants pour la santé comme l'Alzheimer et autres pathologies de ce genre. Il est donc toxique pour les écosystèmes. Le fer aussi est toxique pour la faune. Cette toxicité génère plusieurs inquiétudes au niveau du grand public;
- En eau froide, le processus est peu efficace;
- Pour les pays en voie de développement, les coagulants chimiques peuvent être trop coûteux [78].

III.5. LA DECANTATION :

III.5.1. Définition de la décantation :

C'est un procédé utilisé pratiquement dans toutes les stations de traitement des eaux. Elle a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration [43].

III.5.2. La classification des matières décantables :

On distingue deux types de matières décantables :

- Les particules grenues, qui conservent les mêmes dimensions au cours de leur chute ; elles sédimentent indépendamment les unes des autres avec une vitesse de chute constante.
- Les particules coalescentes s'agglomèrent pendant la sédimentation, on distingue : la décantation diffuse et la décantation en piston
 - La décantation diffuse : lorsque la concentration en MES est faible ; le floc dispersé décante comme s'il était seul, sa vitesse de chute augmente au fur et à mesure que d'autres particules plus fines s'y agglomèrent.
 - La décantation en piston : lorsque la concentration en MES est élevée, on a une décantation d'ensemble des floccs qui sont freinés au cours de leur chute [14].

III.5.3. Les types de décantation:

Selon la concentration en solide et la nature des particules (densité et forme), on distingue quatre types de décantation: la décantation de particules discrètes, de particules flocculantes, la décantation freinée et en compression de boues [10].

III .5.3.1. Décantation de particules discrètes :

Ce type de décantation (dite discrète ou individuelle) est caractérisé par le fait que les particules conservent leurs propriétés physiques initiales (forme, dimension et densité) au cours de leur chute.

La vitesse de chute est indépendante de la concentration en solide ; c'est pourquoi les lois classiques de Newton et de Stokes s'appliquent ici.

III.5.3.1.1. Principe de base :

Lorsqu'une particule chute, sa vitesse augmente jusqu'à ce que les forces de décantation (poids) équilibrent les forces de frottement.

Cette situation, pour laquelle $dV_p/dt = 0$, correspond au point d'équilibre des forces autour de la particule.

Considérons les forces agissantes sur une particule qui chute (figure 20). D'après cette figure, on peut écrire que :

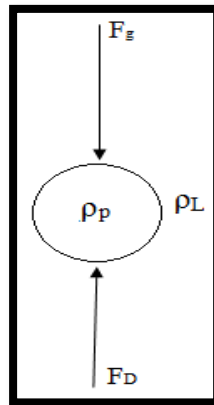


Figure N°20: Forces agissantes sur une particule qui chute.

On sait que :

$$F_r = F_g - F_D \quad (1)$$

$$F_g = (\rho_p - \rho_L) g b \quad (2)$$

$$F_D = \frac{C_D A_p \rho_L V_p^2}{2} \quad (3)$$

$$F_r = \rho_p b \frac{dV_p}{dt} \quad (4)$$

Où

F_g = force de décantation due à la pesanteur (N).

F_D = force de traînée (N).

F_r = force résultante (N).

ρ_p = masse volumique de la particule (kg/m³).

ρ_L = masse volumique de l'eau (kg/m³).

b= volume de la particule (m³).

A_p= aire de la section de la particule (m²).

CD = coefficient de traînée.

V_p = vitesse de chute de la particule (m/s).

t= temps (s)

g= accélération due à la pesanteur (m/s²).

Pour les particules sphériques, on sait que :

$$A_p = \frac{\pi d^2}{4} \quad (5)$$

Et

$$b = \frac{\pi d^3}{6} \quad (6)$$

Où d : diamètre de la particule

En combinant les équations(1) à (6), on obtient

$$\frac{dv_p}{dt} = \left(\frac{\rho_p - \rho_L}{\rho_p} \right) g - \frac{3}{4} \frac{C_D \rho_L v_p^2}{\rho_p d} \quad (7)$$

La particule qui chute accélère jusqu'à ce que sa vitesse à l'équilibre soit :

$$\frac{dv_p}{dt} = 0$$

$$v_p = \left[\frac{4g(\rho_p - \rho_L)}{3C_D \rho_L} d \right]^{1/2} \quad (8)$$

La valeur de CD, coefficient de traînée, est définie par la perturbation, elle-même fonction de la vitesse de chute (12). Cette perturbation est caractérisée par le nombre de Reynolds R_e défini par:

$$R_e = \frac{\rho_L v_P d}{\mu} \quad (9)$$

Re : nombre de Reynolds.

μ : viscosité dynamique de l'eau (pas.s).

Le coefficient de traînée est donné par : $C_D = a \cdot Re^{-n}$ avec a et n constantes

Tableau N°8: Les différentes valeurs de a, n et C_D en fonction du nombre de Reynolds.

Re	Régime	A	n	C_D	Formule
$10^{-4} < Re < 1$	Laminaire	24	1	$24 \cdot Re^{-1}$	Stokes
$1 < Re < 10^3$	Intermédiaire	18,5	0,6	$18,5 \cdot Re^{-0,6}$	Allen
$10^3 < Re < 4 \cdot 10^5$	Turbulent	0,44	0	0,44	Newton

Par ailleurs, pour ces particules sphériques. On peut estimer la valeur du coefficient de frottement pour le cas suivant :

Nombre de Reynolds inférieur ou égal à 1.

$$C_D = \frac{24}{R_e} \quad (10)$$

Puis, en combinant les équations (9) et (10) on obtient :

$$C_D = \frac{24\mu}{\rho_L v_P d} \quad (11)$$

Puis, en combinant les équations (8) et (11), on obtient l'expression de la vitesse par la relation de Stokes qui valable en régime laminaire :[10]

$$v_P = \frac{g(\rho_P - \rho_L)d^2}{18\mu} \quad (12)$$

III.5.3.2. Décantation de particules floculantes:

Ce type de décantation est caractérisé par l'agglomération des particules au cours de leur chute. Les propriétés physiques de ces particules (formes, dimension, densité et vitesse de chute) sont donc modifiées pendant le processus

Durant la décantation, les particules s'agglomèrent à un certain rythme, et les particules qui résultent de cette agglomération sont à la fois plus grosses et moins denses que les particules initiales. Cette modification continue des caractéristiques des particules rend la conception de modèle mathématique beaucoup plus complexe. On doit donc, dans la plupart des cas, procéder à des essais de laboratoire [10].

III.5.3.2.1. Principes de base :

La décantation d'une solution diluée de particules floculantes est fonction non seulement des caractéristiques de décantation de ces dernières, mais également de leurs caractéristiques de floculation. En effet, l'agglomération des particules favorise la décantation, même si la densité des particules résultantes est inférieure à celle des particules initiales, puisque la vitesse de décantation est fonction du diamètre et de la densité des particules, ainsi que de la viscosité dynamique de l'eau.

La floculation joue un rôle important dans le procédé de décantation. Le taux de floculation des particules est fonction :

- a) de la distance que les particules parcourent.
- b) de la charge superficielle;
- c) des gradients de vitesse dans le bassin;
- d) de la concentration des particules;
- e) du diamètre des particules [10].

III.5.3.3. Décantation freinée :

Ce type de décantation est caractérisé par une concentration élevée de particules ; ce qui entraîne la formation d'une couche de particule et, par conséquent, l'apparition d'une démarcation nette entre les solides décantés et le liquide surnageant. On trouve ce type de décantation dans la partie profonde des décanteurs [10].

III.5.3.4. Décantation en compression de boue :

Dans ce type de décantation, les particules entrent en contact les unes avec les autres et reposent sur les couches inférieures. Dans cette zone, le phénomène de consolidation est relativement lent. On retrouve ce type de décantation dans les épaisseurs de boues par gravité [10].

III.5.4. Les décanteurs :

Les décanteurs sont des appareils dans lesquels l'eau circule d'une manière continue, très lentement, de façon qu'elle puisse abandonner ses matières en suspension et colloïdales rassemblées dans les flocons formés dans le flocculateur.

Les boues sont recueillies à la partie inférieure puis évacuées périodiquement ou par raclage continu si leur volume est important [79].

D'après leur forme extérieure et le sens de l'écoulement de l'eau, on peut distinguer deux types de décanteurs [43] :

-Décanteurs à écoulement horizontal, ou décanteurs couloirs : L'eau circule sensiblement horizontalement et les flocons se déposent au fur et à mesure de la progression du floc vers la sortie de l'appareil. Les installations très importantes sont parfois équipées de décanteurs horizontaux à étages dans le but de multiplier les surfaces de décantation tout en maintenant une surface projetée au sol relativement faible. On trouve le décanteur : Rectangulaire et circulaire

-Décanteurs à écoulement vertical : Dans les décanteurs verticaux, l'eau circule de bas en haut, c'est-à-dire en sens inverse de la chute des particules : la vitesse de chute de ces derniers doit donc être supérieure à celle de la vitesse ascensionnelle de l'eau. Ces types de décanteurs conviennent plutôt pour les faibles débits, à moins que l'eau à traiter ne renferme des flocons de fortes densités [79].

Il existe différents types de décanteurs parmi ceux il y a les décanteurs classiques et les décanteurs lamellaires.

- Les décanteurs classiques sont caractérisés par la surface de décantation égale la surface de base ;
- Les décanteurs lamellaires :

Un décanteur lamellaire est un décanteur à flux horizontal. L'inclinaison et la succession des lamelles dans la partie supérieure du décanteur permettent de diminuer la surface d'occupation du sol en augmentant la surface de décantation.

Les matières de vidange et les graisses sont généralement floculées avant d'être admises en décantation. L'eau et les « boues », par effet de densité, circulent en sens inverse : l'eau remonte le long des lamelles, et les boues s'accumulent dans le fond[80].

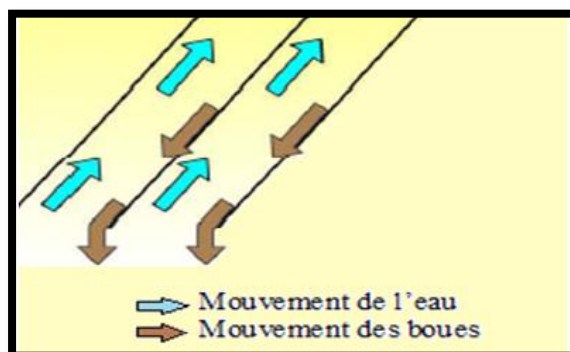


Figure N°21: Décanteur lamellaire à contre-courant [74].

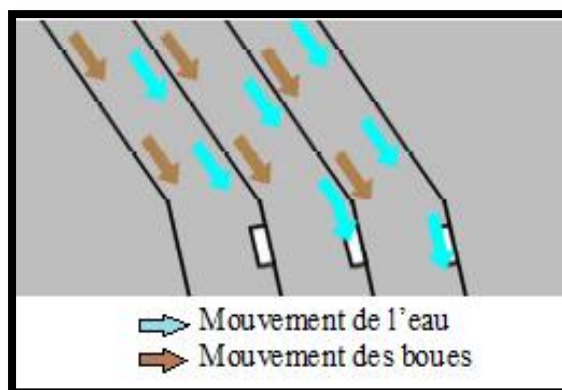


Figure N°22: Décanteur lamellaire à Co-courant[74].

III.6. LA MISE EN ŒUVRE DE LA CLARIFICATION PAR COAGULATION-FLOCCULATION ET DECANTATION :

La clarification des eaux peut s'effectuer soit par : La clarification totale ou partielle.

La clarification totale : elle est attribuée aux eaux fortement turbides, de couleur très importante de teneur en matières en suspension élevée. Elle peut être effectuée par une coagulation totale suivie d'une floculation, décantation et enfin filtration.

La clarification partielle : lorsque l'eau est peu chargée en permanence avec une faible teneur en matières organiques, il est possible d'utiliser pour la traiter, la clarification partielle. Elle peut être effectuée par une coagulation partielle suivie d'une floculation puis directement d'une filtration. La floculation dans ce cas a pour but non pas d'activer la sédimentation mais d'empêcher la pénétration des floccs dans le lit filtrant [22].

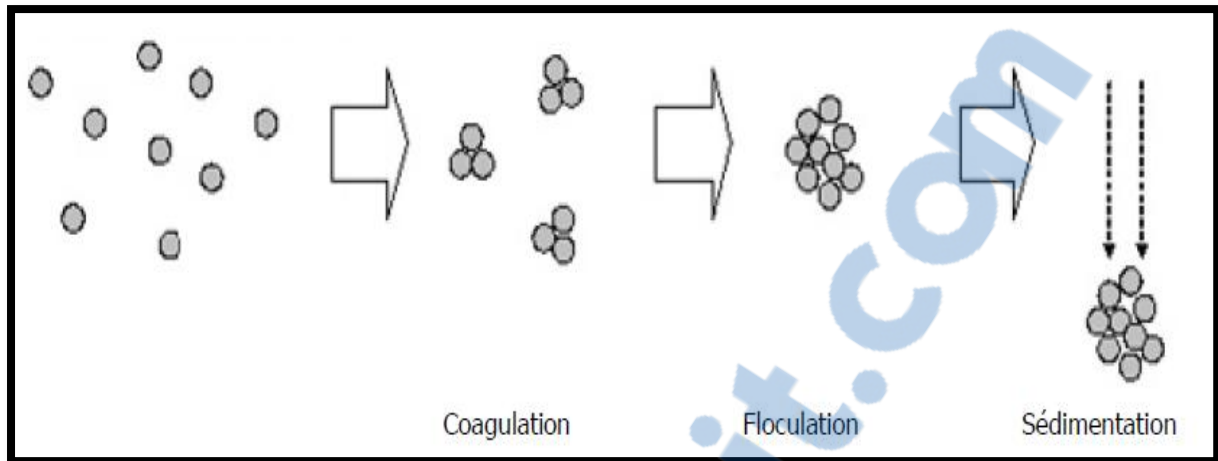


Figure N°23: Processus de coagulation, floculation et de sédimentation [71].

III.7. CONCLUSION :

La décantation naturelle ne peut jamais atteindre à un état de clarification complète des eaux brutes prétraitées. Elle n'élimine que des composés minéraux et organiques décantables qui ont une densité supérieure à celle de l'eau. Il reste des particules stables non décantables qui sont responsables de la couleur et la turbidité de l'eau, dites particules colloïdales.

Pour arriver à la transparence de ces eaux pendant une courte durée, on a recours aux procédés de coagulation floculation et décantation.

Dans ce chapitre nous avons détaillé, plus particulièrement, ces procédés sur lesquels porte spécifiquement notre étude.



Partie II : **partie** **expérimentale**

Chapitre IV : Mode opérateur, les appareillages et les réactifs

IV.1. INTRODUCTION:

Puisque la coagulation floculation prend sa place pratiquement dans toutes les stations de traitement ou d'épuration des eaux, on procède dans ce travail de montrer la mise en œuvre et le fonctionnement de cette étape de traitement à l'aide de l'étude expérimentale de la coagulation floculation et nous prendrons en considération la décantation classique par rapport à celle lamellaire (co-courant et contre-courant). Dans cette partie expérimentale, nous avons montré l'importance du Jar-test dans le choix d'un réactif et la détermination des concentrations optimales nécessaire à une réduction maximale de la turbidité de l'eau saumâtre. Les essais ont été réalisés au laboratoire de traitement et d'épuration des eaux du département d'Hydraulique à l'Université de Tlemcen sur des échantillons d'eaux saumâtre turbides préparés par la dissolution de sel et de la chaux avec une eau de robinet.

IV.2. LES OBJECTIFS DU TRAVAIL :

Les objectifs de ce travail sont :

- L'étude de l'influence de la concentration du coagulant sur le rendement de l'élimination de la matière en suspension;
- L'étude de l'influence de la concentration du floculant sur le rendement de l'élimination de la matière en suspension;
- L'étude de l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre sur la coagulation floculation;
- L'étude de l'influence de la vitesse et de la durée d'agitation sur le rendement de l'élimination de la matière en suspension;
- L'étude de l'influence de la décantation classique par apport à celle lamellaire co-courant et contre-courant.

Pour réaliser ces objectifs, il faut suivre les étapes suivantes :

- Pour la phase de coagulation floculation :
 - Trouver la dose optimale du coagulant et/ ou floculant en fonction de la nature d'eau saumâtre turbide et ;
 - optimisation de la vitesse et le temps d'agitation.
- Pour la phase de décantation :
 - Il s'agit d'étudier l'efficacité du décanteur classique par apport à celle lamellaire co-courant et contre-courant.

IV.3.LA MANIPULATION :

L'étude du procédé de coagulation-floculation est réalisée sous forme de manipulation « Jar-test » à l'aide d'un flocculateur 11197 équipé de quatre pâles en acier inoxydable.

Avant de commencer les manipulations de coagulation-floculation, nous avons :

- Préparer l'eau saumâtre turbide par la dissolution de sel et de la chaux avec l'eau de robinet ;
- Mesurer la turbidité, la température, la salinité et le pH de l'échantillon d'eau saumâtre turbide.

Afin de choisir les meilleurs doses du coagulant et du flocculant, nous avons fait l'étude de l'influence de la vitesse d'agitation sur la coagulation floculation en utilisant le Jar-test et l'étude de la décantation sur le pilote TE 600.

IV.4. MODE OPERATOIRE :

IV.4.1. Mode opératoire de l'influence de concentration de coagulant :

Les étapes à suivre lors de l'étude de l'influence de concentration de sulfate d'alumine sur la coagulation-floculation d'eau saumâtre turbide sont les suivantes :

- Fixer la concentration de la chaux à 1 g/l ;
- Peser des concentrations croissantes de sel (1, 3, 5 g/l) ;
- Mélanger les avec l'eau propre pour obtenir des solutions qui portent des valeurs de salinité croissante et de même turbidité ;
- Remplir les béciers par l'eau à traiter (volume= 1litre) ;
- Mettre en route les agitateurs avec une vitesse maximale rapide égale à 200 tr/min ;
- Ajouter des doses croissantes de coagulant ;
- Laisser l'agitation rapide pendant 2 min ;
- Réduire la vitesse d'agitation jusqu'à 30 tr/min et laisser l'agitation lente pendant 20 min puis la décantation pendant 15 min ;
- Prélever à partir de chaque bécier 30 ml d'eau décantée, mesurer les paramètres suivants : la turbidité, le pH, la salinité et la température.

IV.4.2. Mode opératoire de l'influence de concentration de flocculant:

Une fois les paramètres mesurer et on trouve la dose optimale de coagulant ; on c'est bon de déterminer la dose optimale de flocculant.

Les étapes à suivre lors de l'étude de l'influence de concentration de kaolin et de polyamide sur la coagulation-floculation d'une eau saumâtre turbide sont les suivantes :

- Remplir les béchers par les mêmes solutions dans l'étude de l'influence de concentration de coagulant,
- Mettre en route les agitateurs avec une vitesse maximale rapide égale à 200 tr/min ;
- Ajouter la dose optimale de coagulant dans chaque bécher et laisser l'agitation rapide pendant 2 min ;
- Réduire la vitesse d'agitation jusqu'à 30 tr/min ;
- Ajouter les dose croissantes de flocculant;
- Laisser l'agitation lente pendant 20 min puis la décantation pendant 15 min ;
- Prélever à partir de chaque bécher 30 ml d'eau décantée, mesurer les paramètres suivants : la turbidité, le pH, la salinité et la température.

IV.4.3. Mode opératoire de l'influence de la vitesse et de la durée d'agitation:

IV.4.3.1. Mode opératoire de l'influence de la vitesse et de la durée d'agitation durant la coagulation :

- Fixer la concentration de la chaux à 1 g/l ;
- Peser des concentrations croissantes de sel (1, 3, 5 g/l) ;
- Mélanger les avec l'eau propre pour obtenir des solutions qui portent des valeurs de salinité croissante et de même turbidité ;
- Remplir les béchers par l'eau à traiter (volume= 1litre) ;
- Ajouter la dose optimale du coagulant obtenue lors de l'essai de l'influence des concentrations du coagulant ;
- On varie à chaque fois la vitesse d'agitation rapide (120 ; 150 ; 200) tr/min ;
- Augmenter le temps d'agitation d'une façon croissante (0,5 min, 1 min et 2 min) ;
- Réduire la vitesse d'agitation jusqu'à 30 tr/min (la vitesse durant la floculation est maintenue constante);

CHAPITRE IV : MODE OPERATOIRE, LES APPAREILLAGES ET LES REACTIFS

- Ajouter les doses optimales de floculant obtenue lors de l'essai de l'influence des concentrations du floculant;
- Laisser l'agitation lente pendant 20 min puis la décantation pendant 15 min (La durée d'agitation durant la floculation est maintenue constante);
- Prélever à partir de chaque béccher 30 ml d'eau décantée, mesurer les paramètres suivants : la turbidité, le pH, la salinité et la température.

Une fois que les conditions optimales de la phase rapide sont fixées, on a effectué les mêmes opérations avec la phase lente pour optimiser la durée et la vitesse.

IV.4.3.2. Mode opératoire de l'influence de la vitesse et durée d'agitation durant la floculation :

Une fois ces paramètres mesurés on peut identifier la vitesse et le temps d'agitation optimale de la phase lente (la floculation).

- Remplir les bécchers par les mêmes solutions dans l'étude de l'influence de la vitesse et durée d'agitation durant la coagulation ;
- Ajouter la dose optimale du coagulant obtenue lors de l'essai de l'influence des concentrations du coagulant avec une vitesse et un temps qui sont maintenue fixées ;
- Fixer chaque agitateur mécanique à une vitesse correspondante de 15, 30, 45, 60, 90 tr/min ;
- Ajouter les doses optimales de floculant obtenue lors de l'essai de l'influence des concentrations du floculant;
- Augmenter le temps d'agitation d'une façon croissante depuis un temps de 10min jusqu'au 50 min ;
- Prélever à partir de chaque béccher 30 ml d'eau après une décantation de 15min ;
- mesurer les paramètres suivants : la turbidité, le pH, la salinité et la température.

