



DEDICACE

Que ce travail puisse exprimer notre reconnaissance à toutes les personnes qui nous ont suivis, aidés et aimés tout au long de notre vie.

A vous chers parents, pour votre amour infaillible, votre soutien et vos longs sacrifices.

A vous nos frères et sœurs.

A toute la famille pour son assistance.

Spéciale dédicace à BENARBIA Sakina et BOUFARES Faissal.

A tous nos amis, camarades élèves- ingénieurs, sans qui la vie n'aurait jamais été aussi belle.

A TOUS CEUX QUI NOUS AIMENT

KARIM ELMARSSI & YOUNES MBARKI



RESUME

Ce présent mémoire constitue une synthèse de notre projet de fin d'étude, effectué au sein du bureau d'étude 'Conseil Ingénierie Développement' CID, dont le but est d'élaborer un logiciel, nommé **DimST**, qui permet de dimensionner une station conventionnelle de traitement des eaux de surface pour la production de l'eau potable.

Afin d'atteindre notre objectif, nous avons tout d'abord dressé un état des lieux qui décrit le cadre réglementaire et institutionnel qui régit le domaine de l'eau potable et les caractéristiques des ressources en eau au Maroc, notamment leur qualité.

Puis nous nous sommes focalisées sur une étude bibliographique qui regroupe les procédés de traitement les plus utilisés dans les stations conventionnelles.

Avant de se lancer dans la conception du logiciel, on a entamé notre étude par une note technique qui permet de dimensionner les ouvrages de la station et estimer les quantités des réactifs à injecter dans l'eau au cours du traitement.

L'élaboration du **DimST** passe par une traduction de cette note technique en un code du langage VB.net et une création d'une interface utilisateur.

Après avoir présenté le logiciel, on a réalisé une étude de cas qui consiste à dimensionner une station conventionnelle et comparer les résultats donnés par DimST avec ceux du Bureau d'étude.



Remerciements

Alors que ce travail touche à sa fin, nous saisissons cette occasion pour exprimer autant nos remerciements que notre reconnaissance à l'Ecole Hassania des Travaux Publics, dont les responsables, le corps enseignant et le personnel administratif .Ils ont tout déployé pour nous donner la formation digne de cette prestigieuse institution.

Les expressions de notre vive reconnaissance sont adressées également à Mr. MOUMINE Mohammed, le chef de la division Eau Potable, pour son encadrement, ses aides et ses précieux conseils.

Nous tenons à remercier notre encadrant interne : M. Brahim LEKHLIF, Responsable du Centre d'Etudes et de Recherche en Ressources en Eau, qui nous a parrainé et encadré tout au long de notre travail.

Nous tenons à exprimer notre gratitude envers les membres du jury, qui se sont libérés de leurs obligations pour juger ce travail.

Enfin, que tous ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail, trouvent ici l'expression de notre reconnaissance.



SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES.....	7
LISTE DES TABLEAUX.....	9
INTRODUCTION.....	12
CHAPITRE I : ETAT DES LIEUX.....	13
I.1. Cadre réglementaire et institutionnel.....	13
I.1.1. Loi sur l'Eau	13
I.1.2. Organisation du secteur	13
I.2. Caractéristiques des ressources en eau	14
I.2.1. Contexte climatique	14
I.2.2. Evaluation des ressources en eau.....	16
I.2.3. Qualité de l'eau.....	17
I.2.4. Mobilisation des ressources en eaux conventionnelles.....	19
CHAPITRE II : ETUDE DE TRAITEMENT DES EAUX : FILIERE EAU.....	21
II.1. Inventaire des différents procédés de traitement	21
II.1.1. Procédés physiques.....	21
II.1.2. Procédés chimiques	21
II.1.3. Procédés physico-chimique	21
II.1.4. Procédés spéciaux.....	21
II.2. Techniques de traitement des eaux de surface.....	22
II.2.1. Débouillage.....	22
II.2.2. Préchloration.....	22
II.3. Coagulation floculation	23
II.3.1. Coagulation.....	23
II.3.2. Floculation.....	31
II.4. Décantation.....	33
II.4.1. Description	33
II.4.2. Décantation des particules grenues	34
II.4.3. Théorie de la décantation.....	35
II.4.4. Différents types de décanteurs.....	37



II.4.5. Flottation.....	39
II.5. FILTRATION	40
II.5.1. Description	40
II.5.2. Mécanismes de filtration	40
II.5.3. Filières de filtration	41
II.5.4. Les systèmes de filtration	42
II.5.5. Filtres ouverts	44
II.5.6. Colmatage et lavage des filtres	46
II.5.7. Désinfection.....	47
II.5.8. Recyclage des eaux de lavage des filtres.....	51
CHAPITRE III : ETUDE DE LA FILIERE BOUE	53
III.1. Introduction	53
III.2. Destinations finales.....	53
III.3. Caractéristiques des boues	54
III.4. Type de boues	55
III.5. Valorisation des boues	56
CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES	62
IV.1. Dimensionnement de la filière eau	62
IV.1.1. Calcul du débit d'eau brute	62
IV.1.2. Ouvrage de répartition	63
IV.1.3. Ouvrages de mélange rapide 1	64
IV.1.4. Débourbeurs	64
IV.1.5. Ouvrages de mélange rapide 2(coagulateur).....	65
IV.1.6. Floculateurs.....	65
IV.1.7. Décanteurs.....	66
IV.1.8. Filtres	67
IV.1.9. Ouvrages de traitement des eaux des filtres.....	68
IV.2. Dimensionnement de la filière boue	70
IV.2.1. Estimation de la quantité de boues à traiter	70
IV.2.2. Calcul du volume de la bache tampon	70
IV.2.3. Dimensionnement de l'ouvrage d'épaississement des boues	71
IV.2.4. Dimensionnement de l'ouvrage de déshydratation des boues	71
IV.3. Calcul des quantités des réactifs	72
IV.3.1. Préchloration.....	72



Elaboration d'un logiciel de dimensionnement des stations conventionnelles de traitement de l'eau potable

IV.3.2. Désinfection.....	72
IV.3.3. Sulfate d'Aluminium	72
IV.3.4. Chlorure ferrique	73
IV.3.5. Polyélectrolyte	73
IV.3.6. Charbon actif	75
IV.3.7. Permanganate de potassium KMnO4	75
IV.3.8. Acide sulfurique H ₂ SO ₄	76
IV.3.9. La chaux	76
CHAPITRE V : PRESENTATION DU LOGICIEL DIMST	77
V.1. Objectif.....	77
V.2. Interface du logiciel.....	77
V.3. Procédure à suivre pour dimensionner les ouvrages de la station	79
CHAPITRE VI : ETUDE DE CAS.....	84
VI.1. Définition de la filière de traitement.....	84
VI.2. Dimensionnement des ouvrages	84
VI.3. Estimation des quantités des réactifs.....	93
VI.4. Visualisation des résultats donnés par DimST	96
CONCLUSION.....	106
PERSPECTIVES.....	107
ANNEXES.....	109



LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Répartition des précipitations annuelles à l'échelle marocaine.....	15
Figure 2 : Qualité des eaux de surface	18
Figure 3 : Evolution du nombre des grands barrages réalisés ainsi que leur capacité	19
Figure 4 : Pourcentage HClO en fonction du pH et de la température	23
Figure 5 : Dimension de différentes particules	24
Figure 6 : Distribution ionique autour d'une particule colloïdale électronégative.....	26
Figure 7 : Représentation des différentes énergies en fonction de leur éloignement.....	27
Figure 8 : Diagramme de solubilité de l'Aluminium	29
Figure 9 : Diagramme de solubilité du Fer	29
Figure 10 : Décantation horizontale	35
Figure 11 : Décantation verticale	36
Figure 12 : Décanteur horizontal.....	37
Figure 13 : Décanteur vertical.....	37
Figure 14 : Schéma de principe de fonctionnement d'un décanteur vertical à lit de boues Pulsator.....	38
Figure 15 : Schéma de principe de fonctionnement d'un décanteur à floc lestés	38
Figure 16 : Décanteur lamellaire	39
Figure 17 : Schéma de principe de fonctionnement d'un flottateur	40
Figure 18 : Schéma de principe d'une filtration conventionnelle	42
Figure 19 : Schéma de principe d'une filtration en ligne avec coagulation sur filtre	43
Figure 20 : Schéma de principe d'une filtration en ligne avec contact intermédiaire.....	43
Figure 21 : Schéma d'un filtre ouvert	44
Figure 22 : Système de désinfection par ozonation.....	50
Figure 23 : Spectre des UV et leurs effets.....	50
Figure 24 : Epaisseur raclé à entrainement central	57
Figure 25 : Principe d'épaississement par des systèmes drainants	59
Figure 26 : Principe de filtration sur filtre à bandes.....	59
Figure 27 : Principe de filtration à plateaux	60
Figure 28 : Coupe type d'un lit de séchage.....	61
Figure 29: Interface du logiciel au démarrage.....	77
Figure 30 : Calcul du débit de l'eau brute.....	85
Figure 31 : Dimensionnement du répartiteur	85
Figure 32 : Dimensionnement du mélangeur rapide M1.....	86
Figure 33 : Dimensionnement du débourbeur.....	86
Figure 34 : Dimensionnement du mélangeur rapide M2.....	87
Figure 35 : Dimensionnement du flocculateur.....	87
Figure 36 : Dimensionnement du décanteur	88
Figure 37 : Dimensionnement des filtres	89
Figure 38 : Calcul du débit de recyclage.....	90
Figure 39 : Dimensionnement du mélangeur rapide pour traiter les eaux de lavage des filtres	91



Figure 40 : Dimensionnement du flocculateur pour traiter les eaux de lavage des filtres	91
Figure 41 : Dimensionnement du décanteur pour traiter les eaux de lavage des filtres.....	92
Figure 42 : Dimensionnement des ouvrages de traitement des boues.....	93
Figure 43 : Calcul de la consommation du SA.....	93
Figure 44 : Calcul de la consommation du Polyélectrolyte.....	94
Figure 45 : Calcul de la consommation du Chlore.....	95
Figure 46 : Calcul de la quantité du charbon actif	95
Figure 47 : Calcul de la consommation de KMnO_4	96



LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Répartition par bassin hydraulique des apports moyens des eaux de surface	16
Tableau 2 : Répartition par bassin du potentiel des ressources en eaux souterraines	17
Tableau 3 : Temps de décantation de différentes particules	24
Tableau 4:Interprétation des interactions particulières	27
Tableau 5: Le coefficient de trainé en fonction du nombre de Reynolds	35
Tableau 6: Classement des principaux types de boue	55
Tableau 7:tableau des résultats pour les ouvrages	103
Tableau 8:tableau des résultats pour les réactifs	105



LISTE DES ABREVIATIONS

Q_{cons} : Débit de consommation
 T_{mes1} : Taux de MES dans l'eau brute
 T_{mes4} : Taux de MES dans les boues extraites des décanteurs
 T_{mes3} : Taux de MES dans l'eau débourbée
 T_{mes2} : Teneur en MES des boues de purge des débourbeurs
 Q_b : Débit de l'eau brute
 $Q_{\text{déc}}$: Débit de l'eau décantée
 $Q_{\text{déb}}$: Débit de l'eau débourbée
 μ : Coefficient de débit
 L : Largeur du déversoir
 h : Hauteur de la lame déversante
 g : Accélération de la pesanteur = $9,81 \text{ m/s}^2$
 T : Temps de rétention ou de séjour de l'eau
 P : Puissance absorbée par le moteur en Kw
 G : gradient de vitesse en s^{-1}
 μ : Viscosité dynamique = 1,01 centipoises
 V : Volume en m^3
 η : Rendement du moteur électrique
 V_h : Vitesse de Hazen
 H : Hauteur de l'eau
 V_{app} : Vitesse apparente en m/h
 α : Angle d'inclinaison des lamelles en degré
 h : Hauteur d'une lamelle en m
 S_{lam} : Surface d'une lamelle
 S_{tot} : Surface totale du faisceau lamellaire
 S_{proj} : Surface totale projetée
 $V_{\text{déc}}$: Vitesse réelle de décantation
 V_{cuv} : Volume utile d'une cuve
 S_{cuv} : Section de la cuve
 V_{floc} : Volume du flocculateur
 S_{floc} : Surface du flocculateur
 $V_{\text{déc}}$: Vitesse réelle de décantation
 S_f : surface des filtres
 S_{unit} : surface unitaire
 p : nombre de filtres
 V_{nom} : Vitesse de filtration à débit nominal
 V'_f : Vitesse de filtration (avec 1 filtre en lavage)
 ΔP : Perte de charge max par encrassement
 H_{sable} : Hauteur du sable en m
 Q_{lav} : Débit de lavage des filtres
 Q_{air} : Débit de l'air pour le décomtage des filtres
 V_{lav1} : Volume d'eau de lavage des filtres par soufflage d'eau et d'air
 V_{lav} : Volume d'eau de lavage des filtres par soufflage d'eau seule
 q : Nombre de filtres à laver en même temps



$V_{rés}$: Volume réservé pour la préparation des réactifs dans les cuves
 $V_{bâc}$: Volume de la bâche
 Q_{recy} : Vébit continu de recyclage
SA : Sulfate d'alumine
P : Débit massique journalier de boues décantées
 C_b : Concentration des boues extraites des décanteurs
K : Coefficient de précipitation du SA
A : Taux de SA
 Q_{boues} : Débit journalier de ces extractions au niveau de la décantation
 V_{tampon} : Volume de la bâche tampon
t : Temps de collecte des boues extraites
 $S_{épai}$: Surface de l'épaississeur
 T_s : Temps de séjour hydraulique
 $V_{boue\ épaissi}$: Volume des boues épaissies
 $V_{épai}$: volume de l'épaississeur
 $C_{boue\ sortie}$: Concentration des boues à la sortie de l'ouvrage
 $C_{boue\ sortie}$: Concentration des boues à la sortie de l'ouvrage
 $C_{séch}$: Charge spécifique du lit en boue à sécher
 $S_{séch}$: Surface totale requise pour le séchage
Sunit : Surface unitaire
 $C_{cl\ max}$: Taux du dosage maximum du chlore pour la préchloration
 Cap_{tot1} : Capacité totale des chloromètres pour la préchloration
 C_{clmoy} : Taux de dosage moyen de chlore
 Cap_{tot2} : Capacité totale des chloromètres pour la préchloration
Capstock : Capacité de stockage
 C_{SAmax} : Taux du dosage maximum du sulfate d'alumine
 C_{SAmoy} : Dosage moyen du SA
 V_{bac} : Volume du bac de préparation
 $C_{FeCl3max}$: Taux de dosage maximum du chlorure ferrique
 $C_{pol\ max1}$: Taux de dosage maximum du polyélectrolyte pour le débouillage
 C_{pol} : Concentration de la solution de polyélectrolyte
 V_{unit} : Volume unitaire
 DBO_5 : Demande biochimique en oxygène pendant 5 jours
DCO : Demande Chimique en oxygène
 O_2 : Oxygène dissous
 NH_4^+ : Ion ammonium
PT: Phosphore total
Nbre: Nombre



INTRODUCTION

Au Maroc, l'eau est plutôt rare. Les ressources en eau naturelles renouvelables sont estimées, selon les dernières évaluations, à près de 22 milliards de mètres cubes par an, soit l'équivalent de près de 730 mètres cubes par habitant et par an, largement en deçà du seuil de 1 000 m³/hab/an, communément admis comme seuil critique indiquant l'apparition de pénuries et de crises latentes.

Cette pénurie ira en augmentant avec la croissance démographique et les changements climatiques si les prévisions des modèles se confirmaient. Une diminution des apports d'eau de surface de 15 à 20 % a déjà été enregistrée durant ces 30 dernières années.

Le secteur de l'eau au Maroc se heurte à plusieurs contraintes et problèmes, à savoir la limitation des ressources en eau, le renforcement des phénomènes extrêmes (sécheresses et inondations), le faible niveau de valorisation des eaux mobilisées, la surexploitation des ressources en eau, la dégradation de la qualité suite à l'augmentation de la pollution de l'eau.

La mise à disponibilité des ressources hydriques pour les besoins socio-économiques nécessite une qualité donnée. Le traitement d'une eau dépend de sa qualité, qui est fonction de son origine et peut varier dans le temps. L'eau à traiter doit donc être en permanence analysée car il est primordial d'ajuster le traitement d'une eau à sa composition et, si nécessaire, de le moduler dans le temps en fonction de la variation observée de ses divers composants. Il peut arriver cependant qu'une pollution subite ou trop importante oblige l'usine à s'arrêter momentanément.

Le dimensionnement des stations conventionnelles de traitement des eaux destinées à l'alimentation en eau potable nécessite des calculs relativement simples mais qui exigent un travail laborieux pour déterminer les caractéristiques de chaque ouvrage et la quantité des réactifs à y injecter.

Concevoir un logiciel capable de réaliser cette tâche permettra d'apporter un plus dans le domaine de traitement de l'eau. C'est le but que nous nous sommes assignés.

Le logiciel élaboré est le premier de son genre dans le domaine du traitement de l'eau.

La version présentée sera appelée à s'améliorer pour prendre en compte plus d'ouvrages de traitement et les eaux brutes pouvant être utilisées pour la production de l'eau potable.



CHAPITRE I : ETAT DES LIEUX

Dans ce chapitre nous allons nous focaliser sur la législation marocaine en matière de l'eau et sur les caractéristiques des ressources en eau du pays.

I.1. Cadre réglementaire et institutionnel

I.1.1. Loi sur l'Eau

Afin de regrouper les différents textes législatifs portant sur l'eau et de doter le pays d'un cadre réglementaire moderne le gouvernement marocain a promulgué en 1995 la Loi cadre n° 10-95 sur l'eau. Cette loi a précisé, entre autres, les conditions d'octroi des autorisations de déversements, la définition des objectifs et des normes de qualité et l'élaboration de l'inventaire du degré de pollution. L'innovation majeure de la Loi 10-95 est somme toute l'instauration d'instruments financiers en application des principes « préleveur-payeur » et « pollueur-payeur ».

Jusqu'à présent 72 textes d'application dont 27 décrets et 45 arrêtés ont été adoptés et publiés au Bulletin Officiel.

Le Maroc a mis en place une grille de qualité qui fixe les normes à satisfaire par une eau brute après son traitement afin qu'elle soit potable. (Voir **ANNEXE I**).

I.1.2. Organisation du secteur

La gestion de l'eau est assurée par un ensemble de départements. Il s'agit du :

- ✚ Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement (MEMEE) et le Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement (SEEE) qui exercent, entre autres, la tutelle de l'Office National de l'Electricité qui utilise l'eau pour produire l'énergie à l'aide des usines hydro-électriques installées principalement au pied des barrages, l'Office National de l'Eau Potable qui produit et distribue l'eau potable, et les agences de bassins hydrauliques qui ont pour mission l'évaluation, la gestion et la protection des ressources en eau au niveau de leur zones d'actions.
- ✚ Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime chargé d'élaborer et de mettre en œuvre la politique agricole à l'échelle nationale.
- ✚ Ministère de l'Intérieur qui assure la tutelle et l'assistance technique aux collectivités locales en matière d'assainissement et de distribution de l'eau potable par le biais de la direction de l'eau et de l'assainissement et la direction des régies et des services concédés.
- ✚ Ministère de l'économie et des finances qui assure la tutelle financière des établissements publics concernés par la gestion de l'eau.



- ✚ Haut Commissariat aux Eaux et Forêts dont la mission couvre la gestion du domaine forestier, le reboisement, la protection des bassins versants et l'octroi des amodiations de pêche dans les eaux continentales.
- ✚ Ministère de la Santé chargé des aspects sanitaires liés à l'eau.
- ✚ Ministère délégué aux Affaires Economiques et Générales, qui assure la présidence de la Commission Interministérielle des Prix, intervient dans la réglementation des tarifs de l'assainissement et de l'eau potable à la production et à la distribution.
- ✚ Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat (CSEC) qui est chargé de formuler les orientations générales de la politique nationale en matière d'eau et de climat (article 13 de la loi 10-95) et donner notamment, son avis sur la stratégie nationale d'amélioration de la connaissance du climat, le Plan National de l'Eau (PNE) et les Plans Directeurs d'Aménagement Intégré des Ressources en Eau (PDAIRE).
- ✚ Commission préfectorale ou provinciale de l'eau qui est charge d'apporter son concours à l'établissement des plans directeurs d'aménagement intégré des eaux du bassin hydraulique et d'encourager la protection et la préservation des ressources en eau.

I.2. Caractéristiques des ressources en eau

I.2.1. Contexte climatique

I.2.1.1. Climat

Le Maroc est caractérisé par un climat à la fois méditerranéen au nord et aride au sud et au sud-est de l'Atlas, avec une saison sèche et chaude et une saison froide et humide, la fin de la période chaude étant marquée par les pluies d'octobre. Plus on se dirige vers le sud et le sud-est du Maroc, plus le climat est aride.

Le climat subhumide intéresse l'extrême nord ouest du territoire ainsi qu'une partie des montagnes du Rif et du moyen Atlas.

I.2.1.2. Précipitations

Le régime pluviométrique au Maroc est caractérisé par une forte variabilité spatiale. L'effet de la latitude se traduit par une décroissance des précipitations du Nord au Sud, en raison de l'éloignement de l'Océan Atlantique et de l'effet de barrière que joue la chaîne de l'Atlas dans l'atténuation des perturbations provenant de l'Ouest. Ces précipitations décroissent également de l'Ouest vers l'Est.

La figure suivante présente plus de détails sur les précipitations au Maroc.

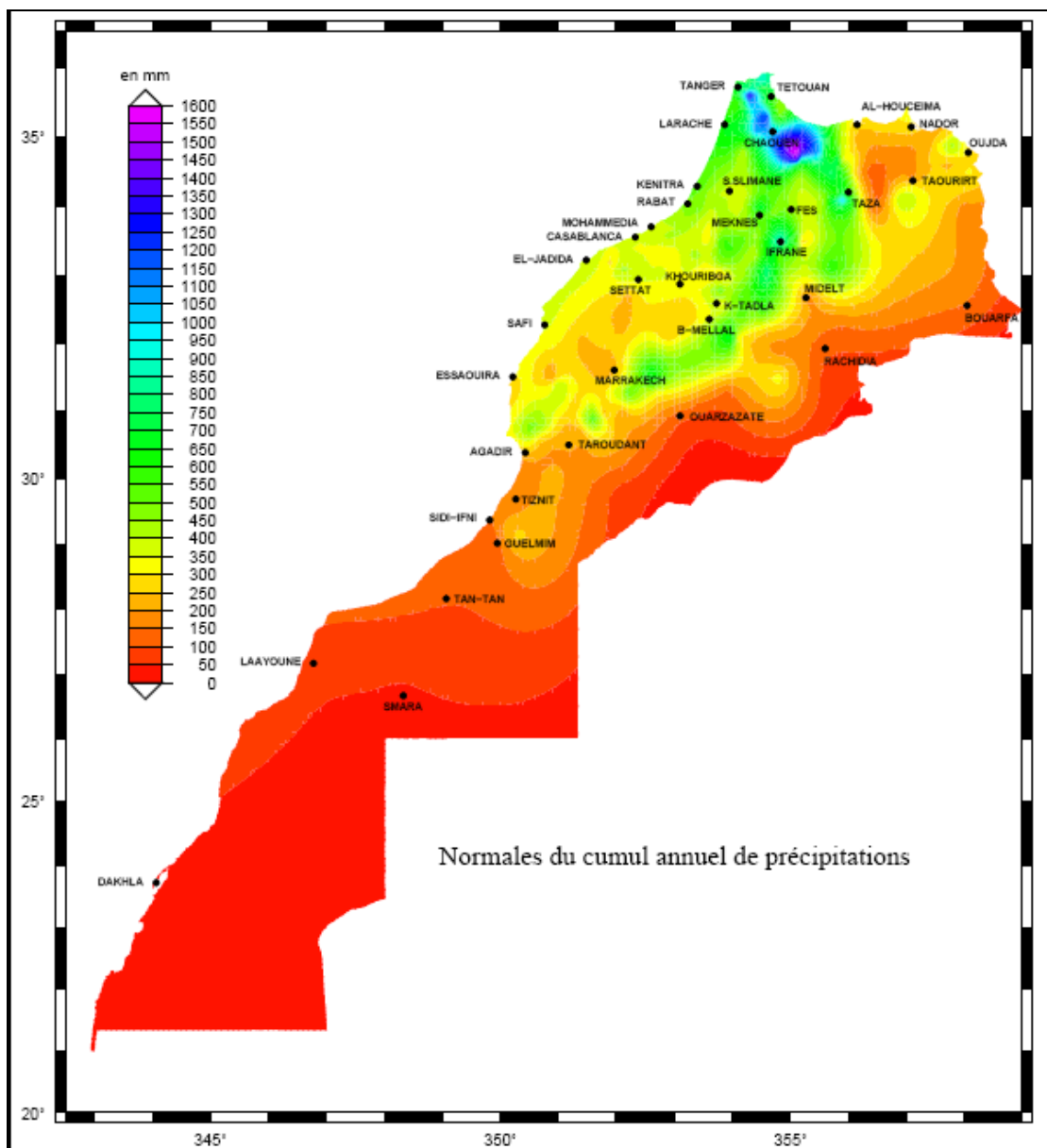


Figure 1 : Répartition des précipitations annuelles à l'échelle marocaine (4)

I.2.1.3. Températures

Les températures moyennes sont généralement plus élevées au sud et à l'intérieur que sur le littoral. Dans l'intérieur, les étés sont généralement chauds et secs et les températures moyennes varient de 24°C à 28°C. Les moyennes hivernales vont de 10°C à 12°C et les valeurs les plus basses sont enregistrées sur les hauts plateaux et en montagnes. En zones côtières du Nord au Sud, les températures hivernales moyennes sont relativement douces. La moyenne des minimales varie entre 8°C et 14°C et celles des maximales entre 16°C et 21°C. En été, il fait plus chaud et les températures atteignent leur sommet avec des maximales moyennes de 22°C à 28°C.

Sur les régions sahariennes, les températures minimales moyennes varient entre 2°C et 3°C alors que les maximales moyennes varient entre 16°C et 18°C. En été, il fait plus chaud avec des températures moyennes allant de 28°C à 29°C.



I.2.2. Evaluation des ressources en eau

I.2.2.1. Eaux de surface

Au Maroc, les écoulements superficiels sont tributaires des précipitations. Les crues, généralement violentes et rapides, constituent l'essentiel des apports des cours d'eau. En moyenne, elles sont enregistrées sur des périodes de 10 à 20 jours pour les bassins du Sud et de 20 à 30 jours pour les bassins du Nord.

I.2.2.1.1. Potentiel des ressources en eau de surface

Les ressources en eau superficielle sur l'ensemble du territoire sont évaluées en année moyenne à 18 milliards de m³, variant selon les années de 5 Milliard de m³ à 50 Milliards de m³. Le tableau ci-après donne par bassin les apports moyens annuels en millions de m³ pour la longue série observée.

Tableau 1: Répartition par bassin hydraulique des apports moyens des eaux de surface

Bassins hydrauliques	Superficie (Km ²)	Écoulement moyen d'eau de surface (Million de m ³)
Bassins Loukkos, Tangerois et Côtiers Méditerranéens	1205	3 600
Moulouya,figuig-kert-isly-kiss	7445	1 610
Sebou	4000	5 560
Bouregreg et la chaouia	2070	850
Oum Er Rbia et El Jadida Safi	4870	3 315
Tensift et Ksob-Igouzoulen	2400	800
Souss-Massa-Draa	1260	1444
Guir-Ziz-Rhéris	5841	626
Sakia El Hamra et Oued Eddahab	3059	390
TOTAL	710 850	18 195

I.2.2.1.2. Caractéristiques du régime des eaux de surface

✚ Répartition inégale dans le temps

Le régime hydrologique de l'ensemble des bassins est caractérisé par une très grande variabilité interannuelle et interannuelle marquée par l'alternance des séquences humides et sèches, intercalées par des années de forte hydraulité ou de sécheresse sévère.

✚ Répartition inégale dans l'espace

La grande disparité régionale des précipitations induit également une grande variabilité spatiale des écoulements d'eau de surface. Ces derniers varient de quelques millions de m³ pour les bassins les plus arides, tels que les bassins Sahariens, du Souss-Massa-Tiznit-Ifni, du



Ziz, Rhéris, Guir, Bouâanane et Maïder à des milliards de m³ par an pour les bassins les plus arrosés, tels les bassins du Loukkos, du Tangérois, des Côtiers Méditerranéens et du Sebou. Les bassins du nord (Loukkos, Tangérois et Côtiers méditerranéens) et le Sebou qui couvrent près de 7 % de la superficie du pays disposant de plus de la moitié des ressources en eau.

I.2.2.2. Eaux souterraines

Au Maroc, l'eau souterraine constitue une ressource en eau stratégique. Elle représente environ 20 % du potentiel en ressources en eau du pays.

En l'état actuel des connaissances, le potentiel exploitable en eau souterraine, est de l'ordre de 4 Milliards de m³ par an. Sa répartition selon les bassins hydrogéologiques est donnée dans le tableau ci- après :

Tableau 2 : Répartition par bassin du potentiel des ressources en eaux souterraines

Bassins hydrauliques	Superficie en Km ²	Potentiel exploitable en Mm ³ /an
Bassins Loukkos, Tangerois et Côtiers Méditerranéens	1205	190
Moulouya, figuig-kert-isly-kiss	7445	512
Sebou	4000	1 300
Bouregreg et la chaouia	2070	120
Oum Er Rbia et El Jadida Safi	4870	405
Tensift et Ksob-Igouzoulen	2400	520
Souss-Massa-Draa	1260	691
Guir-Ziz-Rhéris	5841	313
Sakia El Hamra et Oued Eddahab	3059	16
TOTAL	710 850	4 067

I.2.3. Qualité de l'eau

Les ressources hydriques sont de plus en plus menacées par la pollution qui prend des dimensions alarmantes. Les principales raisons qui sont à l'origine de cette dégradation sont :

- Le contexte de la rareté et l'irrégularité des régimes hydrologiques du Maroc et la faiblesse des écoulements limitent la capacité d'autoépuration et de dilution des cours d'eau, ce qui les rend plus vulnérables à la pollution.
- La concentration des activités socio-économiques dans des espaces restreints et le développement de l'agriculture intensive génèrent des pollutions multiples qui dépassent largement la capacité d'autoépuration du milieu récepteur.
- Les retards dans l'assainissement et l'épuration des eaux usées.

- Le retard dans la mise en œuvre des dispositions législatives et réglementaires relatives à la protection des ressources en eau contre la pollution.
- Le suivi de la qualité de l'eau à travers le réseau national de surveillance, a permis de constituer une importante base de données relative aux analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau, qui a servi à l'établissement de l'état de qualité des ressources en eau dans les principaux bassins du Royaume.

