

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

*MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE*



École Nationale Polytechnique
Laboratoire de Recherches des Sciences
de l'eau : LRS-EAU



**SOUTENANCE DE MEMOIRE
MAGISTER**

Thème

**Contribution à l'amélioration des techniques
de traitement des eaux de surface
(cas de la station de Boudouaou)**

Présenté par : Abed LARIBI
Ingénieur d'état en hydraulique (ENSH-BLIDA)

Mémoire
Présenté pour l'obtention du diplôme de Magister en Science de l'eau

Soutenance prévue le : 28 /06 / 2012 à 09 h 00 min.
Devant le Jury composé de :

Président	Mr. KHERBACHI	Rabah	Prof.	ENP-Alger
Examineurs	Mr. BENRACHEDI	Khaled	Prof.	Univ- Boumerdes
	Mr. SLATNIA	Amar	Prof.	ENP-Alger
	Mr. KHODJET-KESBA	Omar	MC(A)	ENSH-BLIDA
Directeur Mémoire	Mr. KETTAB	Ahmed	Prof.	ENP-Alger

ENP 2012

REMERCIEMENT

J'exprime ma profonde gratitude et toute ma reconnaissance envers mon Directeur de thèse, Mr. Ahmed KETTAB, Professeur et directeur du Laboratoire De Recherche Des Sciences De l'Eau à l'Ecole Nationale Polytechnique, pour sa patience, ses avis, ses conversations, ses précieuses orientations, son soutien et sa confiance, dont j'ai bénéficiés à tous les égards.

Je tiens à exprimer mes remerciements à Monsieur KHERBACHI Rabah, professeur à l'ENP d'Alger, pour avoir accepté d'être Président du Jury de ma thèse.

Mes remerciements vont aussi à Monsieur BENRACHEDI Khaled, Professeur à l'Université de Boumerdes, Monsieur SLATNIA Amer, Professeur à l'ENP d'Alger et Monsieur KHODJET-KESBA Omar MC (A) à l'ENSH de Blida, pour avoir accepté d'être examinateurs de ma thèse et membres du Jury.

A tout le corps enseignant et personnel de l'E.N.S.P. qui ont contribué à ma formation.

A l'ensemble du personnel de la STATION DE TRAITEMENT DE BOUDOUAOU

A tous mes amis.

Mon respect aux membres du Jury qui me feront l'honneur d'apprécier mon travail.

A. LARJBI

Dédicace

Je dédie ce modeste travail en signe de respect et de reconnaissance et en témoignage de ma profonde affection :

- *A ma chère mère qui a trop sacrifié à mon égard et qui m'a aidé pour accomplir ma mission.*
- *A ma chère sœur*
- *A toute ma famille.*
- *A mes amis et surtout mon ami Chafai BOUZGAG qui m'a trop soutenu et m'a encouragé*
- *A mes collègues et mes responsables de travail*
- *A tous ceux qui m'ont encouragé.*

A. LARIBI

ملخص :

محطات معالجة المياه السطحية تلعب عادة دورا رئيسي في انتاج المياه الصالحة للشرب و التي تستجيب الى المعايير الموافقة للمياه الصالحة للشرب.

اذا من الضروري الاهتمام بتحسين نوعيتها, فيما يخص تقييمها وتشغيلها, وهذا حتى يتم تحسين نوعية المياه المعالجة والتوفير في السعر وضياع المياه.

التطرق إلى استعمال المصفاة بالأغشية يعتبر حل مناسب لتحسين معالجة المياه الصالحة للشرب و حل المشاكل الموجودة على مستوى محطات معالجة المياه الصالحة للشرب ذات النظام الكلاسيكي.

الكلمات الدالة : تقنيات معالجة المياه السطحية, التصفية بالأغشية, تشغيل محطات معالجة المياه, عكر.

Résumé :

Les stations de traitement d'eau de surface jouent souvent un rôle essentiel dans la production de l'eau potable qui répond aux différentes normes de potabilité.

Il est donc important de chercher à améliorer et optimiser leurs performances, tant au niveau de leur conception que de leur exploitation, pour améliorer la qualité de l'eau traitée et minimiser les coûts d'investissement et les pertes d'eau.

Le recours aux procédés membranaires et une solution proposée pour améliorer le traitement de l'eau et résoudre les problèmes rencontrés au niveau des stations de traitement d'eau potable conventionnelles.

Mots clés : Techniques de traitement des eaux de surface, filtration membranaire, exploitation des stations de traitement, turbidité.

Abstract:

Surface water treatment plants often play a key part in the production of drinking water that meets the various standards for drinking water.

It is therefore important to seek to improve and optimize their performance, both in their conception of their operations, to improve the quality of treated water and minimize capital costs and water loss.

The use of membrane processes is a proposed solution to improve water treatment and resolving problems encountered in the conventional treatment plants.

Key words: Technical surface water treatment, Filtration membrane, Treatment plant operation, Turbidity.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : LES EAUX DE SURFACE	
I.1. LES EAUX DE RIVIERE (PARTIE AMONT).....	2
I.2. LES EAUX DE RIVIERE (PARTIE AVAL).....	3
I.3. LES EAUX DES LACS.....	3
I.4. CARACTERISTIQUES GENERALES DES EAUX DE SURFACE.....	3
I.4.1. GAZ DISSOUS.....	3
I.4.2. MATIERES EN SUSPENSION.....	3
I.4.3. PLANCTON.....	3
I.4.4. VARIATIONS JOURNALIERES.....	4
I.4.5. POLLUTION ORGANIQUE CONDUISANT SOUVENT A L'EUTROPHISATION DES EAUX.....	4
I.4.6. POTABILITE DES EAUX DE SURFACE.....	4
I.5. GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES EAUX DE CONSOMMATION	6
I.6. CRITERES DE CHOIX DE L'EAU A TRAITER.....	6
I.6.1. LA QUANTITE.....	6
I.6.2. LA QUALITE.....	7
I.6.3. L'ECONOMIE.....	7
I.7. NORMES DE TRAITEMENT.....	7
I.8. LES PARAMETRES DE QUALITE DE L'EAU.....	13
I.8.1. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES.....	13
I.8.1.1. LA TURBIDITE.....	13
I.8.1.2. LA COULEUR.....	13
I.8.1.3. MATIERES EN SUSPENSION.....	13
I.8.1.4. LE pH.....	13
I.8.1.5. LES SUBSTANCES MINERALES DISSOUTES.....	14
I.8.1.6. LE CHARBON ORGANIQUE TOTAL (COT).....	14
I.8.1.7. RESISTIVITE.....	14
I.8.1.8. TITRE ALCALIMETRIQUE (TA) ET TITRE ALCALIMETRIQUE COMPLET (TAC).....	14
I.8.1.9. DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE (DBO5).....	14
I.8.1.10. DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE.....	15
CHAPITRE II : LES PROCEDES DE TRAITEMENT D'EAU POTABLE	
II.1. STOCKAGE D'EAU BRUTE.....	17
II.2. DISPOSITION A PRENDRE AU NIVEAU DE LA PRISE D'EAU..... ;.....	17
II.3. PRETRAITEMENT.....	18
II.3.1. DEGRILLAGE.....	18