IV.4.4. Mode opératoire de l'influence de la turbidité de l'eau :

- Peser des concentrations croissantes de sel (1 - 3 - 5 g/l) ;
- Peser des concentrations croissantes de la chaux (0,5 – 1- 1,5- 2 g/l) ;
- Les mélanger avec de l'eau propre pour obtenir des solutions saumâtres à valeurs de turbidités croissantes ;
- A l'aide de jar-test, trouver la dose optimale du coagulant de chaque solution par la mesure des différents paramètres physico-chimique.

IV.4.5. Mode opératoire de la coagulation-floculation et décantation sur le pilote :

- On considère le pilote comme un jar test et le réacteur comme un bécher:
 - Fixer la concentration de la chaux à 1 g/l ;
 - Fixer la concentration de cela 5 g/l ;
 - Mélanger les avec l'eau propre pour obtenir une eau saumâtre turbide ;
 - L'eau saumâtre à traiter est maintenue dans le réacteur sous agitation permanente grâce à un agitateur à hélice à vitesse variable.
 - Mettre en route l'agitateur avec une vitesse maximale rapide ;
 - Ajouter la dose optimale de coagulant (0,054 g/l);
 - Laisser l'agitation rapide pendant le temps obtenue lors de l'essai de l'influence de la durées de coagulation;
 - Réduire la vitesse d'agitation ;
 - Ajouter la dose optimale de floculant obtenue lors de l'essai de l'influence des concentrations du floculant;
 - laisser l'agitation lente pendant le temps obtenue lors de l'essai de l'influence de la durée de floculation puis la décantation pendant 15 min ;
 - Prélever à partir de réacteur 30 ml d'eau décantée en haut et en bas ;
 - mesurer les paramètres suivants : la turbidité, le pH, la salinité et la température.

- On considère le pilote comme une station :

L'eau saumâtre à traiter est maintenue dans le bac d'alimentation de la suspension sous agitation permanente grâce à une pompe centrifuge immergée, puis alimenté à travers un débitmètre et une vanne de réglage VR1 dans le réacteur par une pompe centrifuge.

La solution du sulfate d'alumine est stockée dans un bac spécifique de 30 litres de capacité, puis alimenté au réacteur par l'intermédiaire d'une pompe péristaltique.

Le réacteur est maintenu sous agitation permanente grâce à un agitateur à hélice à vitesse variable.

Le produit de réaction est soutiré par surverse, puis alimenté le décanteur qu'on veut faire soit classique, soit lamellaire co-courant ou contre-courant [73].

CHAPITRE IV : MODE OPERATOIRE, LES APPAREILLAGES ET LES REACTIFS

IV.4.5.1. La coagulation- floculation et décantation lamellaire co-courant :

Le mode opératoire de la coagulation floculation et décantation lamellaire co-courant impose les étapes suivantes :

- Préparer la solution du floculant dans le bac d'alimentation du floculant à travers à une concentration du 2g/l avec une agitation continue ;
- Préparer la solution du sulfate d'alumine dans le bac d'alimentation du coagulant à une concentration de 0,324g/l;
- Régler le débit d'alimentation de la suspension à un débit fixé de 60 L/h pendant une heure et demi ;
- Régler le débit d'alimentation du floculant à un débit fixé de ;
- Régler le débit d'alimentation du coagulant à un débit fixé de 10 L/h ;
- Positionner les lamelles de telle manière que leur tige support supérieur soit introduite dans les rainures inférieures latérales des décanteurs vers la droite ;
- Positionner la vanne de distribution de décanteur VL1 de manière à alimenter celui-ci par le haut et
- Positionner la plaque verticale de fermeture de circuit hydraulique dans le décanteur de manière à éviter le passage direct d'eau brute coagulée vers la surverse d'eau clarifiée ;
- Lorsque le décanteur est plein et après deux heures, prenez deux échantillons : l'une d'eau à traiter contenant dans le bac d'alimentation de suspension et l'autre d'eau clarifiée et noter les paramètres suivants : la turbidité, le pH, la température et la salinité.

IV.4.5.2. La coagulation- floculation et décantation lamellaire contre-courant :

Le mode opératoire de la coagulation floculation et décantation lamellaire co-courant sauf la partie reliée du bassin de décantation qui est comme suite :

- Positionner les lamelles de telle manière que leur tige support supérieur soit introduite dans les rainures du décanteur vers la droite et leur base inférieure reposant sur les supports inférieurs latéraux du décanteur vers la gauche ;
- Positionner la vanne de distribution du décanteur VL1 de manière à alimenter celui-ci du bas ;
- Positionner la plaque horizontale de fermeture du circuit hydraulique dans le décanteur de manière à éviter le passage direct d'eau coagulée vers la surverse d'eau clarifiée sans passer par les lamelles ;

CHAPITRE IV : MODE OPERATOIRE, LES APPAREILLAGES ET LES REACTIFS

- Lorsque le décanteur est plein et après une heure et demi, prenez deux échantillons : l'une d'eau à traiter contenant dans le bac d'alimentation de suspension et l'autre d'eau clarifiée et noter les paramètres suivants : la turbidité, le pH, la température et la salinité.

IV.4.5.3. La coagulation- floculation et décantation classique:

Le mode opératoire de la coagulation floculation et décantation classique est le même que celle lamellaire, sauf la partie reliée du bassin de décantation qui impose l'enlèvement total des lamelles.

Lorsque le décanteur est plein et après une heure et demi, prenez deux échantillons : l'une d'eau à traiter contenant dans le bac d'alimentation de suspension et l'autre d'eau clarifiée et noter les paramètres suivants : la turbidité, le pH, la température et la salinité.

IV.5. DESCRIPTION DES APPAREILLAGES:

IV.5.2. Description du pilote TE 600 :

IV.5.2.1. Construction :

- 1 : cuve d'alimentation de la suspension, en PVC transparent, cylindrique, capacité utile 300 litres, avec vanne de vidange de type cylindrique sphérique ;
- 2 : canalisation d'alimentation de la suspension en PVC avec vanne de réglage à pointeau en laiton chromé ;
- 3 : cuve d'alimentation du coagulant, capacité utile 30 litres, avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC ;
- 4 : cuve d'alimentation du floculant, capacité utile 1litre, avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC ;
- 5 : Réacteur de mélange de la suspension et des réactifs chimiques, de type cylindro-conique en verre borosilicaté, capacité utile 20 litre, avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC ;
- 6 : agitateur du réacteur ;
- 7 : surverse de prélèvement de la suspension sortant de réacteur en PVC, réglable en hauteur ;
- 8 : décanteur statique de section rectangulaire avec cône de récupération des boues décantées en altuglas :

- Vanne d'alimentation de type trois voies en « L » à boisseau sphérique en PVC ;
- Chicane de passage du liquide clarifié ;
- Evacuation du liquide clarifiée supérieure ;
- Chicane amovible d'évacuation du liquide clarifié pour fonctionnement à contre-courant ;
- Chicane amovible d'évacuation du liquide clarifié pour fonctionnement à co-courant ;
- Vanne de vidange des boues du décanteur de type à boisseau sphérique en PVC.

9 : lamelles de décantation, amovibles, pour fonctionnement à contre-courant et co-courant, en altuglas, à démontage et inversion rapides (inclinaison des lamelles 30°);

10 : canalisation de recyclage éventuel des boues du décanteur vers le réacteur avec vanne d'arrêts de type à boisseau sphérique en PVC.

11 : charpente de supportage en tube carrés en acier inoxydable.

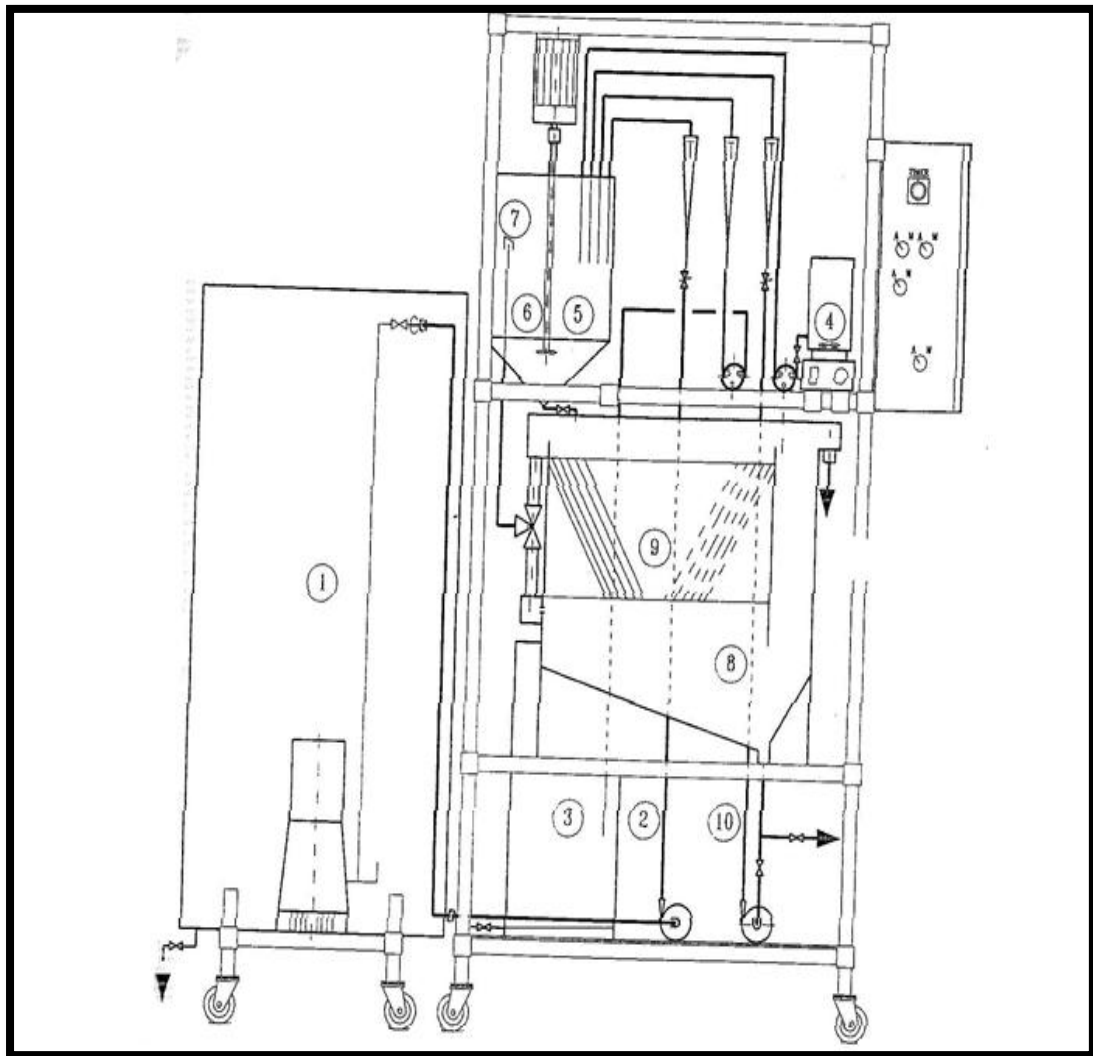


Figure N°24: Schéma de montage [73].

Le pilote de coagulation floculation-décantation permet d'étudier deux types de traitements : la coagulation-floculation et la décantation. On peut facilement étudier les deux séparément ou bien simultanément.

Le produit est préparé dans le bac d'alimentation (1) sous l'agitation permanente grâce à une pompe centrifuge immergée, puis alimenté à travers un débitmètre et une vanne de réglage (2) dans le réacteur (5) par une pompe centrifuge.

Le coagulant est stocké dans un bac spécifique (3) puis alimenté au réacteur par l'intermédiaire d'une seconde pompe péristaltique.

Le floculant est également stocké dans un bac spécifique (4) puis alimenté au réacteur par l'intermédiaire d'une seconde pompe péristaltique.

CHAPITRE IV : MODE OPERATOIRE, LES APPAREILLAGES ET LES REACTIFS

Le réacteur est maintenu sous agitation permanente (6) par un agitateur à hélice à vitesse variable. Le produit de la réaction est soutiré par surverse (7) puis alimenté dans le décanteur statique (8) muni de lamelles orientables (9).

Une partie des produits décantés peuvent être recyclés par l'intermédiaire d'un circuit (10) avec pompe centrifuge, vanne de réglage et débitmètre.

IV.5.2.2.Procédure générale de mise en route :

- Relier les tubulures de sortie du pilote à un égout :
 - ✓ Vidange de la cuve d'alimentation,
 - ✓ Vidange du décanteur,
 - ✓ Sortie de la surverse du décanteur
- Relier un tuyau souple entre une alimentation réseau d'eau propre et la cuve d'alimentation de suspension et le pilote,
- Relier le tuyau souple prévu cet effet entre la cuve d'alimentation suspension et le pilote,
- Brancher le câble d'alimentation électrique du pilote sur une prise 220 V + terre,
- Brancher le câble d'alimentation électrique de la pompe de mise en suspension de la cuve d'alimentation sur la prise de l'armoire de contrôle et de commande du pilote,
- Vidanger si nécessaire la cuve d'alimentation de la suspension avec la vanne VS1
- Laver si nécessaire cette cuve avec de l'eau propre s'il reste des produits insolubles,
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation de la suspension VS1,
- Fermer la vanne de réglage d'alimentation de la suspension VR1,
- Arrêter la pompe d'alimentation de la suspension par son bouton « ARRET/MARCHE » sur la position « ARRET »,
- Fermer la vanne de réglage du recyclage si nécessaire VR2,
- Fermer la pompe de recyclage si nécessaire par son bouton « ARRET/MARCHE » sur la position « ARRET »,
- Fermer la vanne d'arrêt d'alimentation de la suspension VA1,
- Vidanger la cuve d'alimentation de la suspension avec la vanne VS1,
- Arrêter la pompe d'alimentation du floculant si nécessaire par son bouton « ARRET/MARCHE » sur la position « ARRET »,
 - Arrêter la pompe d'alimentation du coagulant si nécessaire par son bouton « ARRET/MARCHE » sur la position « ARRET »,
 - Fermer la vanne de recyclage des boues du décanteur VA2,



CHAPITRE IV : MODE OPERATOIRE, LES APPAREILLAGES ET LES REACTIFS

- Ouvrir la vanne de soutirage du décanteur VS2,
- Pendant que le décanteur se vide, il convient d'enlever toutes les plaques inclinées de celui-ci si nécessaire,
- Laver ces plaques très soigneusement,
- Ouvrir la vanne de vidange du réacteur VS3 dans le décanteur,
- lorsque la cuve d'alimentation de la suspension est vide, il convient de laver soigneusement,
- Ouvrir la vanne d'alimentation générale d'eau « la cuve d'alimentation »,
- Laver la cuve avec le jet d'eau du tuyau souple d'alimentation l'eau,
- Vidange la cuve d'alimentation ;
- Continuer à remplir la cuve d'alimentation de la suspension avec de l'eau propre,
- Mettre en marche la pompe de mise en suspension de l'alimentation par son bouton « ARRET/MARCHE » sur la position « MARCHE » lorsque le niveau d'eau propre est suffisant, pendant quelques minutes, de manière à nettoyer le circuit interne de la pompe ainsi que la cuve par brassage,
- Arrêter la pompe d'alimentation de la suspension par son bouton « ARRET/MARCHE » sur la position « ARRET »,
- Fermer la vanne d'alimentation générale d'eau dans la cuve d'alimentation,
- Vidanger à nouveau la cuve d'alimentation de la suspension de manière à éliminer les produits insolubles encore présents dans cette cuve,
- Recommencer l'opération jusqu'à ce que la cuve soit parfaitement propre,
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation de la suspension VS1,
- Remplir alors la cuve d'alimentation de la suspension d'eau propre à moitié de volume,
- Lorsque le réacteur et le décanteur son vide, il convient de laver soigneusement les canalisations d'alimentation de la suspension et de recyclage,
- Mettre en marche la pompe de la mise en suspension de l'alimentation par son bouton « ARRET/MARCHE » sur la position « MARCHE »,
 - Mettre en marche la pompe d'alimentation de suspension par son bouton « ARRET/MARCHE » sur la position « MARCHE »,
 - Ouvrir la vanne d'arrêt d'alimentation de la suspension VA1,
 - Ouvrir la vanne de réglage d'alimentation de la suspension VR1 de manière à avoir un grand débit d'eau de lavage,

CHAPITRE IV : MODE OPERATOIRE, LES APPAREILLAGES ET LES REACTIFS

- Lorsque l'eau propre s'écoule de la tubulure d'alimentation de la suspension dans le réacteur, il convient de fermer la vanne de réglage d'alimentation de la suspension VR1,
- Fermer la vanne d'arrêt de la cuve d'alimentation de la suspension VA1,
- Vidange si nécessaire le réacteur avec la vanne VS4,
- Fermer la vanne de vidange du réacteur VS4,
- Vidange si nécessaire le décanteur avec la vanne VS2,
- Laver si nécessaire cet appareil avec l'eau propre s'il reste des produits insolubles,
- Fermer la vanne de vidange de réacteur VS4,
- Vidange si nécessaire le décanteur avec la vanne VS2,
- Laver cet appareil si nécessaire avec de l'eau propre s'il reste des produits insolubles,
- Fermer la vanne de sortie des boues vers les égouts VS2,
- Fermer la vanne de recyclage des boues vers le réacteur VA2,
- Fermer la vanne de recyclage de débit d'alimentation de suspension VR1 et de recyclage des boues VR2,
- Vidange si nécessaire le bac de floculation avec la vanne VS6,
- Laver si nécessaire ce bac,
- Fermer la vanne de vidange du bac de coagulant VS5,
- Positionner les lamelles dans le décanteur si nécessaire avec l'inclinaison et le nombre préalablement déterminé pour la manipulation :
- Fonctionnement Co-courant ou courants parallèles : le liquide d'alimentation et les boues vont dans le même sens (du haut vers le bas) : les plaques doivent être alors inclinées de la gauche vers la droite),
- Fonctionnement contre-courant ou courant croisés : le liquide d'alimentation et Les boues vont en sens inverse (liquide du bas vers le haut et solide du haut vers le bas) : les plaques doivent être alors inclinées de la droite vers la couche),
- Positionner la plaque de fermeture de circuit hydraulique dans le décanteur pour le type de fonctionnement préalablement déterminé pour la manipulation :
- Fonctionnement Co-courant ou courant parallèles : le liquide d'alimentation doit passer du haut vers le bas de décanteur : la plaque verticale positionnée doit éviter que le liquide d'alimentation ne sorte directement du décanteur vers la Surverse du liquide clarifié,
- Fonctionnement contre-courant ou courant croisés : le liquide d'alimentation doit passer du bas vers le haut du décanteur : la plaque horizontale positionnée doit éviter que le liquide d'alimentation ne sorte directement du décanteur vers la

- Surverse de liquide clarifié sans passer par les lames,
- Mettre en route l'armoire électrique générale par son bouton « ARRET/MARCHE » sur la position « MARCHE » : le plote est prêt pour une manipulation.

IV.5.2.3. Liste des vannes :

- VA1 : vanne manuelle bac d'alimentation
- VA2 : vanne manuelle recyclage boues
- VS1 : vanne manuelle sortie bac d'alimentation
- VS2 : vanne manuelle sortie boues
- VS3 : vanne manuelle sortie bac coagulant
- VS5 : vanne manuelle sortie bac floculant
- VR1 : vanne manuelle de réglage alimentation
- VR2 : vanne manuelle de recyclage boues
- VL1 : vanne trois voies alimentation décanteur [73].

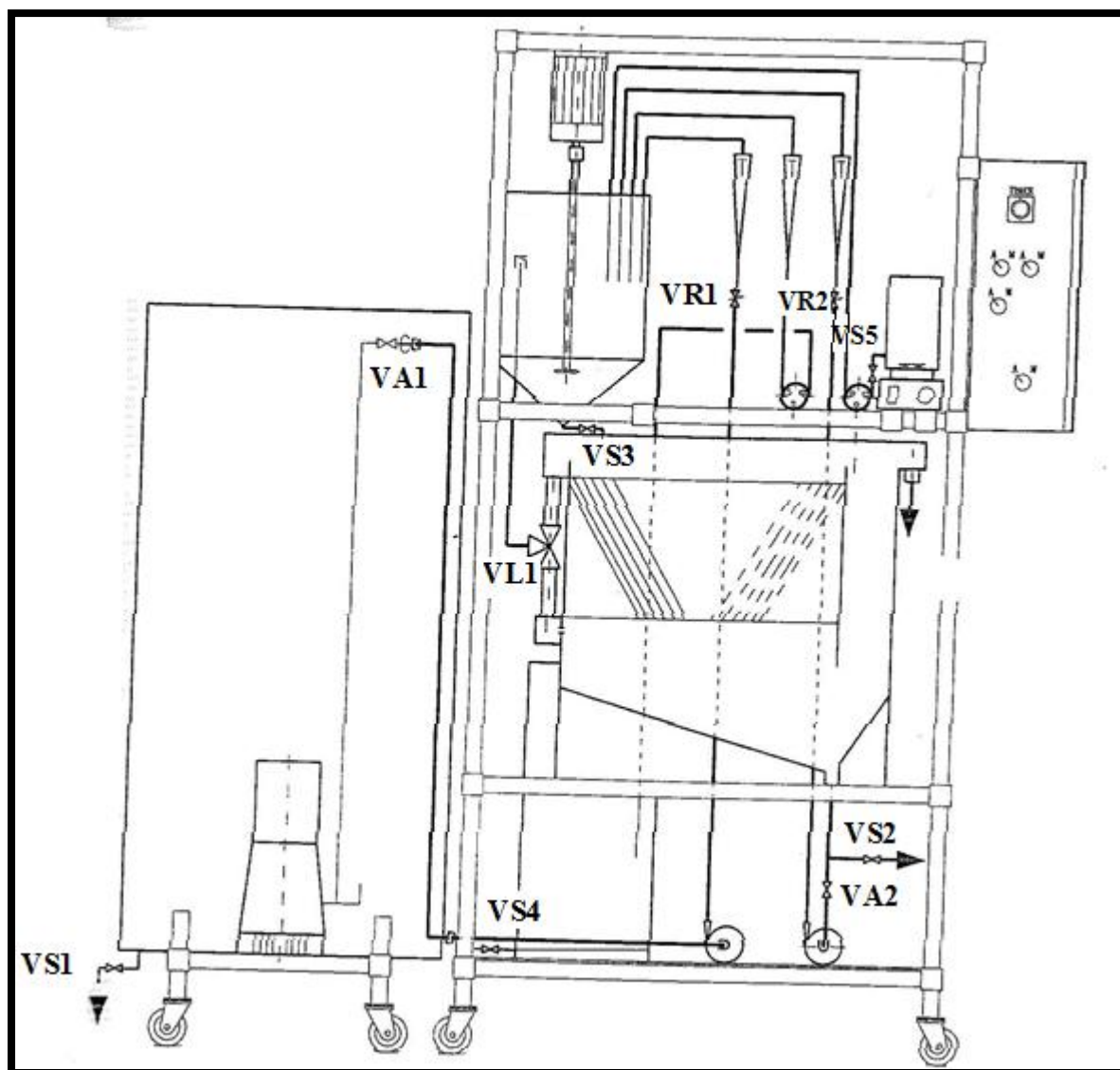


Figure N°55: Schéma des vannes [73].