I.2.3.1. Qualité des eaux de surface

La qualité des eaux de surface connaît une dégradation continue sous l'effet des rejets urbains et industriels. Les zones où les ressources en eau sont les plus polluées sont notamment les zones des rejets urbains de la ville de Fès, des rejets industriels dans le Sebou aval, des rejets des sucreries dans le bassin de Oum Er Rbia et la basse Moulouya comme le montre la figure ci-après :

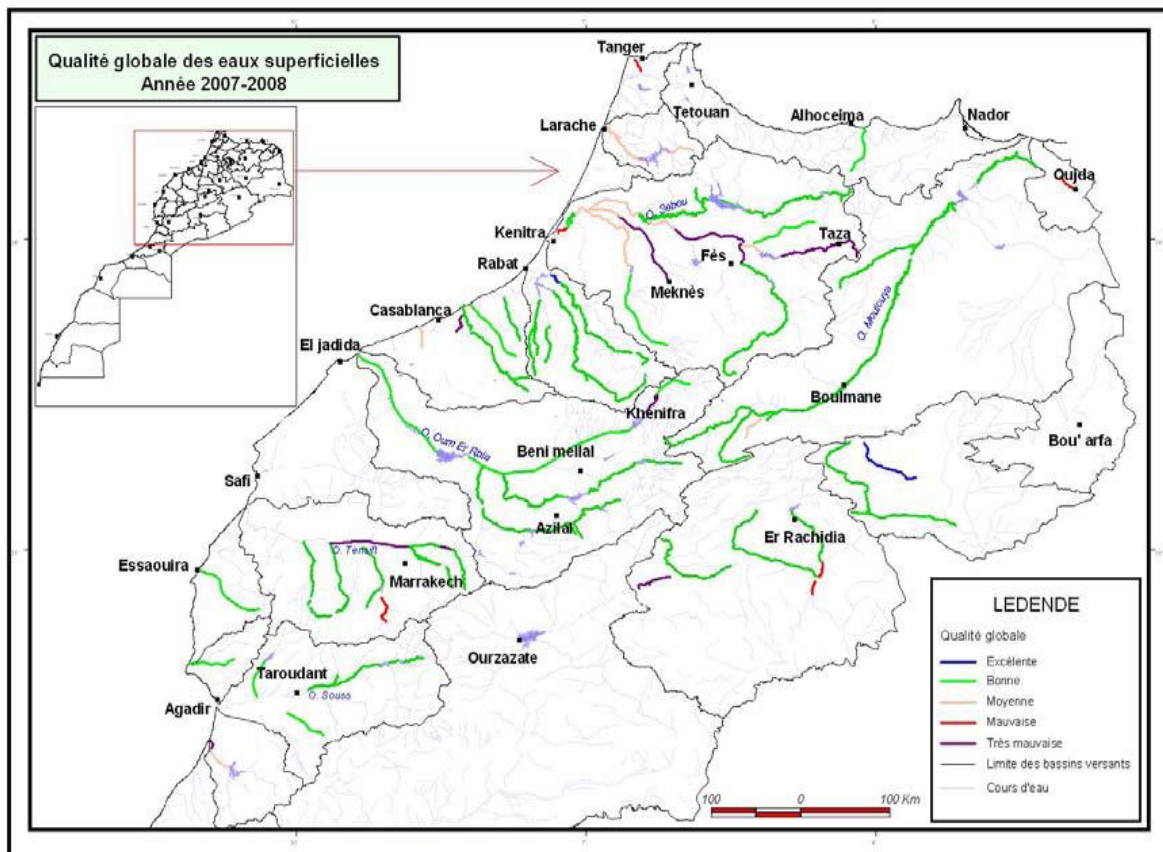


Figure 2 : Qualité des eaux de surface (4)

La classification des différents tronçons des cours d'eau dans les différents bassins du pays est donnée en détail dans le tableau en Annexe (voir ANNEXE II).

I.2.3.2. Qualité des eaux souterraines

La dégradation de la qualité des eaux souterraines se pose de plus en plus avec acuité à cause de la pollution par les nitrates (fertilisants) et l'intrusion saline par les produits



phytosanitaires. Les nappes les plus touchées se situent généralement dans les régions où les eaux de surface sont également polluées.

La pollution par les nitrates a pour origine essentielle les activités agricoles, surtout dans les périmètres irrigués. Les aquifères pour lesquels la pollution par les nitrates est prononcée sont Tadla, Berrechid, Triffa, Doukala, R'mel etc.

Les nappes de Martil, Gharb, Chtouka, Guercif, Charf El Akab, Beni Mathar, Laou, Souss, Kert, Tafilalet et Haouz présentent une pollution azotée moins élevée, mais peuvent cependant présenter des pollutions ponctuelles accentuées.

Le problème de salinité des eaux des nappes côtières se pose avec acuité surtout pour les nappes de Nekor, Kert, Gareb, Chaouia côtière...

Les indicateurs de la qualité des principales nappes du Royaume sont donnés en annexe (Voir ANNEXE III).

I.2.4. Mobilisation des ressources en eaux conventionnelles

I.2.4.1. Eaux de surface

Le Maroc dispose aujourd'hui d'un patrimoine de 128 grands barrages totalisant une capacité de stockage évaluée à 17 milliards de mètre cube. L'évolution du nombre et de la capacité de stockage des grands barrages existants est représentée dans le graphique ci-dessous :

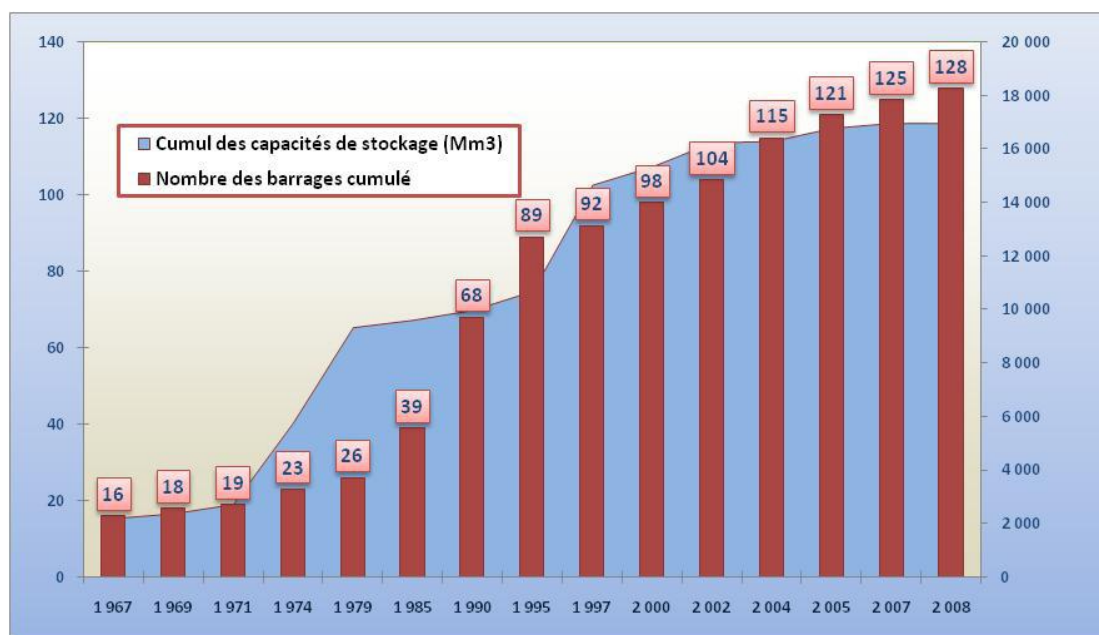


Figure 3 : Evolution du nombre des grands barrages réalisés ainsi que leur capacité

(4)

Outre les grands barrages, les pouvoirs publics ont réalisés une centaine de petits barrages et 15 en cours de réalisation visant la satisfaction des besoins locaux d'eau potable, d'irrigation et d'abreuvement de cheptel. La capacité totale de barrages est évaluée à près de 100 Mm³. Les eaux de surface sont également utilisées par les prélèvements au fil de l'eau. Ces prélèvements sont estimés en moyenne à plus de 1.7 milliards de m³ par an.



I.2.4.2. Eaux souterraines

Les réalisations dans le domaine de la mobilisation des eaux souterraines se sont traduites par un développement très important de l'exploration et de l'exploitation de ces eaux. Un linéaire moyen de près de 100 km de puits et de forages est réalisé chaque année.

Le volume des ressources en eau souterraine effectivement prélevé est estimé à 5 milliards de m³ par an.

La recharge artificielle des nappes par la réalisation des aménagements hydrauliques adéquats est pratiquée au niveau des nappes du Haouz, de Jbilet, de Charf El Akab et du Souss. ⁽⁴⁾



CHAPITRE II : ETUDE DE TRAITEMENT DES EAUX : FILIERE EAU

Dans toute la suite du présent rapport, nous allons consacrer notre étude uniquement aux eaux de surface.

II.1. Inventaire des différents procédés de traitement

II.1.1. Procédés physiques

Les techniques de traitement des eaux diffèrent selon l'origine de l'eau à traiter (eaux de surface, rivières, lacs, retenues ou eaux souterraines) mais d'une manière générale, elles se regroupent sous deux grands types de traitements : physiques et chimiques auxquels nous pourrions ajouter un troisième type de procédés physico-chimiques.

Pour éliminer les éléments solides en suspension dans l'eau brute ou formés au cours de traitement on utilise :

- ❖ La flottation.
- ❖ La décantation.
- ❖ La filtration.

II.1.2. Procédés chimiques

Pour transformer les éléments en solution dans l'eau en des corps solubles inoffensifs ou des corps insolubles qui précipitent :

- ✚ Oxydation (ozone, chlore ou ses dérivés, KMnO_4 ...)
- ✚ Neutralisation (chaux, calcaire, carbonate de sodium, soude)
- ✚ Modification du pH (chaux, carbonate de sodium, soude, acide sulfurique, acide chlorhydrique)

II.1.3. Procédés physico-chimique

- ✚ Coagulation (sulfate d'alumine $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3, 18\text{H}_2\text{O}$, chlorure ferrique FeCl_3 ,)
- ✚ floculation, (Alginate, polyélectrolyte anionique)
- ✚ Echange d'ions pour l'adoucissement
- ✚ Déferrisation-démanganisation

II.1.4. Procédés spéciaux

Pour affiner un traitement ou le compléter, on utilise :

- L'adsorption sur charbon actif
- La désinfection par UV
- La désinfection par ozonation
- La microfiltration, Ultrafiltration et Nanofiltration
- Electrodialyse
- Dessalement et déminéralisation



II.2. Techniques de traitement des eaux de surface

Les techniques étudiées ci-après sont celles les plus utilisées dans les différentes stations de traitement des eaux conventionnelles destinées à l'alimentation en eau potable(AEP).

II.2.1. Débourbage

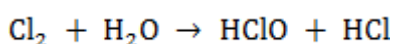
- Le débourbage est une opération qui précède la coagulation-floculation, lorsque la ressource est très fortement chargée en M.E.S (matières en suspensions) et/ou matières décantables, tels que boues et/ou sables par exemple.
- Le seuil de concentration de MES dans l'eau brute, à partir duquel le débourbage devient nécessaire, est fonction du type de décanteur utilisé en deuxième clarification. Ce seuil est d'environ 2 g/l en amont de décanteurs non raclés et d'environ 5 g/l en amont d'appareils raclés.
- Suivant la qualité de l'eau à traiter, il sera fait recours à ce stade d'un coagulant et/ou d'un flocculant (sulfate d'alumine, polyélectrolyte). Dans ce cas, on doit prévoir un mélangeur rapide avant le débourbeur et ce en vue d'une première coagulation. Cet ouvrage est aussi destiné à assurer une répartition convenable du débit d'eau brute entrant, additionné de réactifs nécessaires, vers les débourbeurs. ⁽¹⁾

II.2.2. Préchloration

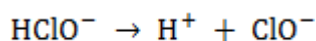
II.2.2.1.Principe d'action

La préchloration correspond à l'application d'une dose de chlore avant n'importe quel traitement. Le chlore est l'oxydant le plus communément utilisé dans le traitement de l'eau. Il est employé sous forme gazeuse (Cl_2), liquide (hypochlorite de sodium) ou solide (hypochlorite de calcium). Le chlore est introduit dans les canalisations ou dans les bassins de mélange disposés en début de filière.

Lorsque du chlore pur est additionné à l'eau, il se décompose rapidement pour former de l'acide hypochloreux (HClO) et de l'acide chlorhydrique (HCl) :



HClO (acide faible) est ensuite partiellement dissocié en ion hypochlorite ClO^- :



On appelle chlore résiduel libre, la somme $[\text{HClO} + \text{ClO}^-]$.

Le rapport entre acide hypochloreux et ion hypochlorite est donné par :

$$\text{Log} (\text{HClO} / \text{ClO}^-) = 7.5 - \text{pH}$$

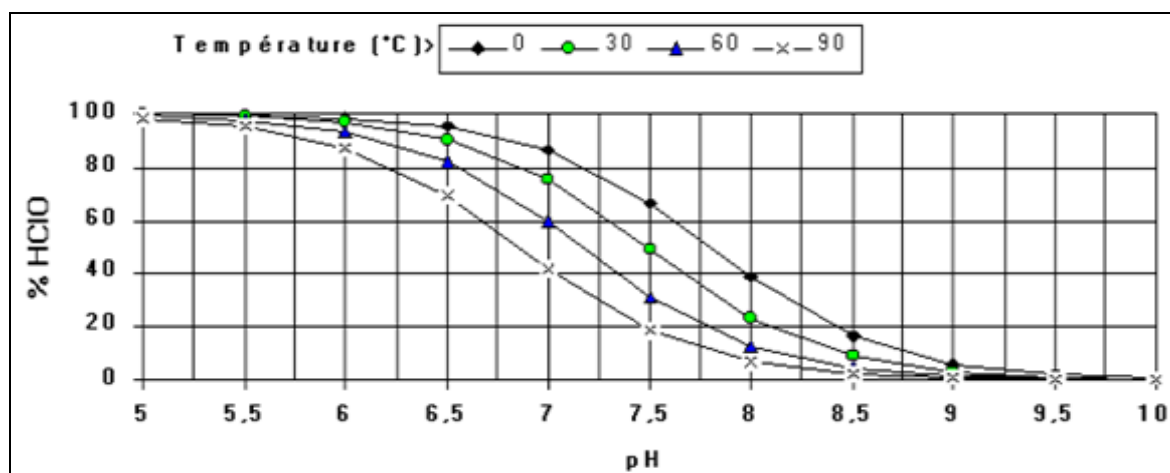


Figure 4 : Pourcentage HClO en fonction du pH et de la température (10)

L'acide hypochloreux et l'ion hypochlorite sont de puissants oxydants avec cependant, une prédominance d'efficacité pour HClO. (8)

II.3. Coagulation floculation

II.3.1. Coagulation

II.3.1.1. Description

La coagulation est un processus qui consiste à neutraliser les charges portées par les substances colloïdales ou dissoutes indésirables à l'aide d'un produit chimique de charge opposée, appelé coagulant, afin de faciliter leur agglomération en flocons décantables ou filtrables. Le coagulant peut être introduit dans un bassin de mélange rapide ou dans un mélangeur statique en ligne, les deux génèrent une violente agitation au point d'injection. (2)

II.3.1.2. Les particules présentes dans l'eau

L'eau contient de nombreux composés qui peuvent se regrouper en trois catégories :

✚ Matières en suspension

Ces produits peuvent être d'origine minérale (sables, limons, argiles, ...) ou organique (produits de la décomposition des matières végétales ou animales, acides humiques ou fulviques par exemple). A ces composés s'ajoutent les micro-organismes tels que bactéries, plancton, algues et virus. Ces substances sont responsables, en particulier, de la turbidité et de la couleur.

✚ Matières colloïdales (moins de 1 micron).

Ce sont des MES de même origine que les précédentes mais de plus petite taille, dont la décantation est excessivement lente. Elles sont également génératrices de turbidité et de couleur.

✚ Matières dissoutes (moins de quelques nanomètres).

Ce sont généralement des cations ou des anions. Une partie de la matière organique est également sous forme dissoute. On trouve aussi des gaz (O₂, CO₂, H₂S, ...)

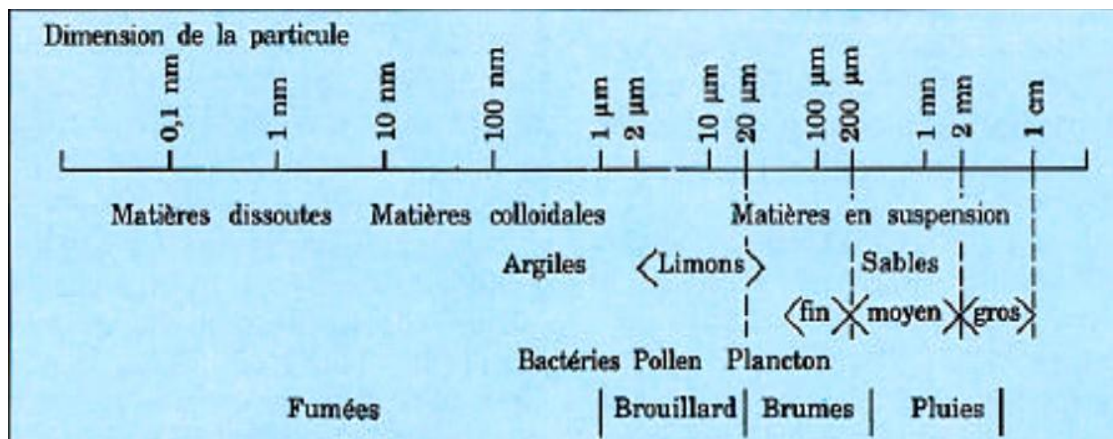


Figure 5 : Dimension de différentes particules (3)

II.3.1.3. Propriétés des colloïdes

Les particules colloïdales sont pourvues de tailles très fines et sont à l'origine de la turbidité et la couleur de l'eau. Le tableau suivant répertorie certains matériaux ou organismes avec leur dimension et l'ordre de grandeur du temps nécessaire pour que, sous la seule influence de leur poids, les particules parcourent verticalement, à 20 °C, un mètre d'eau.

Tableau 3 : Temps de décantation de différentes particules

Diamètre de la particule		Type de pécule	Temps de décantation pour 1m d'eau	Surface spécifique m ² .m ⁻³	
mm	Pm				
10	10 ⁴	10 ⁸	Gravier	1seconde	6.10 ¹
1	10 ³	10 ⁷	Sable	10secondes	6.10 ³
10 ⁻¹	10 ²	10 ⁶	Sable fin	2minutes	6.10 ⁴
10 ⁻²	10 ¹	10 ⁵	Argile	2heures	6.10 ⁵
10 ⁻³	1	10 ⁴	Bactérie	8jours	6.10 ⁶
10 ⁻⁴	10 ⁻¹	10 ³	Colloïde	2ans	6.10 ⁷
10 ⁻⁵	10 ⁻²	10 ²	Colloïde	20ans	6.10 ⁸
10 ⁻⁶	10 ⁻³	10	Colloïde	200ans	6.10 ⁹

A cette notion de dimension, s'ajoutent deux autres encore plus importantes qui sont celles du rapport surface/volume des particules colloïdales qui leur confère des propriétés d'adsorption très prononcées, et celle de leur charge électrique de surface.

Cette charge peut provenir :

- ❖ de la dissociation de groupes ionisables appartenant au colloïde lui-même,
- ❖ de l'adsorption d'ions contenus dans la solution,



- ❖ d'une substitution isomorphique (remplacement dans un réseau macromoléculaire d'un atome par un autre atome de valence différente) ; c'est le cas général des argiles.

Pour leur étude, les colloïdes sont classés en deux groupes principaux :

- ✚ Les colloïdes hydrophiles : ils proviennent de substances solubles présentant une affinité pour l'eau, et qui adsorbent une couche d'eau liée, protectrice. Ils sont responsables de la coloration de l'eau. Dans ce groupe se trouvent les protéines, les carbohydrates et, d'une façon générale, les produits organiques.
- ✚ Les colloïdes hydrophobes : ils sont en général de nature minéral. Ils n'ont aucune affinité pour les molécules d'eau. La formation d'une couche d'hydratation est impossible. Leur surface présente des charges qui engendrent une répulsion mutuelle empêchant toute agglomération. Ce type de particules est en partie responsable de la turbidité. ⁽¹⁰⁾

II.3.1.4. Structure des colloïdes

Dans une eau de surface, les colloïdes portent des charges électriques négatives situées à leur surface. L'ensemble constitue la charge primaire de la particule qui a pour origine l'ionisation du groupement chimique tel que OH, COOH et NH₂ et l'adsorption d'anions présents dans l'eau. Ces charges négatives attirent les ions positifs en solution dans l'eau. Ceux-ci sont étroitement liés au colloïde et forment la couche de STERN. Cette couronne accompagne la particule lors de ces déplacements dans l'élément liquide. La couche de STERN attire à son tour des anions accompagnés d'une faible quantité de cations. C'est la couche diffuse ou couche de GOUY. Il y a formation d'une double couche ionique, présente au niveau de tout colloïde.

- la première adhère au colloïde, le potentiel y décroît rapidement et linéairement, car les cations constitutifs sont empilés uniformément.
- la seconde est diffuse et le potentiel décroît lentement selon une loi de la forme :

$$E = ES \exp(-Kx)$$

Avec :

ES potentiel de Stern (\approx potentiel zêta), x la distance et K facteur lié à l'épaisseur de la double couche.

Le colloïde est caractérisé par deux potentiels :

- potentiel thermodynamique à la surface du colloïde E_0 .
- potentiel zêta au plan de cisaillement Z, c'est-à-dire pratiquement à l'interface des couches.

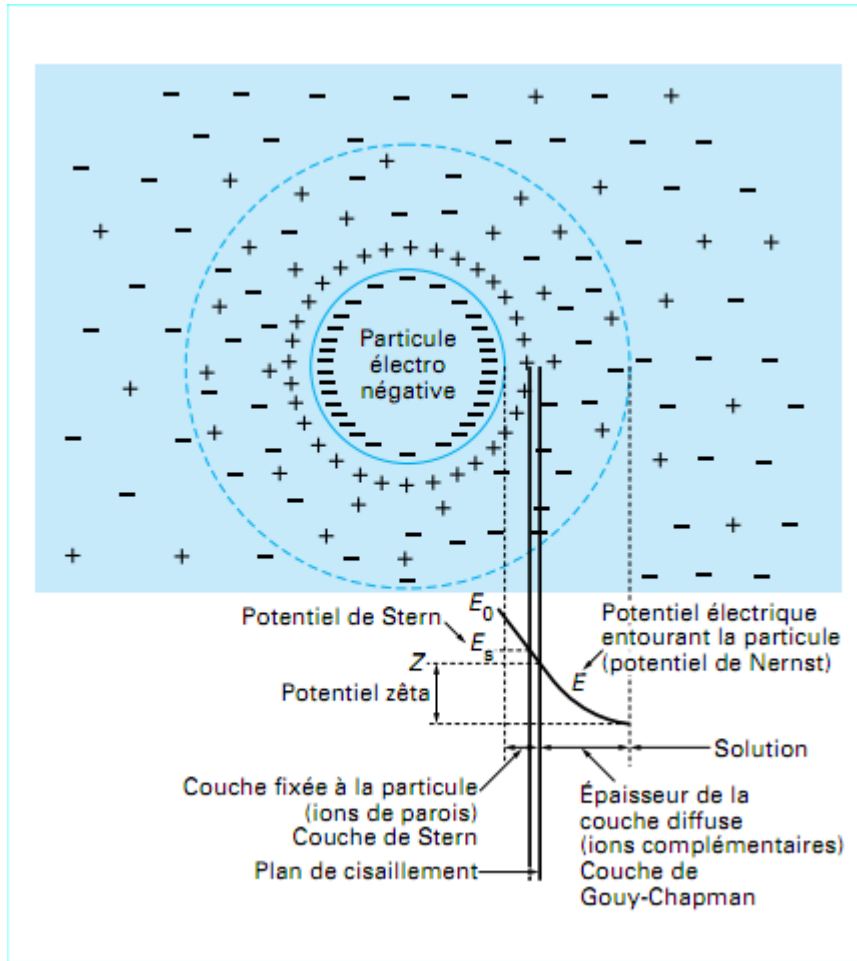


Figure 6 : Distribution ionique autour d'une particule colloïdale électro négative (5)

Les colloïdes sont soumis principalement à deux forces :

- ✚ une force de répulsion qui tend à écarter les particules les unes des autres. Cette force dépend de la charge des particules qui sont de même signe.
- ✚ une force d'attraction (type Van der Waals) qui tend à rassembler les particules pour atteindre l'énergie potentielle minimum. Cette force est, bien entendu, fonction de la distance entre particules. (5)

II.3.1.5. Phénomène de coagulation

On en déduit donc que l'élimination des colloïdes passe par l'annulation du potentiel zêta afin d'annuler les forces de répulsion.

Considérons deux particules colloïdales A et B. Entre ces deux particules, il existe des forces de répulsion électrostatiques, dues à la charge de surface, et des forces d'attraction intermoléculaires, dues aux interactions de Van der Waals. L'énergie potentielle de A et B varie donc en fonction de la distance les séparant.

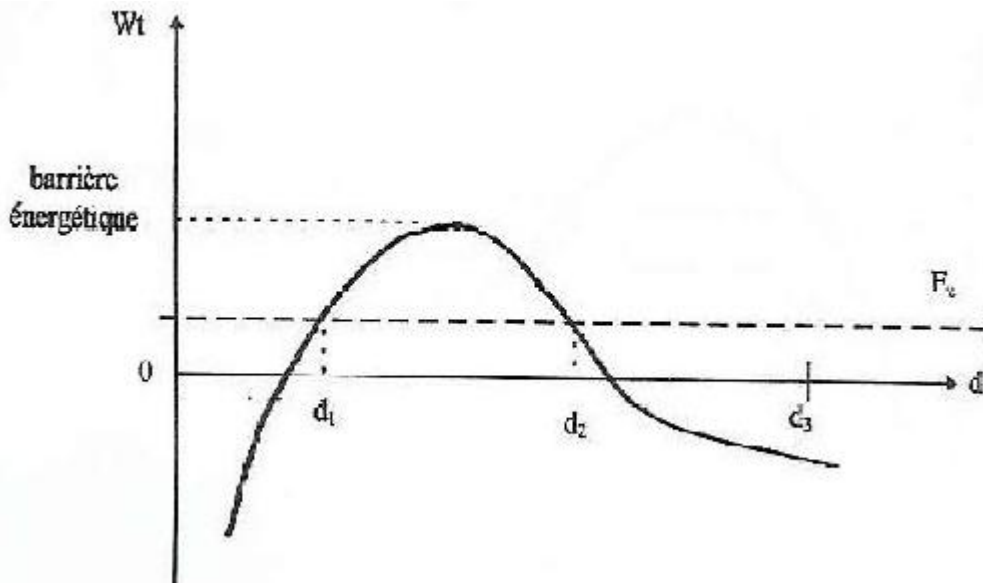


Figure 7 : Représentation des différentes énergies en fonction de leur éloignement (6)

Toute proportion de courbe en dessous de E_c (énergie cinétique moyenne des particules) présente le caractère d'attraction car la vitesse des particules leur confère suffisamment d'énergie pour vaincre la répulsion. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la température est élevée ce qui est une conséquence du mouvement brownien.

Pour comprendre ce graphe, il faut imaginer qu'on essaie de rapprocher deux particules de l'infini jusqu'à leur contact. Le tableau suivant illustre les différentes possibilités.

Tableau 4:Interprétation des interactions particulières

Distance interparticulaire	Interprétation
$d > d_3$	aucune interaction
$d_3 < d < d_2$	attraction faible
$d_2 < d < d_1$	répulsion
$d < d_1$	attraction forte, adhésion

Pour permettre l'adhésion des particules, il faut donc vaincre la barrière énergétique de répulsion :

- ✚ soit en augmentant l'énergie cinétique des particules. Dans ce cas, il faudrait augmenter l'agitation des particules par élévation de température, ce qui est impossible pour les volumes d'eau à traiter.
- ✚ soit en abaissant la barrière de répulsion. Dans ce cas, il faut annuler les forces de répulsion électrostatique, donc le potentiel zêta.

Pour annuler ce potentiel, plusieurs stratégies sont théoriquement possibles à savoir :

- L'ajustement du pH pour atteindre le point de charge nulle des particules colloïdales.
- L'augmentation de la salinité pour comprimer la couche diffuse.
- La neutralisation de la charge de surface par des cations polyvalents.
- Le piégeage des colloïdes dans des précipités.
- L'adsorption des colloïdes sur des polymères chargés à longue chaîne.



Vues les quantités à traiter, les deux premières possibilités ne sont pas applicables au niveau industriel. La coagulation chimique, par apport de cations trivalents, est donc la meilleure solution. ⁽⁹⁾

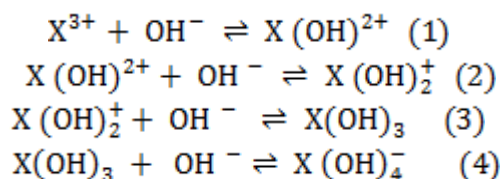
II.3.1.6. Les coagulants

Théoriquement, n'importe quel type d'électrolyte peut être utilisé pour obtenir la coagulation d'un colloïde. Cependant, il est reconnu que l'efficacité d'un coagulant augmente considérablement avec le nombre d'oxydation (valence) du cation de l'électrolyte.

Le choix du coagulant doit tenir compte de l'innocuité du produit choisi et de son coût. C'est pourquoi les sels d'aluminium et de fer ferrique qui renferment des cations de nombre d'oxydation 3+ sont presque exclusivement utilisés.

On a longtemps pensé que les sels libéraient des ions Al^{3+} et Fe^{3+} qui neutralisaient la force de répulsion entre les particules colloïdales et favorisaient ainsi la coagulation. On sait maintenant que les mécanismes qui entrent en jeu sont plus complexes et que les produits d'hydrolyse des sels d'aluminium et de fer sont des coagulants plus efficaces que les ions eux-mêmes.

Les sels d'aluminium et de fer conduisent en effet, en solution diluée, aux hydroxo-complexes suivants :

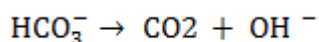


Dans lesquelles OH^{-} = ions hydroxydes, X = Al ou Fe

Bien qu'il s'agisse d'équilibre, ces réactions sont pratiquement complètes aux pH habituels des eaux, et irréversibles au moins pour les trois premières. Ces produits d'hydrolyse ont une très forte tendance à polymériser pour donner d'abord des édifices macromoléculaires (polyhydroxo-complexes) solubles puis colloïdaux, et enfin des hydroxydes insolubles. La proportion relative de chacun de ces complexes dépend des conditions de milieu (pH, température, concentration).

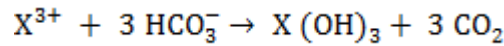
II.3.1.7. Influence du pH

Il existe un pH de coagulation floculation optimum pour un type d'eau et un coagulant floculant donné : ce pH résultera de celui de l'eau brute, de l'action du coagulant qui consomme des ions OH^{-} et de l'éventuelle introduction d'un réactif correcteur. Aux valeurs habituelles de pH rencontrées dans les eaux naturelles, les ions OH^{-} libres n'existant pas, ils résulteront de la décomposition des bicarbonates (HCO_3^{-}) par le floculant (et formation de gaz carbonique CO_2) :



La réaction à laquelle se superpose celle de l'équilibre du bicarbonate de calcium avec ses produits de dissociation.