II.3.2.LE MICROTAMISAGE.....	18
II.4. PRE-OXYDATION.....	19
II.4.1. PRECHLORATION.....	19
II.4.2. DIOXYDE DE CHLORE.....	19
II.4.3. PRE-OZONATION.....	20
II.5. CLARIFICATION.....	20
II.5.1. COAGULATION-FLOCCULATION.....	20
II.5.1.1 LES PARTICULES MISES EN JEU.....	21
II.5.1.2. BUT DE LA COAGULATION-FLOCCULATION.....	22
II.5.1.3. LA COAGULATION.....	23
II.5.1.4. LA FLOCCULATION.....	26
II.5.2. LA DECANTATION-FLOTTATION.....	28
II.5.2.1. LA DECANTATION.....	28
II.5.2.2. LA FLOTTATION.....	31
II.5.3. LA FILTRATION.....	31
II.6. LA DESINFECTION.....	32
II.6.1. LE CHLORE (CHLORATION).....	33
II.6.2. LE DIOXYDE DE CHLORE.....	34
II.6.3. L’OZONE.....	34
II.6.4. LE RAYONNEMENT ULTRAVIOLET (UV).....	34
II.7. L’AFFINAGE.....	35

CHAPITRE III : LA FILTRATION SUR SABLE

III.1. PRINCIPE.....	36
III.2. PARAMETRES FONDAMENTAUX DE LA FILTRATION.....	37
III.2.1. COMPOSITION DU LIT FILTRANT.....	37
III.2.1.1. NATURE DES MATERIAUX.....	37
III.2.1.2. GRANULOMETRIE.....	38
III.2.1.3. HAUTEUR DE COUCHE.....	38
III.2.2. CARACTERISTIQUES DE LA FILTRATION.....	38
III.2.2.1. SENS DE LA FILTRATION.....	38
III.2.2.2. VITESSE DE FILTRATION.....	38
III.2.2.3. LAVAGE DU FILTRE	
III.2.2.4.CYCLES DE FILTRATION.....	39
III.3. PRINCIPAUX TYPES DE FILTRATS A MATERIAUX GRANULAIRES.....	40
III.3.1. FILTRES SOUS PRESSION.....	40
III.3.1.1. LAVAGE A L’EAU SEULE.....	40

III.3.1.2.LAVAGE [AIR+EAU] OU [AIR PUIS EAU].....	40
III.3.2. FILTRES OUVERTS (GRAVITAIRES).....	41
III.4.TECHNIQUES DE FILTRATION A SABLE.....	42
III.4.1. FILTRATION CLASSIQUE A COURANT DESCENDANT NORMAL.....	42
III.4.2.FILTRES A DRAIN A DOUBLE COURANT.....	42
III.4.3. FILTRES A GRILLES.....	43
III.4.4. FILTRES AUTOLAVEURS.....	43
III.5. FILTRATION A SABLE A LAVAGE CONTINU.....	44
III.5.1. DESCRIPTION ET MODE DE FONCTIONNEMENT.....	44

CHAPITRE IV : STATION DE BOUDOUAOU

IV.1. CHAINE DE TRAITEMENT D'EAU.....	47
IV.1.1. BASSIN DE MELANGE.....	48
IV.1.2. LA DECANTATION.....	51
IV.1.3.LA FILTRATION.....	51
IV.1.4.NEUTRALISATION AU pH D'EQUILIBRE.....	52
IV.1.5. LA DESINFECTION.....	53
IV.2. EXPLOITATION DE L'USINE.....	53
IV.2.1.CONSUMMATION DES REACTIFS CHIMIQUES.....	53
IV.2.2. CONSOMMATION D'ENERGIE DE LA STATION.....	54
IV.2.3. EXPLOITATION DES FILTRES A SABLE.....	54
IV.2.4. L'ENERGIE CONSOMMEE PENDANT LE LAVAGE D'UN FILTRE A SABLE.....	55
IV.3. SUBSTITUTION DES FILTRES AQUAZURE PAR FILTRE DYNASAND.....	56

CHAPITRE V : RESULTATS D'ANALYSES ET DISCUSSION

V.1. VARIATION DE LA TURBIDITE ET DU DEBIT A L'ENTREE DE LA STATION.....	58
V.2. INFLUENCE DE LA TURBIDITE DE L'EAU DECANTEE SUR LA TURBIDITE DE L'EAU FILTREE.....	60
V.3. L'INFLUENCE DU PROCEDE DE COAGULATION-FLOCCULATION SUR FILTRE SUR LE CYCLE DE LAVAGE DES FILTRES A SABLE.....	61
V.4. PRESENCE DE L'ALUMINIUM DANS L'EAU TRAITEE.....	62
V.5. LES INCONVENIENTS DE LA CHLORATION DE L'EAU TRAITEE.....	63
V.6. SUBSTITUTION DU TRAITEMENT CONVENTIONNEL PAR UN TRAITEMENT MEMBRANAIRE.....	64
V.6.1. CONSOMMATION EN PRODUITS CHIMIQUES.....	64
V.6.2. PERTE D'EAU LORS DU LAVAGE.....	64
V.6.3. ENCOMBREMENT ET ESPACE D'OCCUPATION.....	65
V.6.4.COMPARAISON GENERALE ENTRE LES DEUX PROCEDES.....	66
CONCLUSION GENERALE.....	68
BIBLIOGRAPHIE.....	69
ANNEXE 1. EXEMPLE D'EXPLOITATION DES FILTRES AQUAZURE.....	71

ANNEXE 2. SPECIFICATION DES FILTRES DYNASAND.....	76
ANNEXE 3. EXEMPLE DU SYSTEME DE FILTRATION MEMBRANAIRE.....	77

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Eléments caractéristiques des eaux de surface	5
Tableau I.2 : Normes Françaises de potabilité.....	8
Tableau I.3 : Normes Européennes applicables à l'eau de boisson.....	9
Tableau I.4 : Eléments toxiques ou indésirables dans l'eau potable.....	10
Tableau.5 : Substances dont la présence en quantité excessive dans l'eau peut présenter des inconvénients	11
Tableau. I.6 : Quelques maladies hydriques	12
Tableau .IV.1 : Consommation et prix des réactifs chimiques	54
Tableau. IV.2 : Comparaison entre les filtres AQUAZURE et les filtres DYNASAND.....	57
Tableau. V.1 : Influence du procédé de coagulation-floculation sur filtre sur le taux d'élimination de la turbidité.....	62
Tableau. V.2 : Présence de l'Aluminium dans l'eau.....	64
Tableau. V.3 : Taux du THM dans l'eau traitée.....	64
Tableau. V.4 : Consommation en produits chimiques.....	65
Tableau .V.5 : Superficie d'occupation des éléments de traitement	65
Tableau. V6 : Comparaison entre les deux procédés.....	65