CHAPITRE IV : MODE OPERATOIRE, LES APPAREILLAGES ET LES REACTIFS



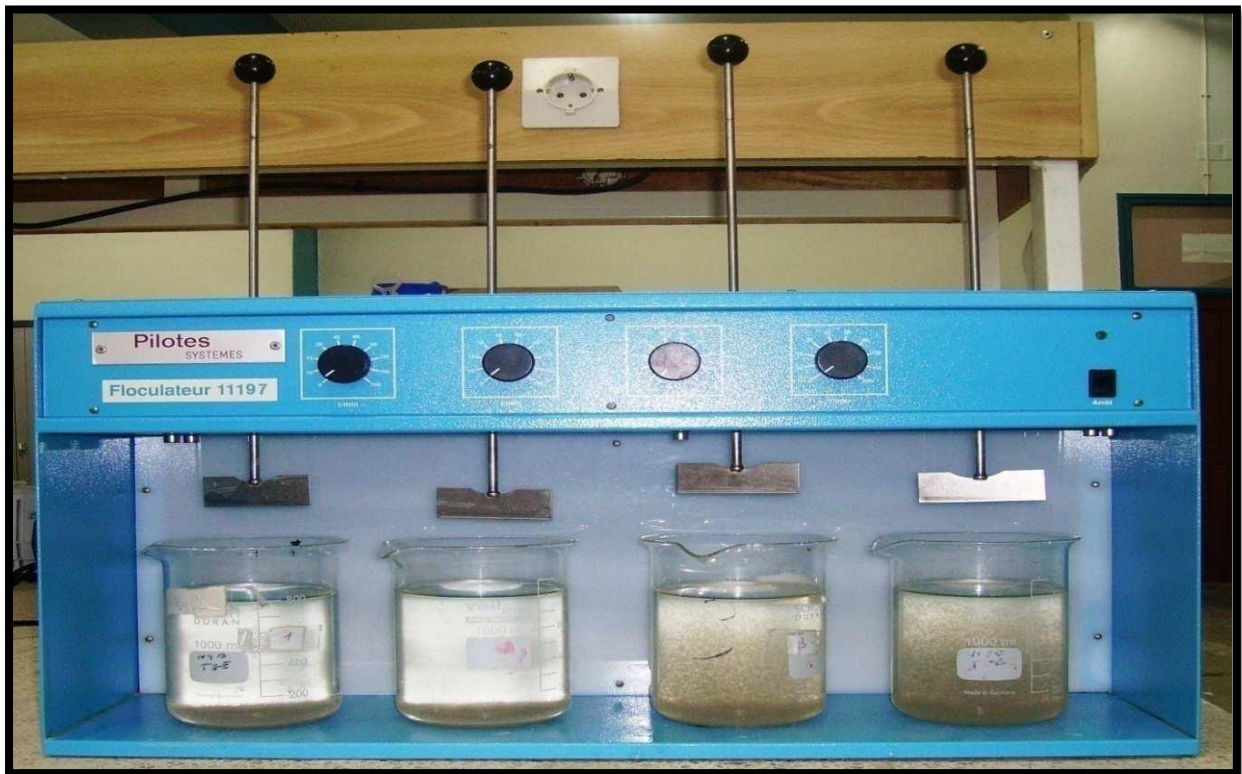
Photos N°1: Pilote de coagulation-floculation et décantation (TE 600) (laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

IV.5.2. Description du Jar-test :

Le Jar-Test est la méthode la plus ancienne, la moins onéreuse, la plus simple et, de ce fait, la plus utilisée [81]. Depuis plus de 50 ans, le Jar Test est la technique standard utilisée pour optimiser l'addition de coagulants et de flocculants dans le domaine du traitement de l'eau [78].

Elle consiste à remplir 4 à 6 béchers de l'eau à traiter et à ajouter à chacun d'entre eux une dose croissante de coagulant et à attendre le temps nécessaire à l'eau pour traverser l'installation de traitement [81].

Le Jar-test que nous avons utilisé, de marque flocculateur 11197, comporte 4 agitateurs dont la vitesse de rotation peut varier entre 0 et 200 tr/min. Les pales sont de type à hélices et le volume des béchers est de 1 litre.



Photos N°2 : Le Jar-test (floculateur 11197) (laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

IV.6. DESCRIPTION DES APPAREILLAGES DE MESURE :

IV.6.1. Le turbidimètre :

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité traduit la présence de particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles,

CHAPITRE IV : MODE OPERATOIRE, LES APPAREILLAGES ET LES REACTIFS

organismes microscopiques...). Les désagréments causés par une turbidité auprès des usagers sont relatifs car certaines populations sont habituées à consommer une eau plus ou moins trouble et n'apprécient pas les qualités d'une eau très claire. Cependant une turbidité forte peut permettre à des micro-organismes de se fixer sur des particules en suspension. La turbidité se mesure à l'aide d'un turbidimètre[4].

La turbidité est un paramètre important pour analyser, en laboratoire, la qualité de l'eau traitée, pour les eaux destinées à la consommation, une valeur maximale de turbidité a été repérée à 5 UTN (unité de turbidité néphélométrique)[59].

Le turbidimètre permet de mesurer la quantité de lumière diffusée à angle droit par un faisceau lumineux traversant l'échantillon. Les résultats sont directement exprimés en U.T.N. par affichage à cristaux liquides.

Tableau N°9: Classe de turbidités usuelles (NTU, néphélométricturbidity unit) [4].

Turbidité <5 NTU	Eau claire
5< turbidité< 30 NTU	Eau légèrement trouble
Turbidité >50 NTU	Eau trouble



Photos N°3 : Le turbidimètre. (Laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

IV.6.2. Le conductimètre/ salinomètre :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés

CHAPITRE IV : MODE OPERATOIRE, LES APPAREILLAGES ET LES REACTIFS

électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau [4]. Elle est proportionnelle au degré de minéralisation [59].

La conductivité est également fonction de la température de l'eau : elle est plus importante lorsque la température augmente. Les résultats de mesure doivent donc être présentés en termes de conductivité équivalente à 20 à 25°C[4].

La salinité : l'eau potable doit contenir sans excès un certain nombre d'éléments minéraux, qui lui confèrent une saveur aigre. Elle ne doit pas attaquer les matériaux constituant les canalisations, les réservoirs et les appareils de robinetterie ou de fontainerie.

Pour cela, il faut qu'elle ne soit ni agressive, ni corrosive (action des sels dissous, cette dernière condition exige que la concentration en ions chlorés et sulfates ne dépasse pas respectivement 100 et 200 mg/l) [59].

La conductimètre/ salinomètre est un instrument portatif qui mesure la conductivité ($\mu\text{S}/\text{Cm}$) et la salinité (ppm) en fonction de la température dans un liquide donné.

Trois échelles de mesure sont prévues pour la conductivité, ainsi qu'une échelle de mesure pour la salinité, ce qui permet de couvrir la quasi-totalité des applications.

L'instrument est fourni avec une sonde de 4 électrodes en acier inoxydable protégé par un manchon en PVC, perforé pour le passage de l'air. Ce manchon ne doit pas être retiré durant les opérations de mesures, car il sert d'écran pour le courant électrique.



Photos N°4: Le conductimètre/ Salinomètre (laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

IV.6.3. Le pH mètre :

Le pH (potentiel hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 (7 étant le pH de neutralité). Ce paramètre caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples, dont l'origine de l'eau.

Tableau N°10: classification des eaux d'après leur pH [4].

pH <5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée=> majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

Le pH doit être impérativement mesuré sur le terrain à l'aide d'un pH-mètre ou par colorimétrie [4].

Le pH-mètre est l'appareil de mesure constitué d'une électrode de pH que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître l'acidité son pH s'affiche alors sur l'écran. L'électrode doit être bien rincée à l'eau du robinet, puis eau distillé puis à l'eau analysée avant chaque mesure et l'appareil doit être régulièrement étalonné pour que ces mesures soient justes.

Remarque :

J'ai commencé mon travail au début avec le pH-mètre (PHM220) mais à cause d'une panne ayant touché ce dernier j'ai continué mon travail avec le pH mètre manuel.



Photos N°5: pH mètre (PHM220).

Photos N°6: pH mètre manuel.

IV.6.4. Le thermomètre :

La température de l'eau est un paramètre de confort pour les usagers. Elle permet également de corriger les paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à la température (conductivité notamment). De plus, en mettant en évidence des contrastes de température de l'eau sur un milieu, il est possible d'obtenir des indications sur l'origine et l'écoulement de l'eau. Les appareils de mesure de la conductivité ou de pH possèdent généralement un thermomètre intégré.

Un thermomètre est un appareil qui sert à mesurer et à afficher la valeur des températures. Dans notre essai, on a utilisé un thermomètre à alcool pour des raisons de : meilleurs lectures [4].

IV.6.5. Autres équipements :

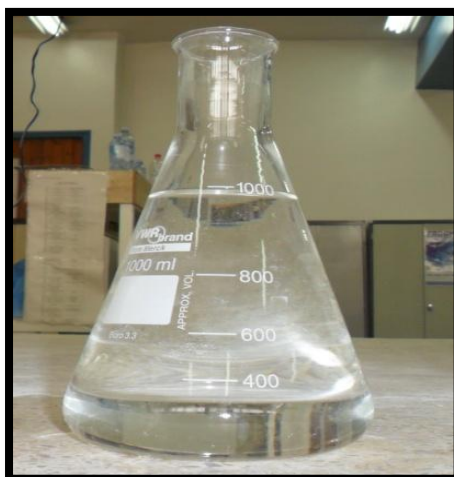
Nous avons utilisé d'autres matériels accessoires pour les manipulations et la précision des mesures. Ce sont :

- Une balance électronique ;
- Les béchers ;
- Pipette, pissette ;
- Erlenmeyer.

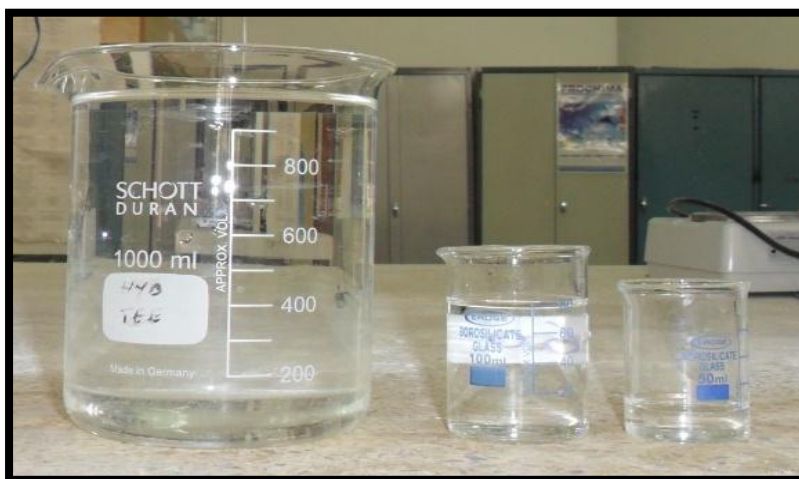


Photos N°7: la balance électronique (laboratoire du Département d'Hydraulique.

Université de Tlemcen)



Photos N°8: Erlenmeyer (laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)



Photos N°9: Les béchers (laboratoire du Département d'Hydraulique. Université de Tlemcen)

IV.7. LES REACTIFS UTILISES :

IV.7.1. Le réactif coagulant :

Le sulfate d'alumine que nous avons utilisé lors de cette étude est un produit fabriqué par :

KEMIRA (compagnie espagnole livré en sac de 25 Kg) dont la fiche technique est la suivante :

$Al_2(SO_4)$	17%
Al_2O_3 %.....	9.0+2.0
Al_2O_3 libre.....	0.3+0.2
Densité apparente (25°C, g/cm ³).....	0.9+0.2

CHAPITRE IV : MODE OPERATOIRE, LES APPAREILLAGES ET LES REACTIFS

pH solution.....3.5+0.5

Formule chimique..... $Al_2(SO_4)_3, 18H_2O$

Concentration.....666g/l[82].

IV.7.2. Les réactifs flocculant :

- **Le Kaolin** : ce produit est utilisé comme flocculant qui est considéré comme un composé colloïdal agissant soit par adsorption, soit par neutralisation de charge sur les produits en suspension.
- **Le polyamide** : Nous avons utilisé dans notre travail un deuxième flocculant sous forme d'un polymère cationique que la station du barrage «SAKAK» l'utilise comme un aide coagulant

IV.7.3. Autres réactifs :

- **La chaux** : c'est une matière en poudre et de couleur blanche, obtenue par décomposition thermique du calcaire. Elle est utilisée depuis l'antiquité, notamment dans la construction. Chimiquement, c'est un oxyde de calcium avec plus ou moins d'oxyde de magnésium mais la désignation usuelle de chaux peut englober différents états chimiques de ce produit.

IV.8. PREPARATION DES SOLUTIONS :

IV.8.1. Préparation du coagulant :

IV.8.1.1. Calcul de la concentration de coagulant :

On a la relation suivante :

$$Q_{ET} \cdot C_{opti} = Q_{R.C} \cdot C_{coag}$$

Avec :

Q_{ET} : le débit d'eau à traiter (débit d'alimentation) = 60l/h

C_{opti} : la concentration optimale du coagulant = 0,054 g/l

$Q_{R.C}$: le débit de la pompe du coagulant = 10l/h

C_{coag} : la concentration du coagulant = ?

$$C_{coag} = (Q_{ET} \cdot C_{opti}) / q_p$$

$$C_{coag} = (60 \cdot 0,054) / 10 = 0,324 \text{ g/l}$$

$$C_{coag} = 0,324 \text{ g/l}$$

IV.8.1.2. Calcul de la masse de coagulant :

La masse $M(g)$ du sulfate d'alumine à verser dans le réacteur est :

$$M_c = Q_{ET} * C_{opti} * t$$

Avec :

t: le temps de faire trois manipulation = quatre heures et demi.

Alors :

$$M_c = 60 * 0,054 * 4,5$$

$$M_c = 14,58g$$

IV.8.1.3. Calcul de volume de coagulant :

Le volume de solution à préparer (eau+ sulfate d'alumine) est calculé par l'équation suivant :

$$V = (Q_{ET} * C_{opti} * t) / C_{coag}$$

$$V = (60 * 0,054 * 4,5) / 0,324$$

$$V = 45 \text{ litres}$$

Donc, le volume total de la solution de sulfate d'alumine de 0,324 g/l de concentration nécessaire pour faire les trois manipulations est égale à 45 litres.

IV.8.2. Préparation du flocculant :

IV.8.2.1. Calcul de la masse de flocculant :

Les solutions de floculation sont très visqueuses, elles sont très difficiles à dissoudre puisqu'elles ne sont pas stables. Pour cela, il convient de les préparer à l'avance.

Le flocculant choisi est le polyamide de $4 \cdot 10^{-3}$ g/l de concentration. La masse $M(g)$ du flocculant à verser dans le réacteur lors des manipulations est calculée par l'équation suivante :

$$M_f = Q_{ET} * C_{opti} * t$$

Avec :

Q_{ET} : le débit d'eau à traiter (débit d'alimentation) = 60l/h

C_{opti} : la concentration optimale du flocculant = $4 \cdot 10^{-3}$ g/l

t: le temps de faire trois manipulation = quatre heures et demi.

Alors :

$$M_f = 60 * 4 \cdot 10^{-3} * 4,5 = 1,08 \text{ g} \quad M_f = 1,08 \text{ g}$$

CHAPITRE IV : MODE OPERATOIRE, LES APPAREILLAGES ET LES REACTIFS

IV.8.2.2. Calcul de volume de flocculant:

La concentration de la solution de polyamide (C_{flocu}) préparée est de 2 g/l. Alors, le volume de la solution à préparer (eau+ polyamide) pour les trois manipulations est :

$$V = (Q_{\text{ET}} \cdot C_{\text{opti}} \cdot t) / C_{\text{flocu}}$$

$$V = (60 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \cdot 4,5) / 2$$

$$V = 540 \text{ ml}$$

IV.8.2.3. Calcul le débit de réactif flocculant $Q_{R.f}$ (l/h) :

On a la relation suivante :

$$Q_{\text{ET}} \cdot C_{\text{opti}} = Q_{R.f} \cdot C_{\text{flocu}}$$

Alors :

$$Q_{R.f} = (Q_{\text{ET}} \cdot C_{\text{opti}}) / C_{\text{flocu}}$$

$$Q_{R.f} = (60 \cdot 4 \cdot 10^{-3}) / 2$$

$$Q_{R.f} = 120 \text{ ml/h}$$

IV.8.3. Calcul pour le bac d'alimentation :

IV.8.3.1. Calcul du volume du bac (V):

$$V = Q_{\text{ET}} \cdot t$$

$$V = 60 \cdot 4,5$$

$$V = 270 \text{ litres}$$

La concentration de sel= 5g/l ; pour 270 litres il faut versée 1350 g du sel

La concentration de la chaux= 1g/l ; pour 270 litres il faut versée 270 g de la chaux

IV.8.3.2. Calcul de la hauteur de l'eau à traiter :

$$V = h \cdot S \rightarrow h = V / S \dots (1)$$

Avec:

$$V : \text{le volume du bac (m}^3\text{)} = 0,27 \text{ m}^3$$

h : la hauteur d'eau (m)

S : la surface totale du bac (m²)

- On calcule la surface :

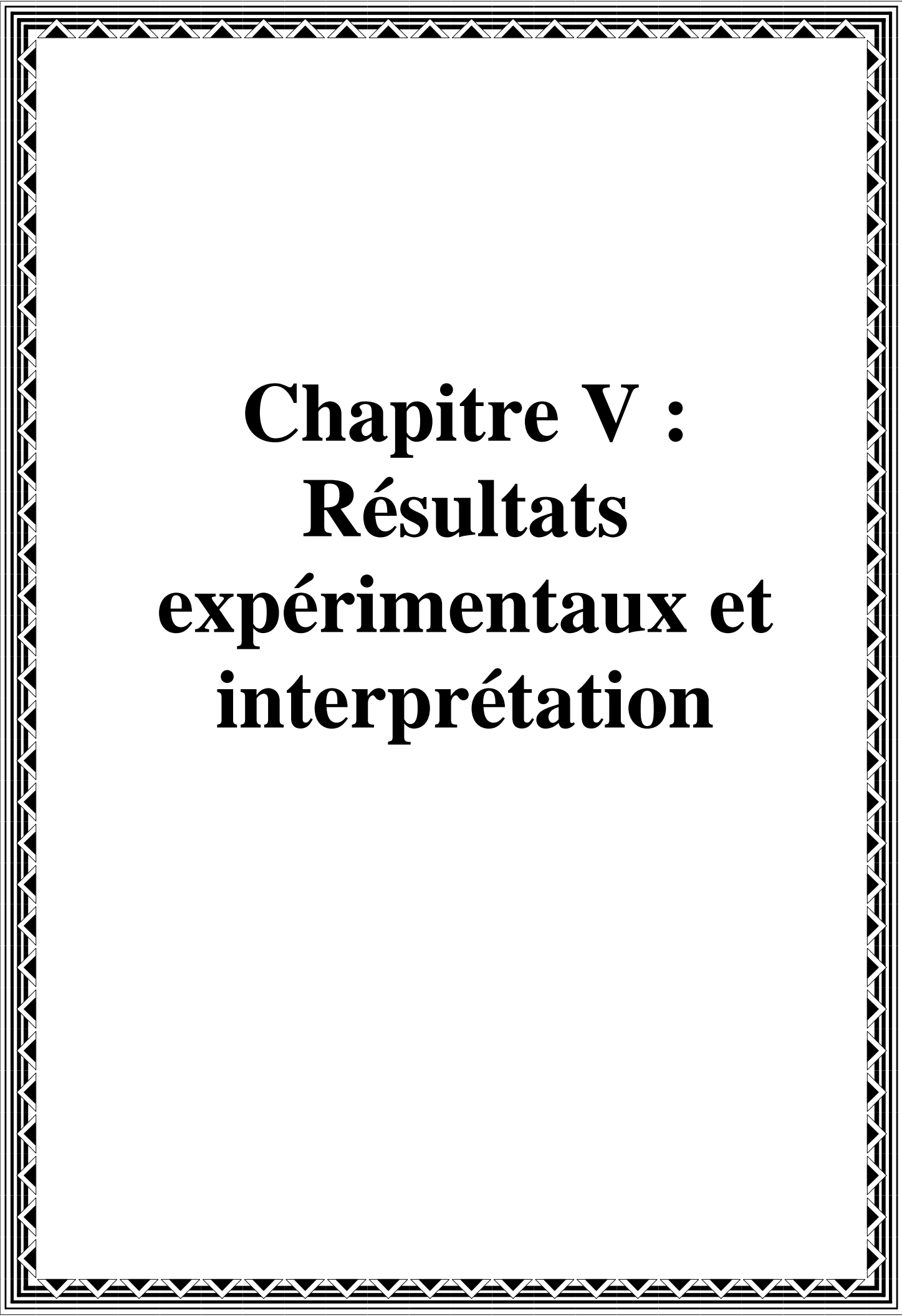
Le diamètre du bac= 0,59 m

Le rayon= (0,59/2)= 0,45m

$$\text{La surface du bac (S)} = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0,45)^2 = 0,273 \text{ m}^2$$

$$\text{Alors : } h = (0,27 / 0,273) = 0,989 \text{ m}$$

$$h = 98,9 \text{ cm}$$



Chapitre V : Résultats expérimentaux et interprétation

V.1. INTRODUCTION :

Les résultats sont exprimés en fonction du pourcentage de réduction de la turbidité (le rendement) pour s'affranchir de toute variation de cette dernière.

$$\% \text{ réduction} = \frac{\text{turbidité initiale} - \text{turbidité résiduelle}}{\text{turbidité initiale}} * 100$$

V.2. L'ETUDE DE L'INFLUENCE DE CONCENTRATION DE COAGULANT :

Pour déterminer la dose optimale de coagulant, nous avons réalisé l'essai de Jar Test sur une eau saumâtre turbide avec des doses croissantes de sulfate d'alumine.