L'équation globale type de coagulation peut donc s'écrire :



Cela conduit à la précipitation d'une hydroxyde métallique $X(OH)_3$ et à la formation de CO_2 . Les sels d'aluminium et de fer présentent, outre leur valence élevée, l'intérêt de s'hydrolyser dans la gamme de pH habituelle des eaux naturelles, en donnant un hydroxyde insoluble qui précipite. ⁽¹⁰⁾

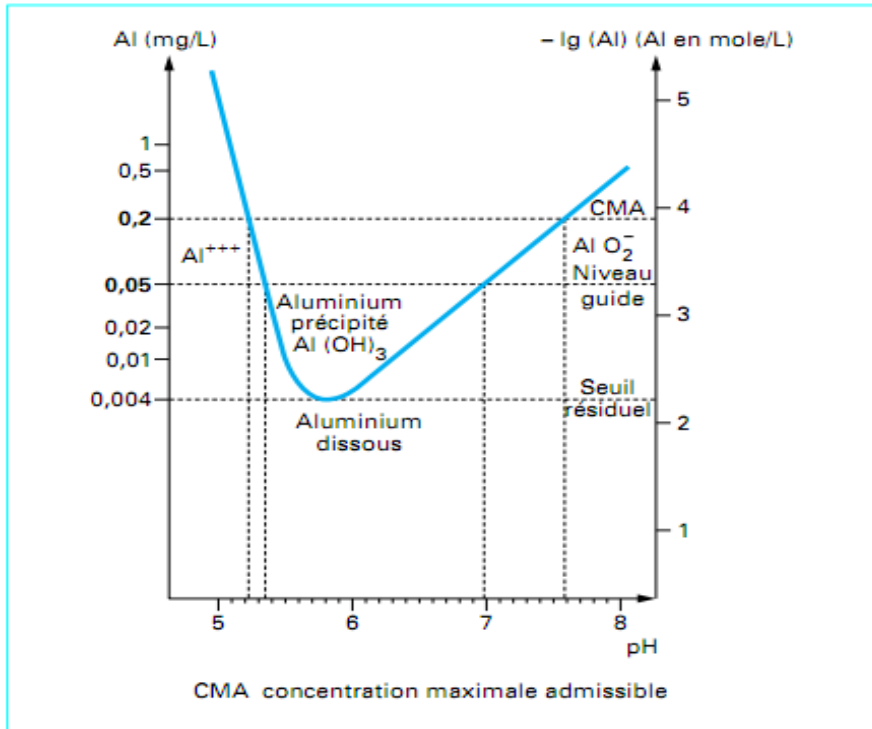


Figure 8 : Diagramme de solubilité de l'Aluminium (6)

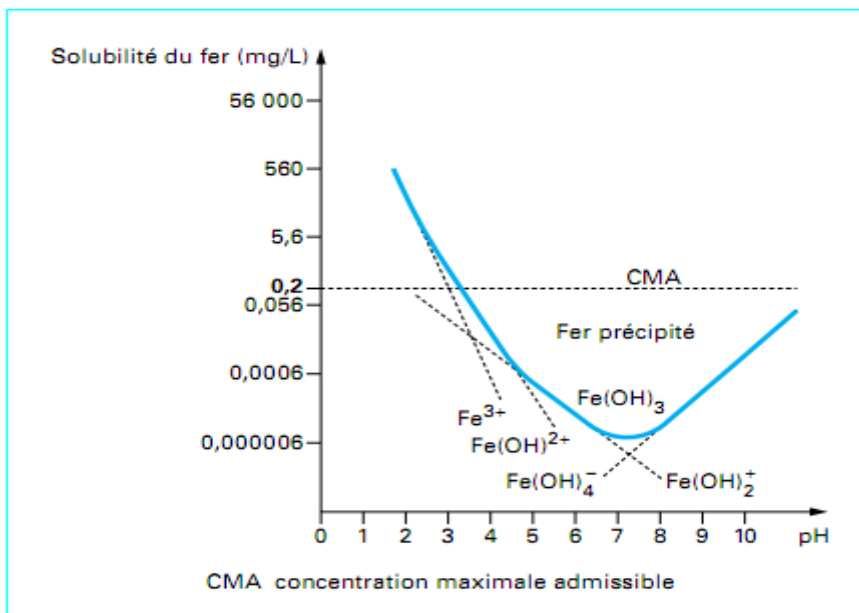


Figure 9 : Diagramme de solubilité du Fer (5)

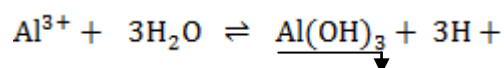


II.3.1.8. Réactifs coagulants

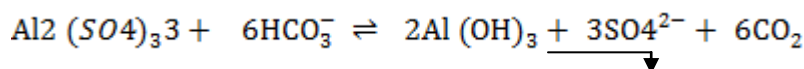
Les coagulants minéraux utilisés sont à base de sels d'aluminium ou de fer. On peut également, dans certains cas, utiliser des produits de synthèse, tels que les polyélectrolytes cationiques.

✚ Sels d'aluminium

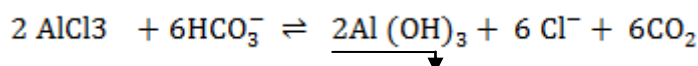
La réaction de base, lors de l'ajout de l'ion Al^{3+} dans l'eau est la formation d'un précipité d'hydroxyde d'aluminium avec libération d'une certaine acidité.



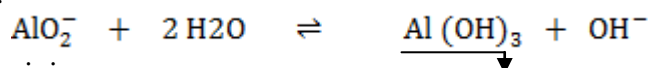
-Sulfate d'aluminium (forme liquide ou solide) :



-Chlorure d'aluminium (liquide) :



-Aluminate de sodium :



✚ Polymères d'aluminium

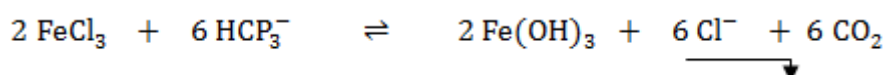
L'utilisation de polymères d'aluminium permet à la fois la neutralisation et le pontage des colloïdes qui conduisent à une coagulation plus efficace.

✚ Sels de fer

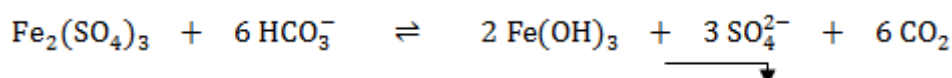
Le principe de la réaction est le même que pour les sels d'aluminium :



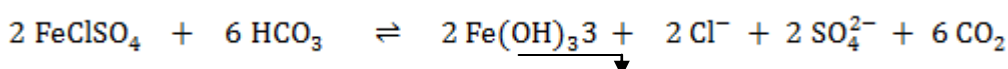
- Chlorure ferrique (liquide, parfois cristallisé)



-Sulfate ferrique (solide)

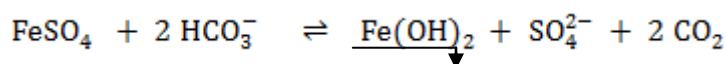


-Chlorosulfate ferrique (liquide)





-Sulfate ferreux (solide)



✚ Les coagulants organiques de synthèse

Ce sont des molécules organiques de synthèse, à caractère cationique, disponibles uniquement sous forme liquide, en milieu aqueux.

Trois familles principales sont rencontrées :

- ❖ mélamine formaldéhyde (ou mélamine formol)
- ❖ épichlorhydrine diméthylamine
- ❖ poly (chlorure de diallyldiméthyl-ammonium) ⁽³⁾

II.3.2. Flocculation

II.3.2.1. Description

La flocculation est l'étape de traitement qui suit la coagulation. Elle vise à favoriser la croissance de floccs par une agitation lente et prolongée de l'eau. Elle est réalisée dans un bassin pourvu d'une unité mécanique d'agitation et implique habituellement l'ajout d'un flocculant.

II.3.2.2. Phénomène de la flocculation

Après avoir été déstabilisées par le coagulant, les particules colloïdales ont tendance à s'agglomérer lorsqu'elles entrent en contact. Le taux d'agglomération des particules dépend de la probabilité des contacts et de l'efficacité de ces derniers. La flocculation a justement pour but d'augmenter la probabilité de rencontre entre les particules grâce à l'agitation du fluide. Le flocc ainsi formé, peut décanter, flotter ou filtrer (coagulation sur filtre), suivant le procédé de rétention le plus adapté choisi. L'expression de SMOLUCHOWSKI 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 N₀ sont les nombres de particules colloïdales libres à l'instant t et t₀.

α représente le facteur de fréquence de collision efficace.

Ω est le volume de particules par volume de suspension.

G est le gradient de vitesse.

t est le temps de contact.

Si le paramètre α=1, un choc interparticulaire donne une agglomération donc une flocculation. L'élément Ω est constant, sauf intervention extérieure, car il n'y a ni création ni disparition de matière. Le gradient de vitesse G n'est qu'une valeur moyenne des vitesses spécifiques des particules dans la solution.

Toute augmentation de ces paramètres énoncés entraîne une diminution du rapport $\frac{N}{N_0}$.



La stratégie pour obtenir une bonne floculation se résume en une augmentation des facteurs temps de contact t et du volume de particules Ω et une diminution du gradient de vitesse G . L'importance relative de chacun de ces paramètres est, en première intention, la même.

Toute injection de particules supplémentaires de type microsable ou toute traversée de lit de boue par les colloïdes déstabilisés, augmente considérablement Ω . Toutes les techniques de floculation appliquent l'un et/ou l'autre de ces principes.

II.3.2.3. Réactifs floculants

Floculants minéraux

- Silice activée

La silice activée a été le premier floculant employé. Elle donne de bons résultats principalement quand elle est associée au sulfate d'aluminium en eau froide.

- Silico-aluminate

Lorsque le coagulant est le sulfate d'aluminium (ou un autre sel d'aluminium), l'acidité de ce produit peut être utilisée à la place de celle de l'acide sulfurique pour réaliser l'activation du

silicate de sodium. Des produits analogues à la silice activée sont obtenus tel le silico-aluminate. Dans certains cas particuliers, le silicate de sodium peut être utilisé seul.

- Autres adjuvants minéraux

En amont d'une décantation ou d'une filtration, certains produits sont utilisés pour charger une eau brute qui ne contient pas assez de MES. Ce ne sont pas des floculants mais ils participent à la croissance du floc et à sa densification.

Ce sont par exemple :

- certaines argiles (bentonite, kaolin),
- blanc de Meudon ou carbonate de calcium précipité,
- Kieselguhr (diatomées),
- charbon actif en poudre (utilisé principalement comme adsorbant).

Floculants organiques (polymères naturels)

Ce sont des polymères naturels extraits de substances animales ou végétales.

-Alginates

Les alginates de sodium sont obtenus à partir de l'acide alginique, lui-même extrait d'algues marines. Les constituants essentiels de cette structure polymérique sont l'acide mannuronique et l'acide guluronique. La masse molaire est de l'ordre de 104 à 2.105.



Ce sont des produits particulièrement efficaces comme adjuvants de floculation avec les sels ferriques. Ils peuvent donner également de bons résultats avec les sels d'aluminium. Les taux de traitement sont de 0,5 à 2 mg.l⁻¹.

- Amidons

Les amidons sont obtenus à partir de pommes de terre, de tapioca ou d'extraits de graines végétales. Ils sont appliqués entre 1 et 10 mg l⁻¹, de préférence avec des sels d'aluminium.

✚ Floculants organiques de synthèse

Ce sont des macromolécules à longue chaîne obtenues par association de monomères synthétiques, dont certains possèdent des charges électriques ou des groupements ionisables. Ce sont des produits à très haute masse molaire (10⁶ à 10⁷). Ils permettent d'atteindre des performances remarquables, généralement très supérieures à celles des polymères naturels. ⁽³⁾

II.4. Décantation

II.4.1. Description

La décantation physico-chimique permet la séparation solide-liquide désirée. Elle doit obligatoirement être précédée d'une coagulation et d'une floculation en plus d'être suivie d'une filtration.

L'étape de décantation est nécessaire lorsque la charge en MES de l'eau brute est trop élevée pour permettre l'usage d'une filtration directe sans provoquer le colmatage trop rapide des filtres.

La décantation physico-chimique peut être utilisée pour réduire les impuretés d'origine particulaire (turbidité) et/ou dissoutes (couleur vraie ou COT, fer, sulfures, arsenic valence 5, dureté, etc.). Les matières dissoutes doivent préalablement avoir été précipitées et/ou adsorbées à un floc de coagulant.

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

- ✚ La décantation de particules discrètes : les particules conservent leurs propriétés initiales (forme, dimension et densité) au cours de leur chute. La vitesse de chute est alors indépendante de la concentration en solide.
- ✚ La décantation de particules floculantes : ce type de décantation est caractérisé par l'agglomération des particules au cours de leur chute. Leurs propriétés physiques (forme, dimension, densité et vitesse de chute) sont donc modifiées pendant le processus.
- ✚ La décantation freinée : ce type de décantation est caractérisé par une concentration élevée de particules, ce qui entraîne la formation d'une couche de particules et par conséquent, l'apparition d'une démarcation nette entre les solides décantés et le liquide surnageant.



- ✦ La décantation en compression de boues : les particules entrent en contact les unes avec les autres et reposent sur les couches inférieures.

II.4.2. Décantation des particules grenues

Lorsqu'une particule grenue est laissée dans un liquide au repos, elle est soumise à :

- Une force motrice F_M (pesanteur)
 - Une force résistante F_T (traînée du fluide) résultante des forces de viscosité et d'inertie.
- Elles s'expriment comme suit :

$$F_M = (\rho_s - \rho_1) g V$$

$$F_T = \frac{C_s V^2 \rho_1}{2}$$

- ρ_s, ρ_1 : masse volumique de la particule grenue et du fluide
 d, s, V : diamètre, surface, et volume de la particule grenue
 v : vitesse de décantation de la particule
 g : accélération de la pesanteur
 C : coefficient de traînée

Très vite un équilibre s'établit et la décantation de la particule assimilée à une sphère se fait à vitesse constante V_0 .

En régime laminaire, la loi de Stokes donne :

$$V_s^2 = \frac{4}{3C\rho_1} (\rho_s - \rho_1) g d$$

La valeur de C , coefficient de traînée, est définie par la perturbation, elle-même fonction de la vitesse de chute.

Cette perturbation est caractérisée par le nombre de Reynolds de grain défini par :

$$Re = \frac{\rho_1 \cdot v \cdot d}{\eta}$$

Avec :

η : viscosité dynamique

- Si Re est petit, les forces de viscosité sont bien supérieures aux forces d'inertie.
- Si Re est grand, les forces de viscosité sont négligeables.

Le coefficient de traînée est donné par : $C = a Re^{-n}$

Tableau 5: Le coefficient de traîné en fonction du nombre de Reynolds

Re	Régime	a	n	c	Formule
$10^{-4} < \text{Re} < 1$	Laminaire	24	1	$24 \cdot \text{Re}^{-1}$	Stokes
$1 < \text{Re} < 10^3$	Intermédiaire	18.5	0.6	$18.5 \text{Re}^{-0.6}$	Allen
$10^3 < \text{Re} < 2 \cdot 10^5$	Turbulent	0.44	0	0.44	Newton

Pour augmenter la vitesse de Stokes, donc de chute des particules présentes dans l'eau brute (en suspension, colloïdes...), il y a deux possibilités :

- Soit augmenter le rayon des particules (floculation, polymères...).
- Soit augmenter la masse volumique de ces particules (polymères, microsables). ⁽³⁾

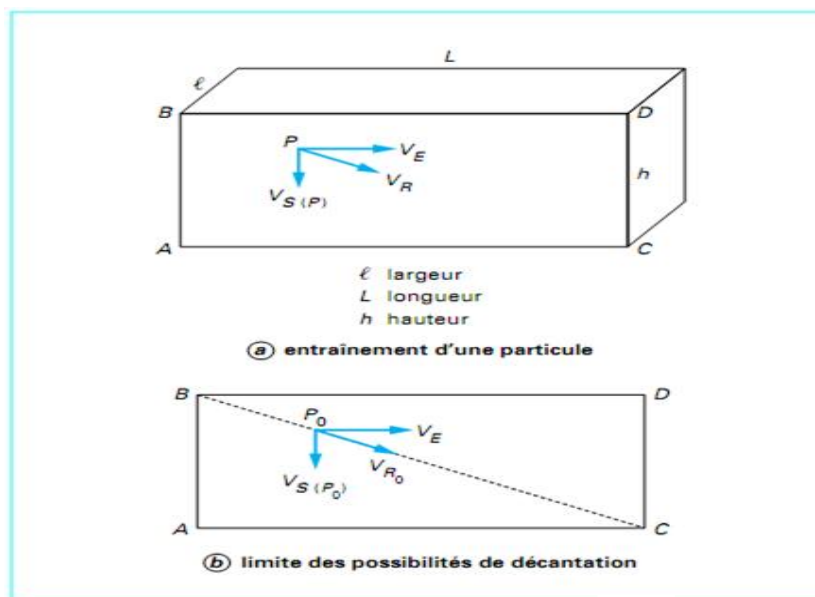
II.4.3. Théorie de la décantation

Pour être retenue lors de la décantation, une particule doit atteindre le radier du décanteur (et y rester). Or, cette particule est entraînée horizontalement (décanteur horizontal) ou verticalement vers le haut (décanteur vertical) sous l'effet du courant d'eau à traiter.

II.4.3.1. Vitesse de Hazen

II.4.3.1.1. Cas de la décantation horizontale

Soit un décanteur horizontal simple (figure 7 a), on appelle $S = L \times l$ la surface utile du radier.


Figure 10 : Décantation horizontale (4)

Une particule P est entraînée verticalement vers le fond du décanteur à la vitesse $V_{S(P)}$, vitesse de Stokes de la particule P dans l'eau.

La particule est également entraînée horizontalement par le courant d'eau (de débit Q), sous l'effet d'une vitesse d'écoulement V_E .



La vitesse résultante, notée V_R , dépend de $V_{S(P)}$ et de V_E ; si la droite qui porte cette vitesse V_R traverse le fond du décanteur avant son extrémité C, la particule peut décanter.

La limite des possibilités de décantation pour une particule P, entrée à la partie supérieure B de l'ouvrage, est de chuter le long de la diagonale BC.

Les conditions s'écrivent : $(V_S(P_0))/V_E = h/L$ et $V_E = \frac{Q}{l \times h}$

On en déduit : $V_S(P_0) = \frac{Q}{S}$

L'expression Q/S , exprimée en m/h, a la dimension d'une vitesse. On l'appelle vitesse de Hazen, notée V_H . Elle représente l'efficacité intrinsèque d'un décanteur.

Plus la vitesse de Hazen V_H dans un décanteur est faible, plus un pourcentage élevé de particules présentes à l'entrée peut décanter.

II.4.3.1.2. Cas de la décantation verticale

Les mêmes notions s'appliquent à la décantation verticale. Dans le décanteur vertical simple, la vitesse de Hazen est égale à la vitesse ascensionnelle. La vitesse ascensionnelle est la vitesse de circulation de l'eau vers le haut dans la partie supérieure cylindrique de l'ouvrage.

La chute d'une particule obéit donc au schéma de la figure 11 :

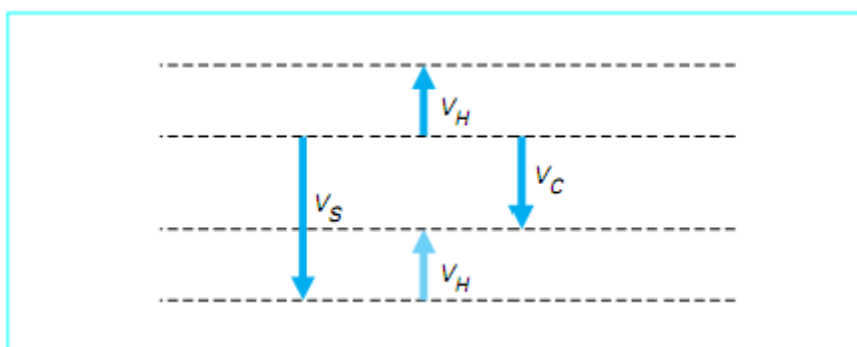


Figure 11 : Décantation verticale (5)

$$V_C = V_S - V_H$$

Avec :

V_S vitesse de Stokes ou vitesse de chute théorique en statique,

V_H vitesse de Hazen dans l'ouvrage,

V_C vitesse de chute réelle.

Si $V_S > V_H \Rightarrow V_C$ entraîne la particule vers le bas.

Si $V_S < V_H \Rightarrow V_C$ entraîne la particule vers le haut.

Quel que soit le type de décantation, son efficacité nécessite des vitesses de Stokes importantes, et une vitesse de Hazen faible.

La coagulation-floculation permet d'accroître la vitesse de Stokes des particules.

Pour réduire la vitesse de Hazen, on peut :

- Pour un débit Q donné, augmenter la surface utile du radier.

- Pour un décanteur donné, diminuer le débit d'entrée.

Dans la pratique, on cherche à faire passer le plus grand débit possible dans l'ouvrage le plus compact possible, avec une faible vitesse de Hazen pour retenir le maximum de particules. Il faut donc créer une surface de « radier pratique », à l'intérieur de l'ouvrage, plus grande que la surface représentée par l'emprise au sol. ⁽⁵⁾

II.4.4. Différents types de décanteurs

II.4.4.1. Décanteur horizontal à plusieurs étages

L'eau décantée est reprise à la partie aval par des déversoirs longitudinaux.

La purge des boues est assurée par des tuyaux perforés ou un racleur en fonctionnement continu.

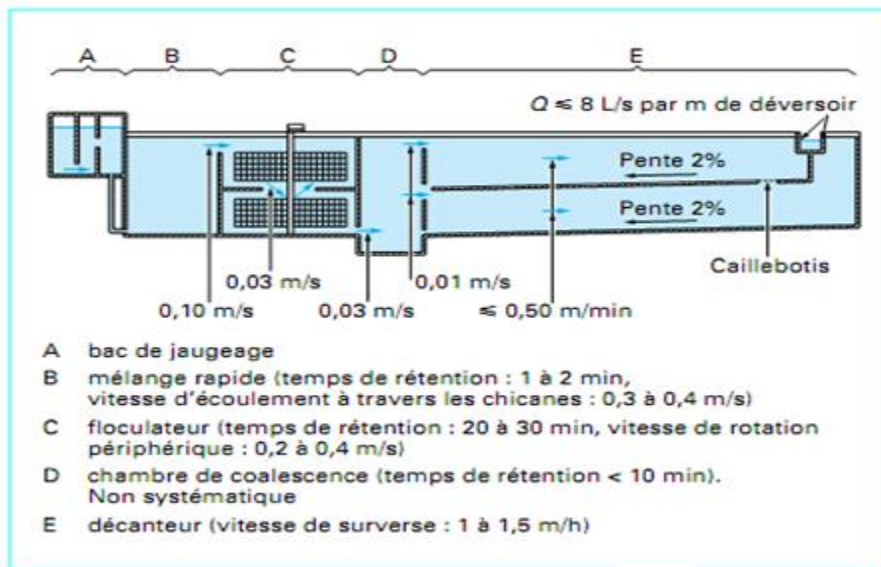


Figure 12 : Décanteur horizontal (5)

II.4.4.2. Décanteur à flux verticaux

Dans ce type d'ouvrage l'eau suit un trajet vertical. La vitesse de chute des particules est contrariée par une force résultante de la composition de la force de frottement et de la vitesse ascensionnelle de l'eau.

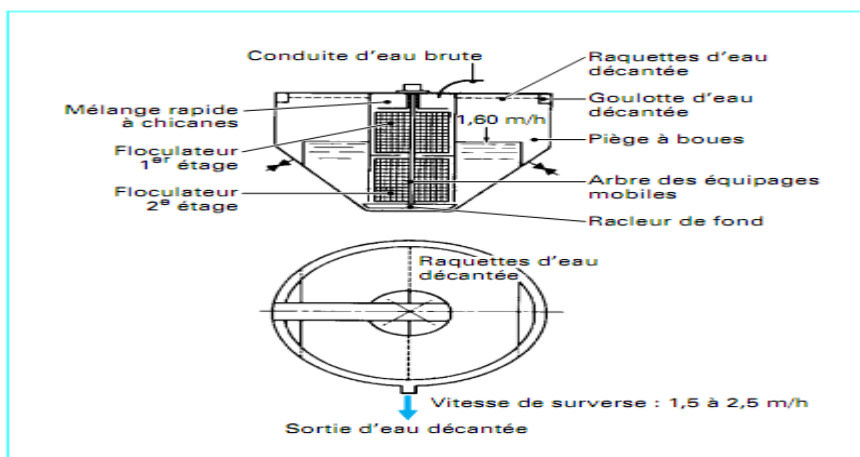


Figure 13 : Décanteur vertical (5)

II.4.4.3. Décanteurs à lits de boues pulses

Ce type de décanteur doit son appellation au fait qu'il maintient en suspension une masse de boues compacte appelée «lit de boues». L'eau brute coagulée est introduite à la base du

décanteur par l'intermédiaire d'un caisson faisant office de cloche à vide. Cette dernière génère des pulsations périodiques afin de maintenir le lit de boues homogène et pour favoriser la floculation de l'eau.

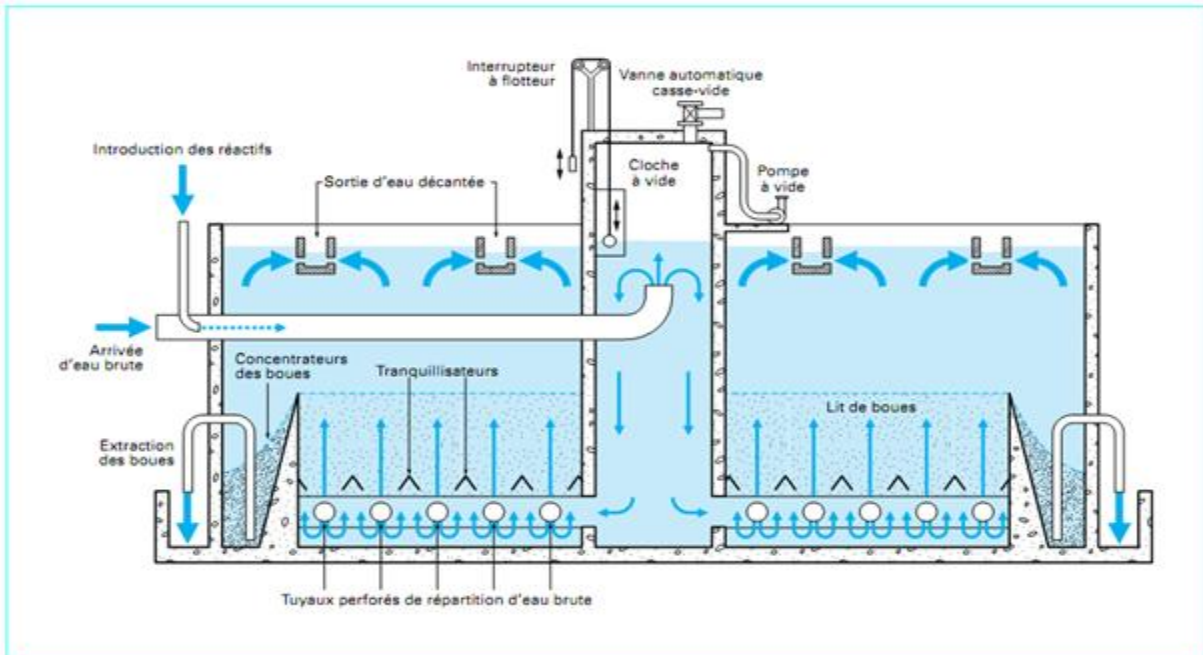


Figure 14 : Schéma de principe de fonctionnement d'un décanteur vertical à lit de boues Pulsator (5)

II.4.4.4. Décanteurs à floccs lestés

Ce type de décantation consiste en l'alourdissement du floc en le fixant sur des grains de microsable (granulométrie comprise entre 10 et 100 μm) ajoutés à l'eau brute dans une proportion importante.

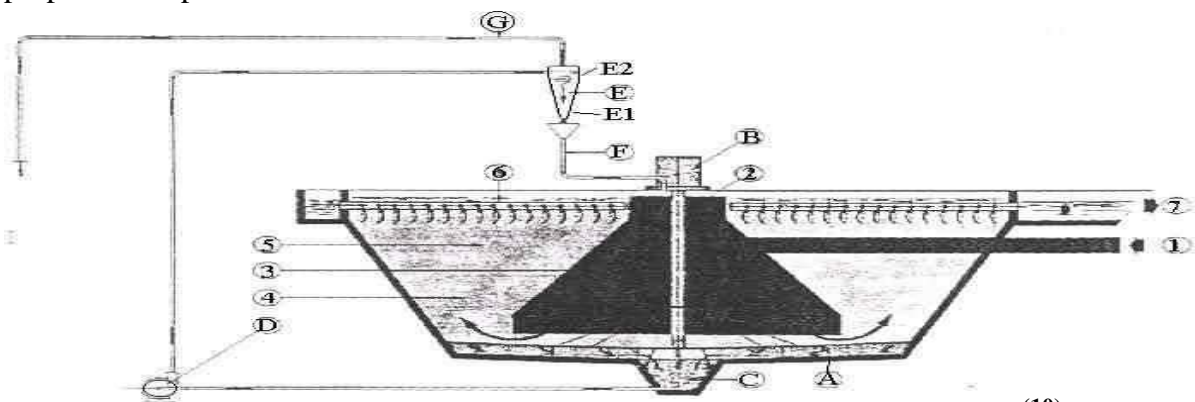


Figure 15 : Schéma de principe de fonctionnement d'un décanteur à floc lesté (10)

Avec :

Circuit de clarification

- 1 - Eau à traiter + réactifs coagulants
- 2 - Diffuseur
- 3 - Zone réactionnelle
- 4 - Zone de décantation
- 5 - Eau clarifiée (décantée)
- 6 - Goulottes de reprise d'eau décantée
- 7 - Départ d'eau clarifiée (décantée)

Circuit de régénération du microsable

- A - Racleur
- B - Dispositif d'entraînement du racleur
- C - Fosse d'extraction des boues et du sable
- D - Pompe de recyclage
- E - Hydrocyclones (E1: sousverse, E2 surverse)
- F - Réinjection du sable régénéré
- G - Évacuation des boues par surverse

II.4.4.5. Décanteurs lamellaires

Le liquide à clarifier remonte entre des plaques parallèles inclinées ou parfois à l'intérieur d'un empilement de tubes inclinés.

- Cette disposition augmente considérablement la surface de décantation, tout en assurant une bonne répartition du fluide dans l'appareil.
- Une inclinaison correcte des plaques ou des tubes permet aux sédiments de glisser vers le bas du décanteur.

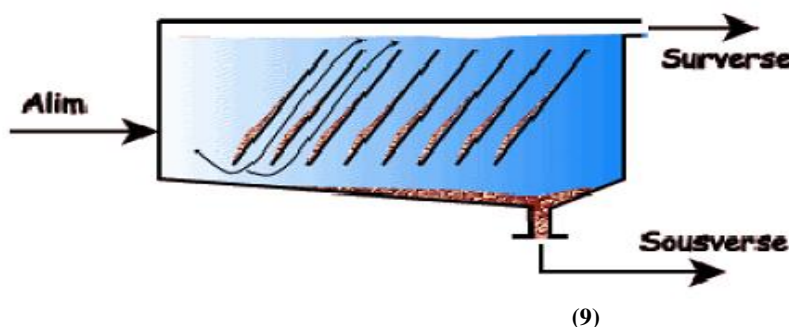


Figure 16 : Décanteur lamellaire (9)

II.4.5. Flottation

La flottation est un procédé de clarification qui utilise de fines bulles d'air auxquelles s'attachent les particules coagulées en suspension pour former un agglomérat (dont la densité est inférieure à celle de l'eau) qui monte vers la surface. Les fines bulles d'air sont produites par dissolution d'air dans l'eau sous pression, puis par détente à l'atmosphère lorsque l'eau sursaturée est introduite dans la zone d'entrée du flottateur. L'eau traitée est soutirée au bas de l'unité de flottation et les boues flottées sont généralement éliminées par raclage de la surface ou par rehaussement du niveau d'eau afin que les boues débordent dans une goulotte dédiée à cette fin.