Liste des figures

Figure II.1 : Temps de décantation des différentes particules en fonction de leurs dimensions	21
Figure II.2 : Coagulation-Floculation.....	22
Figure II.3 : Essais au Jar-Test	25
Figure II.3 : Distribution ionique autour d'une particule colloïdale Electronégative.....	26
Figure II.5 :Floculateur à pales.....	27
Figure II.6 : Décantation horizontale.....	29
Figure II.7 : Evolution de la turbidité de l'eau filtrée d'un filtre.....	32
Figure III.1 : Filtre à courant ascendant et à lavage continu avec circulation de sable	39
Figure III.2 : Filtres ouverts (gravitaires)	41
Figure III.3 : Filtration à sable à lavage continu.....	45
Figure IV.1 : Taux de chloration au mois de mars.....	50
Figure IV.2 : Variation du taux de coagulation en fonction de la variation de la turbidité de l'eau brute.....	51
Figure IV.3 : Variation mensuelle du taux du floculant.....	51
Figure IV.4 : Elimination de la turbidité par décantation.....	52
Figure IV.5 : Elimination de la turbidité par filtration.....	53
Figure V.1 : Variation de la turbidité d'eau brute et du débit au mois de mars...	59
Figure V.2 : Variation de la turbidité de l'eau brute et du débit le mois de Janvier.....	59
Figure V.3 :Influence de la turbidité de l'eau décantée sur la turbidité de l'eau filtrée.....	60
Figure v.4 : Influence du procédé de coagulation-floculation sur filtre sur le cycle de lavage.....	61

INTRODUCTION

Le traitement de l'eau, depuis des années et à nos jours, est une préoccupation des populations de la planète terre, et les besoins en eau potable sont en perpétuelle croissance, à cause de la charge polluante engendrée par l'environnement et l'industrie.

Les besoins en eau de qualité et en quantité suffisante des différents usagers, ainsi que le développement scientifique dans le domaine de santé et de l'environnement, nous incitent à contribuer dans le domaine de l'amélioration des procédés de traitement, dans le but de répondre aux critères d'efficacité et d'économie.

Nous nous sommes intéressés, dans ce présent mémoire, aux eaux de surface qui se trouvent disponibles et faciles à traiter. Nous cherchons à améliorer les techniques de traitement des eaux de surface, en réalisant des travaux de recherche sur une station de traitement classique en phase d'exploitation.

Vue la nature des eaux de surface qui nécessite l'élimination de la matière organique et de la turbidité souvent élevée, nous avons effectué des analyses sur le taux d'élimination de la turbidité, le rendement de traitement des principaux procédés (décantation et filtration), la présence de l'Aluminium dans les eaux traitées et l'influence du procédé de désinfection sur la qualité de l'eau traitée. En fin de recherche, nous avons proposé des solutions concrètes et efficaces à ces différentes préoccupations.

Le recours aux procédés membranaires est une des voies de résolution des problèmes rencontrés au niveau de la station de traitement conventionnel. Ces procédés nous permettent d'atteindre un taux infime de matière organique dans l'eau potable, de réduire la consommation des produits chimiques (coagulant et floculant), d'opposer une barrière physique aux virus, aux bactéries et aux parasites.

Des études comparatives ont été établies entre le système classique et le système membranaire, et des résultats remarquables ont été obtenus, en matière de qualité d'eau traitée et de coût d'investissement, par l'utilisation de membranes.

Ce mémoire sera consacré d'abord à des rappels sur les eaux de surface, les différents procédés de leur traitement, ainsi que les différentes techniques de filtration à sable, présentés respectivement aux chapitres I, II et III. L'étude de l'exploitation de la station de BOUDOUAOU sera présentée au quatrième chapitre. Le cinquième chapitre portera sur l'interprétation des résultats obtenus et les solutions proposées.

INTRODUCTION

Les eaux de surface sont constituées par toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (étangs et lacs) ou artificielles (retenues, barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour souvent élevé.

Il s'agit d'une ressource facilement accessible mais malheureusement fragile et vulnérable, la pollution la rendant souvent impropre à l'utilisation en l'absence d'un traitement préalable.

Les eaux de surface se répartissent en trois catégories : eaux de rivière (partie amont), eaux de rivière (partie aval) et les eaux de lac. La dureté de toutes ces eaux de surface est modérée.

I.1. LES EAUX DE RIVIERE (PARTIE AMONT)

L'amont d'une rivière est situé généralement dans une région montagneuse, où la densité de la population est faible et les industries pratiquement inexistantes. Les principales caractéristiques de ces eaux sont citées ci-dessous :

- a) Du fait que le régime d'écoulement des rivières est torrentiel, les eaux transportent de grandes quantités de matières en suspension (MES) induisant une élévation de la turbidité.
- b) Une faible contamination bactérienne : La pollution causée par l'homme et l'industrie est quasi inexistante dans la partie amont des rivières.
- c) Un faible température (eau froide) : Les eaux de rivière proviennent soit des sources, soit de la fonte de neige et des glaces.
- d) Un faible indice de couleur : Ces eaux n'ont pas eu le temps de dissoudre les matières végétales, principales sources de couleur. [3]

I.2. LES EAUX DE RIVIERE (PARTIE AVALE)

L'aval d'une rivière est en générale situé dans une région où la population est dense. Les eaux sont habituellement de moins bonne qualité et plus difficile à traiter qu'en amont. Les principales caractéristiques de ces eaux sont présentées ci-dessous :

- La contamination bactérienne est élevée.
- La contamination organique et inorganique peut être élevée à cause des eaux usées domestiques, agricoles et industrielles qui contiennent de grande quantité de matières organiques et inorganiques.
- L'indice de couleur pouvant être élevé dans certains cas : Les eaux ont eu le temps de dissoudre les matières organiques qui les colorent. [3]

I.3. LES EAUX DES LACS

On peut considérer les lacs comme étant des bassins naturels de décantation, dont la période de rétention est longue. La turbidité de l'eau y est donc peu importante et la contamination bactérienne habituellement faible.

Les caractéristiques des eaux des lacs varient très lentement au cours de l'année, à l'exception de l'automne et du printemps. Durant ces périodes, la différence de température entre les eaux de surfaces et les eaux profondes, peut provoquer un renversement des eaux du lac et augmenter ainsi brusquement la turbidité.