Les résultats obtenus par les essais de Jar Test ainsi que les caractéristiques physico-chimiques de l'eau à traiter en laboratoire sont regroupés dans les tableaux N°11, N°12, N°13.

Tableau N°11: l'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la coagulation-floculation d'eau saumâtre (concentration de sel=1g/l) avec 1 g/l de la chaux :

C _c (mg/l)	Turbidité (NTU)		Température (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	16,8	14,76	17	17	7,45	8,05	1,35	1,52	12,14
20	16,8	14,25	17	17	7,45	8	1,35	1,53	15,17
22	16,8	13,66	17	18	7,45	8	1,35	1,57	18,69
26	16,8	11,71	17	18	7,45	7,9	1,35	1,59	30,29
30	16,8	5,09	17	17,5	7,45	8,05	1,35	1,6	69,70
34	16,8	7,02	17	18	7,45	8,1	1,35	1,6	58,21
40	16,8	8,73	17	17,5	7,45	8,1	1,35	1,69	48,03
42	16,8	9,55	17	17,5	7,45	8,1	1,35	1,74	43,15
46	16,8	10,66	17	17,5	7,45	8,1	1,35	1,77	36,54
50	16,8	11,09	17	17,5	7,45	8,2	1,35	1,82	33,98
54	16,8	11,16	17	17,5	7,45	8	1,35	1,83	33,57
60	16,8	11,81	17	17,5	7,45	8,1	1,35	1,92	29,70
70	16,8	13,74	17	17,5	7,45	8	1,35	1,83	18,21

CHAPITRE V : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION

Tableau N°16: l'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la coagulation-floculation d'eau saumâtre (concentration de sel=3g/l) avec 1 g/l de la chaux :

C _c (mg/l)	Turbidité (NTU)		Température (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	16,8	16,53	17	17	7,6	8,26	3,4	3,48	1,60
20	16,8	16,45	17	17	7,6	8,2	3,4	3,5	2,08
22	16,8	15,38	17	17	7,6	8,24	3,4	3,49	8,45
26	16,8	14,35	17	17	7,6	8,2	3,4	3,49	14,58
30	16,8	13,7	17	17	7,6	8,28	3,4	3,49	18,45
34	16,8	12,5	17	17	7,6	8,2	3,4	3,5	25,59
40	16,8	10,45	17	17	7,6	8,33	3,4	3,52	37,79
42	16,8	9,25	17	18	7,6	8,3	3,4	3,53	44,94
46	16,8	8,56	17	18	7,6	8,2	3,4	3,62	49,04
50	16,8	10,76	17	18	7,6	8,2	3,4	3,6	35,95
54	16,8	11,2	17	18	7,6	8,3	3,4	3,62	33,33
60	16,8	11,38	17	18	7,6	8,22	3,4	3,72	32,26
70	16,8	14,17	17	18,5	7,6	8,28	3,4	3,72	15,65

Tableau N°17: l'influence de la concentration de sulfate d'alumine sur la coagulation-floculation d'eau saumâtre (concentration de sel=5g/l) avec 1 g/l de la chaux :

C _c (mg/l)	Turbidité (NTU)		Température (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	16,8	15,3	20	21	7,7	8,7	4,55	4,68	8,92
20	16,8	13,6	20	21	7,7	8,7	4,55	4,68	19,04
22	16,8	13,3	20	21	7,7	8,7	4,55	4,7	20,83
26	16,8	12,23	20	21	7,7	8,7	4,55	4,7	27,20
30	16,8	11,9	20	21	7,7	8,7	4,55	4,75	29,16
34	16,8	11,56	20	21	7,7	8,6	4,55	5,02	31,19
40	16,8	11,5	20	22	7,7	8,6	4,55	5,02	31,54
42	16,8	9,52	20	22	7,7	8,7	4,55	5,1	43,33
46	16,8	8,35	20	22	7,7	8,7	4,55	5,15	50,29
50	16,8	8,31	20	22	7,7	8,6	4,55	5,15	50,53
54	16,8	8,2	20	22	7,7	8,6	4,55	5,17	51,19
60	16,8	12,6	20	22	7,7	8,8	4,55	5,2	25
70	16,8	14,8	20	22	7,7	8,8	4,55	5,22	11,90

Les courbes qu'on peut facilement déduire sont :

- Le rendement en fonction de la concentration du coagulant ;
- Le pH après manipulation en fonction de la concentration du coagulant ;
- La conductivité après manipulation en fonction de la concentration du coagulant ;
- La salinité après manipulation en fonction de la concentration du coagulant.

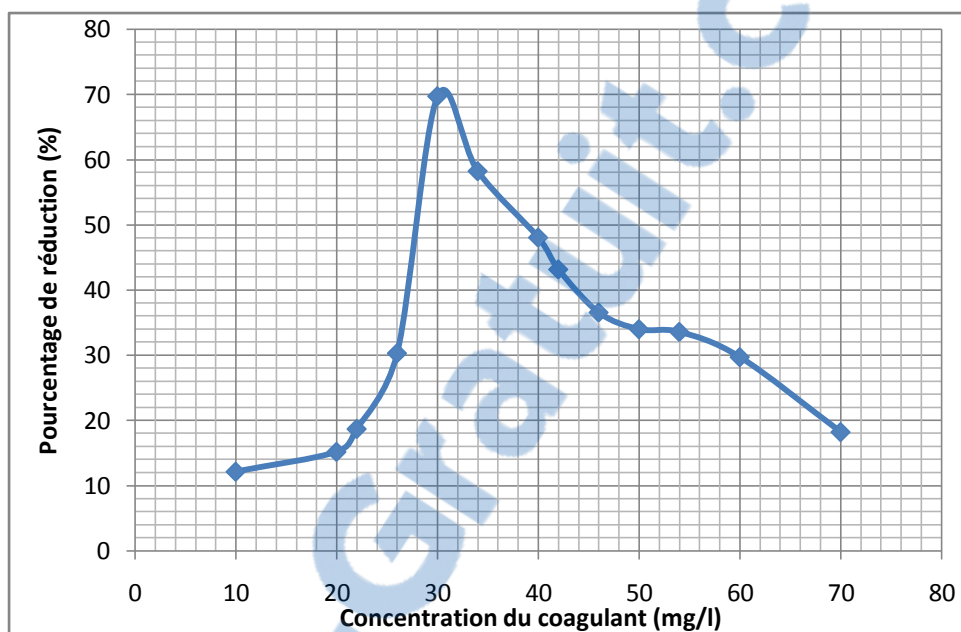


Figure N°26: Variation du rendement en fonction de la concentration du coagulant pour une concentration de 1 g/l de sel.

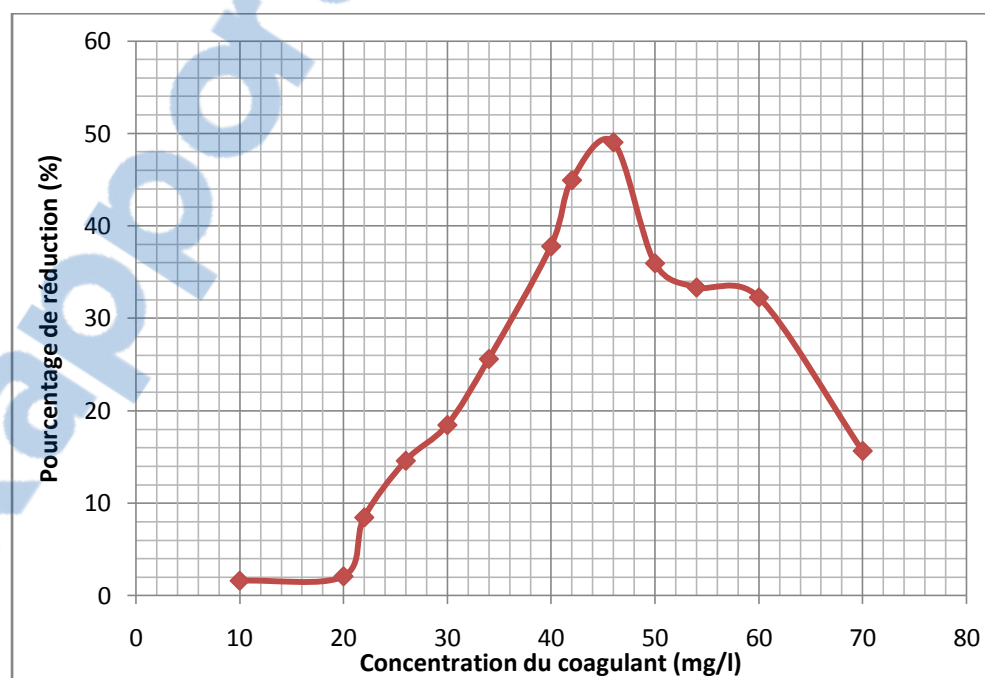


Figure N°67: Variation du rendement en fonction de la concentration du coagulant pour une concentration de 3 g/l de sel.

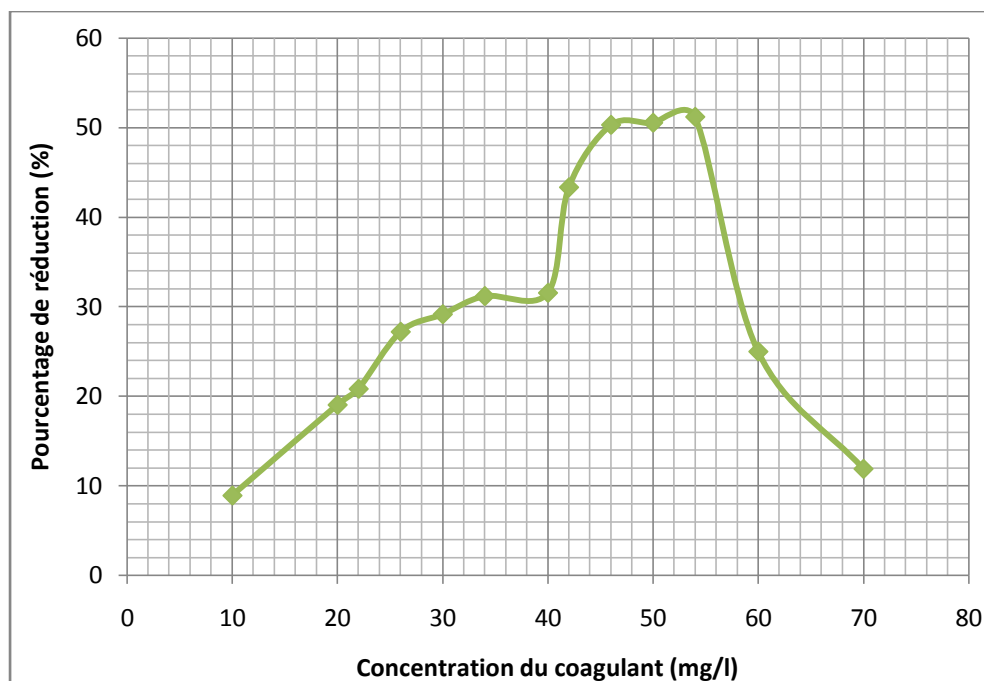


Figure N°28: Variation du rendement en fonction de la concentration du coagulant pour une concentration de 5 g/l de sel.

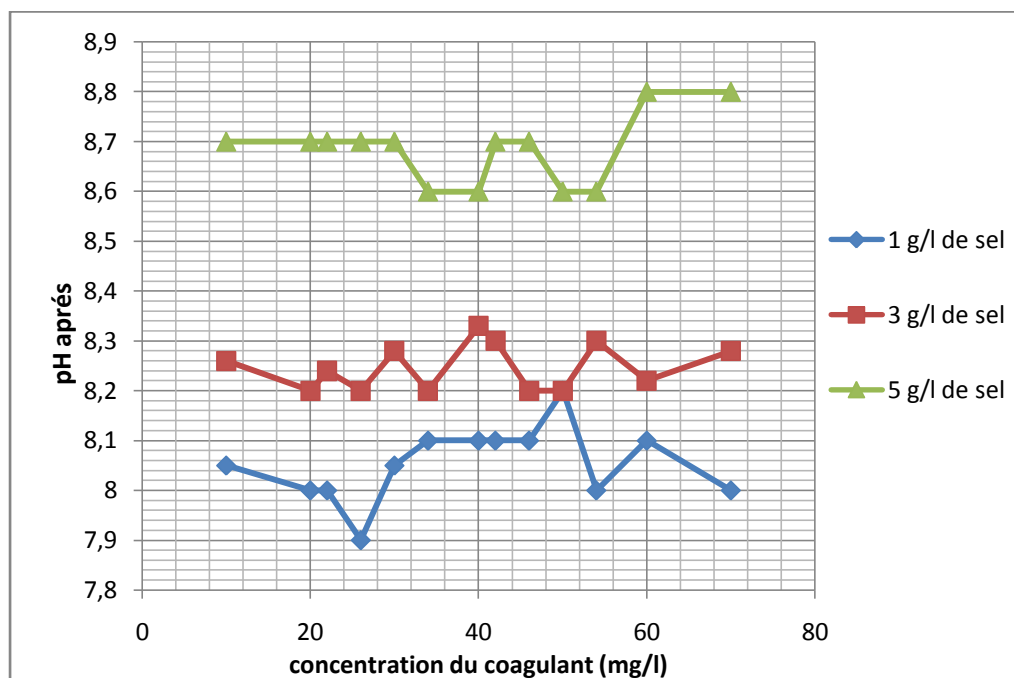


Figure N°29: Variation du pH après manipulation en fonction de la concentration du coagulant.

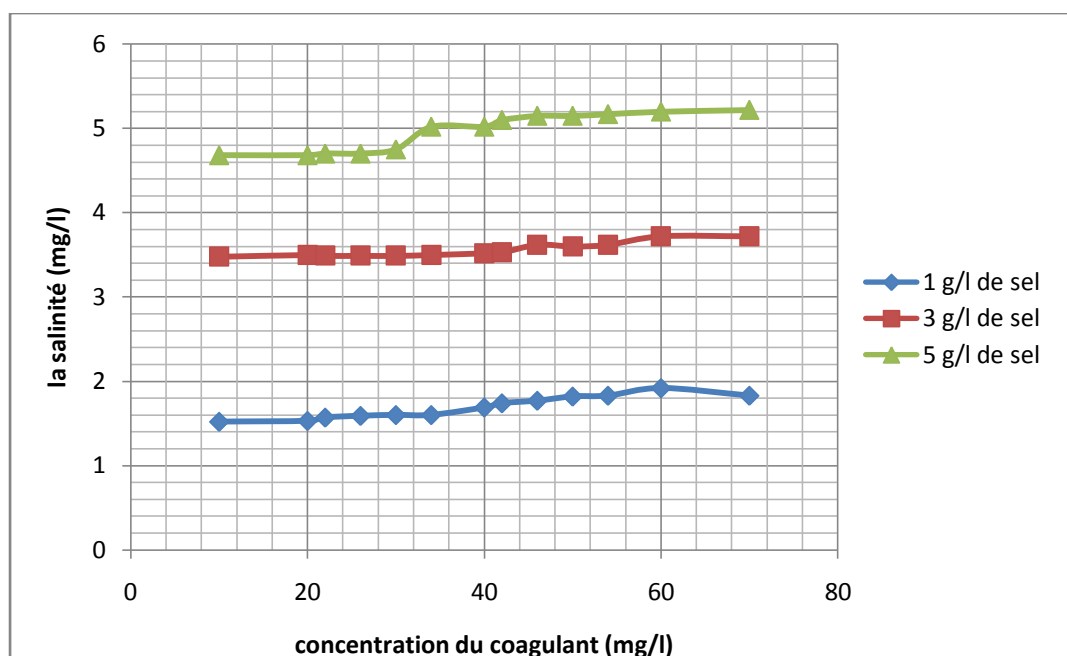


Figure N°30: Variation de la salinité en fonction de la concentration du coagulant.

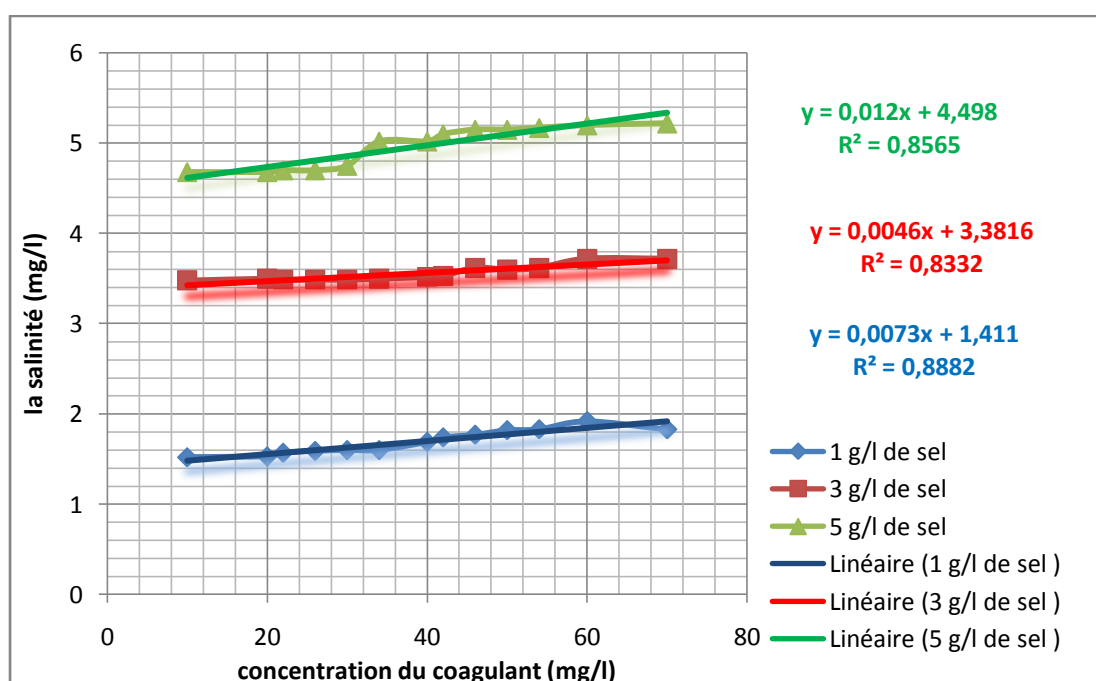


Figure N°31: Corrélation de la salinité en fonction de la concentration du coagulant.

V.2.1. Interprétation des résultats expérimentaux :

Des eaux saumâtres turbides sont traitées par le coagulant ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$) avec des concentrations allant de 10 à 70 mg/l et pour chaque dose, différents paramètres sont mesurés.

Les résultats obtenus présentant la variation des paramètres physico-chimiques en fonction de la dose du sulfate d'alumine, sont illustrés respectivement sur les figures : N° 26, N° 27, N° 28, N° 29, N° 30 et N° 31.

CHAPITRE V : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION

Le tracé de pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du sulfate d'alumine pour les trois solutions de l'eau de différente concentration de sel (1g/l ; 3 g/l et 5g/l) et de même concentration de chaux (1g/l), a permis d'obtenir des courbes représenter dans les figures N°26 , N°27 , N°28.

On remarque bien que l'addition de 10mg/l du coagulant a provoqué la diminution de la valeur de la turbidité (16,8 à 14,76 NTU), (16,8 à 16,53 NTU) et (16,8 à 15,3 NTU) respectivement pour 1g/l ; 3 g/l et 5g/l de sel initial. Avec l'augmentation de la concentration de coagulant ces valeurs continuent à diminuer ; cela est dû à ce que les particules du coagulant déstabilisent les colloïdes négativement chargés présents dans l'eau à traiter, en neutralisant les charges qui génèrent les forces de répulsion entre colloïdes.

L'ajout d' Al^{3+} facilite la coagulation du fait de l'effet lié à l'augmentation de la force ionique (compression de la couche diffuse), le mécanisme de la coagulation repose sur la neutralisation de la charge négative des particules stables par adsorption des cations sur leur surface. Pour une concentration optimale du sulfate d'alumine le pourcentage de réduction de la turbidité est supérieur, Par contre, la surdose de coagulant, source de cations, peut résulter en une adsorption trop importante de cations et inverser la charge des particules qui deviennent alors positive. Les particules seraient ainsi restabilisées [43].