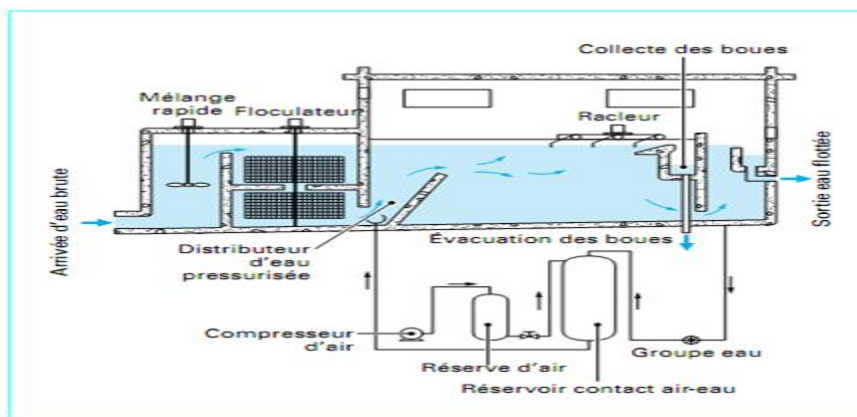


Figure 17 : Schéma de principe de fonctionnement d'un flottateur (5)

II.5. FILTRATION

II.5.1. Description

La filtration est la barrière ultime et obligatoire de la filière de traitement des eaux dans la majeure partie des cas. Elle vise à réaliser ou à compléter, à travers un lit filtrant, la réduction des particules en suspension, des coliformes, des virus, des parasites ainsi que la turbidité. Sans elle, plusieurs filières de traitement ne pourraient obtenir de crédits pour l'enlèvement des virus et des kystes de protozoaires.

II.5.2. Mécanismes de filtration

Suivant les caractéristiques des particules à retenir et du matériau filtrant mis en œuvre, peuvent intervenir l'un ou plusieurs des trois mécanismes principaux suivants: capture, fixation et détachement.

II.5.2.1. Mécanismes de capture

Ils sont essentiellement de deux natures :

✚ Tamisage mécanique

Il s'agit de la rétention des particules plus grosses que la maille du filtre ou que celle des éléments déjà déposés formant eux-mêmes matériau filtrant.

✚ Dépôt sur le matériau filtrant

La particule en suspension suit dans le liquide une ligne de courant; sa taille, comparée à celle des pores, pourrait lui permettre de traverser le matériau filtrant sans être arrêtée.

Différents phénomènes entraînent cependant un changement de trajectoire et le contact avec le matériau. On distingue en particulier :

- l'interception directe par frottement.
- la diffusion par mouvement brownien.



- la décantation: par leur poids les particules peuvent se déposer sur le matériau filtrant quel que soit le sens de filtration.

II.5.2.2. Mécanismes de fixation

La fixation des particules à la surface du matériau filtrant est favorisée par une faible vitesse d'écoulement. Elle est due à des forces d'origine physique (coincement, cohésion...), et à des forces d'adsorption, principalement les forces de Van der Waals.

II.5.2.3. Mécanismes de détachement

Sous l'action des mécanismes précédents, il se produit une diminution de l'espace entre les parois du matériau recouvertes de particules déjà déposées. Il y a alors augmentation de la vitesse d'écoulement. Les dépôts déjà retenus peuvent se détacher partiellement et être entraînés plus avant dans le matériau filtrant ou même dans le filtrat. ⁽³⁾

II.5.3. Filières de filtration

Les filières de traitement incorporant une filtration peuvent être de type :

II.5.3.1. Type physico-chimique

Les filtres de type physico-chimique sont, encore de nos jours, les plus utilisés en traitement de l'eau potable.

Par définition, ils doivent être précédés d'une coagulation. La filière de traitement conventionnelle, qui inclut une coagulation, une floculation, une décantation et une filtration est la filière la plus populaire en raison du vaste éventail de qualité d'eau brute qu'elle peut traiter.

Pour des eaux brutes de bonne qualité, une filtration directe (excluant l'étape de décantation) est parfois possible et peut inclure ou non l'étape de floculation, mais la coagulation et la filtration demeurent nécessaires.

II.5.3.2. Type physique

Les filtres de ce type font intervenir des processus de traitement purement physiques tels que le tamisage et l'adsorption des particules en suspension dans l'eau, sans nécessiter de pré-traitement chimique.

Pour cette raison, la qualité de l'eau brute doit être excellente. Plus spécifiquement, il s'agit de la filtration sur précouche.

II.5.3.3. Type biologique

Les filtres biologiques font intervenir l'activité microbienne comme processus de traitement principal. Le milieu filtrant sert alors de support pour le développement de cette biomasse. Cette dernière sécrète des diastases favorisant l'action coagulante sur l'eau.

La filtration biologique permet cependant de gérer des contaminants que les autres filtres ne peuvent enlever (carbone organique assimilable (COA) et autres composés biodégradables). Dans ce cas, la masse filtrante ne limite pas son rôle à celui d'un tamis vis-à-vis des matières en suspension, mais se comporte comme un support permettant l'accrochage et le développement de biomasse active.

C'est grâce à cette propriété des filtres que sont possibles des traitements tels que :

- Déferrisation et la démantanisation biologiques.
- La nitrification de l'azote ammoniacal.
- La dénitrification.
- L'assimilation de carbone organique biodégradable.

II.5.3.4. Type adsorptif

Ce type de filtration utilise le processus d'adsorption et s'adresse principalement aux substances dissoutes.

Le filtre à charbon actif granulaire est le seul procédé de cette catégorie. Il s'agit d'un traitement de polissage qui peut parfois être intégré à une filière physico-chimique (remplacement de l'antracite d'un filtre bicouche par du charbon actif granulaire).

II.5.4. Les systèmes de filtration

II.5.4.1. Filtration conventionnelle

La filtration dite conventionnelle est l'étape finale d'un traitement élaboré de clarification comprenant: une coagulation, une floculation et une étape de séparation de floes (décantation, flottation, préfiltration).

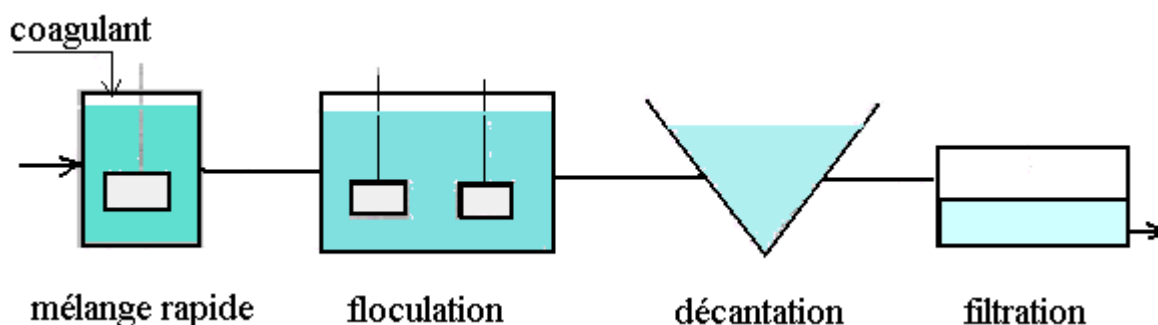


Figure 18 : Schéma de principe d'une filtration conventionnelle (1)

II.5.4.2. Filtration directe

On parle de filtration directe lorsque le traitement réalisé en amont de la filtration ne comprend pas d'étape de séparation de floes.

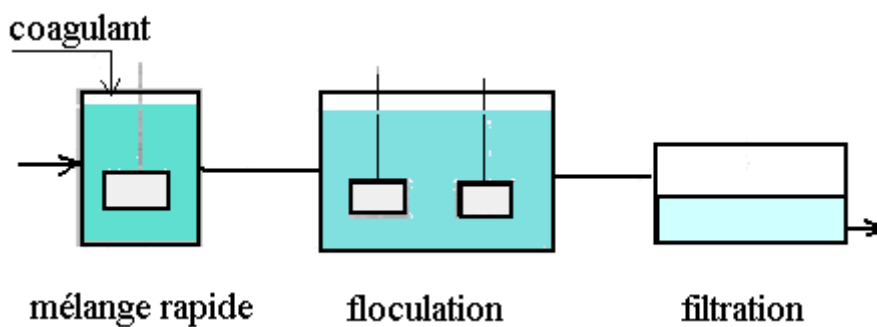


Figure 16 : schéma de principe d'une filtration directe (1)

II.5.4.3. Filtration en ligne

Dans le cas de la filtration en ligne, le prétraitement se résume à une coagulation, la floculation se déroulant directement dans le filtre (exemple 1) ou dans un ouvrage de contact intermédiaire (exemple 2).

-Exemple 1 : coagulation sur filtre :

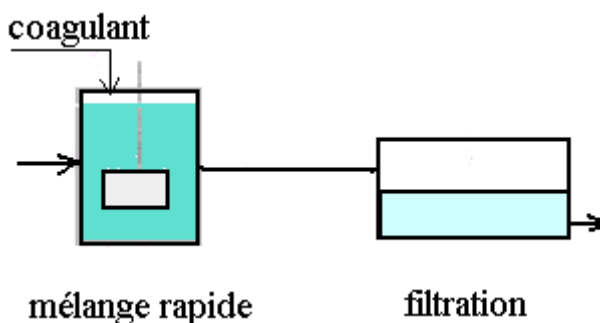


Figure 19 : Schéma de principe d'une filtration en ligne avec coagulation sur filtre (1)

-Exemple 2 : filtration en ligne avec contact intermédiaire :

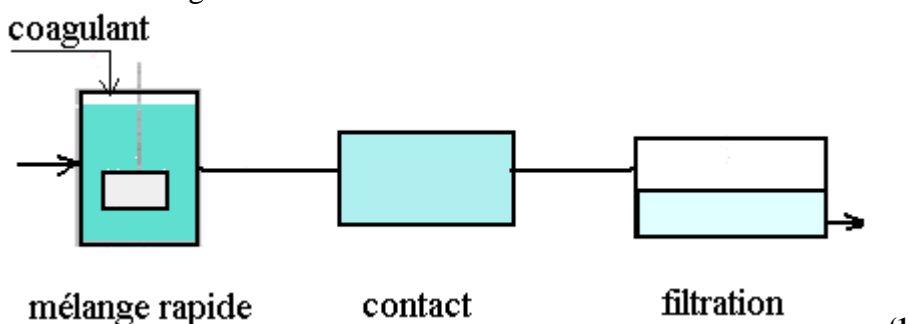


Figure 20 : Schéma de principe d'une filtration en ligne avec contact intermédiaire (1)

II.5.5. Filtres ouverts

Un filtre de ce type est 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.

Un matériau filtrant (le plus souvent du sable) est déposé sur ce faux-plancher et constitue un lit dont l'épaisseur est de l'ordre de 1 m, (de 0,80, à 1,20m).

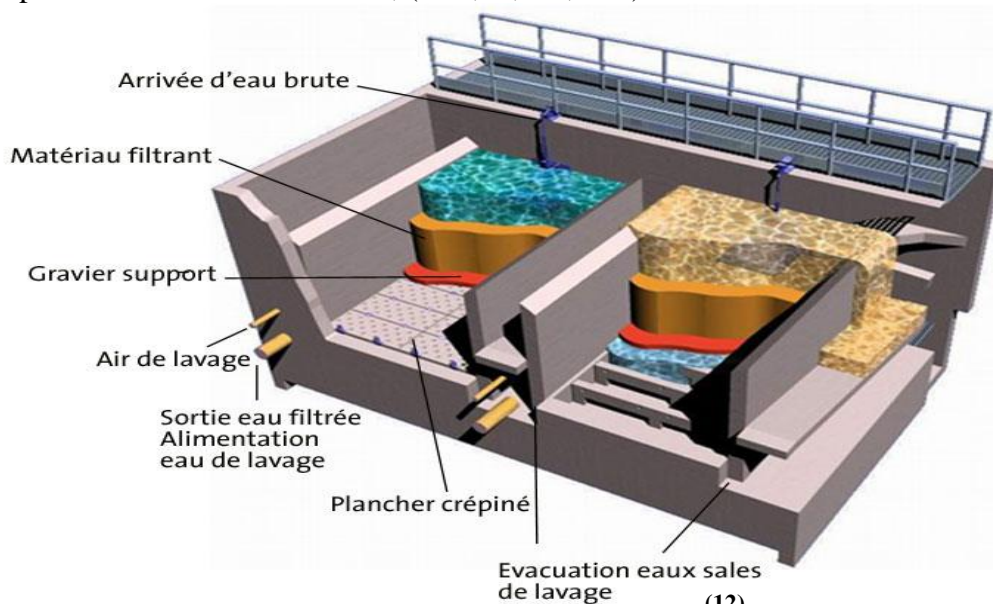


Figure 21 : Schéma d'un filtre ouvert

II.5.5.1. Filtre ouvert à granulométrie uniforme

L'utilisation de ces filtres, qui semblent s'apparenter de prime abord aux filtres à sable conventionnels, mais qui en diffèrent sur plusieurs points, exige comme pré-traitement une décantation dynamique.

Ces filtres se caractérisent par :

- ✚ Une hauteur de média filtrant (sable) comprise entre 900 et 1200 mm .
- ✚ Une taille effective du matériau filtrant (sable) entre 0,7 et 0,9 mm avec un coefficient uniformité inférieur à 1,5.
- ✚ Un taux de filtration permis de 7,5 m³/m²/h de surface filtrante.
- ✚ Une tête d'eau au-dessus du matériau filtrant de 1 m ou plus.
- ✚ Un lavage à contre-courant air et eau simultanément, qui est obligatoire compte tenu de la dimension grossière et de la densité du média filtrant.

II.5.5.2. Filtres bicouches

Ces filtres plus compacts que les précédents (taux de filtration supérieur) tout en demeurant efficaces. En raison de sa forte granulométrie, l'anthracite confère à ce type de filtre une bonne capacité de stockage pour les substances enlevées (réduit le taux d'augmentation de la



perte de charge par rapport au filtre à sable conventionnel), tandis que le sable (de plus faible granulométrie) permet de maintenir une bonne qualité de filtrat.

Ils se caractérisent par :

- ✚ Un matériau filtrant composé de deux couches de matériaux différents : le sable et l'antracite.
- ✚ Une hauteur de média filtrant composée de 150 à 300 mm de sable au-dessus duquel se trouve de 450 à 600 mm d'antracite, l'épaisseur totale du média filtrant ne devant pas être inférieure à 750 mm.
- ✚ Une taille effective de :
 - 0,4 à 0,6 mm pour le sable, avec un coefficient d'uniformité inférieur à 1,5.
 - 0,9 à 1,1 mm pour l'antracite, avec un coefficient d'uniformité inférieur à 1,5.
- ✚ Un taux de filtration permis de 10 m³/m²/h de surface filtrante.
- ✚ Une tête d'eau au-dessus du lit filtrant de 1 m ou plus.
- ✚ Un lavage à contre-courant à l'air seul, puis ensuite à l'eau seule, ou bien un lavage à contre courant à l'eau avec un lavage de surface.

II.5.5.3. Filtres multicouches

Ces filtres sont caractérisés par une couche d'ilménite, dont la granulométrie est plus fine que celle du sable, permet d'augmenter plus facilement la qualité du filtrat que pour les filtres bicouches.

Ils se caractérisent par :

- ✚ Un matériau filtrant composé de trois couches de matériaux différents tels que grenat (ou ilménite), sable et anthracite. La densité de ces matériaux est décroissante afin d'assurer un reclassement automatique des médias lors du lavage à contre-courant.
- ✚ Une hauteur de média filtrant composée de :
 - Au moins 100 mm de grenat (ou d'ilménite)
 - Au moins 230 mm de sable
 - Au moins 450 mm d'antracite.
- ✚ Une taille effective des matériaux filtrants de :
 - Grenat : 0,2 à 0,32 mm
 - Ilménite : 0,15 mm
 - Sable : 0,45 mm, avec coefficient d'uniformité inférieur à 1,5
 - Anthracite : 0,9 mm
- ✚ Un taux de filtration permis de 10 m³/m²/h de surface filtrante.
- ✚ Une tête d'eau au-dessus du lit filtrant de 1 m ou plus. Un lavage à contre-courant à l'air seul, puis ensuite à l'eau seule, ou bien à contre-courant de l'eau et avec un lavage de surface.



II.5.6. Colmatage et lavage des filtres

II.5.6.1. Colmatage

Le mécanisme de la filtration consiste dans l'adsorption et la rétention sur les grains de matériaux filtrant des particules floculées. Ce phénomène a pour conséquence, un grossissement des grains réduisant la dimension des espaces interstitiels et la section de passage offerte à l'eau. Le "colmatage" qui se produit ainsi accroît la perte de charge due au fonctionnement du filtre.

Les filtres peuvent fonctionner selon deux modes :

❖ Filtres à vitesse décroissante :

Au cours d'un cycle de filtration, la perte de charge dans le lit filtrant augmente. Si la perte de charge totale disponible est fixée, et en l'absence de système de régulation de la vitesse de filtration, le débit d'eau filtrée tend naturellement à diminuer au fur et à mesure de la rétention des particules.

Parallèlement, le niveau d'eau au-dessus de la masse filtrante s'élève jusqu'à un niveau limite, à partir duquel le lavage du filtre est déclenché.

Dans les installations utilisant cette technique de filtration, le débit total est réparti entre tous les filtres, qui travaillent à une vitesse de filtration différente selon leur degré de colmatage.

❖ Filtres à vitesse de filtration constante :

Ces filtres sont équipés de systèmes de régulation, permettant de maintenir la vitesse de filtration à une valeur constante, malgré le degré de colmatage.

II.5.6.2. Lavage

Les différentes procédures d'un lavage peuvent être :

✚ 1ère phase : détassage

Il s'agit d'une injection d'air à contre courant, dans le but de détasser le lit de matériau qui s'est progressivement compacté au cours du cycle de filtration.

✚ 2ème phase : lavage

On effectue des lavages à contre-courants simultanés d'air et d'eau filtrée. Pendant cette phase, les forces de cisaillement exercées sur les dépôts, conjuguées aux frottements des grains entre eux, permettent de décoller les particules ayant adhéré aux grains au cours du cycle de filtration.



✚ 3ème phase : rinçage

Injection d'eau seule, à une vitesse supérieure à celle de la phase de lavage. Cette phase de rinçage a pour objet d'entraîner hors de la masse filtrante les matières en suspension décrochées lors de la phase de lavage air + eau. ⁽¹⁾

II.5.7. Désinfection

II.5.7.1. Description

Étant donné la diversité des micro-organismes présents dans l'eau à traiter, l'eau doit être désinfectée avant de sortir de l'usine de production et contenir un agent bactériostatique pour préserver sa qualité dans les conduites de transport jusqu'aux points d'utilisation. Une désinfection est considérée efficace lorsqu'un résiduel d'oxydant (C) est maintenu pendant une durée (T) sur l'eau à traiter.

II.5.7.2. Micro-organismes pathogènes

L'eau contient une multitude de micro-organismes issus de l'activité biologique naturelle, dont certains ont la caractéristique d'être pathogènes, c'est-à-dire qu'ils peuvent provoquer des maladies.

✚ **Bactéries:**

Ce sont des organismes unicellulaires (0,1 à 20 µm) capables de vivre et de se reproduire. Ils peuvent également libérer des toxines.

Exemple :

- Legionella pneumophila (pneumonie)
- Schigellae (affections gastro-intestinales)
- Salmonellae (fièvre typhoïde et paratyphoïdes, salmonelloses)

✚ **Virus:**

Ces micro-organismes sont plus résistants que les bactéries. Ils peuvent exister à l'état végétatif, ou être actifs sur les cellules vivantes.

Exemples :

- Virus de l'hépatite A
- Virus de la poliomyélite
- Virus de la conjonctivite

✚ **Parasites:**

Les principaux parasites sont les protozoaires et les helminthes.

Les protozoaires (dont les amibes) intestinaux pathogènes pour l'homme sont responsables de certaines dysenteries et de gastro-entérites, Kystes de Giardia, de Cryptosporidium). Les helminthes qui peuvent contaminer les eaux d'alimentation sont nombreux. L'un des plus connus est responsable de la bilharziose.



✚ Micro-algues:

Certaines algues sont cependant toxiques pour l'homme : il s'agit des algues bleues, encore appelées cyanophycées ou cyanobactéries, qui excrètent des toxines responsables d'allergies cutanées et respiratoires, de nausées, de gastro-entérites ou de dysenterie.

II.5.7.3. Les principaux désinfectants

II.5.7.3.1. Chlore gazeux

Le chlore gazeux (Cl_2) est dissous dans l'eau à une concentration comprise entre 1 et 2 g/l et il réagit suivant la réaction :

$$\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{HClO} + \text{HCl}$$

Il y a formation d'acide hypochloreux HClO et d'acide chlorhydrique HCl, qui s'accompagne de la réaction secondaire :

$$\text{HClO} \rightleftharpoons \text{ClO}^- + \text{H}^+$$

Il ya formation de l'ion hypochloreux ClO^- et de l'ion hydrogène H^+ .

C'est l'acide hypochloreux qui est le véritable agent désinfectant. HClO aurait pour effet de déstructurer les chaînes des protéines bactériennes, qui, de ce fait perdraient leur fonction. Par ailleurs, des sites actifs jusqu'alors protégés deviennent "visibles" et actifs, ce qui se traduit par des agrégations de protéines (en "grosses" pelotes) et forment donc des déchets qui amènent finalement la mort des bactéries.

Il est désigné par le terme «chlore libre actif» par opposition au chlore libre en réserve sous forme d'hypochlorite ClO^- et au chlore combiné composé de monochloramine, dichloramine et trichloramine, résultant de la réaction du chlore sur l'ammoniaque et les matières organiques qui donnent des chloramines organiques.

Une chloration bactériostatique est réalisée impérativement en fin de filière de traitement (même après une postozonation) à un taux assurant un résiduel de chlore libre de 0,4 mg/l au minimum.

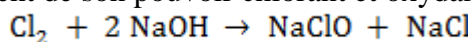
Pour une teneur en chlore libre donnée, le pourcentage de formation de chlore libre actif est d'autant plus élevé que le pH et la température sont plus bas.

Condition d'utilisation :

- ❖ Conditions bactéricides : maintien d'un résiduel de chlore libre de 0,1 à 0.2 mg/l pendant 10 à 15 minutes (à $\text{pH} < 8$).
- ❖ Conditions virulicides : 0,3 à 0,5 mg/l pendant 30 à 45 minutes (à $\text{pH} < 8$).

II.5.7.3.2. Eau de Javel (hypochlorite de sodium diluée)

L'eau de Javel ou solution d'hypochlorite de sodium diluée, est un produit industriel très important en raison notamment de son pouvoir chlorant et oxydant.

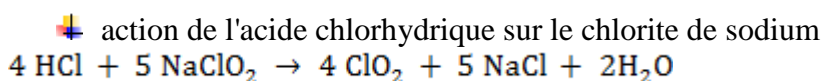
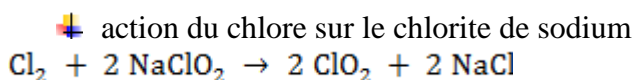




Selon le pH de l'eau, l'eau de Javel donnera un mélange de HClO et de ClO⁻. Ce traitement, si présence de matières organiques, peut, par formation de composés organochlorés tels que le chloroforme, donner à l'eau un goût désagréable. La concentration maximale admissible fixée par l'O.M.S. est de 5 mg/l.

II.5.7.3.3. Dioxyde de chlore

De formule ClO₂, c'est un produit instable qui doit être préparé sur le lieu d'utilisation par :



Les avantages du dioxyde de chlore peuvent se résumer ainsi :

- ✚ Un fort pouvoir germicide indépendant du pH dans les limites de 6 à 10.
- ✚ Il ne génère pas de goût.
- ✚ Il ne forme pas de trihalométhane.
- ✚ Il ne forme pas de chlorophénol.
- ✚ La persistance de son pouvoir désinfectant dans le réseau est le double de celle du chlore.

Conditions d'utilisation :

Conditions bactéricides : 0,1 à 0,2 mg/l pendant 5 à 10 minutes.

Conditions virulicides : 0,3 à 0,5 mg/l pendant 30 minutes. ⁽¹¹⁾

II.5.7.3.4. Ozone

La désinfection est pratiquée après la filtration sur sable et, dans le cas où une usine est dotée d'un second étage de filtration sur charbon actif, à l'amont de celle-ci pour que soit retenu le carbone organique biodégradable (post-ozonation).

Mais l'ozone est instable et ne subsiste pas dans l'eau. Une chloration bactériostatique est alors indispensable avant refoulement de l'eau dans le réseau de distribution.

Pour mettre en contact l'eau et l'air ozoné trois modes de diffusion peuvent être utilisés :

- Des diffuseurs poreux qui, insensibles aux variations de débit d'eau ou de gaz, présentent un bon rendement de transfert (90 à 95 %). Mais suivant le point d'application dans la chaîne de traitement, ils peuvent s'encrasser durant les arrêts de l'installation. Une solution consiste à maintenir dans ceux-ci une diffusion d'air non ozonée.
- Des turbines auto-aspirantes qui permettent de recycler les événements ozonés. Elles peuvent travailler sous une forte ou faible hauteur d'eau. Elles sont grosses consommatrices d'énergie et le rendement de transfert est médiocre sous une faible hauteur d'eau.

- Des émulseurs. Ils permettent une homogénéisation parfaite entre le gaz et l'eau, le recyclage des effluents ozones et ont un excellent rendement (95 %). Par contre ils nécessitent une charge motrice, le débit d'eau et de gaz ozonés doivent être constant et le temps de contact est court.

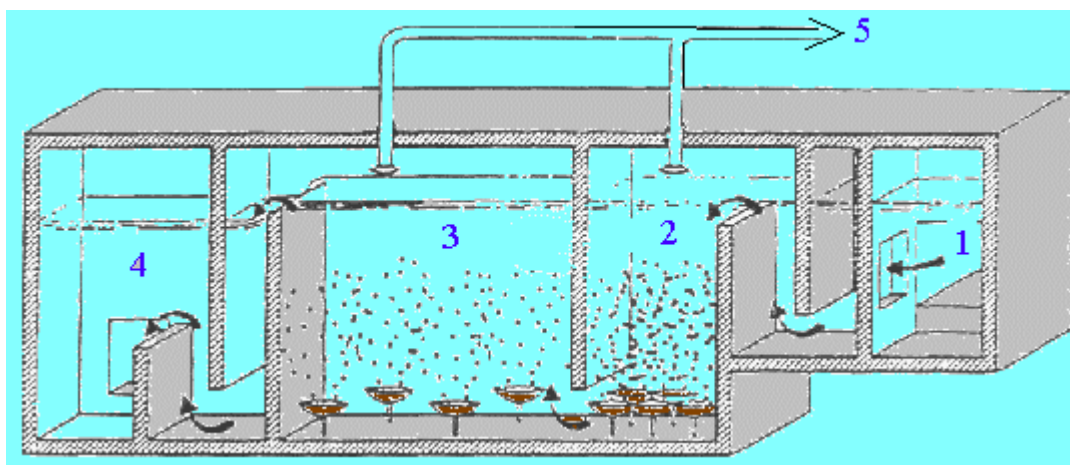


Figure 22 : Système de désinfection par ozonation (10)

- | | | |
|--------------------|--------------------------------|--|
| 1-Siphon d'entrée | 2-1 ^{er} compartiment | 3-2 ^{ème} compartiment |
| 4-Siphon de sortie | | 5-O ₃ vers le destructeur thermique |

Conditions d'utilisation :

Conditions bactéricides : 0,1 à 0,2 mg/l pendant 1 à 2 minutes.

Conditions virulicides : 0,3 à 0,5 mg/l pendant 4 minutes.

II.5.7.3.5. Ultraviolets

Par rapport aux procédés chimiques de désinfection, la technique utilisant le rayonnement ultraviolet, dont les propriétés bactéricides sont connues depuis de nombreuses années, présente l'avantage de ne pas induire de toxicité, et de ne pas générer de sous-produits sapides (cas du chlore).

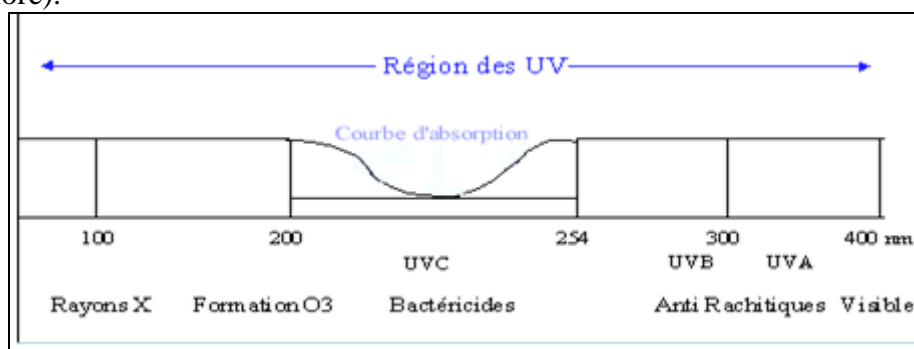


Figure 23 : Spectre des UV et leurs effets (10)

Les rayons ultraviolets sont produits par des lampes à basse pression de mercure. La désinfection s'effectue dans une chambre de traitement où l'eau est irradiée par un ou plusieurs générateurs U.V, chaque générateur étant isolé du contact de l'eau par une gaine de quartz perméable aux rayons U.V.



La désinfection est obtenue par circulation d'une mince lame d'eau annulaire (d'épaisseur inférieure à 50 mm) autour de ces gaines. Le régime hydraulique de l'écoulement dans la chambre doit être turbulent et de type piston, afin d'assurer une bonne homogénéité du traitement (même temps d'exposition pour tous les germes).

La quantité d'énergie reçue par un micro-organisme soumis à un rayonnement U.V. est égale à $D = I \times t$

Avec :

D : énergie reçue par unité de surface ou dose d'exposition (mJ/cm²).

I : puissance reçue par unité de surface, dépendant de la puissance de lampe utilisée, de sa géométrie, du trajet parcouru par le rayonnement U.V et du coefficient d'absorption des U.V. dans l'eau à traiter (μW/cm²).

t : Durée d'exposition au rayonnement (secondes).

La dose d'inactivation (dose d'exposition létale), dépend du micro-organisme cible. La résistance des germes au rayonnement U.V peut varier de manière importante.

D'une manière générale, on considère que la dose de rayonnement appliquée doit être d'au

moins 25 mJ/cm² (ou 250 J/m²). Les effets bactéricides et virulicides sont immédiats, mais il n'y a pas de rémanence. ⁽¹⁰⁾

II.5.8. Recyclage des eaux de lavage des filtres

II.5.8.1. Traitement des eaux de lavage des filtres gravitaires

Les eaux de procédé les plus fréquemment rencontrées sont les eaux de lavage des filtres utilisés en traitement d'eau de surface ou d'eau souterraine.

Les techniques utilisées pour laver les filtres sont : la décantation, le lagunage et la déchloration.

II.5.8.2. Décantation

En général, une période de décantation de 6 à 24 heures est suffisante pour produire un effluent faible en turbidité et en aluminium. Pour optimiser le fonctionnement des décanteurs, il faut prévoir un bassin de stockage et d'égalisation des eaux de lavage pour régulariser les débits d'eau qui alimentent le décanteur.

Le taux de décantation peut varier entre 0,48 et 1,92 m/h. Le dosage d'un polymère anionique et l'utilisation de lamelles permettent d'augmenter le taux de décantation. La décantation produit un effluent faible en turbidité (0,8 à 2,5 UTN), en aluminium (1,0 à 2,3 mg/L), en fer (<5 mg/L) et en chlore résiduel libre (<0,1 mg/L). Les boues extraites du décanteur ont une teneur en solides de 0,5 à 1,5%.



II.5.8.3. Lagunage

Les eaux de lavage des filtres peuvent être traitées par lagunage selon les règles suivantes:
La profondeur minimale est de 1,5 m.

Les étangs doivent comporter un minimum de deux cellules qui peuvent être isolées séparément pour faciliter les vidanges et l'entretien.