I.4. CARACTERISTIQUES GENERALES DES EAUX DE SURFACE

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

I.4.1. GAZ DISSOUS

Présence de gaz dissous dans les eaux de surface est quasi-générale, en particulier l'oxygène. [3]

I.4.2. MATIERES EN SUSPENSION

Présence de matières organiques d'origine naturelle provenant de la décomposition des organismes végétaux ou animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière, et qui se décomposent après leur mort (végétaux animaux...), [3]

I.4.3. PLANCTON

Présence de plancton : Les eaux de surface sont le siège d'un développement important de phytoplancton (algues...) et de zooplancton. Dans certaines conditions,

une vie aquatique intense peut se développer, comme le développement de végétaux macrophytes, de poissons, etc.

I.4.4. VARIATIONS JOURNALIERES

Différence de température, d'ensoleillement ou saisonnières : Les variations climatiques (température, fonte des neiges), de végétation (chute des feuilles) peuvent être aléatoires, comme les pluies soudaines, les orages, les pollutions accidentelles. Dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface (plan d'eau) jusqu'au fond de la retenue (O₂, Fe, Mn, oxydabilité, plancton.....). Le profil de chacun de ces paramètres varie lui-même en fonction des périodes de l'année. [8]

I.4.5. POLLUTION ORGANIQUE CONDUISANT SOUVENT A L'EUTROPHISATION DES EAUX

Le terme eutrophisation caractérise un phénomène d'évolution de la qualité des eaux des lacs et des retenues artificielles. Il est souvent étendu aux eaux de rivières.

L'évolution des eaux des lacs peut se résumer de la façon suivante - un lac jeune et profond est oligotrophe - les eaux y sont bleues et transparentes, l'oxygène dissous est présent jusqu'au fond et la biomasse est peu abondante. Au cours de son vieillissement, le lac s'enrichit en matières organiques, à cause de sa production primaire photosynthétique (algues) et des apports extérieurs. Il devient alors successivement mésotrophe puis eutrophe. [8]

I.4.6. POTABILITE DES EAUX DE SURFACE

Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement et, généralement, polluées bactériologiquement. De plus, elles peuvent présenter plusieurs types de pollution :

- Pollution d'origine urbaine : Les rejets provenant de la collecte des Eaux Résiduaires Urbaines –ERU- (métabolisme de l'homme, confort domestique), après leur traitement en station d'épuration,
- Pollution d'origine industrielle : Les polluants et micropolluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacque, produits toxiques),

Tableau I.1 : Paramètres caractéristiques des eaux de surface

Caractéristiques	Commentaire
Température	Variable suivant les saisons
Turbidité, MES (vraies ou colloïdales)	Variables, parfois élevées
Couleur	Liée surtout aux MES (argile, algue,...) Sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques).
Minéralisation globale	Variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	Généralement absents, sauf en profondeur des eaux en état d'eutrophisation.
CO ₂ agressif	Généralement absent.
O ₂ dissous	Le plus souvent au voisinage de la saturation.
H ₂ S	Absence dans le cas d'eau très polluée.
NH ₄	Généralement absent
Nitrates	Présent seulement dans les eaux polluées.
Silice	Peu abondant en général.
Micropolluants minéraux et organiques	Teneur en général modérée. Présents dans les eaux des pays développés. Mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source.
Eléments vivants	Bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal).
Solvants chlorés	Rarement présents
Caractère eutrophie	Fréquent, accentué par les températures élevées.

I.5. GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES EAUX DE CONSOMMATION

Un des facteurs majeurs qui gouvernent le développement de sociétés humaines est la préoccupation d'obtenir et de maintenir un approvisionnement adéquat en eau. Le fait de disposer d'une quantité d'eau suffisante a dominé les premières phases de développement. Cependant, les augmentations des populations ont poussé à puiser intensivement dans les sources en surface de bonne qualité, qui non seulement sont en quantité limitée, mais ont été aussi contaminées et abandonnées au gaspillage menant à leur diminution et à la détérioration de leur qualité. Par conséquent, l'eau ne pourra plus être oubliée par le processus de développement, du point de vue qualité.

La conséquence inévitable de l'augmentation de la population et du développement économique est le besoin de concevoir des installations de traitement pour fournir une eau de qualité acceptable issue de sources en surface contaminées.

La production d'eau potable peut être définie comme la manipulation d'une source d'eau pour obtenir une qualité de l'eau qui satisfait à des buts spécifiés ou des normes érigées par la communauté au travers de ses agences régulatrices.

Il est nécessaire de traiter l'eau chaque fois que l'un des paramètres analytiques est supérieur aux normes en vigueur dans le pays considéré. L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) établit pour chaque paramètre, des recommandations qui doivent être adaptées dans chaque pays, en fonction de l'état sanitaire et des considérations économiques de ce pays, pour aboutir aux normes réglementaires nationales.

I.6. CRITERES DE CHOIX DE L'EAU A TRAITER

Le choix de l'eau à traiter avant distribution dépend de plusieurs facteurs. Pour chacune des ressources dont on dispose (eau souterraine, eau de surface courante ou stockée), on évalue :

I.6.1. LA QUANTITE

La "source" doit être capable de fournir, en toute circonstance, la quantité d'eau nécessaire. Dans les pays à précipitations très variables, il peut être nécessaire de prévoir un barrage pour retenir pendant les périodes de pluies la quantité dont on aura besoin en période sèche,

I.6.2. LA QUALITE

La qualité de l'eau brute dont on dispose doit être compatible avec la législation en vigueur dans certains pays. Il faut déterminer le procédé de traitement le mieux adapté pour potabiliser cette eau. Ce procédé doit être évalué en tenant compte de la variabilité de la qualité de l'eau au cours des années précédentes (variations journalières, saisonnières, climatiques) et des variations potentielles que l'on peut supposer pour le futur (construction d'un barrage par exemple). Il faut, en outre, se rappeler que, l'eau souterraine n'est pas synonyme d'eau pure.

De nombreuses nappes sont, en effet, polluées soit bactériologiquement, soit par des nitrates, des produits phytosanitaires, des solvants chlorés ou des hydrocarbures.

I.6.3. L'ECONOMIE

Il faut ensuite comparer les coûts d'investissement et de fonctionnement relatifs à chacune des ressources disponibles, pour assurer à la fois la quantité et la qualité de l'eau à distribuer en estimant le stockage et le transport de l'eau brute, le traitement de l'eau, le stockage et le transport de l'eau traitée.

I.7. NORMES DE TRAITEMENT

Il est à noter que beaucoup de pays ont leurs propres normes. Pour les pays européens, chacun a ses propres normes conformes à un degré élevé aux normes de la communauté européenne. Lorsqu'il n'existe pas de normes nationales, on adopte les normes de l'OMS en général (Organisation Mondiale de la Santé). Les normes de l'OMS sont assez tolérantes pour certains critères (ex : turbidité), pour tenir compte des moyens financiers et matériels limités de certains pays en voie de développement.

Les normes résultant de ces règlements sont données dans les tableaux 2, 3 et 4.