A partir des tableaux N°11, N°12 et N°13 on peut déduire que :

- Pour une concentration de 30 mg/l du sulfate d'alumine le pourcentage de réduction de la turbidité est de 69,7 % (pour une concentration initial de 1g/l de sel)
- Pour une concentration de 46 mg/l du sulfate d'alumine le pourcentage de réduction de la turbidité est de 49,04 % (pour une concentration initial de 3g/l de sel)
- Pour une concentration de 54 mg/l du sulfate d'alumine le pourcentage de réduction de la turbidité est de 51,19 % (pour une concentration initiale de 5 g/l de sel)

Alors on peut tracer la courbe de la variation de la dose optimale du coagulant en fonction de la concentration de sel initiale à partir de tableau suivant :

La concentration de sel initial (g/l)	La dose optimale du coagulant (mg/l)
1	30
3	46
5	54

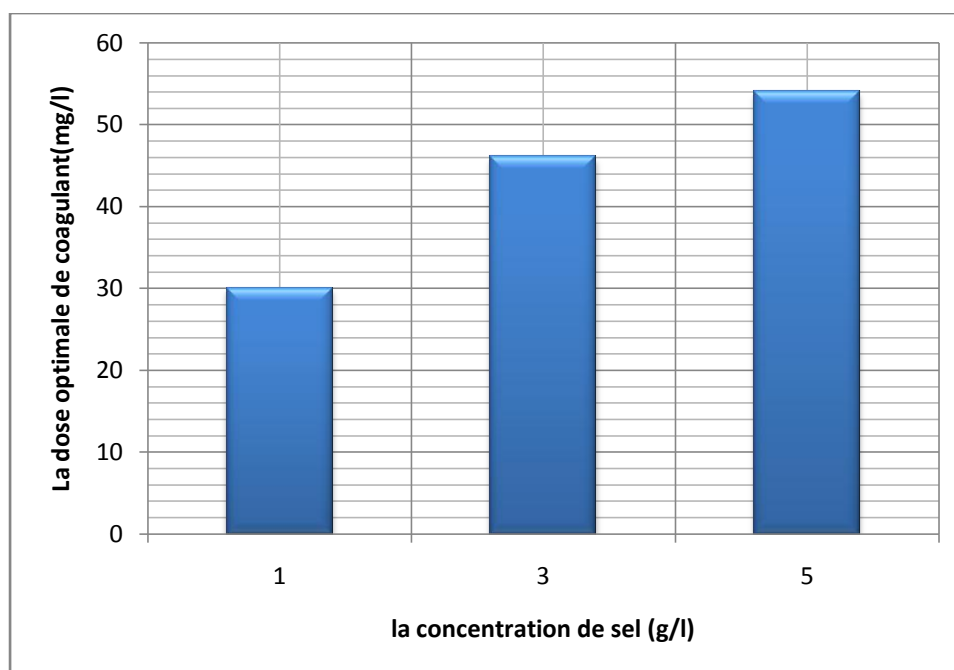


Figure N°32: Variation de la dose optimale du coagulant en fonction de la concentration de sel initiale.

Cette figure montre bien que plus la concentration de sel initiale augmente plus la concentration de coagulant optimale nécessaire pour faire diminuer la turbidité augmente.

- La figure N°29 présente l'évolution de pH après coagulation-floculation en fonction de la concentration de coagulant. Nous pouvons observer que le pH croît en fonction de l'augmentation des concentrations du coagulant. En effet, le pH est influencé par la concentration du coagulant ajoutée.

On peut remarquer dans les tableaux N°11, N°12 et N°13 que le pH de la concentration optimale croît en fonction de l'augmentation de sels contenue dans l'eau.

Donc on déduit que le sel contenue dans l'eau est influencée sur la plage de pH optimale.

- Dans la coagulation-floculation, la mesure de salinité n'est pas un vrai repère pour obtenir des informations ni pour juger la fiabilité du processus, néanmoins sa variation peut nous dire sur le comportement des sels dissous pendant le traitement.

Nous avons observé dans les deux figures N°30 et N°31 que la salinité croît en fonction de la concentration du coagulant. En effet, l'ajout de coagulant dans l'eau fait automatiquement augmenter leurs charges chimiques.

A partir de la figure N°31, on obtient les coefficients de corrélation $R = [\sqrt{R^2}]$ qui correspondent aux 0,94 ; 0,91 ; 0,92 respectivement pour les trois concentrations de sel initial

de l'eau 1g/l ; 3g/l et 5 g/l. ce qui fait qu'on a prouvé qu'il existe une corrélation entre la concentration du coagulant et la salinité.

V.3. L'ETUDE DE L'INFLUENCE DES CONCENTRATIONS DE FLOCCULANTS:

A partir des concentrations optimales des coagulants déterminés précédemment, une série d'essais avec différents flocculants ont été réalisés.

- **Pour 1g/l de sel et 1 g/l de la chaux :**

Cette série d'essais est effectuée pour approcher la concentration optimale de flocculant avec une concentration en coagulant de 30 mg/l. Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux N°14 et N°15.

Tableau N°18: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de 1^{ère} flocculant : le Kaolin.

C_f(mg/l)	Turbidité (NTU)		Température (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
1	16,8	7,45	24	24	7,3	7,9	1,35	1,86	55,65
2	16,8	6,08	24	24	7,3	7,9	1,35	1,89	63,80
3	16,8	7,33	24	24	7,3	7,9	1,35	1,96	56,36
4	16,8	8,04	24	24,5	7,3	8	1,35	2	52,14
6	16,8	11,5	24	24,5	7,3	8	1,35	2,04	31,54
8	16,8	12,03	24	24,5	7,3	8	1,35	2,1	28,39

Tableau N°15: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de 2^{ème} flocculant : le polyamide.

C_f(mg/l)	Turbidité (NTU)		Température (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
1	16,8	9,08	24	24	7,3	7,9	1,35	1,88	45,95
2	16,8	8,94	24	24	7,3	7,9	1,35	1,93	46,78
3	16,8	5,33	24	24	7,3	7,9	1,35	1,97	68,27
4	16,8	7,04	24	24,5	7,3	8	1,35	2	58,09
6	16,8	10,5	24	24,5	7,3	8	1,35	2,05	37,5
8	16,8	10,64	24	24,5	7,3	8	1,35	2,05	36,66

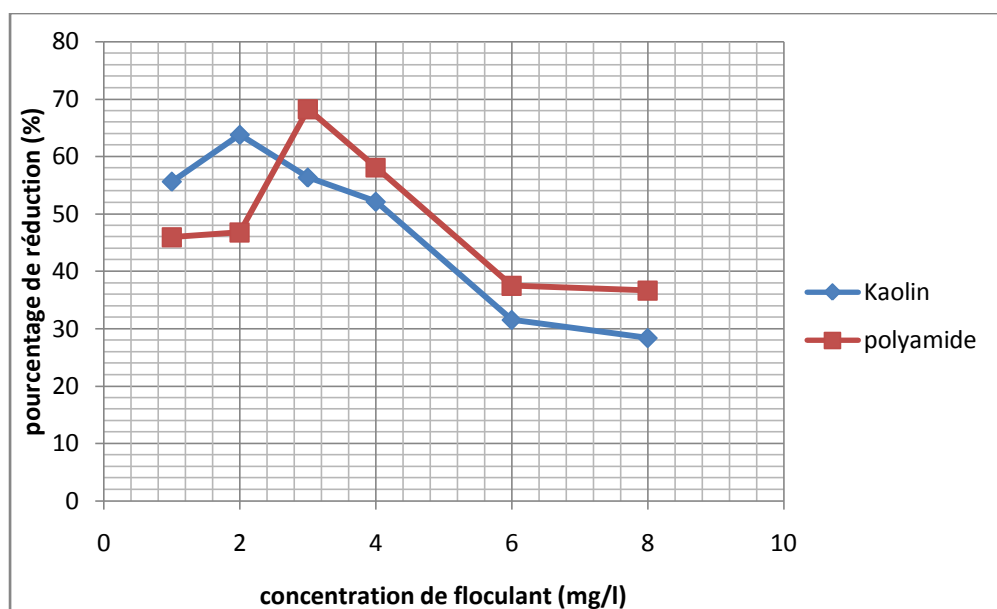


Figure N°33: Le pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du flocculant.

• Pour 3 g/l de sel et 1 g/l de la chaux :

Cette série d'essais est effectuée pour approcher la concentration optimale de flocculant avec une concentration en coagulant de 46 mg/l. Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux N°16 et N°17.

Tableau N°19: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de 1^{ère} flocculant : le Kaolin.

C _f (mg/l)	Turbidité (NTU)		Température (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
1	16,8	10,2	24	24,5	7,6	7,6	3,4	3,91	39,28
2	16,8	10,1	24	24,5	7,6	7,6	3,4	3,98	39,88
3	16,8	7,65	24	25	7,6	7,7	3,4	4,02	54,46
4	16,8	8,86	24	25	7,6	7,6	3,4	4,15	47,26
6	16,8	8,93	24	25	7,6	7,7	3,4	4,24	46,84
8	16,8	10,04	24	25	7,6	7,7	3,4	4,37	40,23

Tableau N°110: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de 2^{ème} flocculant : le polyamide.

C _f (mg/l)	Turbidité (NTU)		Température (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
1	16,8	9,25	24	25	7,6	7,8	3,4	3,93	44,94
2	16,8	9,1	24	24,5	7,6	7,9	3,4	3,98	45,83
3	16,8	6,86	24	25	7,6	7,9	3,4	4,12	59,16
4	16,8	7,45	24	25	7,6	7,8	3,4	4,22	55,65
6	16,8	7,8	24	25	7,6	7,9	3,4	4,37	53,57
8	16,8	8,12	24	25	7,6	7,9	3,4	4,48	51,66

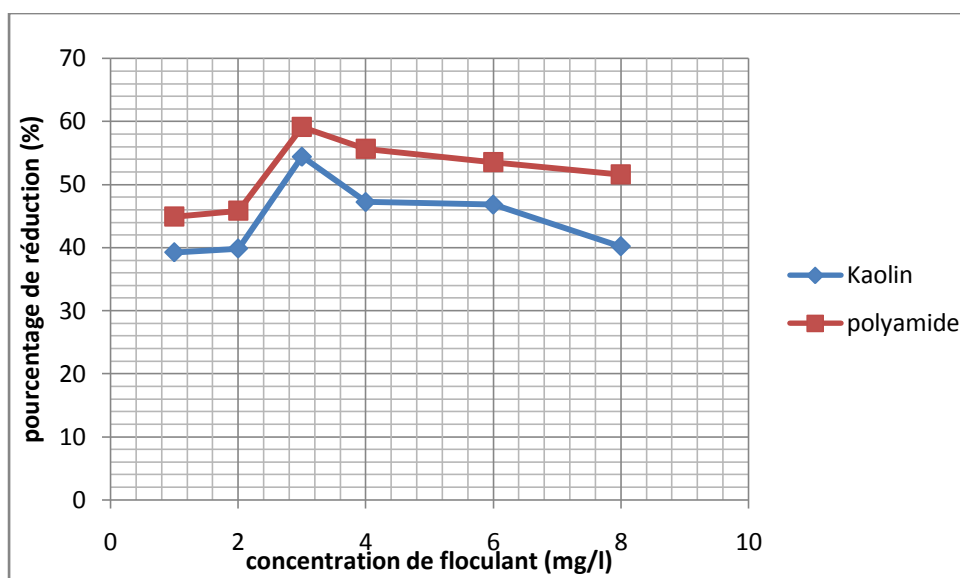


Figure N°34: Le pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du flocculant.

• Pour 5 g/l de sel et 1 g/l de la chaux :

Cette série d'essais est effectuée pour approcher la concentration optimale de flocculant avec une concentration en coagulant de 54 mg/l. Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux N°18 et N°19.

Tableau N°111: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de 1^{ère} flocculant : le Kaolin.

C_f (mg/l)	Turbidité (NTU)		Température (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
1	16,8	13,7	24	25	8,2	8,3	4,55	5,08	18,45
2	16,8	13,3	24	25,5	8,2	8,4	4,55	5,98	20,83
3	16,8	11,5	24	25,5	8,2	8,4	4,55	6,12	31,54
4	16,8	9,04	24	25,5	8,2	8,4	4,55	6,43	46,19
6	16,8	7,32	24	25	8,2	8,5	4,55	6,64	56,42
8	16,8	7,57	24	25	8,2	8,5	4,55	6,72	54,94

Tableau N°112: Réduction de la turbidité pour différentes concentrations de 2^{ème} flocculant : le polyamide.

C_f (mg/l)	Turbidité (NTU)		Température (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
1	16,8	12,54	24	25	8,2	8,3	4,55	5,08	25,35
2	16,8	10,12	24	25,5	8,2	8,4	4,55	5,98	39,76
3	16,8	9,46	24	25,5	8,2	8,4	4,55	6,12	43,69
4	16,8	7,4	24	25	8,2	8,4	4,55	6,23	55,95
6	16,8	8,5	24	25,5	8,2	8,4	4,55	6,43	49,40
8	16,8	8,67	24	25	8,2	8,4	4,55	6,52	48,39

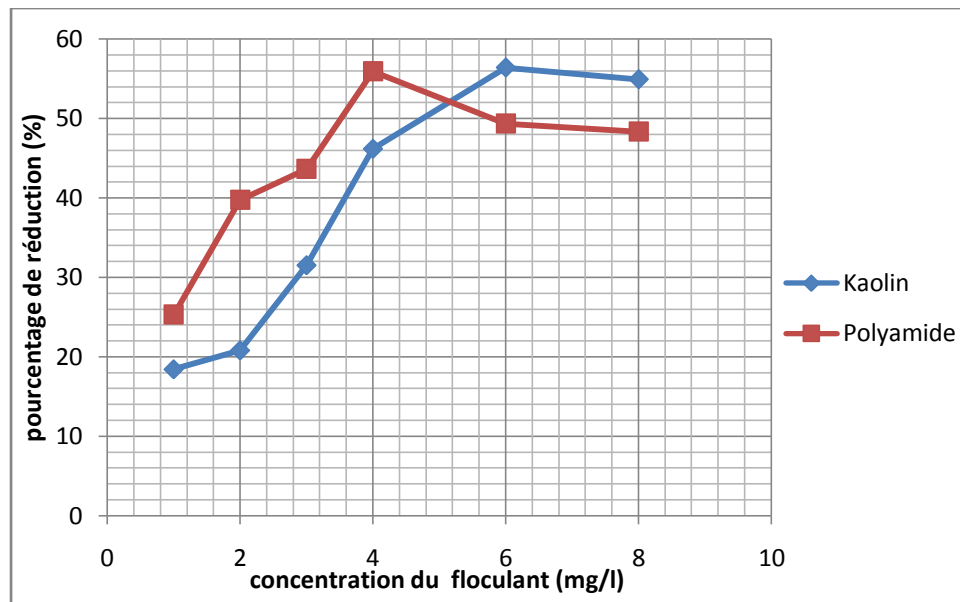


Figure N°35: Le pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la concentration du floculant.

V.3.1. Interprétation des résultats expérimentaux :

Le floculant utilisé dans notre étude est un polymère cationique utilisé par la station du barrage «SAKAK» comme un aide coagulant, qui favorise l'agglomération et la formation de flocs.

Le tracé de pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de deux concentration du floculant (le Kaolin et le polyamide) pour les trois solutions de l'eau de différente concentration de sel (1g/l ; 3 g/l et 5g/l) et de même concentration de chaux (1g/l), a permis d'obtenir des courbes représenter dans les figures N°33, N°34 et N°35.

- une concentration de 1g/l de sel :

Pour une concentration de 2 mg/l du Kaolin nous avons remarqué que la valeur de la turbidité a atteint 6,08 NTU (un rendement de 63,8 %).

Et pour une concentration de 3mg/l du polyamide nous avons remarqué que la valeur de la turbidité a atteint 5,33 (un rendement de 68,27%).

- une concentration de 3 g/l de sel :

Pour une concentration de 3 mg/l du Kaolin nous avons remarqué que la valeur de la turbidité a atteint 7,65 NTU (un rendement de 54,46%).

Et pour une concentration de 3mg/l du polyamide nous avons remarqué que la valeur de la turbidité a atteint 6,86 (un rendement de 59,16%).

CHAPITRE V : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION

- une concentration de 5 g/l de sel :

Pour une concentration de 6 mg/l du Kaolin nous avons remarqué que la valeur de la turbidité a atteint 7,32NTU (un rendement de 56,42%).

Et pour une concentration de 4 mg/l du polyamide nous avons remarqué que la valeur de la turbidité a atteint 7,4 (un rendement de 55,95%).

Alors on peut tracer la courbe de la variation de la dose optimale des flocculants en fonction de la concentration de sel initiale à partir de tableau suivant :

<i>La concentration de sel initial (g/l)</i>	<i>La dose optimale du coagulant (mg/l)</i>	<i>La concentration optimale du Kaolin (mg/l)</i>	<i>La concentration optimale du Polyamide (mg/l)</i>
1	30	2	3
3	46	3	3
5	54	6	4

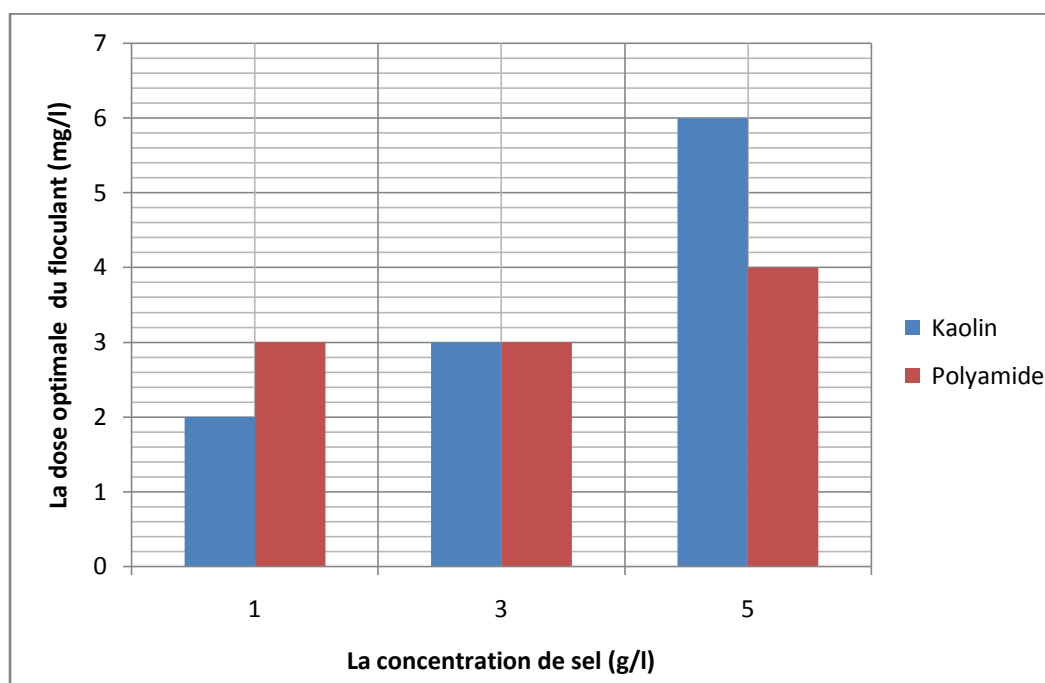


Figure N°36: Variation de la dose optimale du flocculant en fonction de la concentration de sel initiale.

Cette figure montre bien que plus la concentration de sel initiale augmente plus la concentration optimale de flocculant (le Kaolin et le Polyamide) nécessaire pour faire diminuer la turbidité augmente.

V.3.2. Comparaison des résultats :

On remarque que le kaolin donne des floes moins rigide ce qui nécessite un temps suffisant de décantation par contre le polyamide donne des floes rigides et se décantent facilement dès qu'on arrête l'agitation.

Le polyamide donne de meilleurs résultats que le kaolin.

Dans cette étape dite floculation, ces micro-floes s'agrègent formant des flocons qui tiennent donc plus de particules en suspension et deviennent par suite plus volumineux ce qui facilite leur décantation.

L'impact du floculant peut être influencé par un paramètre important à savoir «la vitesse d'agitation », où un gradient de vitesse élevé peut produire le cisaillement des floes et risque de les détruire, et par suite on aura une augmentation à nouveau de la turbidité ; dans notre expérience on a utilisé une agitation rapide 200 tours /min pendant 2 minutes en suite 20 minutes d'agitation à 30 tours/min, justement pour ne pas dissocier les floes formés [1].