Les étangs doivent être munis d'ouvrages d'entrée permettant une bonne répartition des eaux de lavage et d'ouvrages de sortie afin de minimiser l'entraînement des solides et des algues dans le milieu récepteur.

Les étangs doivent être situés de préférence au moins à 150 m des habitations;
La vidange des étangs doit être faite quand les concentrations de fer ou des matières en suspension dépassent les critères de rejet.

II.5.8.4. Déchloration

La déchloration a pour but d'éliminer les eaux de lavage des filtres le chlore résiduel présent sous formes libre et combinée avant de les rejeter dans un cours d'eau. La décantation et le

lagunage réduisent déjà la teneur en chlore. Différents composés chimiques peuvent aussi être utilisés à cette fin mais le bioxyde de soufre, le bisulfite de sodium et le métabisulfite de sodium sont les plus efficaces.

La déchloration par le rayonnement solaire est aussi efficace pour éliminer les chlores libres actifs. Dans les décanteurs et filtres non couverts, l'élimination des chlores libres actifs peut atteindre 0,75 à 1,25 mg/L par heure le jour entre 10 et 14 heures, de juin à août. Par contre, La dégradation des chloramines est plus lente car ces composés sont plus stables. L'aération peut enlever jusqu'à 15% de monochloramine et 20% de dichloramine, tandis que la trichloramine peut être éliminée complètement par une légère aération. ⁽¹⁾



CHAPITRE III : ETUDE DE LA FILIERE BOUE

III.1. Introduction

Les stations pour le traitement des eaux en vue de leurs potabilisation génèrent des sous produits inévitables :

- boues issues des ouvrages de prétraitement,
- boues issues des ouvrages de décantation,
- boues issues des lavages de filtres.

Ces boues contiennent généralement peu de matières dégradables et leur texture est de faible qualité. Les boues se présentent donc sous forme d'une «soupe» qui subit ensuite des traitements visant en particulier à réduire leur teneur en eau : épaissement, déshydratation avec ajout important de chaux.

Le dimensionnement d'une installation de traitement de boues d'eau potable est souvent soumis à des incertitudes concernant la variation de la qualité de l'eau brute (phénomènes de crues entraînant des limons et autres matières facilement décantables).

III.2. Destinations finales

Le devenir des boues traitées ci-dessus peut être :

- ✚ Un rejet en milieu naturel : Elle ne peut pas être envisagée comme une solution permanente.
- ✚ Un rejet dans le réseau d'assainissement : c'est la solution la plus simple à mettre en œuvre quand le réseau d'assainissement et l'usine de dépollution peuvent accepter un flux supplémentaire de boues.
- ✚ Une valorisation agricole : elles peuvent donc être épandues en agriculture sans contraintes, moyennant, la plupart du temps, un ajout de chaux leur conférant un statut d'amendement calcique et une meilleure qualité rhéologique.
- ✚ Un mélange avec des boues d'eaux résiduaires urbaines : Ce mélange présente des qualités intéressantes, car les boues d'eau potable de décarbonatation constituent, par exemple, un complément calcique pour les boues d'eaux résiduaires.
- ✚ Une mise en centre de stockage
- ✚ Une Valorisation sous forme d'adjuvants : si leur qualité est constante, les boues d'eau potable peuvent être valorisées en adjuvants de cimenterie, briqueterie ou fabrication d'engrais par exemple.



III.3. Caractéristiques des boues

Pour connaître le comportement d'une boue avec tel ou tel type de traitement, une caractérisation poussée doit avoir lieu. Pour cela, les paramètres qui doivent être pris en compte sont :

-Matières Sèches (MS) : La concentration en MS permet de connaître la quantité de boue à traiter, quel que soit son niveau de concentration dans la filière de traitement. La détermination de la teneur en MS s'effectue à l'étuve 105°C ou par infrarouge.

-Matières En Suspension (MES) : les MS étant faciles à déterminer sur les phases concentrées, il n'en va pas de même sur des phases clarifiées (surverses, filtrats, concentrats...) parce que les concentrations de matières sont beaucoup plus faibles. Dans ce cas, la mesure des MES est plus appropriée.

La détermination de la teneur en MES s'effectue par filtration sur membrane.

-Matières Volatiles (MV, en concentration) ou Fraction Volatile (FV, en % de MS) : ce paramètre livre une indication sur le degré de stabilisation de la boue et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération...).

-C.H.O.N.S. (Carbone, Hydrogène, Oxygène, Azote, Soufre) : ce paramètre permet d'estimer les performances d'une étape ultérieure de traitement par voie thermique (incinération) ou biologique (digestion anaérobie avec production de biogaz, surtout valable pour les boues résiduaires urbaines).

-PCI (Pouvoir Calorifique Inférieur) : le PCI, (à relier au C.H.O.N.S), a une importance primordiale en incinération.

-Éléments-traces métalliques : quelle que soit la destination finale des boues, la connaissance des teneurs en éléments-traces métalliques est primordiale, surtout en cas de valorisation. Les métaux suivants doivent pouvoir être identifiés : Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, As, Cd, Hg, et éventuellement TI (Thallium).

-Indice de Boue (IB) : ce paramètre, à relier indirectement aux MS et MV, dépend du temps de séjour dans un bassin biologique. Sa bonne connaissance est importante pour l'épaississement: plus l'IB est faible, plus la boue est facile à épaissir.

-DCO, DBO, PT, NTK : leur connaissance est secondaire sur une chaîne de traitement des boues.

-Graisses : généralement exprimées en MEH (Matières Extractibles à l'Hexane), elles sont intégrées aux MV. Elles sont prises en compte dans toutes les opérations de combustion ou biologiques.

-Fibres : les fibres (matières lignocellulosiques carbonées) peuvent réduire la résistance spécifique de la boue et, par conséquent, améliorer sa déshydratabilité.

-Agents pathogènes : les agents pathogènes (surtout présents dans les eaux résiduaires) sont



principalement associés aux MES, et se retrouvent donc en grande majorité dans les boues. Il s'agit de virus, bactéries et parasites (Protozoaires, Helminthes).

III.4. Type de boues

Il existe deux grandes familles de boues d'eau potable :

- celles issues du traitement des eaux de surface.
- celles issues du traitement des eaux souterraines (eaux de forages).

Les caractéristiques dépendent donc des eaux traitées ET du traitement appliqué pour les potabiliser.

Tableau 6: Classement des principaux types de boue

Type de boue	Origine	Compositions
Boue de clarification	Eau de surface+eau de forage (boues mixtes)	Hydroxides (Fe+Al)>60% ;MO>20%
Boue de décarbonatation	Eaux de surface dures+eaux de forage dures (boues mixtes)	CaCO ₃ >85% Hydroxides (Fe+Al)<5% ;Mo<10%
Boue de déferrisation	Eaux de forages	CaCO ₃ =20 à 40% Hydroxides de fer>40% Hydroxides d'aluminium= 4à10%

III.4.1. Boues issues des traitements d'eaux de surface

On les appelle les boues de classe 1. Il s'agit généralement de boues hydroxydes obtenues par décantation ou rétention des MES et colloïdes précipités à l'aide de sels de fer ou d'alumine. Les boues hydroxydes se répartissent en quatre classes :

- Les boues issues de ressources pauvres en alluvions : barrage, rivière proche de la source.
- Les boues issues de ressources moyennement riches en alluvions : rivière "moyenne".
- Les boues issues de ressources riches en alluvions : rivière en crue, embouchure de fleuve...
- Les boues issues de ressources riches en matières organiques.

III.4.2. Boues issues des traitements d'eaux de forage

On les appelle les boues de classe 1. Il s'agit:

- Des boues de décarbonatation provenant de la précipitation des carbonates.
- Des boues de démanganisation, de déferrisation physicochimique, ou d'autres traitements d'éléments métalliques obtenus par oxydation des ions dissous et formation d'hydroxydes.
- Des boues biologiques issues d'une dénitrification ou d'une déferrisation biologique sur biofiltres.



III.4.3. Boues mixtes

Les boues de forage peuvent contenir des boues hydroxydes, à la suite d'un collage aux réactifs. La filière génère donc une boue mixte. Les proportions respectives de chaque type de boues permettent de connaître les caractéristiques du mélange et d'estimer les performances de traitement. ⁽⁷⁾

III.5. Valorisation des boues

Quel que soit le mode de potabilisation des eaux, les boues sont initialement grandement constituées d'eau (>95 %), de matières minérales (dissoutes ou insolubles) et d'un peu de matière organique.

Selon l'utilisation qui peut en être faite, des traitements leurs sont appliqués :

- ✚ pour réduire leur teneur en eau : du simple épaissement par gravité en passant par une déshydratation partielle (moins de 80 % d'eau), jusqu'à un séchage presque total (65 à 80 % d'eau).
- ✚ un conditionnement à la chaux, permettant de faciliter sa manutention et/ou son stockage ou donner à la boue un statut d'amendement calcique.
- ✚ un conditionnement en tant qu'adjuvant industriel ou agricole.

III.5.1. Stockage – Tampon

La plupart des boues d'eau potable sont constituées, en partie, d'eaux de lavage de filtres, qu'il est nécessaire de collecter et de rendre de même nature (homogénéisation) dans une cuve-tampon, et ceci avant de traiter. Ces cuves-tampons peuvent être de deux types :

- ✚ Stockeur -homogénéisateur : les eaux collectées sont mélangées à l'aide d'un agitateur. Tout le flux est ensuite envoyé vers les épaisseurs.
- ✚ Stockeur -décanteur : les eaux admises dans le stockeur sont séparées par décantation.

Les surverses repartent en tête de filière du traitement de potabilisation, et les boues concentrées sont envoyées en épaissement.

III.5.2. Epaissement

C'est le premier stade d'une réduction importante du volume des boues issues des traitements biologiques ou physico-chimiques.

Différentes techniques sont utilisées pour épaisser les boues :

III.5.2.1. Épaissement gravitaire

C'est, d'une façon générale, la technique de concentration des boues la plus utilisée. Elle consiste à faire séjourner des boues dans des bassins de forme cylindro-conique. Jusqu'à 5 m de diamètre, on peut utiliser le type statique, simple cuve cylindrique à fond conique (45 à 70° sur l'horizontale).

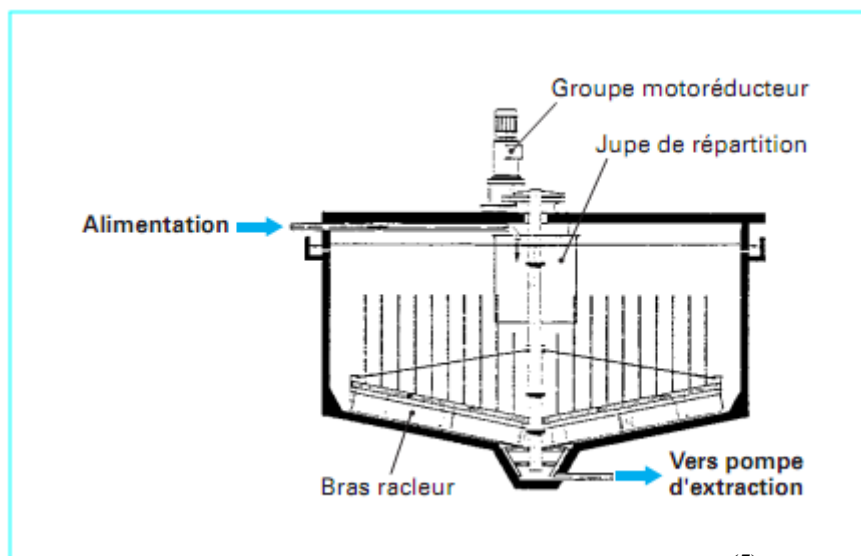


Figure 24 : Epaisseur raclé à entraînement central (5)

Les avantages de l'épaississement gravitaire, réalisé généralement dans des décanteurs raclés, résident dans la simplicité du procédé, caractérisé par une dépense d'énergie modérée, qui permet d'avoir un effet tampon non négligeable dans la chaîne de traitement des boues, en augmentant la sécurité et la régularité de l'exploitation.

L'inconvénient majeur est, dans bien des cas, la surface et le volume importants des ouvrages d'épaississement.

III.5.2.2. Épaississement dynamique

On distingue trois techniques d'épaississement dynamiques qui, en particulier avec les boues légères (comme les boues biologiques en excès), permettent d'obtenir des meilleurs taux d'épaississement au prix, il est vrai, d'une plus forte dépense d'énergie électrique et éventuellement de réactifs floculants. Il s'agit de la flottation, de la décantation centrifuge et, plus récemment, des grilles et tamis d'égouttage.

Épaississement par flottation

Il présente un grand intérêt pour la concentration de suspensions boueuses à « floes » légers, de faible décantabilité (boues d'hydroxydes métalliques, boues biologiques en excès à titre indicatif...). Le procédé généralement mis en œuvre en traitement des boues est l'aéroflottation, qui produit des microbulles d'air selon la technique de pressurisation – détente (détente du fluide préalablement mis en contact avec l'air comprimé à une pression comprise entre 3 et 6 bar).⁽⁵⁾

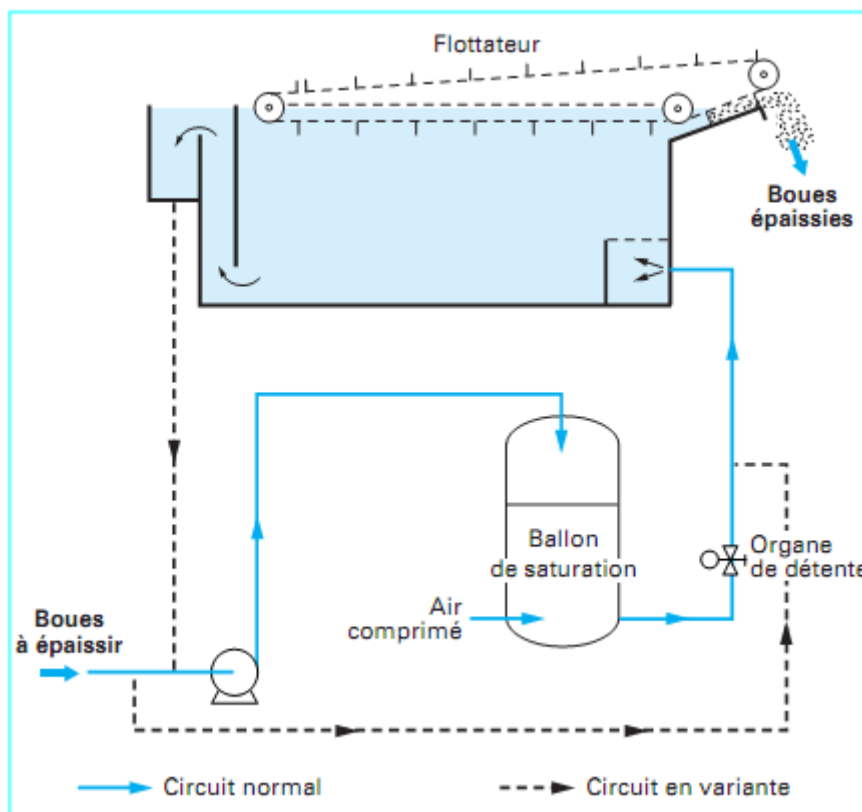


Figure 23 : Principe d'épaississement par flottation (5)

✚ Épaississement par centrifugation

La boue à traiter (boue + adjuvant) est introduite par un tube d'alimentation (1) et un distributeur (2) dans un rotor constitué d'un bol (3) et d'une vis convoyeuse (4). Le bol et la vis tourne à des vitesses importantes : la vis plus rapidement que le bol, d'où une vitesse différentielle qui peut être plus ou moins faible et un temps de séjour plus ou moins long. La vis évacue le solide décantée (boue centrifugée) vers l'extrémité du bol (5), et le liquide clarifié (centrat) vers l'autre extrémité (6).

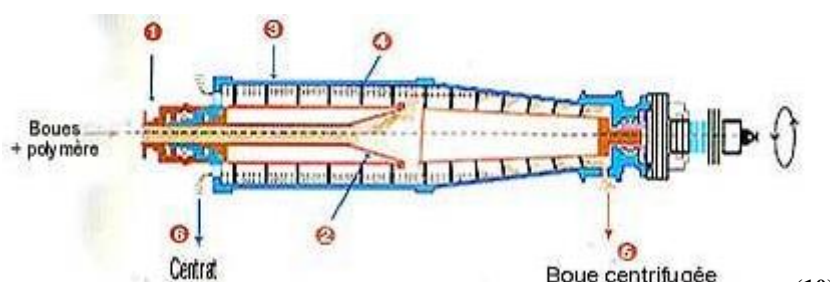


Figure 24 : principe d'épaississement par centrifugation (10)

III.5.2.3. Épaississement réalisé par des systèmes drainants

La réduction en volume des boues est devenue aussi un objectif prioritaire dans les petites et moyennes stations. Les techniques d'épaississement précédemment décrites y conduisent souvent à des ensembles trop coûteux et/ou trop exigeants en main-d'œuvre spécialisée. L'épaississement par drainage est une solution intéressante qui permet :

- Un soutirage direct de boues en excès peu concentrées depuis le bassin d'aération et suppression de silos intermédiaires.
- Une réduction de 2 à 3 fois du volume de stockage des boues avant leur reprise en cultures.
- Une réduction comparable du coût de transport des boues.

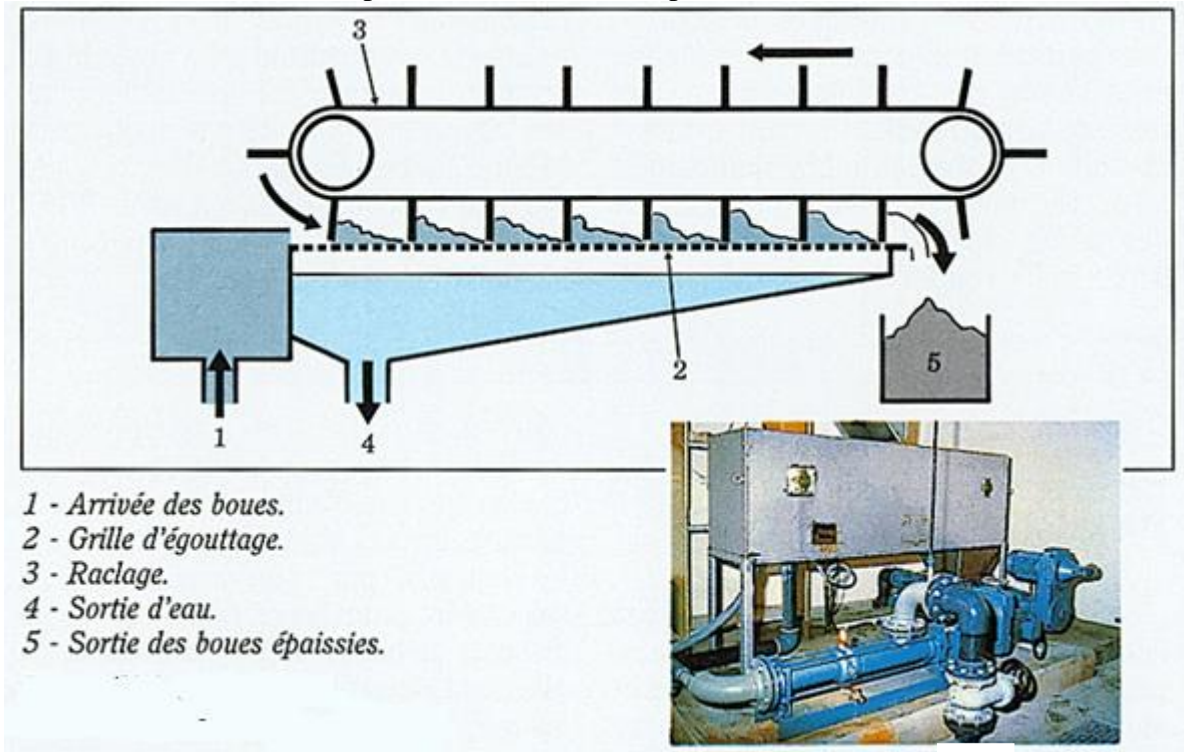


Figure 25 : Principe d'épaississement par des systèmes drainants (3)

III.5.3. Déshydratation

La déshydratation constitue la seconde étape de réduction du volume des boues au cours de laquelle on réalise sur les boues épaissies, stabilisées ou non, une élimination plus ou moins poussée de leur humidité résiduelle de façon à les amener à l'état solide ou tout au moins « pelletable » (siccité minimale de 18 à 20 % en masse MS en fonction de la nature et des caractéristiques physicochimiques de la boue).

Les principales techniques de déshydratation sont :

III.5.3.1. Filtration sur filtre à bandes

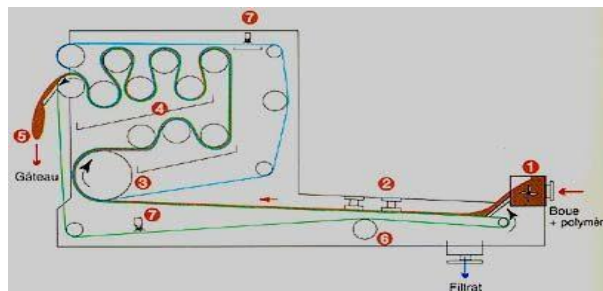


Figure 26 : Principe de filtration sur filtre à bandes (10)

1. bac de mélange et répartiteur, de la boue brute (et de la chaux ou du polymère)
2. zone d'égouttage gravitaire, avec bande de 600 mm (munie de bobines fixes)
3. rouleau de pré-pressage, avec bande de 450 mm
4. zone de déshydratation progressive, puis de pressage haut intensité
5. zone de raclage et de déversement (cuve-tampon ou/et convoyage)
6. système de guidage automatique
7. rampes de lavage (nettoyage continu)

III.5.3.2. Filtration sur filtre à plateaux (filtre-pressé)

Le filtre est formé d'une batterie de plaques évidées verticales, dotées de toiles filtrantes serrées sous l'action d'un vérin. Ces plaques forment alors des chambres de filtration.

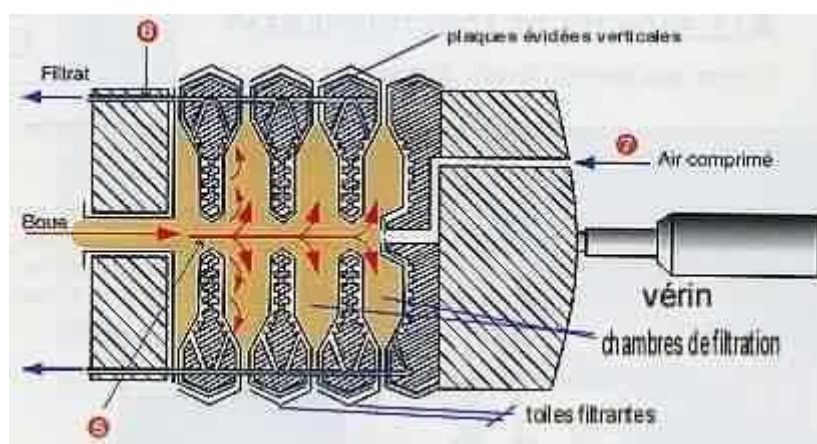


Figure 27 : Principe de filtration à plateaux (10)

La boue à filtrer est injectée sous-pression dans les chambres (5), où elle s'accumule jusqu'à former un gâteau compacté. Le filtrat est recueilli dans des cannelures (à l'arrière du support filtrant) et évacué par des conduits internes (6). La pressée se termine à l'arrêt de la pompe, puis les circuits de filtrats et la conduite centrale sont purgés à l'air comprimé (7).

III.5.3.3. Sac filtrant

Les sacs sont remplis puis égouttés durant une semaine environ, avant d'être disposés sur une surface de séchage, puis emmené en décharge (1 ou 2 fois/an).

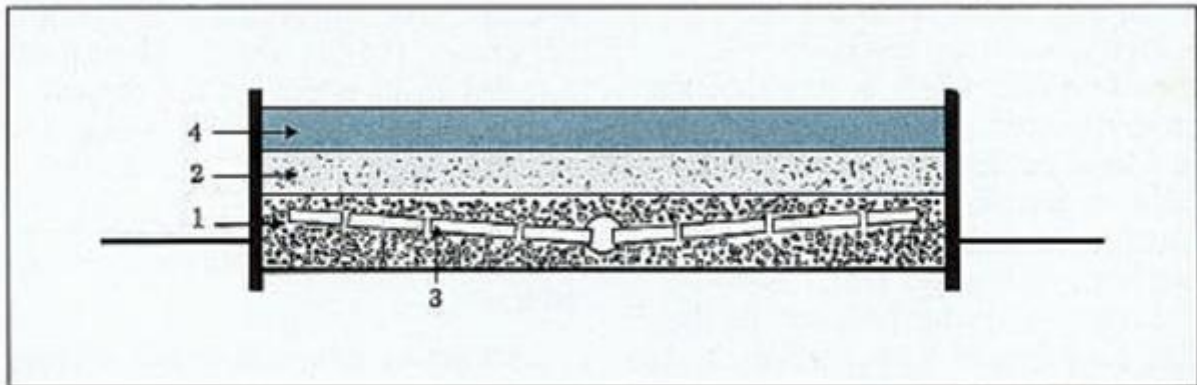
Ce procédé n'est applicable qu'aux boues épaissies. Il nécessite peu d'investissement, mais beaucoup de manutention (frais de main d'œuvre) : utilisable surtout pour les petites unités de moins de 100 kgMS/jour.

III.5.3.4. Lit de séchage

Il s'agit d'un bassin rectangulaire de faible profondeur et divisé en plusieurs cellules pour faciliter l'épandage et l'entretien. Le fond du lit est doté d'un système de tuyauterie qui est installé dans le gravier pour le drainage de l'eau et le tout est recouvert par une couche de sable grossier (gravier).



Il est possible d'alimenter des lits de séchage, de boues liquides venant directement d'un stockage-tampon. Mais en principe, les boues sont d'abord épaissies afin de réduire les cycles de remplissage-séchage.



- 1 - Gravier. 3 - Drains.
2 - Sable. 4 - Boue.

Figure 28 : Coupe type d'un lit de séchage (3)

III.5.3.5. Lagunage

Une lagune sera toujours alimentée en boue non épaissie : elle cumule donc les fonctions d'épaississement (remplissage/décantation) et de déshydratation (séchage). Le curage de la lagune (pendant la phase de séchage) sera effectué, en principe, à la fin des mois d'été. ⁽¹⁰⁾



CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

Les ouvrages dimensionnés ci-dessous concernent une filière conventionnelle de traitement de l'eau potable. Cette filière dépend du taux des matières en suspension TMES dans l'eau brute.

Si $T_{MES1} \geq 2g/l$ alors la dite **filière(*)** comporte :

- ✓ Débourbage
- ✓ Préchloration
- ✓ Coagulation floculation
- ✓ Décantation
- ✓ Filtration
- ✓ Désinfection finale au chlore gazeux
- ✓ Récupération des eaux de lavage des filtres, en vue de les recycler en tête de la filière de traitement
- ✓ Traitement des boues

Sinon

Elle comportera les mêmes techniques de traitement à l'exception du débourbage. (C'est la **filière (**)**).

IV.1. Dimensionnement de la filière eau

IV.1.1. Calcul du débit d'eau brute

Si $T_{MES1} \geq 2g/l$ (**filière ***)

Les données :

- Débit de consommation (Q_{cons})
- Taux de MES dans l'eau brute (T_{mes1})
- Taux de MES dans les boues extraites des décanteurs (T_{mes4})
- Taux de MES dans l'eau débouée (T_{mes3})
- Teneur en MES des boues de purge des déboueurs (T_{mes2})
- Pertes en eau au niveau de la filtration

Le bilan de débit permet d'écrire : $Q_b = \text{débit de consommation} + \text{les pertes au niveau de la filtration} + \text{les pertes au niveau de la décantation} + \text{les pertes au niveau de débouage}$.

Les pertes au niveau de la filtration sont estimées en générale à 2% du débit brut, donc :

$$Q_{d\acute{e}c} = 1,02 \times Q_{cons} \quad \text{Avec } Q_{d\acute{e}c} : \text{ le débit de l'eau décantée}$$

Le bilan massique permet d'écrire:

$$(\text{Les pertes au niveau de la décantation}) \times T_{mes4} = Q_{d\acute{e}b} \times T_{mes3}$$



$$\text{Les pertes au niveau de la décantation} = Q_{\text{déb}} \times \frac{T_{\text{mes3}}}{T_{\text{mes4}}}$$

Avec $Q_{\text{déb}}$: le débit de l'eau débourbée

On a :

$$Q_{\text{déb}} = \text{Les pertes au niveau de la décantation} + Q_{\text{déc}} \text{ (bilan de débit)}$$

$$\text{Donc} \quad Q_{\text{déb}} = \frac{Q_{\text{déc}}}{1 - \frac{T_{\text{mes3}}}{T_{\text{mes4}}}}$$

$$\text{Les pertes au niveau du débouage} = \frac{Q_b \times T_{\text{mes2}} - Q_{\text{déb}} \times T_{\text{mes3}}}{T_{\text{mes2}}} \quad (\text{Bilan massique})$$

On a :

$$Q_b = Q_{\text{déb}} + \text{les pertes au niveau du débouage (bilan de débit), ainsi :}$$

$$Q_b = Q_{\text{déb}} \times \frac{T_{\text{mes2}} - T_{\text{mes3}}}{T_{\text{mes2}} - T_{\text{mes1}}}$$

Sinon (filière **)

$$Q_b = Q_{\text{déc}} + \text{les pertes au niveau du décanteur (bilan de débit)}$$

$$Q_{\text{déc}} = Q_{\text{cons}} * 1.02$$

$$\text{Les pertes au niveau du décanteur} \times T_{\text{mes4}} = Q_b \times T_{\text{mes1}} \text{ (bilan massique)}$$

$$\text{Donc les pertes au niveau du décanteur} = Q_b \times \frac{T_{\text{mes1}}}{T_{\text{mes4}}}$$

$$\text{Ainsi le débit de l'eau brute est :} \quad Q_b = \frac{Q_{\text{déc}}}{1 - \frac{T_{\text{mes1}}}{T_{\text{mes4}}}}$$

IV.1.2. Ouvrage de répartition

Cet ouvrage est commun aux deux filières de traitement(*) et (**).

Le débit total à répartir est le débit de l'eau brute Q_b . Soit n le nombre de files de traitement donc le nombre de déversoirs vaut n .

$$\text{Le débit par déversoir} = \frac{Q_b}{n}$$

La largeur d'un déversoir est définie d'après la formule suivante : $\frac{Q_b}{n} = \mu \times l \times h \times (2g \times h)^{1/2}$

Où :

- μ : coefficient de débit, (0,4 en cas de déversoir rectangulaire)
- L : largeur du déversoir
- h : hauteur de la lame déversante
- g : accélération de la pesanteur = 9,81 m/s²



IV.1.3. Ouvrages de mélange rapide 1

Ces ouvrages sont utilisés dans le cas de la filière(*).

Les caractéristiques d'un (1) ouvrage de mélange rapide, sont définies à base des hypothèses suivantes :

- Le débit de l'eau brute Q_b .
- Temps de rétention ou de séjour de l'eau : T en mn.
- Gradient de vitesse : G en s^{-1} (Le produit G x T doit être entre 10000 et 100000) .

Le volume utile d'une cuve : $V_{cuv} = \frac{Q_b}{n} \times 60 \times 3 \times 10^{-3}$ (en m^3)

Pour une hauteur d'eau choisie H, elle aura une section : $S_{cuv} = \frac{V_{cuv}}{H}$

Chaque cuve est équipée d'un agitateur, assurant le gradient de vitesse précité, afin que la distribution des réactifs soit la plus uniforme dans tout le volume de la cuve.