Tableau I.2 : NORMES FRANÇAISES DE POTABILITE
Teneurs maximales admissibles dans les eaux de distribution publique

CRITERES PHYSICO-CHIMIQUES (Impératifs)	
- Turbidité (mastic)	: 15 gouttes (30 gouttes dans des circonstances exceptionnelles)
- Couleur (ppm Pt-Co)	: 20
- Pouvoir colmatant	: 0.1
- Odeur, Saveur	: Absence
- Indices chimiques de pollution	: Absence
- Fe (mg/l)	: 0.2
- Mn (mg/l)	: 0.1
- Zn (mg/l)	: 5.0
- As, Se (mg/l)	: 0.05
- Pb (mg/l)	: 0.1
- Fluorures, Cu (mg/l)	: 1.0
- Cr hexavalent, Cn^- (mg/l)	: Teneur inférieure au seuil de détermination analytique
- Phénols	: Absence
- Algues, éléments figurés	: Absence
- Minéralisation totale (g/l)	: 2
- NO_3 (mg/l NO_3)	: 44 (Soit 10 mg/l de NO_3)
<u>Souhaitables :</u>	
- TH (0F)	: 30 (optimum : 12 à 15)
- Cl_2 résiduel (mg/l)	: 0.1
- Magnésium Mg (mg/l)	: 125
- Chlorures (mg Cl_2^-/l)	: 250
- Sulfates (mg SO_4/l)	: 250
CRITERES BACTERIOLOGIQUES (impératifs)	
- Escherichia coli	: Absence dans 50 ml pour une eau non traitée ; absence dans 100 l pour une eau traitée
- Streptocoques Fécaux	: Absence dans 50 ml
- Clostridium sulfitoréducteur	: Absence dans 20 ml (eau non traitée)

Tableau I.3 : Normes Européennes applicables à l'eau de boisson- Substance dont la concentration dans l'eau de boisson devrait être contrôlée.

Substance	Nature des effets possibles	Concentration approximative au-delà de laquelle les effets risquent de se produire	Méthodes de dosage
Détergents anioniques	Goût désagréable et formation de mousse	0.2 mg/l	Extraction au bleu de méthylène
Ammoniac en (NH)	Présence d'organismes Risque de corrosion des canalisations Difficulté de chloration	0.06 mg/l	A) Réaction de Nessler après distillation B) Réaction de Nessler après traitement par le sulfate de zinc et l'hydroxyde de sodium
Anhydride carbonique libre (en CO ₂)	Goût et odeur désagréables Corrosion Prolifération d'organismes	Pour l'anhydride carbonique agressif (zéro)	a) Titrage au carbonate et sodium, en présence de phénolphthaléine comme indicatrice b) Pour l'analyse carbonique agressif dans les eaux dures : test du marbre, au moyen de carbonate de calcium en poudre
Oxygène dissous	Goût et odeur désagréables Corrosion Prolifération d'organismes. Si la concentration d'oxygène dissous est inférieure à 5 mg/l, la formation d'un dépôt protecteur dans les canalisations sera entravée et tout l'anhydride carbonique libre d'une eau non agressive sera susceptible de corroder les conduites en fonte ou en acier	De préférence un minimum de 5 mg/l	a) électrométrie b) de Winkler ou une de ses variantes
Dureté totale	Dépôt de calcaire excessif Danger de dissolution des métaux lourds si le degré de dureté est inférieur à la limite recommandée	Entre 2 et 10 mg/l (100 à 500 mg/l de CaCO ₂)	a) au versénate (EDTA) en présence de noir Eriochrome T indicateur b) Calcul à partir de la teneur en cations calcium et magnésium et autres responsables de la dureté de l'eau lorsque leur quantité est notable.

- a) Les substances de référence utilisées varient selon les pays.
b) Le dosage du dioxyde de carbone libre de préférence sur place.

Tableau I.4 : Eléments toxiques ou indésirables dans l'eau potable
Concentrations maximales admissibles selon la Directive Européenne (DE)

Eléments	Eléments dosés	Concentrations maximales admissibles mg/l
Aluminium	Al	0.2
Argent	Ag	0.01
Arsenic	As	0.05
Cadmium	Cd	0.005
Cyanures	CN	0.05
Chrome	Cr	0.05
Cuivre	Cu	0.05
Fluor	F	1.5
Fer	Fe	0.2
Mercure	Hg	0.001
Manganèse	Mn	0.05
Nickel	Ni	0.05
Phosphore	P	2
Plomb	Pb	0.05
Antimoine	Sb	0.01
Sélénium	Se	0.01
Zinc	Zn	0.1

Tableau I.5 : Substances dont la présence en quantité excessif dans l'eau peut présenter des inconvénients

Substance	Nature des effets possibles	Concentration approximative au-delà de laquelle les effets risquent de se produire	Méthodes de dosage
Composés phénoliques (en phénol)	Goût désagréable notamment dans les eaux chlorées	Moins de 0.001 mg/l	a) Chlorométrie, de préférence après distillation a) à l'acide sulfanilique diazoté b) à l'indophénol c) à l' amino-4-antipyrine d) à la p-nitraniline
Fluorure en (F)	Fluorure	1.7 mg/l	a) Colorimétrie au réactif zirconium-altiaine. Les facteurs gênants (couleur, turbidité, chlore, phosphate) seront éliminés ou l'échantillon sera préalablement distillé b) Méthode électrochimique, électrode Orion c) Méthode colorimétrique SPADINS
Nitrate (en NO ₃)	Danger de méthémoglobinémie infantile si l'eau est consommée par des nourrissons	Recommandée : Moins de 50 mg/l Acceptable : De 50 à 100 mg/l Déconseillée : Plus de 100 mg/l b, c	a) à l'acide phénoldisulfonique b) à la brucine c) Réduction par le couple zinc-cuivre, puis dosage de l'ammoniaque au réactif de Nessler, soit directement soit après distillation d) Méthode à l'acide salicylique
Cuivre en (Cu)	Saveur astringente Coloration parasite Corrosion des canalisations, des joints et des ustensiles	0.05 mg/l à la station de pompage : 3 mg/l après 16 heures de contact avec des canalisations neuves	a) Spectrophotométrie d'absorption atomique b) Colorimétrie au diéthylcarbamate c) au cuprétol d) à la bathocupréine
Fer (totale, en Fer)	Goût désagréable Coloration parasite Dépôts dans les canalisations Turbidité	0.1 mg/l à l'entrée de l'eau dans le réseau	Colorimétrie a) à la phénantroline b) au thlocyanate c) au dipyridyle d) réduction des sels ferriques et formation d'un complexe fer-diméthyle-glyoxime e) méthode à l'acide thyoglycolique
Manganèse (en Mn)	Goût désagréable Coloration Parasite Dépôts dans les canalisations Turbidité	0.05 mg/l	Colorimétrie a) au persulfate b) au periodate c) spectrophotométrie d'absorption atomique