V.4. L'INFLUENCE DE LA VITESSE ET DUREED'AGITATION:

V.4.1. L'influence de la vitesse et durée d'agitation durant la coagulation :

V.4.1.1. L'influence de la vitesse d'agitation durant la coagulation :

Tableau N°20: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la coagulation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux)

<i>Temps d'agitation lente = 20 min (Pour la floculation)</i>	<i>Vitesse d'agitation lente = 30 tr/min (Pour la floculation)</i>	<i>Temps d'agitation rapide= 2 min (Pour la coagulation)</i>	<i>vitesse d'agitation rapide (tr/min) (Pour la coagulation)</i>	<i>Turbidité (NTU)</i>		<i>R (%)</i>
				<i>Avant</i>	<i>Après</i>	
			120	16,8	6,2	63,09
			150	16,8	4,7	72,02
			200	16,8	5,33	68,27

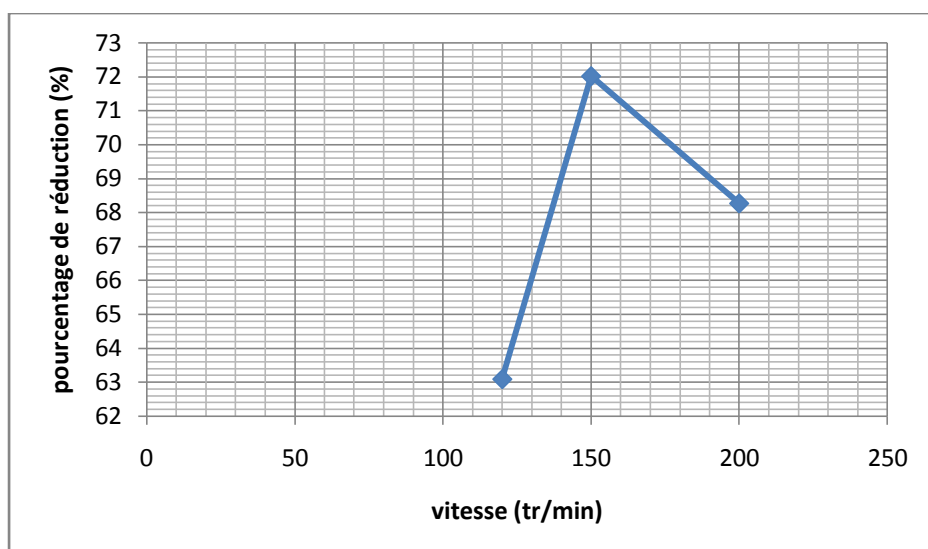


Figure N°7: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la coagulation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Tableau N°13: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la coagulation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Temps d'agitation lente = 20 min (Pour la floculation)	Vitesse d'agitation lente = 30 tr/min (Pour la floculation)	Temps d'agitation rapide = 2 min (Pour la coagulation)	vitesse d'agitation rapide (tr/min) (Pour la coagulation)	Turbidité (NTU)		R(%)
				Avant	Après	
			120	16,8	7,16	57,38
			150	16,8	6,32	62,38
			200	16,8	6,86	59,16

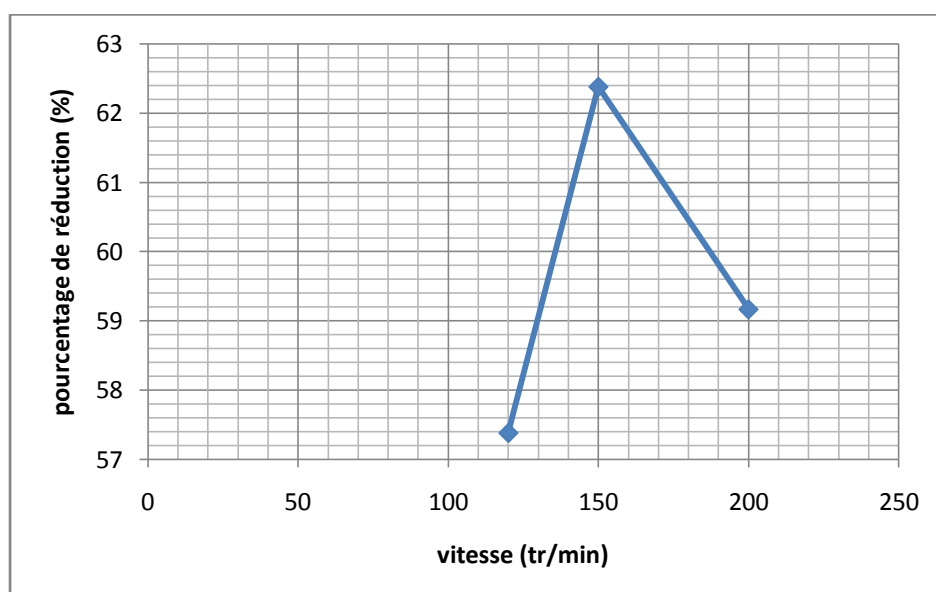


Figure N°88: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la coagulation (pour 3g/l de sel et 1g/l de chaux).

CHAPITRE V : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION

Tableau N°14: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la coagulation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Temps d'agitation lente = 20 min (Pour la floculation)	Vitesse d'agitation lente = 30 tr/min (Pour la floculation)	Temps d'agitation rapide = 2 min (Pour la coagulation)	vitesse d'agitation rapide (tr/min) (Pour la coagulation)	Turbidité (NTU)		R(%)
				Avant	Après	
			120	16,8	8,65	48,51
			150	16,8	8,33	50,41
			200	16,8	8,5	49,4

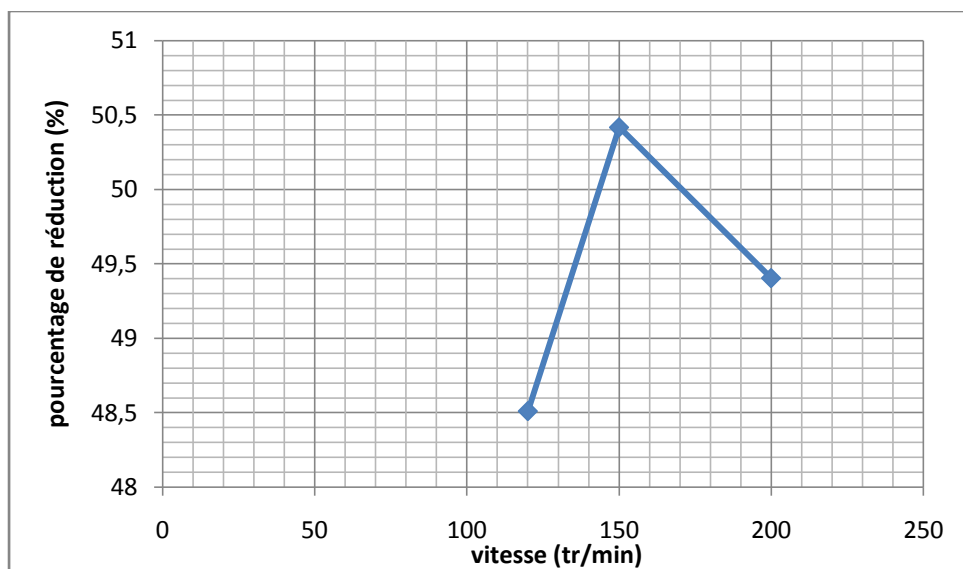


Figure N°39: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la coagulation.

V.4.1.2. L'influence de la durée d'agitation durant la coagulation :

Tableau N°15: Réduction de la turbidité pour différents temps durant la coagulation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Temps d'agitation lente = 20 min (Pour la floculation)	Vitesse d'agitation lente = 30 tr/min (Pour la floculation)	Vitesse d'agitation rapide = 150tr/min (Pour la coagulation)	temps d'agitation rapide (min) (Pour la coagulation)	Turbidité (NTU)		R(%)
				Avant	Après	
			0,5	16,8	5,34	68,21
			1	16,8	4,7	72,02
			2	16,8	5,5	67,26

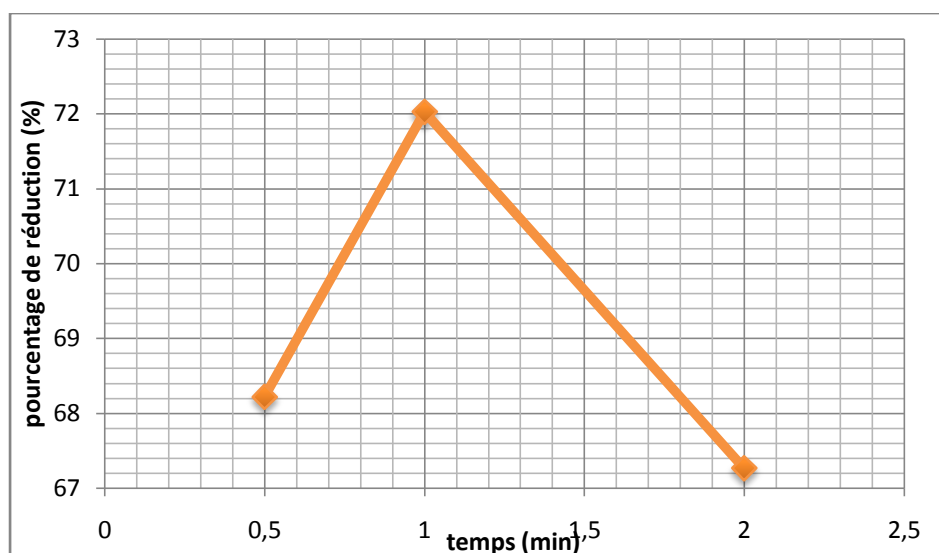


Figure N°9: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la coagulation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Tableau N°16: Réduction de la turbidité pour différents temps durant la coagulation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Temps d'agitation lente = 20 min (Pour la floculation)	Vitesse d'agitation lente = 30 tr/min (Pour la floculation)	Vitesse d'agitation rapide = 150 tr/min (Pour la coagulation)	temps d'agitation rapide (min) (Pour la coagulation)	Turbidité(NTU)		R(%)
				Avant	Après	
			0,5	16,8	5,94	64,64
			1	16,8	5,67	66,25
			2	16,8	6,32	62,38

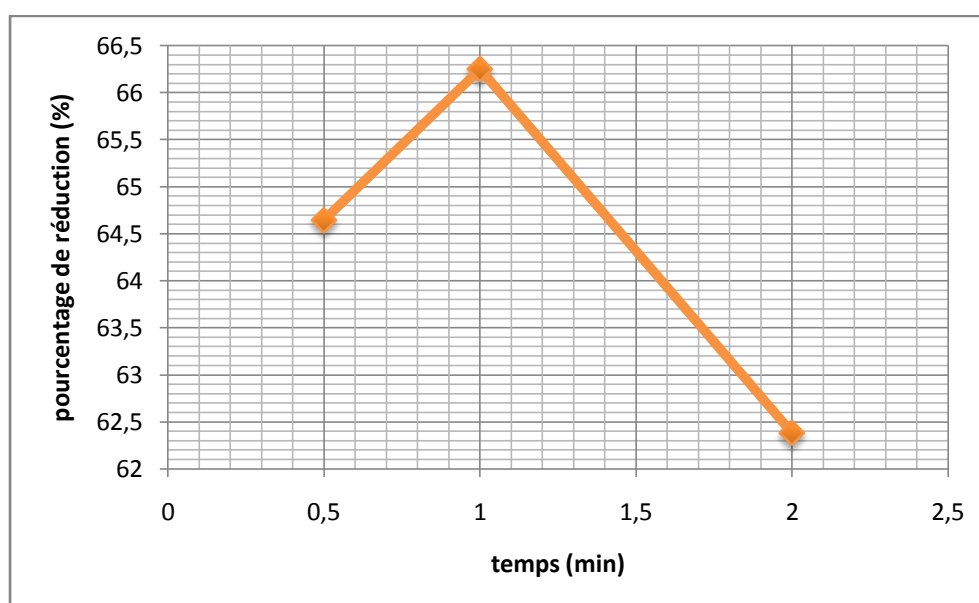


Figure N°41: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la coagulation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Tableau N°17: Réduction de la turbidité pour différents temps durant la coagulation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Temps d'agitation lente = 20 min (Pour la coagulation)	Vitesse d'agitation lente = 30 tr/min (Pour la coagulation)	Vitesse d'agitation rapide = 150 tr/min (Pour la coagulation)	temps d'agitation rapide (min) (Pour la coagulation)	Turbidité (NTU)		R(%)
				Avant	Après	
			0,5	16,8	8,94	46,78
			1	16,8	6,47	61,48
			2	16,8	8,33	50,41

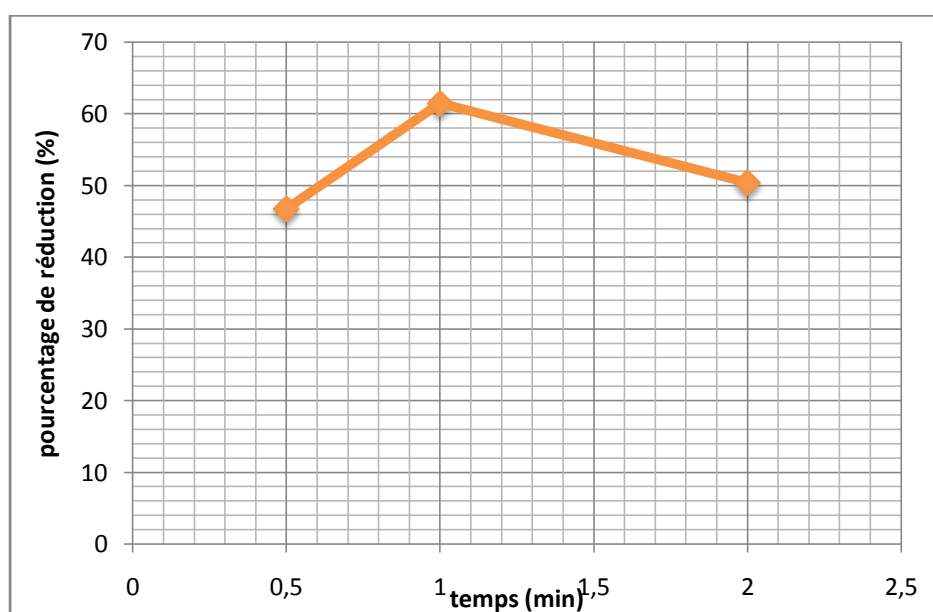


Figure N° 42: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la coagulation.

V.4.1.3. Interprétation des résultats expérimentaux :

L'étape de coagulation nécessite un temps très court pour la déstabilisation des colloïdes, pour les trois cas on a trouvé une agitation intense de 150 tr/min et un temps de coagulation de 1 min.

Nous constatons donc que la salinité initiale de l'eau n'influence pas sur la vitesse et la durée d'agitation pendant la coagulation.

V.4.2. L'influence de la vitesse et de la durée d'agitation durant la floculation :

V.4.2.1. L'influence de la vitesse d'agitation durant la floculation :

Tableau N°18: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la floculation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

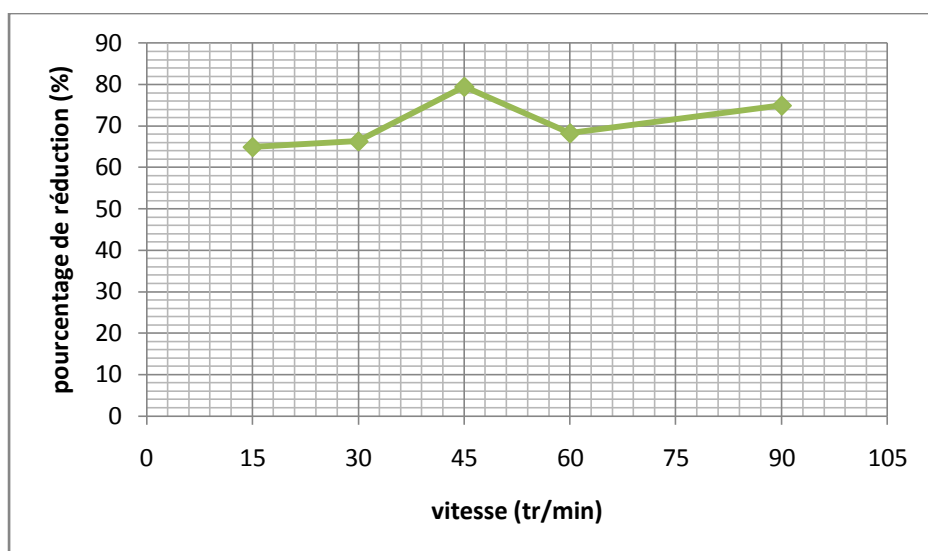
<i>Temps d'agitation rapide =1min</i> (Pour la coagulation)	<i>Vitesse d'agitation rapide= 150 tr/min</i> (Pour la coagulation)	<i>Temps d'agitation lente = 20 min</i> (Pour la floculation)	<i>Vitesse d'agitation lente (tr/min)</i> (Pour la floculation)	<i>Turbidité (NTU)</i>		<i>R(%)</i>
				Avant	Après	
			15	16,8	5,32	68,33
			30	16,8	4,7	72,02
			45	16,8	4,02	76,07
			60	16,8	4,54	72,97
			90	16,8	5,11	69,58



Figure N° 43: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la floculation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Tableau N°19: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la floculation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

<i>temps d'agitation rapide =1min</i> (Pour la coagulation)	<i>Vitesse d'agitation rapide= 150 tr/min</i> (Pour la coagulation)	<i>Temps d'agitation lente = 20 min</i> (Pour la floculation)	<i>Vitesse d'agitation lente (tr/min)</i> (Pour la floculation)	<i>Turbidité (NTU)</i>		<i>R(%)</i>
				Avant	Après	
			15	16,8	5,9	64,88
			30	16,8	5,67	66,25
			45	16,8	3,46	79,40
			60	16,8	5,34	68,21
			90	16,8	4,22	74,88



FigureN°44: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la floculation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Tableau N°20: Réduction de la turbidité pour différentes vitesses durant la floculation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Temps d'agitation rapide =1min (Pour la coagulation)	Vitesse d'agitation rapide= 150 tr/min (Pour la coagulation)	Temps d'agitation lente = 20 min (Pour la floculation)	Vitesse d'agitation lente (tr/min) (Pour la floculation)	Turbidité (NTU)		R(%)
				Avant	Après	
			15	16,8	8,93	46,84
			30	16,8	8,5	49,40
			45	16,8	8,11	51,72
			60	16,8	8,44	49,76
			90	16,8	8,32	50,47

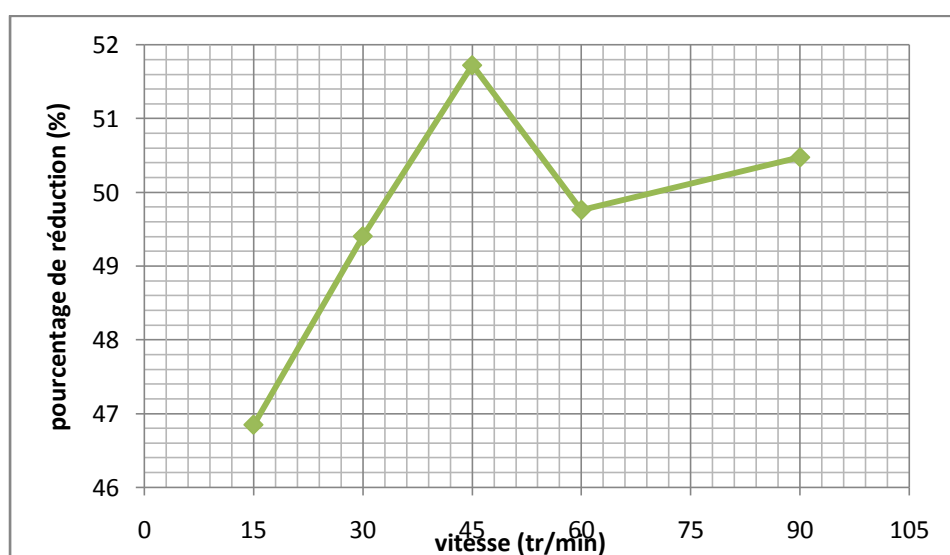


Figure N°45: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction de la vitesse d'agitation durant la floculation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

V.4.2.2. L'influence de la durée d'agitation durant la floculation :

Tableau N°21: Réduction de la turbidité pour différents durées de la floculation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Temps d'agitation rapide = 1min (Pour la coagulation)	Vitesse d'agitation rapide = 150 tr/min (Pour la coagulation)	Vitesse d'agitation lente= 45tr/min (Pour la floculation)	Temps d'agitation lente(min) (Pour la floculation)	Turbidité (NTU)		R(%)
				Avant	Après	
			10	16,8	4,46	73,45
			20	16,8	4,02	76,07
			30	16,8	3,82	77,26
			40	16,8	3,95	76,48
			50	16,8	4,11	75,53

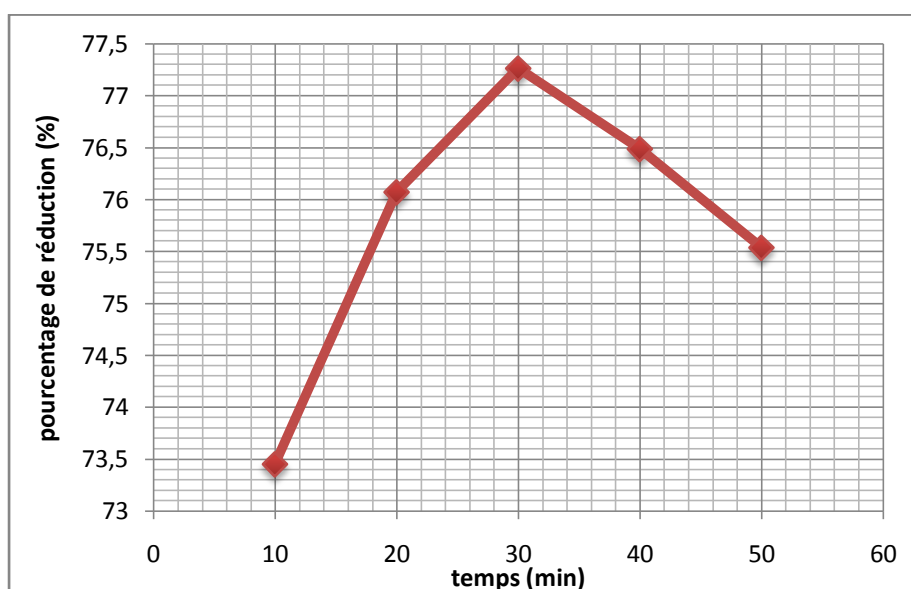


Figure N°46: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la floculation (pour 1 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Tableau N°22: Réduction de la turbidité pour différentes durée de la floculation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Temps d'agitation rapide = 1min (Pour la coagulation)	Vitesse d'agitation rapide = 150 tr/min (Pour la coagulation)	Vitesse d'agitation lente= 45 tr/min (Pour la floculation)	Temps d'agitation lente (min) (Pour la floculation)	Turbidité (NTU)		R(%)
				Avant	Après	
			10	16,8	3,72	77,85
			20	16,8	3,46	79,40
			30	16,8	3,14	81,30
			40	16,8	2,67	84,10
			50	16,8	3,37	79,94