La puissance absorbée par le moteur entraînant cet agitateur, est définie par la formule suivante :

$$P = G^2 \times \mu \times V / (10^6 \times \eta) \quad (\text{en Kw})$$

Où :

- P : Puissance en Kw ;
- G : gradient de vitesse en s^{-1} ;
- μ : Viscosité dynamique = 1,01 centipoises ;
- V : Volume en m^3 ;
- η : Rendement du moteur électrique;

IV.1.4. Débourbeurs

IV.1.4.1. Débourbeur statique

Le nombre de débourbeurs est égal à n (nombre de files).

En prenant une vitesse de Hazen $V_h \leq 1.5 \text{ m/h}$, on calcule la section du décanteur $S_{déc} = \frac{Q_b}{n \times V_h}$

Pour une hauteur de l'eau H choisie, le volume du décanteur $V_{déc} = \frac{Q_b \times H}{n \times V_h}$

IV.1.4.2. Débourbeur lamellaire

Sur la base des hypothèses suivantes :

- $\frac{Q_b}{n}$ en l/s
- Vitesse apparente V_{app} en m/h
- Angle d'inclinaison des lamelles α en $^\circ$
- Espacement entre deux lamelles mm
- Hauteur d'une lamelle h en m



On détermine :

$$\text{La surface au sol (ou projetée) du faisceau lamellaire} = \frac{Q_b}{n \times V_{app}}$$

Donc les dimensions de la surface de décantation sont : L x l

Les caractéristiques du débourbeur sont:

$$\text{Nombre de lamelles} = \frac{L}{\text{espacement entre lamelles}}$$

$$\text{Surface d'une lamelle : } S_{lam} = L \times h \text{ en m}^2$$

$$\text{Surface totale du faisceau lamellaire : } S_{tot} = \text{nombre de lamelles} \times S_{lam}$$

$$\text{Surface totale projetée : } S_{proj} = S_{tot} \times \cos \alpha$$

$$\text{Vitesse réelle de décantation : } V_{dec} = \frac{Q_b \times 3.6}{n \times S_{proj}} \text{ en m / h}$$

$$\text{Vitesse apparente : } V_{app} = \frac{Q_b \times 3.6}{n \times S_{lam}} \text{ en m/h}$$

IV.1.5. Ouvrages de mélange rapide 2 (coagulateur)

Ces ouvrages sont communs aux deux filières de traitement (*) et (**).

Les caractéristiques d'un (1) ouvrage de mélange rapide, sont définies à base des hypothèses suivantes :

- Le débit d'eau d'alimentation / file : $\frac{Q_{deb}}{n}$ pour la filière (*) et $\frac{Q_b}{n}$ pour la filière (**)
- Temps de rétention ou de séjour de l'eau : T en mn ;
- Gradient de vitesse : G en s^{-1} (Le produit G x T doit être entre 10000 et 100000) ;

$$\text{Le volume utile d'une cuve : } V_{cuv} = \frac{Q_{deb}}{n} \times 60 \times T \times 10^{-3} \text{ (en m}^3\text{)}$$

$$\text{Pour une hauteur d'eau choisie H, elle aura une section : } S_{cuv} = \frac{V_{cuv}}{H}$$

Chaque cuve est équipée d'un agitateur, assurant le gradient de vitesse précité, afin que la distribution des réactifs soit la plus uniforme dans tout le volume de la cuve.

La puissance absorbée par le moteur entraînant cet agitateur, est définie par la formule suivante :

$$P = G^2 \times \mu \times V / (10^6 \times \eta) \text{ (en Kw)}$$

IV.1.6. Flocculateurs

Cet ouvrage est commun aux deux filières (*) et (**).



Les particules générant la turbidité colloïdale, qui sont déstabilisées dans l'ouvrage de mélange rapide, se constituent en floccs au sein du "floculateur" et ce grâce à l'agitation lente assurée au sein de cet ouvrage et à l'injection du floculant (polymère).

Le floculant améliore la consistance des floccs initiés dans l'ouvrage de coagulation.

Pour les floculateurs (1/file), leurs caractéristiques sont définies sur la base des hypothèses suivantes :

- Débit d'alimentation: $\frac{Q_{déb}}{n}$ en l/s pour la filière(*) et $\frac{Q_b}{n}$ pour la filière (**).
- Temps de rétention: T en mn.
- Gradient de vitesse: G en s^{-1} .

Le volume utile (théorique) du floculateur est donc $V_{floc} = \frac{Q_{déb}}{n} \times 60 \times T \times 10^{-3}$ (en m^3).

Pour une hauteur d'eau H (en m), la section théorique de cet ouvrage est $S_{floc} = \frac{V_{floc}}{H}$ (en m^2).

Comme pour le mélangeur rapide, l'énergie sollicitée pour l'agitation lente est définie par la formule suivante : $P = G^2 \times \mu \times V / (10^6 \times \eta)$ (en KW).

IV.1.7. Décanteurs

IV.1.7.1. Décanteurs statiques

Le nombre de décanteurs est égal à n (nombre de files)

En prenant une vitesse de Hazen $V_h \leq 1.5m/h$, on calcule la surface et le volume du décanteur.

$$S_{déc} = \frac{Q_{déb}}{n \times V_h} \text{ pour la filière (*) et } S_{déc} = \frac{Q_b}{n \times V_h} \text{ pour la filière (**).}$$

Pour une hauteur de l'eau H choisie, le volume du décanteur $V_{déc} = S_{déc} \times H$

IV.1.7.2. Décanteurs lamellaires

Sur la base des hypothèses suivantes :

- $\frac{Q_{déb}}{n}$ en l/s pour la filière (*) et $\frac{Q_b}{n}$ pour la filière (**).
- Vitesse apparente V_{app} en m/h ;
- Angle d'inclinaison des lamelles α en $^\circ$;
- Espacement entre deux lamelles en mm ;
- Hauteur d'une lamelle h en m ;



On détermine :

La surface au sol (ou projetée) du faisceau lamellaire qui est égale à $\frac{Q_{déb}}{n \times V_{app}}$ pour la filière (*) et $\frac{Q_b}{n \times V_{app}}$ pour la filière (**).

Donc les dimensions de la surface de décantation sont : $L \times l$ (avec $L \times l =$ La surface au sol)

$$\text{Nombre de lamelles} = \frac{L}{\text{espacement entre lamelles}}$$

$$\text{Surface d'une lamelle : } S_{lam} = L \times h \text{ en m}^2$$

$$\text{Surface totale du faisceau lamellaire : } S_{tot} = \text{nombre de lamelles} \times S_{lam}$$

$$\text{Surface totale projetée : } S_{proj} = S_{tot} \times \cos \alpha$$

Vitesse réelle de décantation en m/h:

$$V_{déc} = \frac{Q_{déb} \times 3.6}{n \times S_{proj}} \text{ en m / h pour la filiere (*) et } V_{déc} = \frac{Q_b \times 3.6}{n \times S_{proj}} \text{ pour la filière (**).}$$

Vitesse apparente en m/h :

$$V_{app} = \frac{Q_{déb} \times 3.6}{n \times S_{lam}} \text{ pour la filière(*) et } V_{app} = \frac{Q_b \times 3.6}{n \times S_{lam}} \text{ pour la filière (**).}$$

IV.1.8. Filtres

Les filtres sont présents dans les deux filières de traitement.

A base d'un débit à filtrer $Q_{déb}$ (en l/s) et d'une vitesse de filtration de V_f (en m/h), la surface totale requise pour la filtration est de : $S_f = \frac{Q_{déb} \times 3.6}{V_f}$ (en m^2).

En prévoyant p filtres, la surface unitaire sera de : $S_{unit} = \frac{S_f}{p}$ (en m^2).

Les caractéristiques d'un filtre sont :

- Débit d'alimentation : $\frac{Q_{déb}}{p}$ en l/s
- Vitesse de filtration à débit nominal $V_{nom} = \frac{Q_{déb}}{3.6 \times p \times S_{unit}}$ en m/h
- Vitesse de filtration (avec 1 filtre en lavage) $V'_f = \frac{Q_{déb}}{(p-1) \times 3.6 \times S_{unit}}$ en m/h
- Perte de charge max par encrassement $\Delta P = (H_{eau} + H_{sable}) \times 0,75$ en mce
- Débit d'air : 50 $m^3/m^2.h$;
- Débit d'eau pour le décolmatage : 7 $m^3/m^2.h$;
- Débit d'eau pendant le rinçage : 15 $m^3/m^2.h$;
- Hauteur d'eau au dessus du sable H_{eau} en m ;
- Hauteur du sable H_{sable} en m ;



IV.1.9. Ouvrages de traitement des eaux des filtres

IV.1.9.1. Calcul du volume de la bache

Le lavage du filtre s'effectue par retour d'air et d'eau, qui sera aspirée de la bache d'eau traitée, vouée à cet usage (décrite plus loin).

L'installation de lavage du filtre comprend les équipements suivants:

- Deux pompes dotées de by-pass, pour le fonctionnement à mi-débit, lors du soufflage (décolmatage). Une seule pompe est opérationnelle (la deuxième assure le secours).

Le débit de lavage des filtres est $Q_{lav} = S_{unit} \times 15 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ en m^3/h (Q_{lav} en m^3/h à plein débit et $\frac{Q_{lav}}{2}$ à mi-débit).

- Deux surpresseurs d'air (dont un de secours) avec un débit d'air :
 $Q_{air} = S_{unit} \times 50 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$

Les séquences proposées pour le lavage d'un filtre sont les suivantes :

- Décolmatage (détassage) par soufflage à l'air seul, pendant t_1 en mn, pour la friction des grains de sable, qui engendre le détachement des impuretés (microflocs)
- Décolmatage à l'air et l'eau, pendant t_2 mn ; Le volume d'eau de lavage est de
 $V_{lav1} = \frac{Q_{lav}}{2} \times \frac{t_2}{60}$
- Rinçage à l'eau seule pendant t_3 en mn ; Le volume d'eau de lavage $V_{lav2} = Q_{lav} \times \frac{t_3}{60}$

Le volume d'eau requis pour le lavage d'un filtre est donc $V_{lav} = V_{lav1} + V_{lav2}$ en m^3 .

Le volume de la bache d'eau filtrée est égal à la somme :

-Du volume de l'eau nécessaire au lavage de q filtres ($q \leq p$ le nombre de filtres) $= q \times V_{lav}$

-De la réserve de l'eau $V_{rés}$ prévue principalement pour le remplissage des cuves de préparation des réactifs et l'alimentation des pompes d'eau motrice pour la chloration.

Ainsi $V_{bâc} = q \times V_{lav} + V_{rés}$

Le volume journalier MAX des eaux de lavage est $V_{jour} = p \times V_{lav}$

Alors le débit continu de recyclage des eaux de lavage des filtres est $Q_{recy} = \frac{V_{jour}}{24}$ en m^3/h .

Le débit de recyclage Q_{recy} doit être au maximum de 5% du débit brut Q_b .



IV.1.9.2. Dimensionnement du mélangeur rapide

Sur la base des données suivantes :

- Débit d'eau d'alimentation par file $= \frac{Q_{recy}}{3.6}$ en l/s.
- Temps de rétention ou de séjour de l'eau T.
- Gradient de vitesse G.

On calcule le volume utile de la cuve $V_{cuv} = \frac{Q_{recy}}{3.6} \times T$.

Pour une hauteur d'eau H dans le mélangeur rapide, la surface de la cuve est $S_{cuv} = \frac{V_{cuv}}{H}$

IV.1.9.3. Dimensionnement du flocculateur

Sur la base des données suivantes :

- Débit d'eau d'alimentation par file $= \frac{Q_{recy}}{3.6}$ en l/s.
- Temps de rétention ou de séjour de l'eau T.
- Gradient de vitesse G.
- On calcule le volume utile de la cuve $V_{floc} = \frac{Q_{recy}}{3.6} \times T$.
- Pour une hauteur d'eau H dans le flocculateur, la surface du flocculateur est $S_{floc} = \frac{V_{cuv}}{H}$.

IV.1.9.4. Dimensionnement du décanteur

IV.1.9.4.1. Cas d'un décanteur statique

Sur la base des données suivantes :

- Débit d'eau d'alimentation par file $= \frac{Q_{recy}}{3.6}$ en l/s
- Vitesse de Hazen V_h en m/s

La surface de décantation $S_{dec} = \frac{Q_{recy}}{v_h}$

Donc les dimensions de la surface de décantation sont : Lx l

IV.1.9.4.2. Cas d'un décanteur lamellaire

Sur la base des données suivantes :

- Débit d'eau d'alimentation par file $= \frac{Q_{recy}}{3.6}$ en l/s.
- Vitesse apparente V_{app} en m/h.



- Angle d'inclinaison des lamelles α en $^\circ$.
- Espacement entre deux lamelles mm.
- Hauteur d'une hauteur h en m.

On calcule :

La surface de décantation $S_{\text{déc}} = \frac{Q_{\text{recy}}}{V_{\text{app}}}$ (les dimensions de la surface de décantation sont : L x l)

Nombre de lamelles = $\frac{L}{\text{espacement entre lamelles}}$

Surface d'une lamelle : $S_{\text{lam}} = L \times h$ en m^2

Surface totale du faisceau lamellaire : $S_{\text{tot}} = \text{nombre de lamelles} \times S_{\text{lam}}$

Surface totale projetée : $S_{\text{proj}} = S_{\text{tot}} \times \cos \alpha$

Vitesse réelle de décantation : $V_{\text{déc}} = \frac{Q_{\text{recy}}}{S_{\text{proj}}}$ en m / h

Vitesse apparente : $V_{\text{app}} = \frac{Q_{\text{recy}}}{S_{\text{lam}}}$ en m/h.

IV.2. Dimensionnement de la filière boue

IV.2.1. Estimation de la quantité de boues à traiter

Le débit massique de boues est estimé sur la base des hypothèses suivantes :

- Débit d'eau brute Q_b en l/s.
- Taux de MES dans l'eau brute MES1 en mg/l.
- Taux de dosage en SA en mg/l.
- Concentration des boues extraites des décanteurs C_b en g/l (déterminée au laboratoire).

En tenant compte des hypothèses précitées, le débit massique journalier de boues décantées est de :

$$P = Q \times (T_{\text{mes}} + k A) / 1000 \quad (\text{en Kg / j})$$

Où:

- Q_b : débit journalier d'eau en m^3/j
- T_{mes1} : Taux de MES dans l'eau brute en g/m^3
- K : coefficient de précipitation du SA, qui est de l'ordre de 0,27
- A : Taux de SA en g/m^3 .

La teneur des boues extraites étant de 4 g/l, le débit journalier de ces extractions au niveau de la décantation est de : $Q_{\text{boues}} = P / C_b$ en m^3/h .

IV.2.2. Calcul du volume de la bache tampon

Comme tout ouvrage de clarification, l'épaississeur doit fonctionner à un débit d'alimentation constant, pour éviter de perturber les performances d'épaississement (ou de décantation).



Ces perturbations seraient engendrées par la variation de la vitesse de décantation, liée à la variation du débit, en raison de l'amenée discontinue de boues purgées.

Pour éviter ce problème, les boues sont acheminées gravitairement vers une bache tampon et depuis cette bache, une station de pompage alimente l'épaississeur (à débit constant).

Le volume de la bache tampon est $V_{\text{tampon}} = Q_{\text{boues}} \times t$
Avec t le temps de collecte des boues extraites.

IV.2.3. Dimensionnement de l'ouvrage d'épaississement des boues

Le dimensionnement de l'épaississeur est défini sur la base des critères suivants :

- La masse de boue (de matières sèches ou MS) P en Kg / j.
- La teneur de la boue à épaissir C_b en g/l.
- Le débit journalier des boues Q_{boues} en m³/h.
- La charge massique de l'épaississeur $C_{\text{épai}}$ en kg MS/m².j.

Tenant compte des critères ci-dessus, les caractéristiques de l'épaississeur sont les suivantes :

- Surface $S_{\text{épai}} = \frac{P}{C_{\text{épai}}}$ en m²
- Temps de séjour hydraulique $T_s = \frac{V_{\text{épai}}}{P}$ en h
- Volume des boues épaissies $V_{\text{boue épaissi}} = \frac{P}{C_{\text{boue sortie}}}$ en m³/j

Avec :

- $V_{\text{épai}}$: volume de l'épaississeur
- $C_{\text{boue sortie}}$ concentration des boues à la sortie de l'ouvrage
- $C_{\text{boue sortie}}$ concentration des boues à la sortie de l'ouvrage

Pour le dimensionnement du circuit de purges, on prévoit l'exécution de n purges par jour, dont la durée est de t_p mn / purge. Le volume extrait après chaque purge est $V_p = \frac{V_{\text{boue épai}}}{n}$ en m³/purge. Le débit de la purge est :

$$Q_p = \frac{V_{\text{boue épai}}}{n \times t \times 60} \text{ en l/s}$$

Sur la base des hypothèses précitées, le débit du surnageant sera de $Q_{\text{sg}} = Q_{\text{boues}} - V_{\text{boue épai}}$

IV.2.4. Dimensionnement de l'ouvrage de déshydratation des boues

Les hypothèses prises en considération pour l'évaluation de la surface totale, requise pour le séchage, sont les suivantes :

- Débit d'eau brute Q_b en l/s
- Taux de MES dans l'eau brute T_{mes1} en mg/l
- Taux de dosage en SA en mg/l
- Teneur en MES des boues extraites des décanteurs- C_b en g/l
- Charge spécifique du lit en boue à sécher $C_{\text{séch}}$ en kg MES/m²/cycle ;



Sachant que la production journalière moyenne de boue est estimée à P en kg, sur la base de cycles de séchage de 40 jours (5 jours de remplissage-décantation-filtration, 30 jours de séchage et 5 jours de curage), la surface totale requise pour le séchage, sur la base de la charge spécifique précitée est de $S_{\text{séch}} = \frac{P \times 40}{C_{\text{séch}}}$ en m^2 en m^2

En adoptant des lits d'une surface unitaire S_{unit} , le nombre des lits de séchage = $\frac{S_{\text{séch}}}{S_{\text{unit}}}$

IV.3. Calcul des quantités des réactifs

IV.3.1. Préchloration

Le chlore est injecté sous forme d'eau chlorée, au niveau de ce qui suit :

- Au sein de l'ouvrage de répartition (après le déversement de l'eau brute).
- Au sein de chacun des ouvrages de mélange rapide.

En prenant un taux maximum du dosage du chlore pour la préchloration $C_{\text{cl max}}$ en mg/l, La capacité horaire maximum de consommation du chlore est $Cap_{\text{max1}} = Q_b \times 3,6 \times C_{\text{cl max}}$ (g/h)

La capacité totale des chloromètres $Cap_{\text{tot1}} = \frac{Cap_{\text{max}}}{0,8}$

La consommation journalière (en chlore) à base d'un taux de dosage moyen de $C_{\text{cl moy}}$ (en mg/l) en préchloration est $Cons_{\text{jour1}} = Q_b \times 86,4 \times C_{\text{cl moy}}$ (Kg/j).

IV.3.2. Désinfection

En prenant un taux maximum du dosage du chlore pour la désinfection $C_{\text{cl max}}$ en mg/l, La capacité horaire maximum de consommation du chlore est $Cap_{\text{max2}} = Q_{\text{cons}} \times 3,6 \times C_{\text{cl max}}$ (en g/h).

La capacité totale des chloromètres $Cap_{\text{tot2}} = \frac{Cap_{\text{max}}}{0,8}$

La consommation journalière (en chlore) à base d'un taux de dosage moyen de $C_{\text{cl moy}}$ (en mg/l) en préchloration est $Cons_{\text{jour2}} = Q_{\text{cons}} \times 86,4 \times C_{\text{cl moy}}$ (Kg/j).

Donc la consommation journalière totale en chlore est $Cons_{\text{jour}} = Cons_{\text{jour1}} + Cons_{\text{jour2}}$

Pour une durée d'autonomie t la capacité de stockage est $Cap_{\text{stock}} = Cons_{\text{jour}} \times t$

IV.3.3. Sulfate d'Aluminium

Sur la base des hypothèses suivantes :

- Débit Eau brute Q_b en l/s.
- Taux de dosage maximum C_{SAmax} en mg/l.



- Taux de dosage moyen $C_{SA\text{moy}}$ en mg/l.
- Concentration de la solution de S.A C_{SA} en g/l.

On calcule :

-Capacité de chaque pompe $= \frac{Q_b \times 3,6 \times C_{SA\text{max}}}{0,8 \times C_{SA} \times n \times m}$ avec n le nombre de files et m nombre de pompes par files.

-Volume de chaque bac de préparation $V_{\text{bac}} = \frac{Q_b \times 3,6 \times C_{SA\text{moy}} \times 24}{C_{SA} \times 1000}$.

-Conso moy pour j jours $= \frac{V_{\text{bac}} \times C_{SA} \times j}{1000}$.

IV.3.4. Chlorure ferrique

Sur la base des hypothèses suivantes :

- Débit Eau brute Q_b en l/s.
- Taux de dosage maximum $C_{FeCl3\text{max}}$ en mg/l.
- Taux de dosage moyen $C_{FeCl3\text{moy}}$ en mg/l.
- Concentration de la solution de $FeCl_3$, C_{FeCl3} en g/l.

On calcule :

-Capacité de chaque pompe $= \frac{Q_b \times 3,6 \times C_{FeCl3\text{max}}}{0,8 \times C_{FeCl3} \times n \times m}$ avec n le nombre de files et m nombre de pompes par files.

-Volume de chaque bac de préparation $V_{\text{bac}} = \frac{Q_b \times 3,6 \times C_{FeCl3\text{moy}} \times 24}{C_{FeCl3} \times 1000}$.

-Conso moy pour j jours $= \frac{V_{\text{bac}} \times C_{FeCl3} \times j}{1000}$.

IV.3.5. Polyélectrolyte

Ce réactif est prévu pour assurer les deux (2) fonctions suivantes :

- Améliorer la floculation, lors de la clarification des eaux brutes.
- Faciliter l'épaississement des boues, lors du traitement de ces dernières.

✚ Pour le débouillage :

Données :

- Débit Eau brute Q_b en l/s.
- Taux de dosage maximum $C_{pol\text{max}1}$ en mg/l.
- Taux de dosage moyen $C_{pol\text{moy}1}$ en mg/l.
- Concentration de la solution de Polyélectrolyte C_{pol} en g/l.



On calcule :

$$\text{-Capacité de chaque pompe} = \frac{Q_b \times 3,6 \times C_{pol \max 1}}{C_{pol} \times 0,8 \times m} \text{ en l/h}$$

$$\text{-Part du volume du bac de préparation } V_{bac1} = \frac{Q_b \times 3,6 \times C_{pol \text{ moy} 1} \times 24}{C_{pol} \times 1000} \text{ en m}^3$$

✚ Pour la floculation

Données :

- Débit Eau débouée Q_{deb} en l/s.
- Taux de dosage maximum $C_{pol \max 2}$ en mg/l.
- Taux de dosage moyen $C_{pol \text{ moy} 2}$ en mg/l.

On Calcule :

$$\text{-Capacité de chaque pompe} = \frac{Q_{deb} \times 3,6 \times C_{pol \max 2}}{n \times C_{pol} \times 0,8 \times m} \text{ en l/h.}$$

$$\text{-Part du volume du bac de préparation } V_{bac2} = \frac{Q_{deb} \times 3,6 \times C_{pol \text{ moy} 2} \times 24}{n \times C_{pol} \times 1000} \text{ en m}^3.$$

✚ Pour l'épaississement des boues :

Données :

- Débit massique journalier de boues des décanteurs P en kg/j.
- Taux de dosage maximum $C_{pol \max 3}$ kg/t de boues.
- Taux de dosage moyen $C_{pol \text{ moy} 3}$ en kg/t de boues.

On Calcule:

$$\text{-Capacité de chaque pompe} = \frac{P \times C_{pol \max 3} \times 1000}{1000 \times n \times 24 \times C_{pol} \times 0,8 \times m}$$

$$\text{-Part du volume du bac de préparation } V_{bac3} = \frac{P \times C_{pol \text{ moy} 3}}{1000 \times C_{pol}} \text{ en m}^3$$

✚ Pour le global :

$$\text{-Volume total des chacs bac de préparation : } V_{bac \text{ tot}} = V_{bac1} + V_{bac2} + V_{bac3} \text{ en m}^3$$

$$\text{-Conso moy pour j jours} = \frac{V_{bac \text{ tot}} \times C_{pol} \times j}{1000} \text{ Avec j en jours}$$

$$\text{-Nombre total de futs de 50 l (autonomie de j jours)} = \text{Conso moy pour j jours} \times \frac{1000}{50}$$

-Surface de stockage requise = Nombre total de futs $\times 0,23$ ($0,23 \text{ m}^2$ étant la surface occupée par 1 fut).



IV.3.6. Charbon actif

Ce réactif est prévu, par mesure de sécurité, pour atténuer principalement ce qui suit :

- Les seuils de goût et d'odeur de l'eau filtrée, au cas où les essais "jar test" montreraient que ces seuils dépassent ceux prescrits par les normes ONEP.
- La teneur de matières organiques émanant d'une éventuelle pollution.

Pour un taux de dosage maximum C (charbon max), un taux de dosage moyen C (charbon moy) et sur la base d'une solution préparée à C_{sol} , il est prévu ce qui suit :

- Des pompes doseuses (m pompes par file et une autre comme secours), pouvant refouler le débit du charbon actif $Q_{charbon}$ sous pression.
Au taux max précité, $Q_{charbon} = \frac{Q_b}{n} \times 3,6 \times \frac{C(charbon\ max)}{C_{sol}}$ (en l/h).
- Deux bacs de préparation d'un volume unitaire V_{unit} (en m^3), pouvant assurer une autonomie de l'ordre de T (en heures).

Sur la base d'un taux moyen C (charbon moy), on calcule V_{unit} par la formule suivante :

$$V_{unit} = Q_b \times 3,6 \times C \text{ (charbon moy)} \times \frac{T}{C_{sol}} \times 10^{-3} \quad (\text{en } m^3)$$

Avec Q_b en l/s, C(charbon max) en mg/l, C(charbon moy) en mg/l et C_{sol} en g/l.

L'un de ces deux bacs est en service, tandis que l'autre est prêt pour son utilisation dès que le premier serait vidé.

IV.3.7. Permanganate de potassium $KMnO_4$

Ce réactif est nécessaire lors des 2 cas suivants :

- Recourir à une oxydation des matières organiques, plus poussée que celle assurée par le chlore. En effet, en cas de pollution, il pourrait s'avérer judicieux de conjuguer la fonction oxydante du $KMnO_4$ et celle d'adsorption assurée par le charbon actif.
- Pallier à une éventuelle pollution due au fer et/ou au manganèse dissous dans l'eau brute.

Pour un taux de dosage maximum C ($KMnO_4$ max), un taux de dosage moyen C ($KMnO_4$ moy) et sur la base d'une solution préparée à C_{sol} (g/l), il est prévu ce qui suit :

- Des pompes doseuses (m pompes par file et une autre comme secours), pouvant refouler le débit de $KMnO_4$ sous pression.
Au taux max précité, $Q(KMnO_4) = \frac{Q_b}{n} \times 3,6 \times \frac{C(KMnO_4\ max)}{C_{sol}}$ (en l/h).
- Deux bacs de préparation d'un volume unitaire V_{unit} (en m^3), pouvant assurer une autonomie de l'ordre de T (en heures).



Sur la base d'un taux moyen C (KMnO_4 moy), on calcule V_{unit} par la formule suivante:
$$V_{\text{unit}} = Q_b \times 3,6 \times C (\text{KMnO}_4 \text{ moy}) \times \frac{T}{C_{\text{sol}}} \times 10^{-3} \text{ (en m}^3\text{)}.$$

Avec Q_b en l/s, $C(\text{KMnO}_4 \text{ max})$ en mg/l, $C(\text{KMnO}_4 \text{ moy})$ en mg/l et C_{sol} en g/l.

IV.3.8. Acide sulfurique H_2SO_4

L'acide sulfurique est prévu pour réduire le pH de l'eau brute (parfois 8,30 unités pH) à la valeur du pH optimum de coagulation du S.A, qui est en général, de l'ordre de 6,5 unités (cette valeur n'est qu'indicative, car celle exacte doit être définie par des essais de performance de la clarification, qui sont effectués en laboratoire et sur les eaux brutes).

Le débit d'acide requis $Q(\text{H}_2\text{SO}_4) = Q_b \times 3,6 \times \frac{C(\text{H}_2\text{SO}_4)}{1,8 \times 1000}$

Avec $Q(\text{H}_2\text{SO}_4)$ en l/h, $C(\text{H}_2\text{SO}_4)$ en mg/l et 1,8 Kg/l est la densité de H_2SO_4

IV.3.9. La chaux

Le lait de chaux est prévu pour les usages suivants:

- Rehausser l'alcalinité de l'eau brute, en cas de besoin, afin qu'elle soit suffisantes lorsque l'essai "jar-test" préconise un taux élevé du coagulant (sulfate d'alumine ou autre) pour la clarification.
- Alimenter le saturateur de chaux, qui produit de l'eau de chaux en vue de ramener l'eau filtrée à son équilibre calco-carbonique, éventuellement.

Pour un taux de dosage maximum C (chaux), un taux de dosage moyen C (chaux moy) et sur la base d'une solution préparée à C_{sol} (g/l), il est prévu ce qui suit:

- Des pompes doseuses (m pompes par file et une autre comme secours), pouvant refouler le débit de la chaux Q_{chaux} sous pression.

Au taux max précité, $Q(\text{chaux}) = \left(\frac{Q_b}{n} \times 3,6 \times \frac{C(\text{KMnO}_4 \text{ max})}{C_{\text{sol}} \times m} \right)$ (en l/h).

- Deux bacs de préparation d'un volume unitaire V_{unit} (en m^3), pouvant assurer une autonomie de l'ordre de T (en heures).

Sur la base d'un taux moyen C (chaux), on calcule V_{unit} par la formule suivante:

$$V_{\text{unit}} = Q_b \times 3,6 \times C (\text{chaux moy}) \times \frac{T}{C_{\text{sol}}} \times 10^{-3} \text{ (en m}^3\text{)}.$$

Avec Q_b en l/s, $C(\text{chaux max})$ en mg/l, $C(\text{chaux moy})$ en mg/l et C_{sol} en g/l.



CHAPITRE V : PRESENTATION DU LOGICIEL DimST

V.1. Objectif

Le logiciel conçu a pour objectif le dimensionnement des ouvrages d'une station de traitement des eaux de surface.

Pour concevoir ce logiciel, nommé **DimST**, nous avons choisi le langage de programmation VB.NET version 2008.

DimST permet de définir la filière de traitement suivant le taux des MES dans l'eau brute.

En plus du dimensionnement des filières eau et boue, le logiciel calcule les quantités des réactifs à injecter dans les différents ouvrages et affiche les bilans massique et hydraulique, ainsi que le schéma planimétrique.