Substance	Nature des effets possibles	Concentration approximative au-delà de laquelle les effets risquent de se produire	Méthodes de dosage
Zinc	Saveur astringente Opalescence et dépôts granuleux dans les canalisations	5 mg/l	a) Colorimétrie à la dithizone b) Micro titrage au ferrocyanure de potassium c) spectrophotométrie d'absorption atomique
Magnésium (Mg)	Dureté Goût désagréable	Pas plus de 30 mg/l si l'eau contient 250 mg/l de sulfate ; s'il y a moins de sulfate, la tolérance pour le Mg peut atteindre 125 mg/l	a) au versénate (E.D.T.A) : précipitation du calcium sous forme d'oxalate et dosage du magnésium dans le surnageant en présence de noir Eriochrome T indicateur b) Spectrophotométrie au jaune thiazole c) Spectrophotométrie d'absorption atomique

Tableau I.6 : Quelques maladies hydriques

Organismes	Maladies	Principal système atteint
1- Bactéries : Salmonella hyphipara A.B.C Salmonella choleraesris Salmonella anthéridie Vibrio choléra Escherichia coli Hycobactérium	Fièvre typhoïde Fièvre entérique Gastro-entérites Choléra Gastro-entérites Tuberculose	Systèmes gastro-intestinal Intestins Système gastro-intestinal Poumons
2- Protozoaires : Entamoebahistolotica Naegleria gruberi	Amibiase Méningite encéphalique Amibienne	Système gastro-intestinal Système nerveux central
3- Vers parasites : Taenia saginata Ascaris lubricoides Schistozoma Kansoni japonica Hematobium	Ascariase Schistosema	Intestin grêle Reins

I.8. LES PARAMETRES DE QUALITE DE L'EAU

I.8.1. LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

Pour traiter l'eau, il y a besoin de la connaître et donc de pouvoir la caractériser le plus précisément possible.

Les principaux paramètres pour le choix de la filière de traitement sont surtout la couleur, la turbidité, la nature et le poids des Matières En Suspensions (M.E.S), le nombre de coliformes totaux de streptocoques fécaux, d'Escherichia coli et la présence de salmonella.

Ajoutant à ces paramètres, les variations saisonnières du phytoplancton (algues), des indices de pollution chimique, la détection et le dosage de micropolluants minéraux (métaux lourds) et organiques (pesticides, phénols, détergents, hydrocarbures...). Les paramètres répertoriés ci-dessous sont les plus courants.

I.8.1.1. LA TURBIDITE

En relation avec la mesure des matières en suspension, elle donne une première indication sur la teneur en matières colloïdales d'origine minérale ou organique.

I.8.1.2. LA COULEUR

La couleur est due le plus souvent à la présence de matières organiques dissoutes ou colloïdales issue de la décomposition de la flore et de la faune. Ce sont, en général, les substances humiques (acides humiques et foliques) qui confèrent à l'eau une forte coloration.

I.8.1.3. MATIERES EN SUSPENSION

Ce paramètre englobe tous les éléments en suspension dans l'eau, dont l'origine peut être minérale ou organique. A ces composés s'ajoute les micro-organismes tels que les bactéries, planctons, algues et virus. Elles sont responsables de la turbidité et de la couleur.

I.8.1.4. LE pH

Une connaissance exacte du pH est essentielle dans le domaine de la qualité physique et de la teneur des ouvrages (agressivité, corrosivité, entartrage) et des traitements de correction.

I.8.1.5. LES SUBSTANCES MINÉRALES DISSOUTES

Pour leurs plus grande part, les substances minérales dissoutes proviennent de l'attaque des sols et des roches par les eaux au cours de leur ruissellement en surface ou de leur cheminement au sein de la croûte terrestre. Cette attaque résulte des processus complexes faisant intervenir principalement la dissolution proprement dite, l'hydrolyse, l'oxydation, la carbonatation, les actions biologiques. La vitesse et le résultat final de l'attaque dépendant de la composition initiale de l'eau, de la nature de la faune et de la flore. [2]

Les éléments présents dans l'eau en quantité importante sont :

- Les Cations : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , NH_4^+ .
- Les Anions: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- .

I.8.1.6. LE CARBONE ORGANIQUE TOTAL(COT)

Le Carbone Organique Total (COT) représente la teneur en carbone lié à la matière organique. La mesure de la quantité de CO_2 dégagé après une oxydation complète de la matière organique donne la valeur du COT. La teneur en COT reste relativement faible dans les eaux naturelles.

I.8.1.7 RESISTIVITE

La résistivité est liée à la quantité d'ions présents et à leur mobilité. Pour les solutions diluées et lorsque les corps sont totalement dissociés, la variation de la résistivité est approximativement linéaire vis-à-vis de l'inverse de la concentration ionique. Par ailleurs, la mobilité ionique dépend de la température de certains ions tels que les bicarbonates, la silice, etc.

I.8.1.8 TITRE ALCALIMÉTRIQUE (TA) ET TITRE ALCALIMÉTRIQUE COMPLET (TAC)

Les valeurs relatives du Titre Alcalimétrique (TA) et du Titre Alcalimétrique Total (TAC) permettent de connaître les teneurs en hydroxydes, carbonates ou hydrogénocarbonates alcalins ou alcalinoterreux contenus dans l'eau. Le TA permet donc de déterminer, en bloc, la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate. Le TAC assure donc la détermination de la teneur en hydrogénocarbonates. Dans certaines eaux très polluées (résiduaires), le TAC recouvre aussi des acides organiques (acétiques...).

I.8.1.9. DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE (DBO₅)

C'est la quantité d'oxygène consommée à 20 °C et à l'obscurité pendant un temps donné pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques présentes dans l'eau. On utilise conventionnellement la DBO₅, c'est-à-dire la quantité d'oxygène consommé après 5 jours d'incubation. La DBO₅ n'est représentative normalement que de la pollution organique carbonée biodégradable.

I.8.1.10. DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE

La DCO est la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables présentes dans l'eau. Ce paramètre représente la majeure partie des composés organiques ainsi que des sels minéraux oxydables. Sa valeur doit être réduite le plus possible pour que l'eau soit apte à être consommée.

I.8.1.11. Azote Kjeldahl (NTK)

L'Azote Kjeldahl (NTK) regroupe l'azote présent sous forme organique et celui sous forme ammoniacal.

I.8.1.12. Azote global (NGL)

Le terme NGL couvre l'ensemble des formes azotées présentes dans une eau, c'est-à-dire azote organique, azote ammoniacal, nitrite et nitrate. Il correspond donc à l'addition au terme NTK des formes oxydées de l'azote.