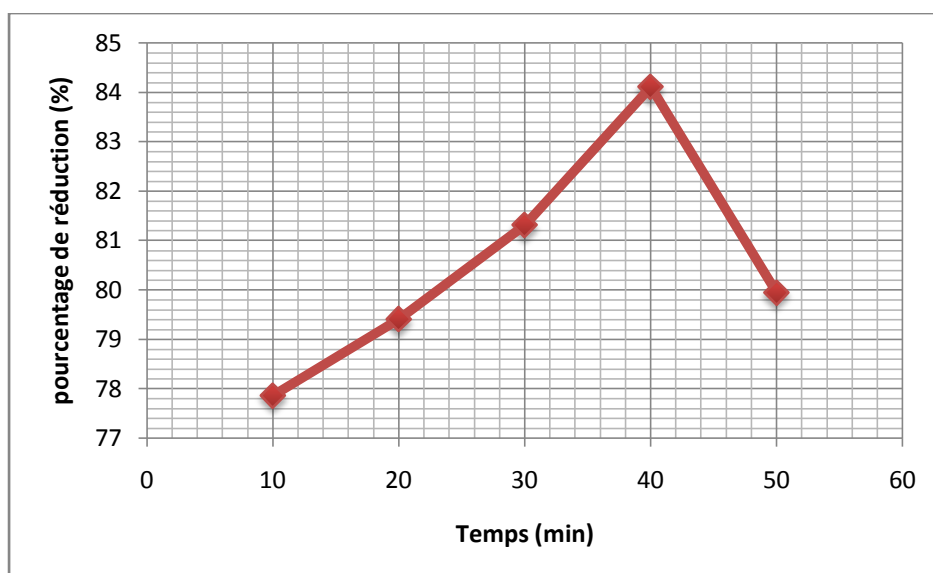


Figure N°47: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la floculation (pour 3 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Tableau N°23: Réduction de la turbidité pour différentes durée de la floculation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

Temps d'agitation rapide = 1min (Pour la coagulation)	Vitesse d'agitation rapide = 150 tr/min (Pour la coagulation)	Vitesse d'agitation lente = 45 tr/min (Pour la floculation)	Temps d'agitation lente (min) (Pour la floculation)	Turbidité (NTU)		R(%)
				Avant	Après	
			10	16,8	8,28	50,71
			20	16,8	4,11	75,53
			30	16,8	2,77	83,51
			40	16,8	5,59	66,72
			50	16,8	8,25	50,89

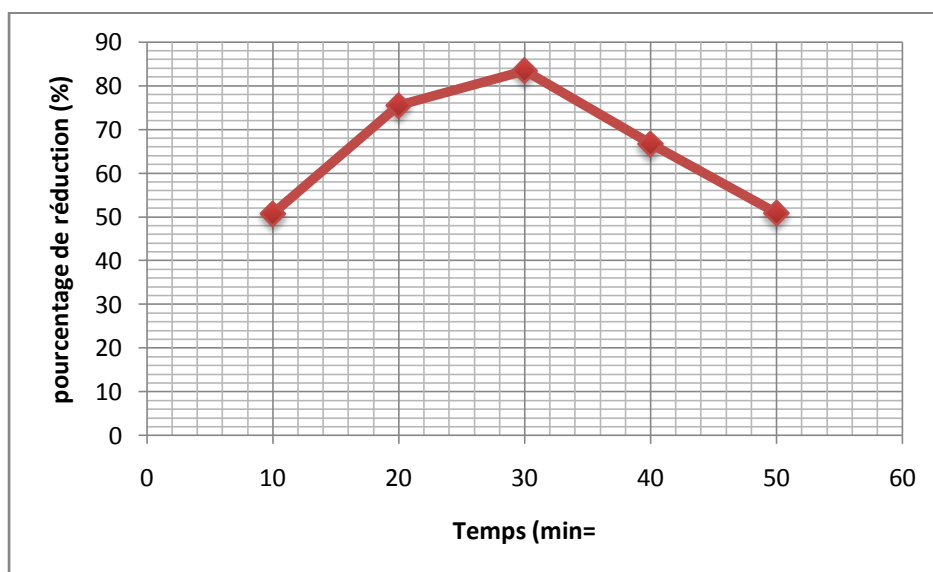


Figure N°48: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du temps d'agitation durant la floculation (pour 5 g/l de sel + 1 g/l de la chaux).

V.4.2.3. Interprétation des résultats expérimentaux:

L'agglomération des colloïdes en flocons de taille et de rigidité suffisante est une action nécessaire pour faciliter toute séparation solide-liquide, soit qu'il s'agit de décantation ou de filtration. Cette agglomération des colloïdes déstabilisés exige deux fonctions principales :

- Une interaction intense entre les particules déchargées en vue d'augmenter la probabilité de rencontre et des collisions, ce qui permettra la formation des flocons.
- Eviter la destruction des flocons formés par voie mécanique et on sait que le nombre de collisions entre particules est proportionnel au gradient de vitesse, mais les forces de cisaillement le sont aussi [43].

Pour les trois cas, une meilleure réduction de la turbidité, la vitesse optimale durant la floculation a été maintenue à 45tr/min et cela durant un temps varie entre 30 et 40 min.

V.5. L'INFLUENCE DE LA TURBIDITE DE L'EAU :

- *Pour une concentration initiale de sel de 1 g/l :*

Tableau N°24: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 0,5 g/l de la chaux :

C _c (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	13,5	9,1	17	17	7,28	8,72	0,93	1,01	32,59
12	13,5	8,78	17	18	7,28	8,67	0,93	1,02	34,96
16	13,5	8,65	17	18	7,28	8,67	0,93	1,02	35,92
20	13,5	7,97	17	18	7,28	8,67	0,93	1,16	40,96
24	13,5	8,97	17	18	7,28	8,67	0,93	1,18	33,55
30	13,5	9,6	17	18	7,28	8,4	0,93	1,01	28,88
40	13,5	10,2	17	18	7,28	8,7	0,93	0,97	24,44
50	13,5	10,6	17	17	7,28	8,55	0,93	1,18	21,48
60	13,5	12,8	17	17	7,28	8,48	0,93	1,16	5,18
70	13,5	12,8	17	17	7,28	8,27	0,93	1,02	5,18

Tableau N°25: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1 g/l de la chaux :

C _c (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	16,8	14,76	17	17	7,55	8,15	1,35	1,57	12,14
20	16,8	14,25	17	17	7,55	8,1	1,35	1,75	15,17
22	16,8	13,66	17	18	7,55	8,1	1,35	1,72	18,69
26	16,8	11,71	17	18	7,55	8	1,35	1,6	30,29
30	16,8	5,09	17	17,5	7,55	8,15	1,35	1,52	69,70
34	16,8	8,73	17	18	7,55	8,2	1,35	1,53	48,03
40	16,8	7,02	17	17,5	7,55	8,2	1,35	1,59	58,21
50	16,8	11,09	17	17,5	7,55	8,82	1,35	1,82	33,98
60	16,8	11,81	17	17,5	7,55	8,2	1,35	1,92	29,70
70	16,8	13,74	17	17,5	7,55	8,1	1,35	1,83	18,21

CHAPITRE V : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION

Tableau N°26: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1,5 g/l de la chaux :

C _c (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	17,9	13,87	17	18	7,76	8,34	1,65	2,6	22,51
20	17,9	13,12	17	18	7,76	8,26	1,65	2,67	26,70
30	17,9	11,18	17	17	7,76	8,29	1,65	2,68	37,54
40	17,9	9,91	17	17	7,76	8,29	1,65	2,61	44,63
42	17,9	9,98	17	18	7,76	8,25	1,65	2,6	44,24
46	17,9	8,5	17	18	7,76	8,22	1,65	2,62	52,51
50	17,9	8,78	17	18	7,76	8,29	1,65	2,45	50,94
54	17,9	9,1	17	18	7,76	8,29	1,65	2,6	49,16
60	17,9	9,39	17	19	7,76	8,02	1,65	2,35	47,54
70	17,9	10,81	17	18	7,76	8,34	1,65	2,35	39,60

Tableau N°27: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 2 g/l de la chaux :

C _c (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	19,5	18,43	16	16	7,89	8,15	1,8	2,3	5,48
20	19,5	17,23	16	16	7,89	8,15	1,8	2,43	11,64
30	19,5	9,92	16	17	7,89	7,96	1,8	2,3	49,12
40	19,5	7,09	16	17	7,89	7,72	1,8	2,26	63,64
42	19,5	8,24	16	18	7,89	7,72	1,8	2,3	57,74
46	19,5	7,5	16	18	7,89	7,75	1,8	2,3	61,53
50	19,5	6,1	16	18	7,89	7,75	1,8	2,5	68,71
54	19,5	7,25	16	18	7,89	7,75	1,8	2,62	62,82
60	19,5	8,79	16	19	7,89	7,76	1,8	2,69	54,92
70	19,5	11,13	16	18	7,89	8,53	1,8	2,7	42,92

Tableau N°28: L'influence de la turbidité de l'eau saumâtre sur la coagulation-floculation avec la dose optimale :

Concentration de la chaux	C _c (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
		Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
0,5 g/l chaux	20	13,5	7,97	18	18	7,28	8,67	0,93	0,96	40,96
1 g/l de chaux	40	16,8	7,02	17	17,5	7,55	8,15	1,35	1,59	58,21
1,5 g/l de chaux	46	17,9	8,5	18	18	7,76	8,22	1,65	2,62	52,51
2 g/l de chaux	50	19,5	5,46	18	18	7,89	7,75	1,8	2,5	72

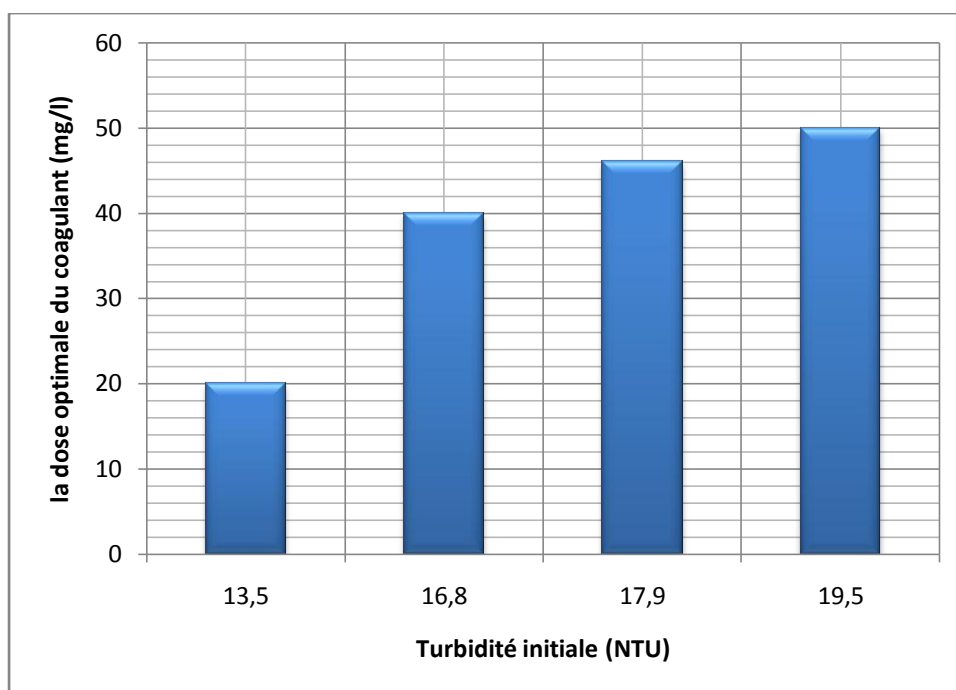


Figure N°49: variation de la dose optimale du coagulant en fonction de la turbidité

- Pour une concentration initiale de sel de 3 g/l :

Tableau N°29: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 0,5 g/l de la chaux :

Cc (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R (%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	13,5	12,85	17	17	7,17	8,62	2,12	2,59	4,81
20	13,5	12,77	17	17	7,17	8,53	2,12	2,47	5,40
22	13,5	10,56	17	18	7,17	8,5	2,12	2,40	21,77
26	13,5	7,3	17	18	7,17	8,5	2,12	2,20	45,92
30	13,5	5,25	17	18	7,17	8,3	2,12	2,20	61,11
34	13,5	4,16	17	18	7,17	8,5	2,12	2,30	69,18
40	13,5	6,42	17	18	7,17	8,6	2,12	2,26	52,44
50	13,5	9,96	17	17	7,17	8,02	2,12	2,30	26,22
60	13,5	10,84	17	17	7,17	8,45	2,12	2,26	19,70
70	13,5	12,61	17	17	7,17	7,6	2,12	2,32	6,59

Tableau N°30: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1 g/l de la chaux :

Cc (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R (%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	16,8	16,53	17	17	7,7	8,26	3,4	3,53	1,60
20	16,8	16,45	17	17	7,7	8,2	3,4	3,53	2,08
30	16,8	14,35	17	17	7,7	8,28	3,4	3,49	14,58
40	16,8	12,25	17	17	7,7	8,33	3,4	3,52	27,08
42	16,8	12,5	17	18	7,7	8,3	3,4	3,5	25,59
46	16,8	10,5	17	18	7,7	8,2	3,4	3,52	37,5
50	16,8	10,76	17	18	7,7	8,2	3,4	3,45	35,95
54	16,8	11,2	17	18	7,7	8,3	3,4	3,5	33,33
60	16,8	11,38	17	18	7,7	8,22	3,4	3,48	32,26
70	16,8	14,17	17	18,5	7,7	8,28	3,4	3,72	15,65

CHAPITRE V : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION

Tableau N°31: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1,5 g/l de la chaux :

Cc (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R (%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	17,9	10,66	18	19	8,2	8,3	4,04	4,54	40,44
20	17,9	9,94	18	19	8,2	8,2	4,04	5,02	44,46
30	17,9	9,88	18	18,5	8,2	8,2	4,04	5,11	44,80
40	17,9	9,78	18	18,5	8,2	8,3	4,04	5,05	45,36
42	17,9	9,7	18	18	8,2	8,3	4,04	5,05	45,81
46	17,9	8,95	18	18	8,2	8,6	4,04	5,1	50
50	17,9	7,39	18	18	8,2	8,3	4,04	5,1	58,71
54	17,9	8,8	18	18	8,2	8,3	4,04	5,05	50,83
60	17,9	9,94	18	19	8,2	8,4	4,04	5,06	44,46
70	17,9	11,05	18	19	8,2	8,3	4,04	5,04	38,26

Tableau N°40: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 2 g/l de la chaux :

Cc (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R (%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	19,5	11,46	18	18	8,4	8,3	5,25	5,3	41,23
20	19,5	10	18	18	8,4	8,4	5,25	5,36	48,71
30	19,5	9,78	18	18	8,4	8,4	5,25	5,36	49,84
40	19,5	7,96	18	18	8,4	8,4	5,25	5,58	59,17
50	19,5	7,52	18	18	8,4	8,4	5,25	5,72	61,43
56	19,5	7,35	18	18	8,4	8,9	5,25	5,72	62,30
60	19,5	5,08	18	18	8,4	8,4	5,25	6,08	73,94
64	19,5	5,12	18	18	8,4	8,4	5,25	6,1	73,74
68	19,5	6,18	18	19	8,4	8,6	5,25	6,1	68,30
70	19,5	6,3	18	19	8,4	8,4	5,25	6,11	67,69
80	19,5	9,66	18	19	8,4	8,4	5,25	6,22	50,46

Tableau N°32: influence de la turbidité de l'eau saumâtre sur la coagulation-floculation avec la dose optimale :

Concentration de la chaux	Cc (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R (%)
		Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
0,5 g/l chaux	34	13,5	4,16	17	18	7,17	8,5	2,12	2,3	69,18
1 g/l de chaux	46	16,8	10,5	17	18	7,7	8,2	3,4	3,52	37,5
1,5 g/l de chaux	50	17,9	7,39	18	18	8,2	8,3	4,04	5,1	58,71
2 g/l de chaux	60	19,5	5,08	18	18	8,4	8,4	5,25	6,08	73,94

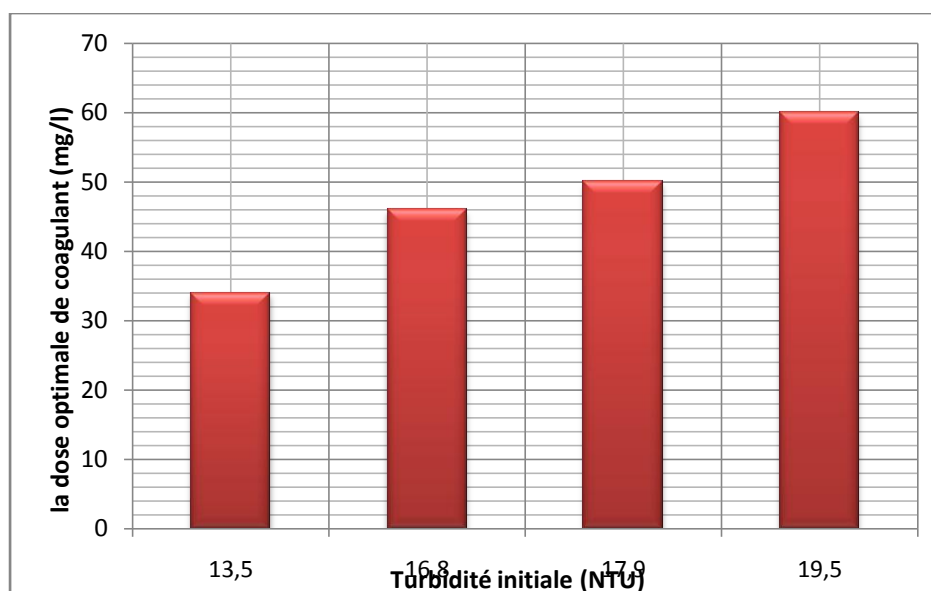


Figure N°50: variation de la dose optimale du coagulant en fonction de la turbidité.

- Pour une concentration initiale de sel de 5 g/l :

Tableau N°33: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 0,5 g/l de la chaux :

Cc (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R (%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	13,5	11,4	20	20	7,5	7,8	4,03	4,17	15,55
20	13,5	10,7	20	20	7,5	7,8	4,03	4,15	20,74
30	13,5	9,89	20	22	7,5	8,4	4,03	3,94	26,74
40	13,5	7,29	20	22	7,5	8,4	4,03	4,04	46
42	13,5	7,52	20	22	7,5	8,4	4,03	4,05	44,29
46	13,5	7,35	20	22	7,5	8,6	4,03	3,72	45,55
50	13,5	6,74	20	22	7,5	8,1	4,03	4,08	50,07
54	13,5	8,2	20	22	7,5	8,1	4,03	4,1	39,25
60	13,5	11,2	20	23	7,5	8,6	4,03	4,07	17,03
70	13,5	12,6	20	23	7,5	8,5	4,03	4,18	6,66

Tableau N°34: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1 g/l de la chaux :

Cc (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R(%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	16,8	15,3	20	21	7,8	8,9	4,55	4,68	8,92
20	16,8	13,6	20	21	7,8	8,9	4,55	4,7	19,04
30	16,8	11,9	20	22	7,8	8,9	4,55	5,02	29,16
40	16,8	11,5	20	22	7,8	8,8	4,55	4,68	31,54
42	16,8	9,52	20	22	7,8	8,9	4,55	5,15	43,33
46	16,8	8,35	20	22	7,8	8,9	4,55	5,1	50,29
50	16,8	8,31	20	22	7,8	8,8	4,55	5,15	50,53
54	16,8	8,2	20	22	7,8	8,8	4,55	5,1	51,19
60	16,8	12,6	20	22	7,8	9	4,55	5,17	25
70	16,8	14,8	20	22	7,8	9	4,55	5,22	11,90

CHAPITRE V : RESULTATS EXPERIMENTAUX ET INTERPRETATION

Tableau N°35: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 1,5 g/l de la chaux :

Cc (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R (%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	17,9	15,4	20	21	8,1	9,2	4,55	4,68	13,96
20	17,9	12,4	20	21	8,1	9,2	4,55	4,7	30,72
30	17,9	11,5	20	22	8,1	9,2	4,55	5,02	35,75
40	17,9	11,1	20	22	8,1	9,1	4,55	4,68	37,98
42	17,9	10,65	20	22	8,1	9,2	4,55	5,15	40,50
46	17,9	10,52	20	22	8,1	9,2	4,55	5,1	41,22
50	17,9	9,87	20	22	8,1	9,1	4,55	5,15	44,86
54	17,9	9,46	20	22	8,1	9,1	4,55	5,1	47,15
60	17,9	9,23	20	22	8,1	9,3	4,55	5,17	48,43
70	17,9	9,13	20	22	8,1	9,3	4,55	5,22	48,99
80	17,9	10,5	20	22	8,1	9,3	4,55	5,22	41,34

Tableau N°36: l'influence de la turbidité de l'eau saumâtre chargée à 2 g/l de la chaux :

Cc (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R (%)
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
10	19,5	18,89	20	21	8,25	9,35	4,55	4,68	3,12
20	19,5	17,6	20	21	8,25	9,35	4,55	4,7	9,74
30	19,5	17,8	20	22	8,25	9,35	4,55	5,02	8,71
40	19,5	15,3	20	22	8,25	9,25	4,55	4,68	21,53
50	19,5	12,1	20	22	8,25	9,35	4,55	5,15	37,94
60	19,5	10,3	20	22	8,25	9,35	4,55	5,1	47,17
70	19,5	9,75	20	22	8,25	9,25	4,55	5,15	50
80	19,5	9,13	20	22	8,25	9,25	4,55	5,1	53,17
90	19,5	9,05	20	22	8,25	9,45	4,55	5,17	53,58
100	19,5	9,23	20	22	8,25	9,45	4,55	5,22	52,66

Tableau N°37: influence de la turbidité de l'eau saumâtre sur la coagulation-floculation :

Concentration de la chaux	Cc (mg/l)	Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (mg/l)		R (%)
		Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
0,5 g/l chaux	50	13,5	6,74	20	22	7,5	8,1	4,03	4,08	50,07
1 g/l de chaux	54	16,8	8,2	20	22	7,8	8,8	4,55	5,1	51,19
1,5 g/l de chaux	70	17,9	9,13	20	22	8,1	9,3	4,55	5,22	48,99
2 g/l de chaux	90	19,5	9,05	20	22	8,25	9,45	4,55	5,17	53,58

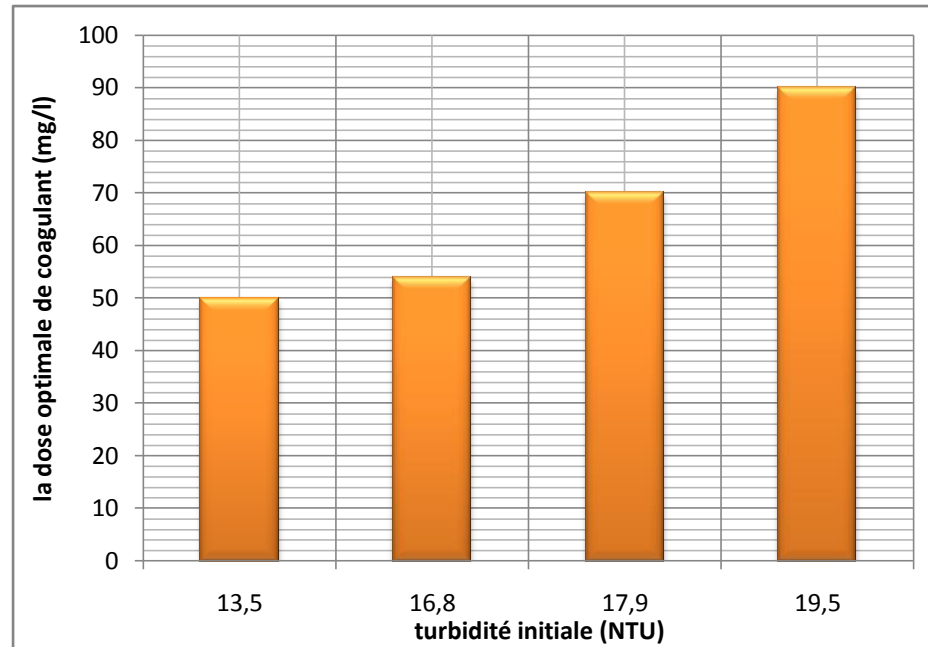


Figure N°51: variation de la dose optimale en fonction de la turbidité.