V.2. Interface du logiciel

L'interface du logiciel est présentée dans la figure suivante :

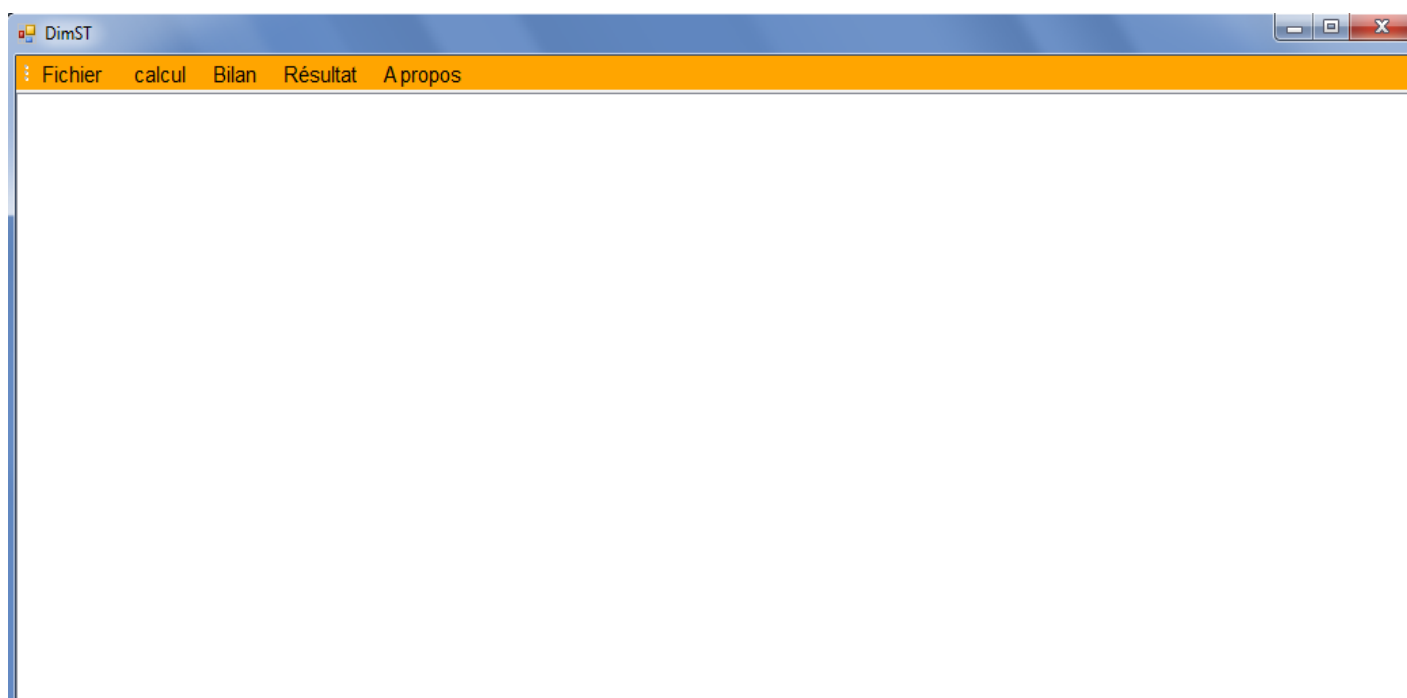


Figure 29: Interface du logiciel au démarrage

Il comporte 4 menus :

Le menu Fichier

Il contient 2 sous menus :

-**Nouveau** : pour commencer un nouveau projet. Le sous-menu nouveau contient un onglet nommé données générales du projet.



-**Quitter** : un clic sur cette commande permet la fermeture du logiciel **DimST**.

Le manu Calcul

Il comporte 2 sous menus :

- **Ouvrages** : pour dimensionner

- Les ouvrages utilisés pour traiter l'eau brute.
- Les ouvrages de traitement des eaux de lavage des filtres.
- Les ouvrages de traitement des boues.

-**Réactifs** : pour calculer les quantités des réactifs à injecter dans les ouvrages précédents.

Le manu Bilans

Ce menu contient 2 sous menus :

-**Hydraulique** : pour afficher le bilan de débits entre l'entrée et la sortie de chaque ouvrage.

-**Massique** : pour afficher :

- le débit entrant et sortant de l'ouvrage.
- les matières en suspension à l'entrée, à la sortie et dans l'ouvrage de traitement.

Le menu Résultats

Ce menu contient 3 sous menus :

- **Ouvrages**

Ce sous-menu permet de récapituler les résultats de dimensionnement des ouvrages au sein d'un tableau.

-**Réactifs**

Ce sous-menu permet de récapituler les quantités des réactifs utilisés au sein d'un tableau. Les 2 sous menus précédents contiennent :

- **Enregistrer** : pour enregistrer le tableau des résultats sous forme Excel dans l'emplacement choisi.
- **Imprimer** : pour imprimer le tableau des résultats.
Au sein de ce sous menu, l'utilisateur se servira de l'onglet « Print Options » pour choisir les éléments à imprimer et choisir un titre pour les résultats imprimés.
- **Preview** : Pour donner un aperçu avant impression.

-**Schéma planimétrique**

Ce sous-menu affiche un schéma illustratif pour une file de traitement. Il montre l'enchaînement des ouvrages de traitement et le stade d'injection des réactifs.



V.3. Procédure à suivre pour dimensionner les ouvrages de la station

Dimensionnement filière eau

- 1) Lancer le logiciel.
- 2) Menu Fichier >Nouveau.
- 3) Donner les données générales à savoir le débit de consommation et le taux des matières en suspension (T_{MES1}) dans l'eau brute et appuyer sur continuer.

Suivant la valeur de T_{MES1} , le logiciel affiche les ouvrages dont l'utilisateur a besoin pour traiter l'eau brute.

<u>Premier cas : Si $T_{MES1} \leq 2$ g/l</u>	<u>Deuxième cas : Si $T_{MES1} \geq 2$ g/l</u>
Le logiciel affiche les onglets : -Débit de l'eau brute -Ouvrages de répartition -Mélangeur rapide (coagulateur) -Floculateur -Décanteur - Filtres -Ouvrages de traitement des eaux de lavage des filtres -Ouvrages de traitement des boues	Le logiciel affiche les onglets : -Débit de l'eau brute -Ouvrages de répartition -Mélangeur rapide M1 - Débourbeurs -Mélangeur rapide (coagulateur) -Floculateur -Décanteur - Filtres -Ouvrages de traitement des eaux de lavage des filtres -Ouvrages de traitement des boues

- 4) Le logiciel demande de compléter les données pour calculer le débit d'eau brute qui sera le débit de dimensionnement des ouvrages.

En appuyant sur le bouton calculer, le logiciel affiche :

- ✚ Débit d'eau brute
- ✚ Débit d'eau décantée

- 5) Menu *Calcul*>*Ouvrages*

Pour dimensionner les « *Ouvrages de répartition* », il faut donner les valeurs :

- ✚ Du nombre de file de traitement



- + Coefficient de débit
- + Hauteur d'eau ou largeur du déversoir

Le logiciel calcule :

- + Le débit total à répartir
- + Le débit par déversoir
- + La hauteur d'eau si l'utilisateur a choisi une largeur du déversoir
- + La largeur du déversoir si l'utilisateur a choisi une hauteur d'eau

Pour dimensionner le « *Mélangeur rapide (coagulateur)* », il faut préciser :

- + Le temps de séjour T
- + Le gradient de vitesse G
- + La hauteur d'eau
- + Le rendement de l'agitateur

Le logiciel calcule :

- + Le produit $G \times T$
- + La section de la cuve du coagulateur
- + La puissance absorbée par l'agitateur
- + Le débit d'alimentation du coagulateur

Pour dimensionner le « *Floculateur* », il faut préciser :

- + Le temps de séjour T
- + Le gradient de vitesse G
- + La hauteur d'eau
- + Le rendement de l'agitateur

Le logiciel calcule :

- + Le produit $G \times T$
- + La section de la cuve du floculateur
- + La puissance absorbée par l'agitateur
- + Le débit d'alimentation du floculateur

Pour dimensionner le « *Décanteur* », il faut d'abord choisir le type du décanteur : statique ou lamellaire.

Dans le cas du décanteur statique, il faut indiquer :

- + La vitesse de Hazen
- + La hauteur de l'eau dans le décanteur

Le logiciel calcule :

- + Le volume du décanteur



+ La section du décanteur

Dans le cas du décanteur lamellaire, il faut indiquer :

- + La vitesse apparente de décantation
- + L'espacement entre les lamelles
- + Hauteur d'une lamelle
- + Angle d'inclinaison des lamelles

Le logiciel calcule :

- + La surface au sol

Une fenêtre demande à l'utilisateur de préciser la largeur l et la longueur L du décanteur (surface au sol= $L \times l$).

Ensuite le logiciel affiche les résultats suivants :

- + Les dimensions utiles retenues (l et L)
- + Nombre de lamelles
- + Surface d'une lamelle
- + Surface totale du faisceau lamellaire
- + Surface totale projetée
- + Vitesse réelle de décantation
- + Vitesse apparente réelle

Pour dimensionner les « *Filtres* », il faut préciser :

- + Surface totale projetée
- + Vitesse réelle de décantation

Pour dimensionner les ouvrages de lavage des filtres, il faut cocher le débit de recyclage afin de le calculer.

Pour ce faire, il faut préciser les données suivantes :

- + Le temps de décolmatage par soufflage à l'air seul
- + Le temps de décolmatage par soufflage à l'air et à l'eau
- + Le temps de rinçage à l'eau seule

- + Le nombre de filtres à laver
- + Réserve de l'eau pour les cuves où on prépare les réactifs

Le logiciel affiche :

- + Débit d'eau pour le lavage des filtres
- + Débit d'air pour décolmater les filtres
- + Volume d'eau pour laver un filtre
- + Volume d'eau pour laver tous les filtres



- + Volume journalier des eaux de lavage des filtres
- + Débit continu du recyclage

Après, l'utilisateur doit cocher **filière de traitement**. Il s'agit de dimensionner les ouvrages nécessaires pour traiter les eaux utilisées lors du lavage des filtres.

Cette filière sera composée d'un coagulateur, un flocculateur et un décanteur.

La procédure de dimensionnement de ces ouvrages reste la même comme on l'a déjà précisé ci-haut.

Dimensionnement filière boues

Pour dimensionner les ouvrages de traitement des boues, il faut choisir **sulfate d'alumine** pour faire les calculs puis le **chlorure ferrique**.

D'abord, il faut calculer la quantité des boues produites par les décanteurs. Pour Ce faire il faut préciser :

- + Le taux de dosage en sulfate d'aluminium ou en chlorure ferrique
- + Coefficient de précipitation de l'aluminium ou du fer
- + Concentration des boues extraites des décanteurs

Puis pour calculer la surface de l'épaisseur et le débit du surnageant, il faut préciser :

- + La charge massique de l'épaisseur
- + La concentration des boues à la sortie de l'ouvrage
- + Le nombre de purge par jour et la durée de purge

Calcul des quantités des réactifs

Après avoir dimensionné les ouvrages, l'utilisateur doit choisir **Réactifs** dans le menu **Calcul**. Le logiciel **DimST** met à la disposition de l'utilisateur une série des réactifs les plus utilisés dans les stations de traitement des eaux de surface au Maroc.

Pour calculer la quantité du sulfate d'aluminium, chlorure ferrique, acide sulfurique, charbon actif, permanganate de potassium et de la chaux, il suffit de préciser :

- + Le taux du dosage maximum du réactif utilisé
- + Le taux du dosage moyen du réactif utilisé
- + La concentration de la solution du réactif utilisé

DimST affiche les résultats suivants :

- + Capacité de chaque pompe
- + Consommation moyenne pour une durée d'autonomie

Pour calculer la quantité du chlore, il suffit de préciser :

- + Le taux du dosage maximum du chlore pour la préchloration
- + Le taux du dosage maximum du chlore pour la désinfection



- ✚ Le taux du dosage moyen en chlore pour la préchloration

DimST affiche les résultats suivants :

- ✚ La capacité horaire maximum de la consommation du chlore pour la préchloration
- ✚ La capacité totale des chloromètres pour la préchloration
- ✚ La consommation journalière (en chlore) pour la préchloration
- ✚ La capacité horaire maximum de la consommation du chlore pour la désinfection
- ✚ La capacité totale des chloromètres pour la désinfection
- ✚ La consommation journalière (en chlore) pour la désinfection
- ✚ La consommation journalière totale en chlore
- ✚ La capacité de stockage en chlore

Pour calculer la quantité du polyélectrolyte, il suffit de préciser :

- ✚ Concentration de la solution de polyélectrolyte
- ✚ Taux du dosage maximum au niveau du flocculateur et de l'épaississeur
- ✚ Nombre de pompes doseuses pour la floculation et l'épaississement
- ✚ Taux du dosage moyen au niveau du flocculateur et de l'épaississeur

DimST calcule :

- ✚ Capacité de chaque pompe pour l'injection du polyélectrolyte au niveau du flocculateur et de l'épaississeur
- ✚ Volume du bac de préparation pour la floculation et l'épaississement
- ✚ Volume total de chaque bac de préparation pour le global (somme des volumes des bacs de préparation pour la floculation des eaux et des boues)
- ✚ La consommation moyenne pour une durée d'autonomie
- ✚ Nombre total de futs de 50 l (pour une durée d'autonomie)
- ✚ Surface de stockage requise

A ce stade l'utilisateur a bien dimensionné la station. Pour visualiser les résultats du dimensionnement, il suffit d'aller dans le menu **Résultat** et choisir le sous-menu réactif ou ouvrages.

On peut alors imprimer directement les résultats ou les enregistrer sous forme tableau Excel ou PDF.

En plus de ces ouvrages, le mélangeur rapide et le débourbeur peuvent être ajoutés lorsque la concentration $T_{MES1} > 2g/l$. Ces ouvrages seront situés entre l'ouvrage de répartition et le mélangeur rapide (coagulateur) qui est placé avant le décanteur.

La procédure de dimensionnement de ce mélangeur rapide est identique à celle du 1^{ier} cas. Le dimensionnement du débourbeur est similaire à celui du décanteur vu dans le 1^{ier} cas.



CHAPITRE VI : ETUDE DE CAS

Cette étude de cas consiste en le dimensionnement des ouvrages d'une station à l'aide du logiciel **DimST** et la comparaison avec les résultats donnés par Excel.

Le dimensionnement portera sur des ouvrages de la 3^{ème} tranche d'une station de traitement de l'eau potable à Nador, qui produit un débit d'alimentation en eau potable de l'ordre de 560 l/s.

VI.1. Définition de la filière de traitement

Ladite station comporte les ouvrages suivants :

- Mélangeur rapide ;
- Débourbeur lamellaire ;
- Préchloration au chlore gazeux ;
- Coagulation par utilisation du sulfate d'aluminium ;
- Floculation par utilisation du polyélectrolyte ;
- Décantation lamellaire "hersée" (raclée) ;
- Filtration rapide sur lit de sable ;
- Désinfection finale au chlore gazeux ;
- Récupération des eaux de lavage des filtres, en vue de les recycler en tête de la filière de traitement ;
- Traitement des boues.

VI.2. Dimensionnement des ouvrages

✚ Calcul du débit de l'eau brute

La station projetée fournira le débit nominal de 560 l/s d'eau potable, à partir d'un débit d'eau brute de 707 l/s, présentant une teneur en MES de 10 g/l.

La conception de cette tranche en deux (2) files de débit unitaire de 354 l/s d'eau potable, est plus appropriée qu'en une seule file de 707 l/s, car cette dernière engendrerait des ouvrages de dimensions importantes.

Dans ce qui suit on va dimensionner une seule file de traitement.



Débit de l'eau traitée (l/s)	560
Teneur en MES dans l'eau brute (g/l)	10
Taux de MES dans les boues extraites des décanteurs (g/l)	20
Taux de MES dans l'eau débourbée (g/l)	2
Teneur en MES des boues de purge des débourbeurs (g/l)	80
Perte au niveau des filtres du débit de l'eau traitée (%)	2

Débit d'eau débourbée (l/s)	635
Débit d'eau décantée (l/s)	571
Débit d'eau brute (l/s)	707

Figure 30 : Calcul du débit de l'eau brute

Dimensionnement de l'ouvrage de répartition

L'équirépartition du débit de 707 l/s d'eau brute, vers les deux (2) files de production, est assurée par deux déversoirs réglables.

Débit total à répartir (l/s)	707
Nombre de file de traitement	2
Débit par déversoir (l/s)	354
Coefficient de débit	0,4
Hauteur de la lame d'eau (cm)	18,5
largeur du déversoir (m)	2,5

Figure 31 : Dimensionnement du répartiteur



Dimensionnement du mélangeur rapide M1

Chacune des 2 files comporte un ouvrage de mélange rapide, au sein duquel seront injectés, selon la nécessité, les réactifs de traitement (chlore pour la préchloration, sulfate d'alumine, KMnO_4 et charbon actif). Les quantités de ces réactifs seront calculées dans la suite.

Figure 32 : Dimensionnement du mélangeur rapide M1

Dimensionnement du déboureur

Il assure une première clarification, qui sera complétée par les ouvrages de coagulation-floculation-décantation et filtration (deuxième clarification). Afin d'augmenter la surface de décantation on a opté pour le choix d'un déboureur lamellaire.

Figure 33 : Dimensionnement du déboureur



✚ Dimensionnement du mélangeur rapide M2

Temps de séjour de l'eau T (mn)	3	Produit GxT	63000
Gradient de vitesse G(/s)	350	Section de la cuve(m²)	16
Hauteur d'eau H (m)	3,5	Puissance absorbée par l'agitateur P (Kw)	8
Rendement de l'agitateur	0,9	Débit d'alimentation (l/s)	317,5

Figure 34 : Dimensionnement du mélangeur rapide M2

✚ Dimensionnement du flocculateur

Le flocculant injecté au sein de cet ouvrage améliore la consistance des floccs initiés dans l'ouvrage de coagulation.

Temps de séjour de l'eau T (mn)	20	Produit GxT	84000
Gradient de vitesse G(/s)	70	Section de la cuve (m²)	95
Hauteur d'eau H (m)	4	Puissance absorbée par l'agitateur P (Kw)	2,09
Rendement de l'agitateur	0,9	Débit d'alimentation (l/s)	317,5

Figure 35 : Dimensionnement du flocculateur



✚ Dimensionnement du décanteur

Les eaux floculées pénètrent dans la zone de décantation pour une deuxième clarification. Les caractéristiques de chaque décanteur sont les suivantes :

Paramètre	Valeur
Surface au sol (m ²)	163
Dimensions utiles retenus (Lxd) (m)	14 x 12
Nombre de lamelles	389
Surface d'une lamelle (m ²)	14
Surface totale du faisceau lamellaire (m ²)	5 444
Surface totale projetée (m ²)	2 722
Vitesse réelle de décantation (m/h)	0,42
Vitesse apparent réelle (m/h)	5,83

Figure 36 : Dimensionnement du décanteur

✚ Dimensionnement des filtres

Les microflocs qui échappent à la décantation sont retenus au niveau du matériau filtrant du filtre à sable.

Il est prévu de réaliser une batterie de filtres à sable, commune aux deux files de production.



Paramètre	Valeur
Débit d'alimentation (l/s)	571
Vitesse de filtration (m/h)	5
Nombre de filtres	6
Hauteur de l'eau (m)	1
Hauteur du sable (m)	0,8
Surface totale requise pour la filtration (m ²)	411
Surface unitaire (m ²)	69
Vitesse de filtration à débit nominal (m/h)	5
Vitesse de filtration (un filtre en lavage) (m/h)	6
Perte de charge max par encrassement (m)	1,35

Figure 37 : Dimensionnement des filtres

✚ Dimensionnement des ouvrages de traitement des eaux de lavages des filtres

Pour la récupération des eaux de lavage des filtres, en vue de les recycler au sein de l'ouvrage de répartition de la présente la tranche de la station, il est proposé de réaliser les ouvrages suivants :

- ❖ Une bêche tampon pour la collecte des eaux de lavage des filtres.
- ❖ Une file de traitement des eaux de lavage des filtres comportant un mélangeur rapide, un flocculateur et un décanteur lamellaire.

Calcul du débit de recyclage



DimST

Fichier calcul Bilan Résultat A propos

Débit de l'eau brute Ouvrages de répartition Mélangeur rapide Débourbeur Mélangeur rapide(coagulation) Floculateur Décanteur Filtres ouvrages de traitement des eaux de filtres Ouvrages de traitement des boues

Débit de recyclage
 Filière de traitement

Durée decolmatage par soufflage de l'air seule (mn)	2
Durée decolmatage à l'air et l'eau (mn)	5
Durée rinçage à l'eau seule (mn)	8
Nombre de filtre à laver	2
Réserve de l'eau pour les cuves de réactifs (m3)	0

Calculer

Débit d'eau de lavage des filtres (l/s)	1 028
Débit d'air (m3/h)	3 427
Volume d'eau pour le lavage des filtre (m3)	180
Volume nécessaire pour lavage q filtres (m3)	360
Volume de l'eau filtré+ Réserve (m3)	360
Volume journalier des eaux de lavage (m3)	1 080
Débit continu de recyclage (m3/h)	45

Figure 38 : Calcul du débit de recyclage

En admettant un débit supplémentaire de l'ordre de 5% du débit d'alimentation de la tranche projetée, qui est de 707 l/s d'eau brute, le débit de recyclage doit être au maximum de : $707 \times 0,05 = 36 \text{ l/s}$.

Le logiciel donne un volume de lavage des filtres de $1080 \text{ m}^3/\text{j}$, qui doit être recyclé de manière continue durant 24 h.

Le débit continu de recyclage est calculé par le logiciel :

$$Q_{\text{recy}} = 45 \text{ m}^3/\text{h} = 12,5 \text{ l/s} \text{ (donc } < 36 \text{ l/s)}$$

Dimensionnement de la filière de traitement des eaux de lavage des filtres

Cette file sera dimensionnée sur la base d'un débit de recyclage $45 \text{ m}^3/\text{h}$.

DimST nous donne les caractéristiques de chaque ouvrage de ladite filière.



-Mélangeur rapide

DimST

Fichier calcul Bilan Résultat A propos

Débit de l'eau brute | Ouvrages de répartition | Mélangeur rapide | Déboureur | Mélangeur rapide(coagulation) | Floculateur | Décanteur | Filtres | ouvrages de traitemnt des eaux de filtres | Ouvrages de traitement des boues

Melange Rapide Recyclage | Floculateur Recyclage | Decanteur Recyclage

Débit de recyclage
 Filière de traitement

Temps de séjour de l'eau T (mn)

Gradient de vitesse G(/s)

Hauteur d'eau H (m)

Rendement de l'agitateur

Calculer

Produit GxT

Section de la cuve(m²)

Puissance absorbée par l'agitateur P (Kw)

Figure 39 : Dimensionnement du mélangeur rapide pour traiter les eaux de lavage des filtres

-Floculateur

DimST

Fichier calcul Bilan Résultat A propos

Débit de l'eau brute | Ouvrages de répartition | Mélangeur rapide | Déboureur | Mélangeur rapide(coagulation) | Floculateur | Décanteur | Filtres | ouvrages de traitemnt des eaux de filtres | Ouvrages de traitement des boues

Melange Rapide Recyclage | Floculateur Recyclage | Decanteur Recyclage

Débit de recyclage
 Filière de traitement

Temps de séjour de l'eau T (mn)

Gradient de vitesse G(/s)

Hauteur d'eau H (m)

Rendement de l'agitateur

Calculer

Produit GxT

Section de la cuve(m²)

Puissance absorbée par l'agitateur P (Kw)

Figure 40 : Dimensionnement du floculateur pour traiter les eaux de lavage des filtres



-Décanteur

Surface au sol (m ²)	6,426
Dimensions utiles retenus (Lxl) (m)	3,8 2
Nombre de lamelles	106
Surface d'une lamelle (m ²)	4
Surface totale du faisceau lamellaire (m ²)	401
Surface totale projetée (m ²)	201
Vitesse réelle de décantation (m/h)	0,40
Vitesse apparent réelle (m/h)	5,61

Figure 41 : Dimensionnement du décanteur pour traiter les eaux de lavage des filtres

+ Dimensionnement des ouvrages de traitement des boues

La filière de traitement proposée consiste en la réalisation des ouvrages suivants :

- Une bâche tampon pour la collecte des boues.
- Un ouvrage d'épaississement.
- Une installation d'évaporation des boues, par lits de séchage.

DimST permet d'estimer la quantité des boues à traiter, dimensionner l'épaississeur et le lit de séchage.

DimST

Fichier calcul Bilan Résultat A propos

Débit de l'eau brute Ouvrages de répartition Mélangeur rapide Débourbeur Mélangeur rapide(coagulation) Flocculateur Décanteur Filtres ouvrages de traitement des eaux de filtres Ouvrages de traitement des boues

Sulfate d'Alumine Chlorure ferrique

Taux de dosage en SA (mg/l)	20	Débit massique journalier de boues des décanteurs (kg/j)	941
Coefficient de précipitation du SA	0,27	Débit journalier extraction au niveau decanteur (m3/j)	235
Concentration des boues extraites des décanteurs Cb (g/l)	4	Volume de la bache tampon (m3)	98
Temps de collecte des boues (h)	10		
Calculer			

Charge massique de l'épaisseur (kgMS/m ² .j)	25	Surfaces de l'épaisseur (m ²)	38
Hauteur d'eau (m)	4,5	Temps de retention dans l'épaisseur (h)	17,3
Concentration des boues à la sortie de l'ouvrage (g/l)	30	Volume des boues épaissies (m3)	31
Nombre de purges par jour	8	Volume extrait après chaque purge (m3/purge)	4
Durée de purge (mn)	5	Débit de la purge (l/s)	13
Calculer		Débit du surnageant (m3/j)	204

Charge spécifique du lit en boue à sécher (kg MES/m ² /cycle)	30	Surface de séchage (m ²)	1 255
Nombre de jour du cycle de séchage	40		
Calculer			

Figure 42 : Dimensionnement des ouvrages de traitement des boues

VI.3. Estimation des quantités des réactifs

✚ Sulfate d'aluminium

L'injection de ce réactif est prévue au sein des ouvrages de répartition.

DimST

Fichier calcul Bilan Résultat A propos

Sulfate d'Alumine Chlorure ferrique Polyélectrolyte Charbon Actif Permanganate de Potassium Chaux Acide sulfurique Chlore

Taux de dosage max de SA (mg/l)	80	Capacité de chaque pompe (l/h)	571
Taux de dosage moy de SA (mg/l)	30	Volume de chaque bac de préparation (m3)	8
Concentration de la solution SA (g/l)	200	Conso moy pour la durée d'autonomie (t/durée d'autonomie)	148
Nombre de pompes(y compris une de secours)	3	Nombre de sacs de 50 kg	2 960
Durée d'autonomie (j)	90	Surface de stockage requise (m ²)	74
Calculer			

Figure 43 : Calcul de la consommation du SA



Polyélectrolyte

L'injection de ce réactif est prévue au sein du répartiteur précédant les débourbeurs, des flocculateurs et des épaisseurs.

Débourbeur	
Capacité de chaque pompe déboureur (l/h)	1273
Volume de la Bache Polyélectrolyte (m3)	12

Floculateur	
Capacité de chaque pompe (l/h)	228
Volume de la Bache Polyélectrolyte (m3)	3

Epaississeur	
Capacité de chaque pompe (l/h)	25
Volume de la Bache Polyélectrolyte (m3)	1

Pour le global	
Volume total de chaque bac de préparation (m3)	16
Consommation moyenne (t/durée d'autonomie)	4
Nombre total de futs de 50 l (autonomie de j jours)	74
Surface de stockage requise (m²)	17

Figure 44 : Calcul de la consommation du Polyélectrolyte

Chlore

Le chlore est injecté sous forme d'eau chlorée, au niveau de ce qui suit :

- Au sein de l'ouvrage de répartition avant la coagulation (préchloration).
- Au sein de chacun des deux (2) ouvrages de mélange rapide avant la coagulation (préchloration).
- Au sein du réservoir d'eau traitée (désinfection).



Préchloration	
Consommation max en chlore (kg/l)	13
Capacité totale des chloromètres	16
Consommation journalière (kg/j)	122

Désinfection	
Consommation max en chlore (kg/l)	3
Capacité totale des chloromètres	4
Consommation journalière (kg/j)	48

Pour le global	
Consommation journalière totale (kg/j)	171
Capacité de stockage en chlore (t/durée d'autonomie)	15 353
Nombre de tanks de 1000 kg	15

Figure 45 : Calcul de la consommation du Chlore

Charbon actif

L'injection de ce réactif est prévue avant la filtration.

Capacité de chaque pompe (l/h)	636
Volume de chaque bac (m3)	8
Consommation moy (t/durée d'autonomie)	7
Nombre de sacs de 50 kg	140

Figure 46 : Calcul de la quantité du charbon actif



✚ Permanganate de potassium

L'injection de ce réactif est prévue au sein des ouvrages de répartition avant la coagulation.