I.8.1.13. Les paramètres bactériologiques**I.8.2 Les Bactéries et virus**

Les bactéries test de contamination fécale sont apportées par les rejets d'eaux résiduaires urbaines effectués dans l'environnement, que ce soit avec ou sans traitement. Ces bactéries sont le révélateur d'une contamination possible par des bactéries ou virus, pathogènes pour l'homme.

Le développement de germes banals peut créer de graves problèmes dans les réseaux de distribution: consommation de l'oxygène dissous, corrosion, apparition de mauvais goûts.

I.8.3 Micro-organismes divers phytoplancton et zooplancton

Les eaux de surface contiennent de nombreux organismes constituant le phytoplancton et le zooplancton. Plusieurs de ces organismes, dont certains Actinomycètes et certaines Cyanophycées, sécrètent des composés (comme la géosmine) donnant à l'eau un goût et une odeur désagréable. D'autres sont pathogènes pour l'homme (amibes).

La présence d'algues et de macroorganismes dans le réseau (Aselles, Copépodes, Nématodes) est désagréable pour le consommateur, et leur développement peut aboutir à des désordres importants (prolifération, dépôts, apparition de conditions anaérobies).

De plus, pendant leur développement ou au moment de leur mort, certains microorganismes (Cyanophycées par exemple) émettent des métabolites toxiques pour les animaux supérieurs. [3]

INTRODUCTION

Nous allons présenter dans ce chapitre les étapes générales d'une chaîne de traitement d'eau potable la plus complète et la plus courante, appliquée à une eau de surface, et qui comporte des traitements à large spectre d'action sur tels que prétraitement, oxydation, clarification, désinfection et affinage.

II.1. STOCKAGE D'EAU BRUTE

Le stockage d'eau brute présente un intérêt dans le cas de sécheresse prolongée (baisse du débit des rivières, avec souvent altération de la qualité de l'eau). Le volume d'eau brute emmagasinée doit permettre de répondre à la demande en eau de la période la plus longue envisagée en matière de déficit en eau.

Le stockage présente également un intérêt lorsqu'il y a une pollution accidentelle qui détériore la qualité de l'eau brute de façon inacceptable pour l'installation de traitement, comme la pollution accidentelle industrielle des cours d'eau. On peut arrêter le pompage en rivière pour utiliser l'eau stockée, en évitant ainsi l'arrêt de la production d'eau traitée.

Avec des conditions géographiques et climatiques favorables à la vie planctonique, l'emmagasinage d'eau brute présente certains inconvénients. On a constaté, lorsque le temps de stockage est insuffisant, un développement important d'algues et de champignons dont les métabolites peuvent communiquer un goût désagréable à l'eau. Si le temps de rétention dans la réserve est suffisant (de l'ordre de 01 mois), il se développe un zooplancton capable de réduire certains de ces inconvénients. Parallèlement, certaines caractéristiques de l'eau peuvent s'améliorer : Diminution de la teneur en MES, en ammonium et de la flore bactérienne. [5]

II.2. DISPOSITION A PRENDRE AU NIVEAU DE LA PRISE D'EAU

En rivière, il faut adapter la prise d'eau aux différents matériaux grossiers que cette eau peut contenir. La bonne conception d'une prise d'eau est le point de départ du traitement.

Dans un lac à niveau sensiblement constant la cote du point de prélèvement de l'eau doit être choisie de telle façon que tout au long de l'année les teneurs de l'eau en matières en suspension (MES), en matières colloïdales, en fer ou en manganèse, en plancton, soient les plus faibles possibles.

Si le lac est d'assez grande profondeur, on a, en général, intérêt à prélever l'eau à une profondeur de 30 - 35 m de la surface; l'influence de l'éclairement devient alors assez faible pour assurer une teneur limitée en plancton, surtout lors des périodes de grande prolifération.

Il faut cependant que ce prélèvement s'effectue au moins à 6-8 mètres au-dessus du fond pour éviter d'être fortement influencé par le mouvement des particules déposées et les courants de fond.

Il faut enfin tenir compte des possibilités de "retournement" des eaux du lac, phénomène qui se produit sous l'influence des variations de température (inversion). Une prise construite sur une retenue à plan d'eau variable, celle d'un barrage par exemple, doit tenir compte des mêmes phénomènes, ce qui conduit systématiquement à concevoir des tours de prise permettant des prélèvements à différentes hauteurs suivant les saisons.

Une prise construite en rivière doit être conçue pour se prémunir contre les différents corps charriés: terre, sable, feuilles, joncs, herbes, débris d'emballages- en particulier en plastique, corps flottants, nappe de mousse ou d'hydrocarbures, etc. Il n'existe pas un modèle de prise idéal, mais des types de prise adaptés non seulement au charriage de la rivière mais aussi à son régime, à la nature et au dessin des rives, ainsi qu'aux possibilités de navigation et d'accès. Ceci peut conduire à des prises par le fond, des prises latérales, des prises par siphon, etc. Chaque cas demande un examen particulier. [5]

II.3. PRETRAITEMENT

Une eau, avant d'être traitée, doit être débarrassée de la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs. Pour éviter les baisses de rendement de traitement, on effectue des prétraitements de l'eau de surface. Dans le cas d'une eau potable, les prétraitements sont principalement de deux types :

- Dégrillage
- Tamisage

II.3.1. DEGRILLAGE

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

II.3.2. LE MICROTAMISAGE

Les micro-tamis sont constitués par un tissu métallique au vide de maille de 20 à 60 μm , ils sont obligatoirement autonettoyants.

Leur usage est utile dans le cas des eaux chargées de micro-organismes de type plancton qui sédimente difficilement et qui engorgent très rapidement les filtres à sable. On les utilise généralement pendant les périodes de foisonnement du plancton dans les retenues et les lacs.

II.4. PREOXYDATION

L'oxydation est une opération essentielle à tout traitement des eaux. Elle est toujours incluse en fin de filière au niveau de la désinfection.

A l'issue du prétraitement, on a une eau relativement propre mais qui contient encore des particules colloïdales en suspension. Celles-ci n'ont en elles-mêmes rien de dangereux. Il nous arrive souvent de consommer de l'eau contenant du thé, du café, du vin ou du lait qui sont chargés en matières organiques, mais qui s'oxydent spontanément en présence d'air. On va les détruire dans la mesure du possible par une oxydation. Celle-ci peut être faite de trois façons différentes :

- Ajout de chlore (Déchloration)
- Ajout de dioxyde de chlore
- Ajout d'ozone (pré-ozonation)

II.4.1. PRECHLORATION

La préchloration est effectuée avant le procédé de clarification. Le chlore est le plus réactif et le plus économique, mais il a comme inconvénient de former avec certains micropolluants des composés organochlorés de type chloroforme ou des composés complexes avec les phénols de type chlorophénol dont le goût et l'odeur sont désagréables.