V.5.1. Interprétation des résultats expérimentaux:

Les figures N°49, N°50 et N°51 représentent la dose optimale du coagulant en fonction de la turbidité initiale. Ces figures montrent bien que plus la turbidité initiale augmente plus la concentration du coagulant optimale nécessaire pour faire diminuer cette turbidité augmente.

Nous pouvons également constater que, pour toutes les valeurs de la turbidité ; il existe toujours une dose optimale du coagulant à partir de laquelle l'élimination se stabilise.

Comparaison entre les figures N°49, N°50 et N°51, on remarque bien que pour une eau de même turbidité mais de salinité initiale différente la concentration du coagulant optimale change. On constate aussi que plus la salinité initiale de l'eau augmente plus la concentration du coagulant optimale augmente.

Nous remarquons dans les tableaux N°36, N°41 et N°46 que la variation de la salinité en fonction de la turbidité est une fonction croissante. Donc, on peut dire que la variation pour ce paramètre est bien linéaire en fonction de la turbidité et l'ajout du coagulant.

V.6. LA COAGULATION-FLOCULATION ET DECANTATION SUR LE PILOTE :

On a fait un essai sur le pilote TE600 et on a considéré le comme une station. Obtenus les résultats dans le tableau suivant :

Tableau N°38: influence de type de décantation (La concentration optimale du coagulant= 0,054 g/l)(La concentration optimale du floculant = $4 \cdot 10^{-3}$ g/l)

paramètres physico-chimiques		Turbidité (NTU)		T (°C)		pH		Salinité (g/l)		R (%)
types de décantation		Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	
<i>Décantation lamellaire</i>	co-courant	19,5	4,32	26	27	8,76	8,05	4,55	6,23	77,84
	Contre-courant	19,5	7,45	26	27	8,76	8,05	4,55	6,23	61,79
<i>Décantation classique</i>		19,5	7,74	26	27	8,76	8,05	4,55	6,23	60,30



Figure N°52: Pourcentage de réduction de la turbidité en fonction du type de décantation.

V.6.1. Interprétation :

Nous constatons d'après le tableau N°47 que la valeur obtenue de la turbidité après coagulation floculation pour chaque type de décantation dans le pilote est plus grande que celle obtenue en Jar-test, malgré l'utilisation des doses optimales des réactifs. Le défaut se cache entre plusieurs paramètres tels que la circulation de l'eau, la forme du décanteur, le type de la vitesse d'agitation et le temps de décantation.

Tout cela pour une concentration de 1g/l de la chaux et de 5 g/l de sel, la figure N°52 montre bien que la décantation lamellaire est plus efficace que celle classique et que même dans la décantation lamellaire, la décantation co-courant est la meilleure.



Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Le processus de coagulation-floculation et décantation a fait apparaître divers mécanismes, souvent complexes et dépendant fortement du pH de l'eau à traiter. En outre, les chercheurs s'intéressent de plus en plus à optimiser cette étape pour un meilleur abattement des polluants, notamment organiques. Certains ont porté leur choix sur l'amélioration des performances des réactifs coagulants et adjuvants de floculation. Mais la plupart des travaux s'accordent à conclure que l'optimisation et l'ajustement de paramètres physico-chimiques de l'eau ou du dosage du coagulant peuvent conduire à une floculation et une élimination des matières en suspension, des matières colloïdales et des macromolécules susceptibles de communiquer à l'eau une turbidité ou une couleur indésirables. Il s'agit de matières organiques aussi bien que minérales.

Les paramètres de clarification de l'eau que nous avons mesurée à l'échelle du laboratoire sont :

- La dose optimale du coagulant ;
- La dose optimale du floculant ;
- La vitesse et la durée d'agitations pour l'étape de la coagulation ;
- La vitesse et la durée d'agitations pour l'étape de la floculation;

A partir des résultats trouvés et discussions présentés, nous avons pu conclure que :

- La détermination de la concentration optimale du coagulant sur Jar-Test est un paramètre essentiel pour la déstabilisation des colloïdes.
- La quantité de sel contenue dans l'eau influence peu sur la dose optimale du coagulant, malgré tout cette variation se fait dans le même sens.
- Le pH est l'un des paramètres les plus importants qu'il faut noter, du fait qu'il joue un rôle déterminant dans la coagulation. Les sels contenus dans l'eau sont influencés sur la plage du pH optimale.
- Il existe une bonne corrélation entre la concentration du coagulant et la salinité.
- Le polyamide donne des meilleurs résultats que le Kaolin.
- plus la concentration de sel initiale augmente plus la concentration optimale de floculant (le Kaolin et le Polyamide) nécessaire pour faire diminuer la turbidité augmente.
- L'étape de coagulation nécessite une vitesse très rapide et un temps très court,
- la salinité initiale de l'eau n'influence pas sur la vitesse et la durée d'agitation pendant la coagulation.
- L'étape de floculation nécessite une vitesse lente et un temps très lente,
- la salinité initiale de l'eau influence peu sur la durée d'agitation pendant la floculation.

CONCLUSION GENERALE

- Chaque eau saumâtre turbide a une dose optimale du coagulant qui est reliée à sa turbidité et sa salinité initiale.
- La valeur de la salinité après coagulation-floculation est toujours supérieure à la valeur initiale car elle est reliée à la concentration injectée du produit de coagulation-floculation
- Les meilleurs résultats sont obtenus par le pilote TE600 lors de la décantation lamellaire co-courant.

Rapport-Gratuit.com



Bibliographie

Bibliographie

- [1] **LakhdariB., 2011** : Effet de la coagulation floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz .Mémoire de magister en Chimie Inorganique et Environnement ;Département de Chimie ; Faculté des Sciences, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, Décembre 2011.
- [2] **Khemis., 2005** : Etudethéorique et expérimentale du procédé d'électrocoagulation : application au traitement des effluents liquides hautement charges en impuretés organiques et minérales. Thèse de doctorat INPL, Nancy.
- [3] **BensadokK., 2009** : Procédé de traitement d'émulsion huile/eau et eau/huile cas particulière d'émulsion d'huile de coupe. Thèse de doctorat d'état. Faculté des sciences et de technologie ;Université Haouari Boumediene.
- [4] **BoursaliI., 2011** :Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension .Mémoire d'ingénieur d'états en géologie ; Département des sciences de la terre et de l'univers. Faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers ; Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, Juin 2011.
- [5] <http://fr.ekopedia.org/Eau>.consulté le 19/03/2012.
- [6] MicrosoftEncarta2007.
- [7] <http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau>.consulté le 19/03/2012.
- [8] **La Commission Locale de l'Eau., 2004** :Rendement des réseaux d'eau potable ; définition des termes utilises ; version juin 2004 ;(www.sage-nappes33.org/index2.php?option=com_docman...74).
- [9] **LehbabS. et al., 2004** : Contribution à l'étude de l'eau potable .Mémoire d'ingénieur d'états en écologie végétale et environnement, Université de Sidi Bel Abbés.
- [10] **DesjardinsR., 1997** : Traitement des eaux ; Edition de l'école polytechnique de Montréal, 2ème édition revue et améliorée.
- [11] **Les études de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne., 2005** : Connaissance et maitrise des pertes dans les réseaux d'eau potable (www.eau-adour-garonne.fr).
- [12] **BenkhaledA.et ZitouniW., 2011** : Diagnostic de la qualité de l'eau dans le réseau et de l'état de propreté des conduites ; Mémoire de licence en science et technique de l'eau, Département d'Hydraulique, Faculté deTechnologie, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, Juin 2011.
- [13] **Boumediene M., 2011** : Cours de traitement des eaux ; Master 2 en Hydraulique. Option :Eau, Sol et Aménagement.
- [14] **Saïd Ouali M., 2001** : Cours de procédés unitaire biologique et traitement des eaux ; Office des publications universitaires ; 1 place centrale de Ben-Aknoun(Alger).

- [15] Eau: Généralité <http://sixpiedssurterre.over-blog.com/article-eau-generalites-68730704.html> : les états de l'eau .consulté le 19/03/2012.
- [16] http://www.ecosociosystemes.fr/eau_proprietes_physicochimiques.html consulté le 19/03/2012.
- [17] **AdjimH., 2004** : Evaluation et affectation des ressources hydriques superficielles du bassin versant de la Tafna, Mémoire de Magister en Hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, juillet 2004.
- [18] www.cap-sciences.net. Consulté le 12/05/2012.
- [19] <http://www.u-picardie.fr/>. Consulté le 19/03/2012.
- [20] **DEGREMENT., 2005** : Mémento technique de l'eau, Tome I, Lavoisier, Paris.
- [21] Gérard Copin-Montégut ; Propriétés physiques de l'eau de mer.
http://www.obs-vlfr.fr/enseignement/enseignants/copin/prophy_imp.pdf .consulté le 23/03/2012.
- [22] **DEGREMENT., 1972** : Mémento technique de l'eau, Lavoisier, Paris.
- [23] **RodierJ. et coll., 2005** : L'analyse de l'eau ; eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème édition. Dunod, Paris.
- [24] <http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s3/eaux.souterraines.html> .Consulté le 19/03/2012.
- [25] <http://membres.multimania.fr/valerian88/aqua01.htm>; Consulté le 19/03/2012.
- [26] **BantonO. et Bangoy L.M., 1997** : Multi science environnementale des eaux souterraines. Presses de l'Université du Québec/AUPELF.
- [27] **Schoeller.Henri J., 1975** :Groundwater Pollution - Symposium -; Actes du Colloque de Moscou, Août1971: IAHS-AISH Publ. No. 103.
- [28] **Bordet J., 2007** :L'eau dans son environnement rural ; édition Johanet.
- [29] **BachiM. et AbdelliR., 2005** :L'influence des paramètres physiques et chimiques sur la coagulation- floculation et décantation, Mémoire pour l'obtention du diplôme DEUA en Hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen, juillet 2005.
- [30] **Chabni L., 2005** :mémoires de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique. Option :conception des systèmes d'alimentation en eau potable. Thème : Etude de la propagation des polluantsdans les eaux souterraines. Ecole Nationale Supérieure de L'hydraulique ENSH-BLIDA.

- [31] **Lallemand B., 1995** : Méthodes de dépollution des eaux souterraines. Édition BRGM.
- [32] [http://www.actu
environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/degrillage.php4](http://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/degrillage.php4) consulté le 7/04/2012.
- [33] **MeticheM., 2004**: Environnement. Phénomènes de pollution et techniques de protection. Publication : Centre Universitaire de Béchar. Octobre 2004.
- [34] **SouikniN. et Seghioeur N., 2006** : Contribution à l'étude de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines dans le grand Tlemcen (Tlemcen-Mansourah-Chetouane), Mémoire pour l'obtention du diplôme DEUA en Hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen.
- [35] <http://WWW.goodplanet.info/goodplanet/index.php/fre/Societe/Sante/Sante-et-environnement%28theme%29/290>. Consulté le 26/03/2012.
- [36] http://cerea.enpc.fr/fich/doc/ENPC_transport.pdf .Consulté le 25/01/2012.
- [37] **Bessedik M., 2010** : Cours de Développement durable et gestion intégrée des ressources en eau .Licence en Hydraulique. Option : science et technique de l'eau.
- [38] **Christian N., 2004** : Déchets et pollution impact sur l'environnement et la santé. Edition Dunod, paris.
- [39] **HamidiM., 1997** : Etude de la vulnérabilité à la pollution et la propagation des polluants dans la nappe de Magnia. Ingénieur d'état en hydraulique urbain. Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen,
- [40] **JESTIN E.,** La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires, Agence de l'eau seine-Normandie, Direction des bocages Normands 1, rue de la pompe ;(Jestin.emmanuel@aesn.fr)
- [41] <http://www.cipel.org/sp/IMG/pdf/Eaux-potables-camp-02>. Consulté le 24/12/2011
- [42] <http://www.cnrs.fr>. Consulté le 23/12/2011
- [43] **EzzianeS., 2007** : Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT « TENES », Mémoire de Magister, Département de génie des procédés, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur ; Université Hassiba Ben Bouali, Chlef. <http://www.ing-dz.com>.
- [44] **Kettab A., 1992** : Traitement des eaux (les eaux potables); Office des publications universitaires (OPU), Alger.
- [45] **Hernández De León H.R., 2006** : Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable, Mémoire pour l'obtention de diplôme de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse.
- [46] **AzzaouiA. et Melis M., 2008** : Etude d'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de la station de traitement de barrage BAKHADDA « TIARRET », Mémoire pour

l'obtention du diplôme DEUA en Hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen.

[47] http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich4_12.htm. Consulté le 07/04/2012.

[48] **DeshayesM., 2008** : Guide pour l'établissement des plans d'Assurance de la qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de type boues activées en lots séparés, Mémoire en Génie civil, Strasbourg. <http://www.ademe.fr/partenaires/Boues/Pages/f14.htm>.

[49] **Adjim H., 2011** :Cours de module Art et ouvrage Hydraulique ; Master 1 Spécialité eau, sol et aménagement.

[50] **Brahmi Z. et BenaissaN., 2010** : Influence de la coagulation floculation et décantation sur la qualité des eaux épurées de la station de Ain El Houtz ; Mémoire d'ingénieur d'état en hydraulique ; Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université Abou BekrBelkaid,Tlemcen.

[51] <http://www.lenntech.fr/bibliotheque/coagulation/coagulation-floculation.htm> .Consulté le 04/03/2012.

[52] <http://www.lenntech.fr/decantation.htm> .Consulté le 4/3/2012.

[53] **Cardot G., 2005** : Génie de l'environnement ; Les traitements de l'eau Procédés physico-chimiques et biologiques cours et problèmes résolus, Edition Ellipse, février 2005.

[54] Filtration : http://www.eduenet.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/filtration.pdf. Consulté le 04/03/2012.

[55] **Slimani A. et Touati H., 2004** : Filtration sur sable, Mémoire pour l'obtention du diplôme DEUA en Hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université AbouBekrBelkaïd, Tlemcen.

[56] **Beaudry. J.P., 1984** : Traitement des eaux. Edition de Griffon d'argile.

[57] **DjellouliR. et BelarbiO., 2008** : Etude sur la coagulation-floculation et décantation sur les eaux épurées de la STEP de Ain Elhoutz ; Mémoire pour l'obtention de DEUA en traitement et épuration des eaux ; Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université Abou BekrBelkaid, Tlemcen.

[58] **Roland V., 2010** : Eau, environnement et santé publique, Introduction à l'hydrologie, 3^{ème} édition ; Lavoisier.

[59] **MokhtariA. et DirB., 2006** : Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux potables « groupement urbain de Tlemcen » ; Mémoire pour l'obtention du diplôme DEUA en Hydraulique, Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université Abou BekrBelkaid, Tlemcen.

[60] **Chiboub fellah A., 2010** : Cours de module de dessalement; Licence en Hydraulique .Option : science et technique de l'eau.

[61] Dossier thématique- la cité de la Mer- Technopole Cherbourg-Normandie/ Mars 2005.

[62] **Tata-DucruF., 2009** : Agence Française de Développement ; ENGREF
Centre de Montpellier ; Dessalement de l'eau de mer : bilan des dernières avancées technologiques ; bilan économique ; analyse critique en fonction des contextes ; comptecb@orange.fr, Janvier 2009.

[63] **Direction de la recherche et de la planification de l'eau ., 2008** : Eaux souterraines saumâtres au Maroc, potentialités en tant que ressources alternatives.Marrakech, Avril 2008
[http://www.eau-tensift.net/](http://www.eau-tensift.net/fileadmin/user_files/pdf/ADIRA/diaporamas/eaux_saum%C3%A2trs_au_Maroc_LYAZIDI.pdf)
[fileadmin/user_files/pdf/ADIRA/diaporamas/eaux_saum%C3%A2trs_au_Maroc_LYAZIDI.pdf](http://www.eau-tensift.net/fileadmin/user_files/pdf/ADIRA/diaporamas/eaux_saum%C3%A2trs_au_Maroc_LYAZIDI.pdf)
.Consulté le 23/03/2012.

[64] **Alain M., 2006** : Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtre et autre procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce ; deuxième édition ; Lavoisier.

[65] **ChatkaewT., 2009** : Procédés hybrides à membranes pour le prétraitement d'eau de mer avant dessalement par osmose inverse, Thèse de Doctorat en Génie des Procédés et de l'Environnement, Université de Toulouse.

[66] **Jean-Marc Bet Catherine J., 2002** :Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau; Nouvelle version rédigée ; www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae14.pdf.

[67] **Bessidik M., 2010** : Cours de Traitement de l'eau, Licence en Hydraulique. Option : Traitement et technologie des eaux.

[68]http://www.wikipedia.org/wiki/filtration_sur_membrane#Les_diff.C3.A9rents_proc.C3.A9d.C3.A9s_membranaires .Consulté le 06/01/2012.

[69] <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/menuRessour.html>
Consulté le 06/01/2012.

[70] Filtration Par Membranes Osmose Inverse, Nanofiltration, Ultrafiltration et Microfiltration ; www.geafiltration.com.

[71] www.safewater.org.[Consulté le](#) 06/01/2012.

[72] **Desjardins C., 1999** :Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée (actiflo) à l'aide d'une procédure modifiée de jar test, Mémoire pour l'obtention du diplôme de maîtrise ès sciences appliquées, Ecole polytechnique de Montréal, Canada.

[73] **DELTALAB** : Bultin technique du pilote de coagulation-floculation et décantation(TE 600).

[74] Ayse Tosun-Bayraktar. Traitement des eaux usées.
http://industriesdesprocedes.perso.sfr.fr/mcme/EAUX_USEES/1./pdf. [Consulté le](#) 23/03/2012.

[75] **Ahmed Ammar Y. et Benhaddou M., 2010** : Etude expérimentale de la coagulation-floculation par le sulfate d'alumine des matières en suspension. Mémoire d'ingénieur d'état en hydrogéologie ; faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers. Département des sciences de la terre et de l'univers. Université AbouBekrbelkaid. Tlemcen.

[76] **DEGREMENT., 1978** : Mémento technique de l'eau, Lavoisier, Paris.

[77] **LENGO K.M., 1994** : Effets comparés de divers coagulants sur l'enlèvement de la matière organique des eaux à potabiliser - influence de la préhydrolyse. Mémoire de maîtrise - Département de Génie Civil. École Polytechnique de Montréal.

[78] **Colin L et all., 2008** : Évaluation d'un procédé de coagulation-floculation au chitosane pour l'enlèvement du phosphore dans les effluents piscicoles. Université du Québec; Ecole de technologie supérieure

[79] **Dupant A., 1983** : Hydraulique urbaine, Edition Eyrolles.

[80] <http://www.fnsa-vanid.org/docs/fnsa/publications/guide-traitement/traitement-des-dechets-assainissement.pdf> .Consulté le 02/01/2012.

[81] <http://www.techniques-ingenieur.fr/search.html?level=1&query=jar+test> .Consulté le 23/12/2011

[82] **kabli et kazouz., 2004** : Etude expérimentale sur la coagulation-floculation et décantation ; Mémoire pour l'obtention de DEUA en traitement et épuration des eaux ; Département d'Hydraulique, Faculté des sciences de l'Ingénieur, Université Abou BekrBelkaid, Tlemcen