Concentration de la solution KmnO4(g/l)	20	Capacité de chaque pompe (l/h)	636
Taux de dosage max de KmnO4 (mg/l)	10	Volume unitaire de bache de KMNO4 (m3)	8
Taux de dosage moy de KmnO4(mg/l)	5	Consommation moy (t/durée d'autonomie)	5
Nbre de pompes (y compris une de secours)	2	Nombre de sacs de 50 kg	100
Durée d'autonomie (j)	30		

Calculer

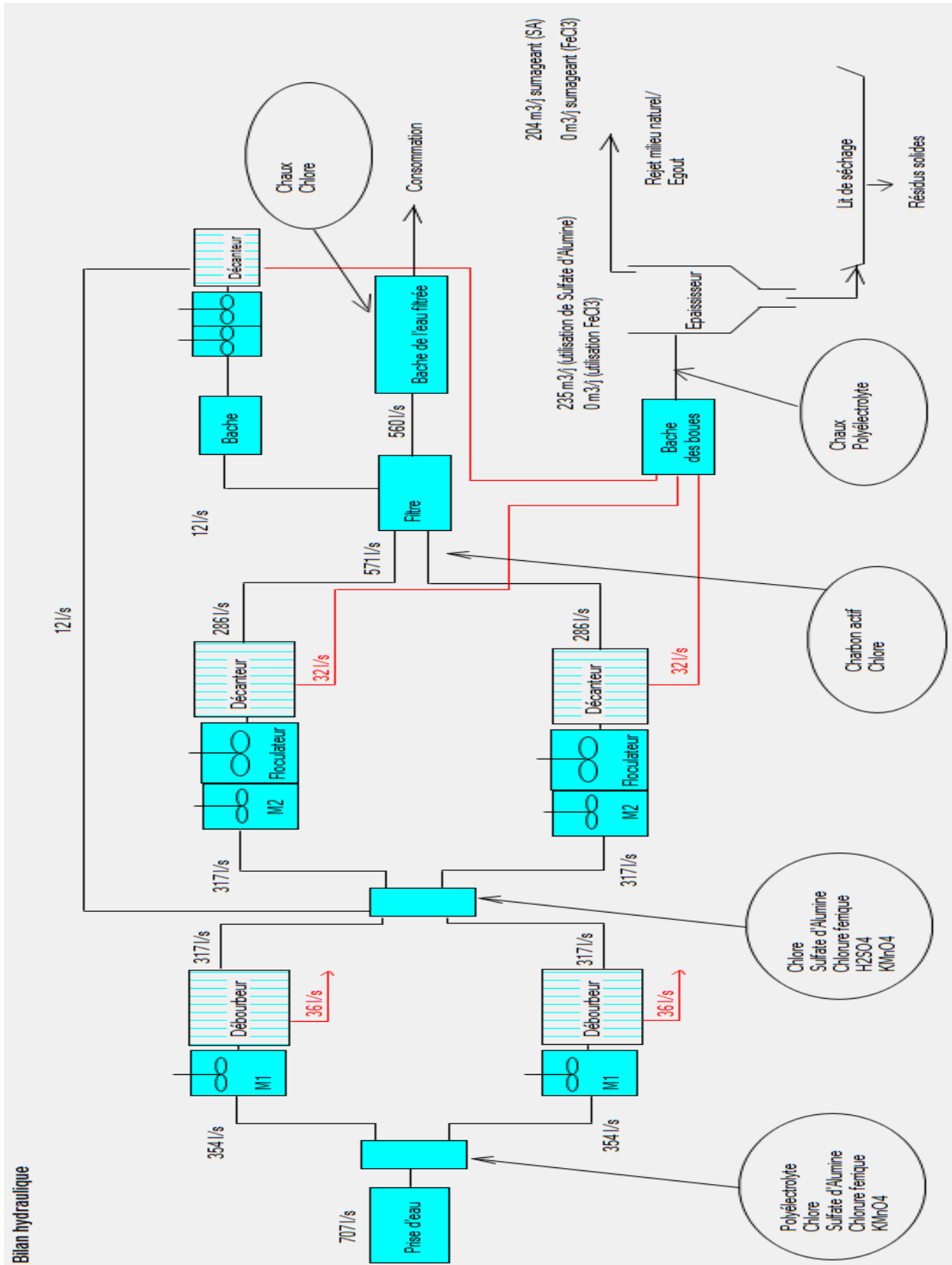
Figure 47 : Calcul de la consommation de $KMnO_4$

VI.4. Visualisation des résultats donnés par DimST

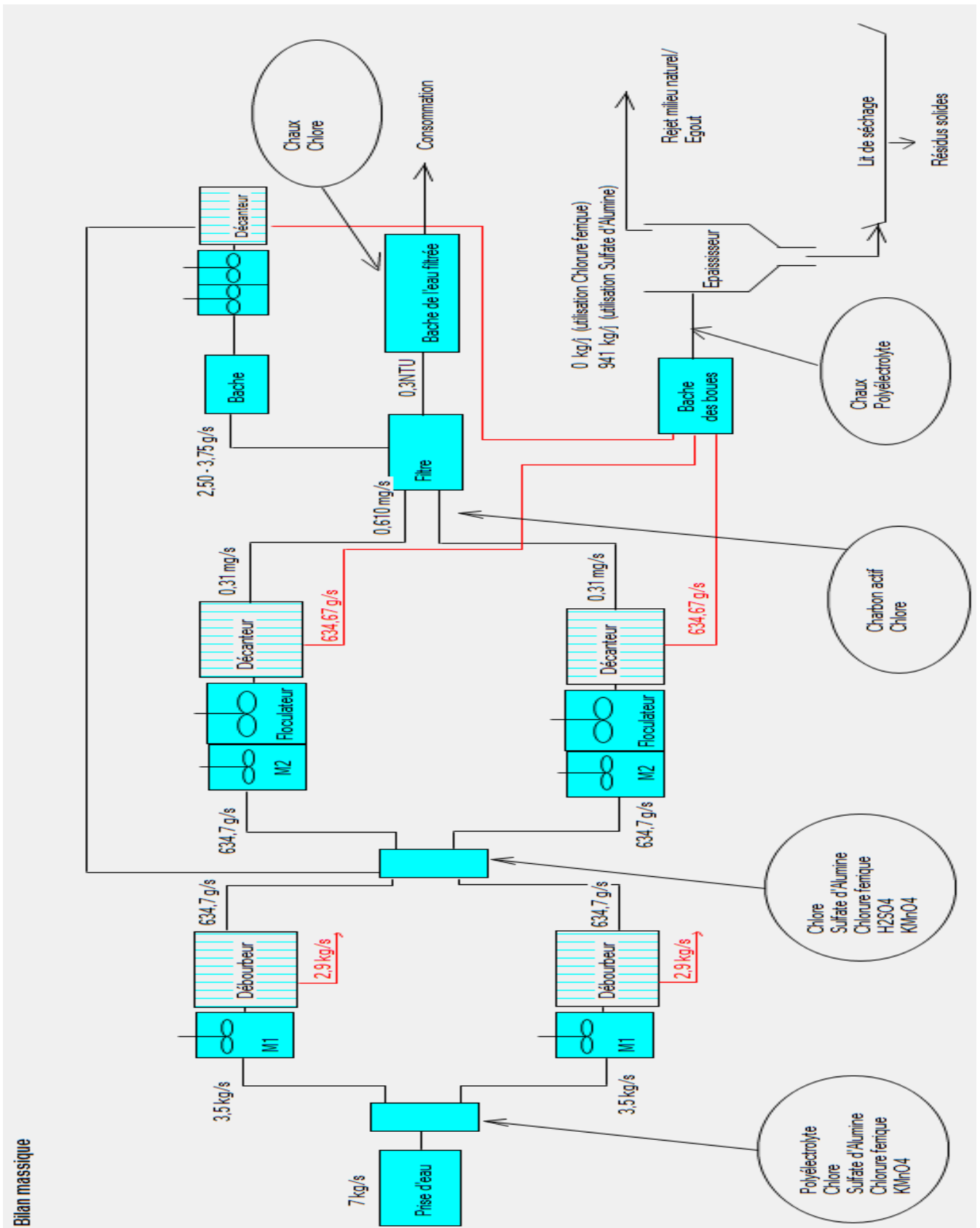
Le logiciel DimST permet d'afficher les bilans hydraulique et massique pour les ouvrages de la station, ainsi que leur schéma planimétrique. Les schémas suivants en donnent une représentation.



✚ Bilan hydraulique :



Bilan massique :





✚ Schéma planimétrique :

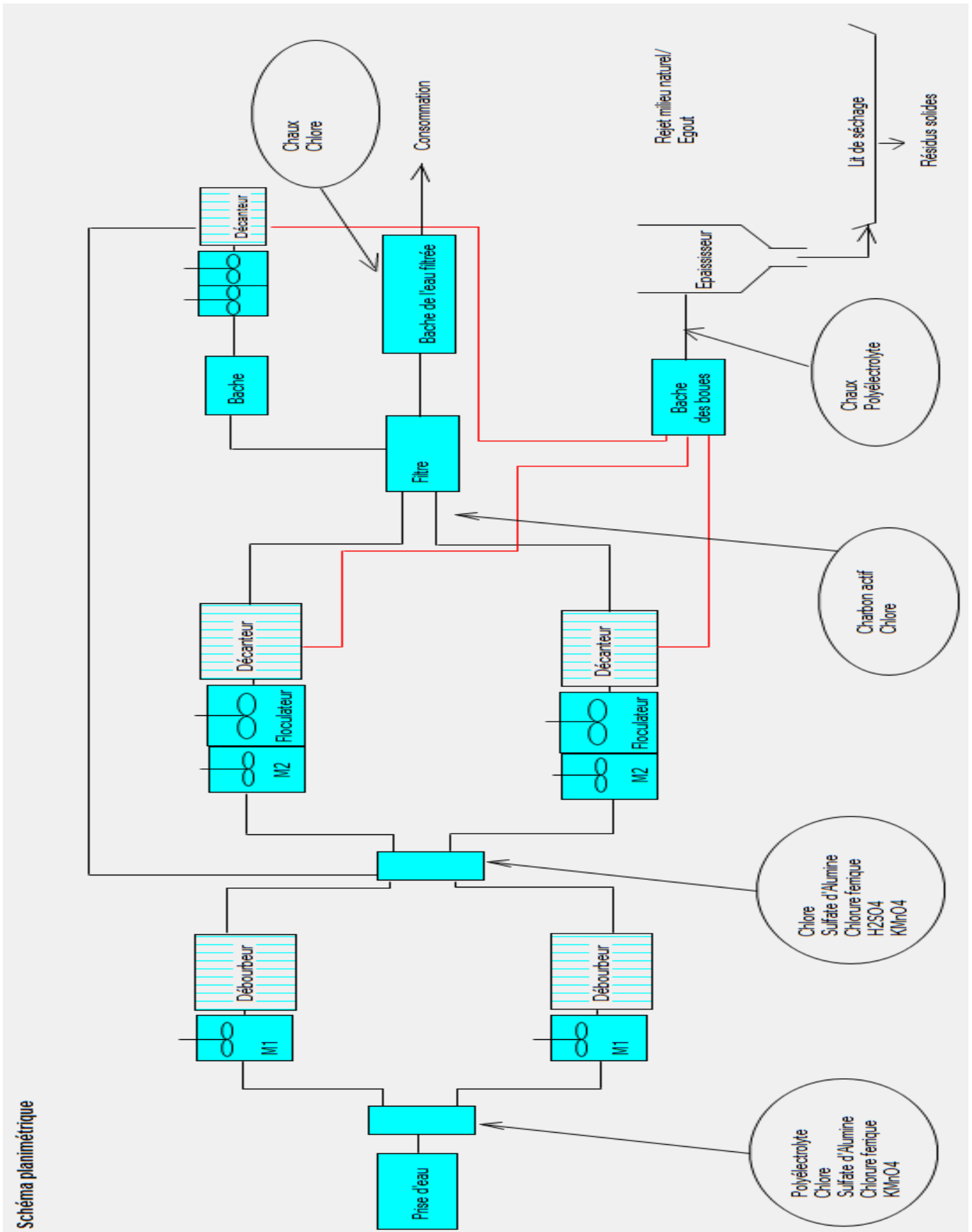


Schéma planimétrique

**Tableau des ouvrages**

Dim ST donne les caractéristiques techniques des différents ouvrages qui sont utilisés pour traiter l'eau brute.

	Valeur	Unité
Débit de dimensionnement		
Débit de l'eau traitée	560	l/s
Teneur en MES dans l'eau brute	10	g/l
Taux de MES dans l'eau débourbée	2	g/l
Teneur en MES des boues de purge des débourbeurs	80	g/l
Taux de MES dans les boues extraites des décanteurs	20	g/l
Pertes en eau au niveau de la filtration	2%	%
Débit d'eau décantée	571	l/s
Débit d'eau débourbée	635	l/s
Débit d'eau brute	707	l/s
Nombre de file de la station de traitement		
	2	files
Ouvrage de répartition		
Débit total à répartir	707	l/s
Débit d'eau d'alimentation / file	354	l/s
Largeur du déversoir	2,5	m
Hauteur lame d'eau sur le déversoir	18,5	cm
Mélangeur rapide M1		
Nombre de mélangeurs rapides M1	2	
Débit d'eau d'alimentation / file	354	l/s
Temps de rétention ou de séjour de l'eau T	3	mn
Gradient de vitesse G	350	/s
Hauteur d'eau dans le mélangeur rapide	4	m
Section de la cuve	16	m ²
Puissance absorbée par l'agitateur	9	Kw
Déboueurs		
Nombre de déboueurs	2	
Débit d'alimentation	354	l/s
Hauteur d'une lamelle	1	m
Vitesse apparente (ou au miroir)	6,5	m/h
Surface au sol (ou projetée) du faisceau lamellaire	196	m ²
Nombre de lamelles	389	
Surface d'une lamelle	14	m ²
Surface totale du faisceau lamellaire	5 444	m ²
Surface totale projetée	2 722	m ²



Vitesse réelle de décantation	0,47	m/h
Vitesse apparente	6,49	m/h
Mélangeur rapide		
Nombre de mélangeurs rapides M2	2	
Débit d'eau d'alimentation / file	317,5	l/s
Temps de rétention ou de séjour de l'eau T	3	mn
Gradient de vitesse G	350	/s
Hauteur d'eau dans le mélangeur rapide	3,5	m
Section de la cuve	16	m ²
Puissance absorbée par l'agitateur	8	Kw
Floculateur		
Nombre de mélangeurs rapides M2	2	
Débit d'eau d'alimentation / file	317,5	l/s
Temps de rétention ou de séjour de l'eau T	20	mn
Gradient de vitesse G	70	/s
Hauteur d'eau dans le mélangeur rapide	4	m
Section de la cuve	95	m ²
Puissance absorbée par l'agitateur	2,09	Kw
Décanteurs		
Nombre de décanteurs	2	
Débit d'alimentation	317,5	l/s
Vitesse apparente (ou au miroir)	7	m/h
Surface au sol (ou projetée) du faisceau lamellaire	163	m ²
Hauteur d'une lamelle	1	m
Nombre de lamelles	361	
Surface d'une lamelle	13	m ²
Surface totale du faisceau lamellaire	4 694	m ²
Surface totale projetée	4 694	m ²
Vitesse réelle de décantation	0,49	m/h
Vitesse apparente	6,76	m/h
Filtres		
Débit d'alimentation	571	l/s
Vitesse apparente (ou au miroir)	5	m/h
Surface totale requise pour la filtration	411	m ²
Nombre de filtres	6	
Surface unitaire d'un seul filtre	69	m ²
Vitesse de filtration à débit nominal	5	m/h
Vitesse de filtration (avec 1 filtre en lavage)	6	m/h
Perte de charge maximale par encrassement	1,35	m
Bâche d'eau filtrée		



Débit de l'eau pendant le rinçage	15	m ³ /m ² .h
Débit d'eau de lavage des filtres	1 028	m ³ /h
Débit de l'air	3 427	m ³ /h
Volume d'eau pour le lavage des filtres	180	m ³
Volume d'eau pour le lavage de q filtres	360	m ³
Volume de la bêche	360	m ³
Ouvrages de traitement des eaux de lavage des filtres		
Volume journalier des eaux de lavage	1 080	m ³
Débit continu de recyclage des eaux de lavage des filtres	45	m ³ /h
Mélangeur rapide		
Temps de rétention ou de séjour de l'eau T	2	mn
Gradient de vitesse G	350	/s
Hauteur d'eau dans le mélangeur rapide	2,5	m
Section de la cuve	1	m ²
Puissance absorbée par l'agitateur	0,21	Kw
Floculateur		
Temps de rétention ou de séjour de l'eau T	15	mn
Gradient de vitesse G	50	/s
Hauteur d'eau dans le mélangeur rapide	3,5	m
Section de la cuve	3	m ²
Puissance absorbée par l'agitateur	0,0315	Kw
Décanteurs		
Débit d'alimentation	317,5	l/s
Vitesse apparente (ou au miroir)	7	m/h
Surface au sol (ou projetée) du faisceau lamellaire	6,426	m ²
Hauteur d'une lamelle	1	m
Nombre de lamelles	106	
Surface d'une lamelle	4	m ²
Surface totale du faisceau lamellaire	401	m ²
Surface totale projetée	201	m ²
Vitesse réelle de décantation	0,4	m/h
Vitesse apparente	5,61	m/h
Ouvrages de traitement des boues		
Pour le Sulfate d'Alumine		
Débit d'eau brute	707	l/s
Taux de MES dans l'eau brute	10	g/l
Taux de dosage du SA	20	g/l
Concentration des boues extraites des décanteurs	4	g/l
Temps de collecte des boues	10	h
Débit massique journalier de boues des décanteurs	941	kg/jour
débit journalier de ces extractions au niveau décanteur	235	m ³ /h
Volume de la bêche tampon	98	m ³
Epaisseur		



Charge massique de l'épaississeur	25	kgMS/m ² .j
Hauteur d'eau	4,5	m
Concentration des boues à la sortie de l'ouvrage	30	g/l
Nombre de purge	8	purge/jour
Durée de la purge	5	mn
Surface de l'épaississeur	38	m ²
Temps de rétention dans l'épaississeur	17,3	h
Volume des boues épaissies	31	m ³
Volume extrait après chaque purge	4	m ³ /purge
débit de la purge	13	l/s
débit du surnageant	204	m ³ /j
Lit de séchage		
Charge spécifique du lit en boue à sécher	30	KgMES/m ² /cycle
nombre de jour du cycle de séchage	40	
Surface totale requise pour le séchage	1 255	m ²

Tableau 7:tableau des résultats pour les ouvrages

✚ Tableau des réactifs

Dim ST affiche dans un tableau les détails des quantités des réactifs injectés au sein des ouvrages lors du traitement de l'eau brute.

	Valeur	Unitée
sulfate d'alumine		
Concentration de la solution SA	200	g/l
taux de dosage max de SA	80	mg/l
taux de dosage moy de SA	30	mg/l
Nombre de pompes (y compris une de secours)	3	
Durée d'autonomie	90	jour
Capacité de chaque pompe	571	l/s
Volume de chaque bac de préparation	8	m ³
Consommation moy (t/durée d'autonomie)	148	
Polyélectrolyte		
Concentration de la solution de Polyélectrolyte	2,5	g/l
Pour le débouage		
Débit d'eau brute	707	l/s
Taux de dosage maximum	2	mg/l
Taux de dosage moyen	0,5	mg/l
Nbre de pompes doseuses (y compris 1 de secours)	3	
Autonomie du bac de préparation	50	h
Capacité de chaque pompe	1 273	l/s
Part du volume du bac de préparation	12	m ³
Pour la floculation		



Débit d'eau débourbée	635	l/s
Taux de dosage maximum	0,4	mg/l
Taux de dosage moyen	0,15	mg/l
Nbre de pompes doseuses (y compris 1 de secours)	3	
Autonomie du bac de préparation	30	h
Capacité de chaque pompe	228	l/s
Part du volume du bac de préparation	3	m3
Pour l'épaississeur des boues		
Débit massique journalier de boues des décanteurs	941	kg/jour
Taux de dosage maximum	2,5	mg/l
Taux de dosage moyen	2,5	mg/l
Nbre de pompes doseuses (y compris 1 de secours)	3	
Autonomie du bac de préparation	90	h
Capacité de chaque pompe	25	l/s
Part du volume du bac de préparation	1	m3
Pour le global		
Volume totale de chaque bac de préparation	16	m3
Conso moy pour 3 mois	4	t/ 3 mois
Nombre total de futs de 50 l (autonomie de 3 mois)	74	futs
Surface de stockage requise	17	m ²
Charbon actif		
Concentration de la solution	3	g/l
taux de dosage max du charbon	15	mg/l
taux de dosage moy du charbon	8	mg/l
Nbre de pompes (y compris une de secours)	3	
Durée d'autonomie	30	mn
Capacité de chaque pompe	318	l/h
Volume de chaque bac	8	m3
Consommation moy (t/durée d'autonomie)	7	
Permanganate de Potassium		
Concentration de la solution KMNO4	20	g/l
taux de dosage max du KMNO4	10	mg/l
taux de dosage moy du KMNO4	5	mg/l
Nbre de pompes (y compris une de secours)	3	
Durée d'autonomie	30	mn
Capacité de chaque pompe	318	l/h
Volume unitaire de bache de KMNO4	8	m3
Consommation moy (t/durée d'autonomie)	5	
Chaux		
Concentration de la solution	50	g/l
Taux de dosage max	10	mg/l
Taux de dosage moy	5	mg/l



Nombre de pompes (y compris une de secours)	3	
Durée d'autonomie	30	j
Capacité de chaque pompe	159	l/h
Volume de chaque bac	6	m ³
Consommation moy (t/durée d'autonomie)	9	
Chlore		
Préchloration		
taux max du dosage du chlore	5	mg/l
taux moy du dosage du chlore	2	mg/l
capacité horaire maxi de consommation	13	kg/l
Capacité totale des chloromètres	16	
La consommation journalière (en chlore)	122	kg/j
Désinfection		
taux max du dosage du chlore	1,5	mg/l
taux moy du dosage du chlore	1	mg/l
durée d'autonomie	90	j
capacité horaire maxi de consommation	3	kg/l
Capacité totale des chloromètres	4	
La consommation journalière (en chlore)	48	kg/j
Consommation journalière totale	171	kg/j
Capacité en stockage du Chlore	15 353	t/durée d'autonomie

Tableau 8:tableau des résultats pour les réactifs

Analyse des résultats :

Après avoir dimensionné les ouvrages et calculer les quantités des réactifs nécessaires pour le traitement de l'eau brute, on a comparé nos résultats avec ceux trouvés par l'ingénieur conseillé du bureau d'étude CID. Ce dernier utilise Excel pour dimensionner la station en question.

Il s'est avéré que notre logiciel donne des résultats identiques à ceux trouvés à l'aide d'Excel.



CONCLUSION :

Dans la conception des STEPs, les bureaux d'étude ont souvent recours à des calculs sur Excel. Ceci peut s'avérer fastidieux notamment lorsqu'il s'agit de dimensionner l'ensemble des ouvrages et de vérifier les bilans hydrauliques et massiques.

L'élaboration d'un outil de dimensionnement présentant une ergonomie et une interface conviviale qui facilite la tâche pour le concepteur. Ce logiciel permet de :

- ✚ Concevoir et dimensionner plusieurs files de traitement de l'eau.
- ✚ Synthétiser les principaux résultats directement dans des tableaux récapitulatifs regroupant les principales informations (capacité de traitement, dimensions des ouvrages, énergie consommée, quantité des boues produites, quantité des réactifs utilisés.....).
- ✚ Elaborer un schéma planimétrique de la station, un bilan hydraulique et un bilan massique des différents ouvrages.
- ✚ Estimer les quantités des réactifs.

Ainsi le logiciel élaboré DimST permet au concepteur une prise de décision rapide.

L'utilisation du logiciel DimST a été utilisé pour le dimensionnement de l'extension de la station de Nador. Les dimensions des ouvrages calculés par ce logiciel coïncident avec celles déterminés par Excel, ce qui permet de le valider et le considérer comme un outil fiable pour le calcul des STEP pour la production des eaux potables à partir des eaux superficielles.

Notre projet de fin d'étude ne constitue que le premier pas vers la conception d'un logiciel sophistiqué.



PERSPECTIVES

Cet outil présenté sur cette première version dite DimST 1.0 constitue une monture de base. Elle devra être améliorée pour pouvoir prendre en compte :

- ✚ Les caractéristiques des ouvrages pour les différents types de traitement
- ✚ Les traitements spéciaux : dessalement des eaux de mer, filtration membranaire, adsorption sur charbon actif et dénitrification des eaux des nappes
- ✚ D'autres ouvrages de traitement qui ne sont pas pris en compte dans le présent rapport.
- ✚ Les couts de traitement (investissement et exploitation).

Pour atteindre cet objectif nous comptons sur la collaboration de tous les acteurs qui interviennent dans le secteur de l'eau en particulier l'ONEP.

Nous aurons besoin de connaitre :

- ✚ Les caractéristiques des ouvrages utilisés dans le domaine de traitement.
- ✚ Les différentes configurations possibles pour les stations de traitement des eaux.
- ✚ Les analyses des laboratoires afin de connaitre les caractéristiques des eaux brutes au Maroc.
- ✚ L'estimation des coûts des différents ouvrages utilisés et des réactifs qui y sont injectés afin de connaitre d'évaluer avec exactitude l'investissement nécessaire pour la conception des STEPs.

Le soutien du corps professoral de notre école est primordial en particulier les professeurs spécialisés dans le domaine de traitement de l'eau pour nous aider à mettre en place une stratégie opérationnelle qui nous mènera vers la conception d'un logiciel qui englobe la conception, le dimensionnement des stations et la simulation en temps réel de la qualité des eaux brutes au cours du traitement.



Références bibliographique

Auteur

- (1) Conception et dimensionnement des stations de traitement des eaux de consommation (M. Kharif formateur ONEP)
- (2) Guide de conception des installations de production d'eau potable-Québec
- (3) Memento technique Dégrèvement 2005
- (4) PLAN Plan national de l'eau-Sécrétariat d'état chargée de l'eau et de l'environnement Mai 2009
- (5) Technique de l'ingénieur
- (6) Traitement de l'eau procédés physico chimiques & biologiques edition ellipse 2001
- (7) Traitement des boues des stations de traitement : direction des agences de l'eau et du ministre de l'environnement-1994

Webographie

- (8) <http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/wtprimer/wt-disin.html#disin>
- (9) <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0304/optsee/bei/5/binome4/coag.htm>
- (10) <http://hydroland.pagesperso-orange.fr> (Ravarini Pierre Ingénieur (chimiste / hydrologue)).
- (11) http://water.me.vccs.edu/courses/ENV110/lesson7_4.htm
- (12) http://www.veoliawaterst.com/filtraflo/fr/precisions_techniques.htm



ANNEXES



ANNEXE I : Grille de qualité

Catégorie		A1		A2		A3		
		G	I	G	I	G	I	
PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES								
1	Couleur	mg pt/l	<10	20	50	100	50	200
2	Odeur à 25° C		<3	-	10	-	20	-
PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES								
3	Température	°C	20	30	20	30	20	30
4	pH		6.5-8.5	-	6.5-9.2	-	6.5-9.2	-
5	Conductivité à 20° C	µs/cm	1300	2700	1300	2700	1300	2700
6	Chlorures (Cl ⁻)	mg/l	300	750	300	750	300	750
7	Sulfates (SO ₄)	mg/l	200	-	200	-	200	-
8	MES	mg/l	50	-	1000	-	2000	-
9	O ₂ dissous	mg/l	7(90%)	-	5(70%)	-	3(50%)	-
10	DBO ₅	mg/l	3	-	7	-	10	-
11	DCO	mg/l	-	-	25	-	40	-
12	Oxydabilité	mg/l	2	-	5	-	10	-
SUBSTANCES INDESIRABLES								
13	Bore	mg/l	-	1	-	1	-	1
14	Ammonium	mg/l	0,05	0,5	1	1,5	2	4
15	NTK	mg/l	1	-	2	-	3	-
16	Nitrates (NO ₃)	mg/l	-	50	-	50	-	50
17	Phosphores	mg/l	0,4	-	0,7	-	0,7	-
18	Baryum	mg/l	-	1	-	1	-	1
19	Cuivre (Cu)	mg/l	-	1	-	2	-	2
20	Zinc (Zn)	mg/l	-	5	-	5	-	5
21	Manganèse (Mn)	mg/l	-	0,1	0,1	0,1	1	-
22	Fer dissous (Fe)	mg/l	-	0,3	1	2	1	3
23	Fluorures (F)	mg/l	0,7	1,5	0,7	1,5	0,7	1,5
24	Hydrocarbures dissous	mg/l	-	0,05	-	0,2	0,5	1
25	Phénols	mg/l	-	0,001	-	0,005	-	0,01
26	Détergents anioniques	mg/l	-	0,5	-	0,5	-	0,5
SUBSTANCES TOXIQUES								
27	Arsenic (As)	µg/l	-	50	-	50	-	100
28	Cadmium (Cd)	µg/l	1	5	1	5	1	5
29	Chrome total (Cr)	µg/l	-	50	-	50	-	50
30	Plomb (Pb)	µg/l	-	50	-	50	-	50
31	Mercure (Hg)	µg/l	-	1	-	1	-	1
32	Sélénium (Se)	µg/l	-	10	-	10	-	10
33	Nickel (Ni)	µg/l	-	50	-	50	-	50
34	Cyanures (CN ⁻)	µg/l	-	50	-	50	-	50
35	Pesticides par subst.	µg/l	-	0,1	-	0,1	-	0,1
36	Pesticides au total	µg/l	-	0,5	-	0,5	-	0,5
37	HPA	µg/l	-	0,2	-	0,2	-	0,2
PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES								
38	Coliformes fécaux	/100ml	20	-	2000	-	20000	-
39	Coliformes totaux	/100ml	50	-	5000	-	50000	-
40	Streptocoques fécaux	/100ml	20	-	1000	-	10000	-

G : valeur guide

I : valeur impérative

A1 : traitement physique simple et désinfection

A2 : traitement normal, physique, chimique et désinfection

A3 : traitement physique, chimique poussé, affinage et désinfection



Annexe II : classification de la qualité des eaux de surface

Bassin	Tronçon	Classe de qualité	Problème ²⁹
SEBOU	Haut Beht	Bonne	
	Oued Mdez	Bonne	
	Oued Ouergha	Bonne	
	O. Aoulai	Bonne	
	O. Lebene	Bonne	
	O. Sebou Azib Soltane	Moyenne	
	O. sebou (cours moyen et aval)	Mauvaise	PT
	O. Lyhoudi	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
	O. Fès	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
	Cours aval du Oued R'Dom	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
	O. Sebou à Dar El Arsa	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
	O. Dkor	Très mauvaise	DBO5, DCO, NH4, PT
Oum Er Rbia	Haut et Bas Oum Er-Rbia	Bonne	
	O. El Abid	Bonne	
	O. Tessaout	Bonne	
	O. Oum Er Rbia entre confluence O. Day et O. Tessaout	Mauvaise	NH4, PT
	Moy. Oum Er-Rbia (Aval rejet Tadla)	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, PT,
	O. Felfel	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
Loukkos	O. Loukkos amont	Bonne	
	Oued Laou	Bonne	
	O. Nekor	Bonne	
	O. Loukkos moyen et aval	Moyenne	
	O. Lyhoud	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT
	O. Haricha aval rejet Dar Chaoui	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT
	O. Tangérois aval	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
O. Martil aval	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF	
Moulouya	O. Za	Bonne	
	Oued Moulouya	Bonne	
	O. Isly aval	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
Bouregreg	Oued Bou Regreg et affluents	Bonne	
	O. Cherrat, Nfifikh ,	Bonne	
	O. Grou	Bonne	
	O. Mechraa	Mauvaise	NH4, PT
Tensift	O. Ksob, Zlten, Igrounzar	Bonne	
	O. R'Dat aval Sidi Rahal	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
	O. R'Dat Amzmiz aval Amzmiz	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
	O. Zat aval Ait Ourir	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
	O. Tensift aval Marrakech	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
Souss	O. Issen	Bonne	
	O. Souss amont	Bonne	
	Oued Massa	Bonne	
	O. Tamraght	Moyenne	
Ziz-Guir-Rheris	Oued Ziz	Bonne	
	Oued Guir	Bonne	
	O. Ziz Aval Erfoud et confluence Lahmer et O. Ziz	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF
	O. Rhéris aval Tinghir	Très mauvaise	O2, DBO5, DCO, NH4, PT, CF



Annexe III : classification de la qualité des eaux souterraines

Bassins	Nappes	Classe de qualité	Problème
Sebou	Nappe de Fès-Meknès	Mauvaise	Nitrate
	Nappe du Gharb	Bonne à Moyenne	-
	Nappe Maamoura	Mauvaise	Nitrate
	Nappe de Taza	Bonne à Moyenne	-
Oum Er Rbia	Nappe de Beni Amir	Très Mauvaise	Nitrate+ Conductivité
	Nappe de Beni Moussa	Moyenne à Mauvaise	Nitrate
Loukkos	Nappe du Charf El Akab	Bonne à Moyenne	
	Nappe de Martil	Moyenne à Mauvaise	Nitrate
	Nappe de Smir	Bonne à Moyenne	
	Nappe de R'Mel	Bonne à Moyenne	
	Nappes de Laou	Bonne	
Moulouya	Nappe de Nekor	Mauvaise à Très Mauvaise	Conductivité
	Nappe des Triffa (Nord de Berkane)	Très Mauvaise	Conductivité+ Nitrate
	Nappe de Guercif	Moyenne à Mauvaise	Conductivité
	Nappes des Angad	Moyenne à Mauvaise	Nitrate
	Nappes du Kert, Gareb et Bou Areg	Très Mauvaise	Conductivité
Bouregreg	Nappe de Beni Mathar	Moyenne	Conductivité
	Nappe de Berrechid	Très Mauvaise	Nitrate + Conductivité
	Nappe de la Chaouia Côtière	Très Mauvaise	Nitrate + Conductivité
Tensift	Nappe de Témara	Très Mauvaise	Nitrate
	Nappe du Haouz	Bonne à Moyenne	
	Nappe des Abda Doukkala	Mauvaise	Nitrate+ Conductivité
	Nappe de la Bahira	Moyenne	Nitrate+Conductivité
Souss-Massa	Nappe d'essaouira	Mauvaise à Très Mauvaise	Nitrates
	Nappe du Souss	Bonne	
	Nappe de Massa-Chtouka	Moyenne à Mauvaise	Nitrate+ Conductivité
	Nappe de Zagora	Bonne	
	Nappe de Guelmim	Moyenne	Nitrate + Conductivité
	Nappe de Tantan	Moyenne	Nitrate+ Conductivité
Ziz-Guir-Rheris	Nappe de Tata	Moyenne	Nitrate + Conductivité
	Nappe d'Errachidia	Moyenne à Mauvaise	Conductivité
	Nappe de Tadighoust-Goulmima	Moyenne à Mauvaise	Conductivité
	Nappe de Tafilalt	Très Mauvaise	Conductivité
	Nappe de Toudra-Fkouk-Frkla	Moyenne à Mauvaise	Nitrate + Conductivité