II.4.2. DIOXYDE DE CHLORE

On préfère utiliser le dioxyde de chlore qui coûte plus cher mais qui n'a pas les inconvénients de l'oxydation par le chlore cités ci-dessus. Ce type de traitement est cependant réservé à des cas spécifiques. En effet, l'utilisation du dioxyde de chlore présente, lui aussi, des inconvénients non négligeables comme sa décomposition à la lumière, ce qui entraîne une augmentation du taux de traitement à appliquer en période d'ensoleillement.

En conclusion, le dioxyde de chlore est un oxydant plus puissant que le chlore qui représente une alternative intéressante à l'utilisation du chlore lorsque celui-ci entraîne des problèmes de qualité d'eau.

II.4.3. PREOZONATION

Enfin, depuis quinze à vingt ans, on utilise comme oxydant l'ozone, qui non seulement a l'avantage de détruire les matières organiques en cassant les chaînes moléculaires existantes, mais également a une propriété virulicide très intéressante, propriété que n'a pas le chlore. Généralement utilisée en désinfection finale, cette technique peut être mise en oeuvre en oxydation. Elle peut aussi être employée pour l'amélioration de la clarification.

L'un des avantages d'une préozonation est l'oxydation des matières organiques, et une élimination plus importante de la couleur. Un autre avantage est la diminution du taux de traitement (taux de coagulant) dans le procédé de clarification. En somme, la préozonation est une solution de substitution à la préchloration. On évite ainsi les problèmes liés aux sous-produits de la chloration. Néanmoins, ce procédé ne résout pas tous les problèmes car certaines algues résistent à l'ozone. De plus, son coût reste beaucoup plus élevé que celui du chlore.

II.5. CLARIFICATION

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension (MES) minérales et organiques d'une eau brute, ainsi que des matières organiques dissoutes. Suivant les concentrations de l'un et de l'autre des différents polluants, on peut être amené à pratiquer des opérations de plus en plus complexes qui vont de la simple filtration avec ou sans réactif jusqu'à la coagulation – floculation – décantation ou flottation – filtration.

II.5.1. COAGULATION-FLOCCULATION

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

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique de clarification des eaux. Il consiste en la formation, par addition de coagulant, de trames floconneuses appelées « floccs ». Cette prise en masse suivie d'une décantation rapide, vise les particules colloïdales et les dispersions fines, mais également des substances dissoutes ou de grosses molécules hydrophiles en dispersion stable.

II.5.1.1. LES PARTICULES MISES EN JEU

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

- état de suspension qui regroupe les plus grosses particules
- état colloïdal
- état dissous de sels minéraux et de molécules organiques.

Cette classification résulte de la taille des particules. Les colloïdes présentent un diamètre compris entre 1 μm et 1 nm. Ils possèdent deux autres caractéristiques très importantes. Leur rapport surface/volume leur confère des propriétés d'adsorption des ions présents dans l'eau. Ce phénomène explique en partie l'existence de particules électriques à leur surface. Ces charges, souvent négatives, engendrent des forces de répulsion intercolloïdales.

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

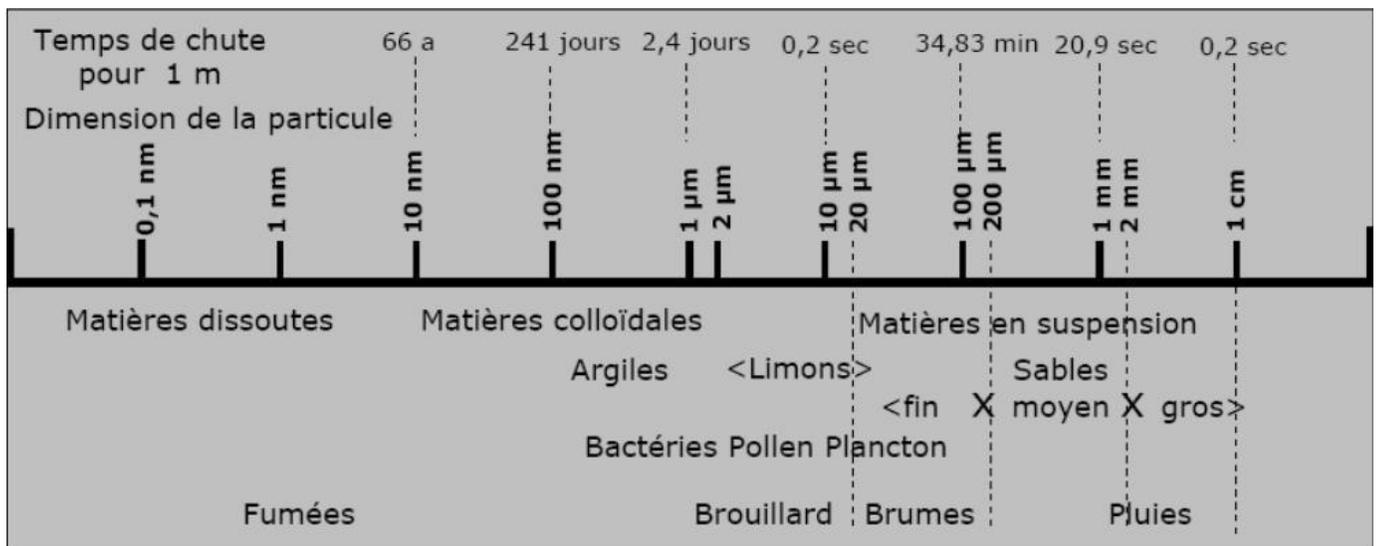


Figure II.1 : Temps de décantation des différentes particules en fonction de leur dimension.

On observe qu'à densité égale, les particules plus petites ont une durée de chute plus longue. Cela conduit à l'impossibilité pratique d'utiliser la décantation seule pour éliminer le maximum de particules. Cette remarque est surtout valable pour les colloïdes, c'est-à-dire les particules dont la taille est comprise entre 10⁻⁶ μm et 10⁻⁹ μm .

La chute d'une particule dans l'eau est régie par la loi de Stokes :

$$V = \frac{g}{18 \cdot \eta} \cdot (\rho_s - \rho_l) \cdot d^2$$

V : vitesse de décantation de la particule (m/s),

g : accélération de la pesanteur (m/s²),

η : viscosité dynamique (Pa.s),

ρ_s : masse volumique de la particule (kg/m³),

ρ_l : masse volumique du liquide (kg/m³),

d : diamètre de la particule (m)

Il apparaît clairement que plus le diamètre et la masse volumique de la particule sont grands plus la vitesse de chute est importante. Le but va être d'augmenter la taille et la masse volumique des particules pour que le temps de décantation devienne acceptable. [8]

II.5.1.2. BUT DE LA COAGULATION FLOCCULATION

L'opération de coagulation floculation a pour but la croissance des particules en suspension (qui sont essentiellement colloïdales) par leur déstabilisation, puis formation de floccs par absorption et agrégation. Les floccs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite. [8]

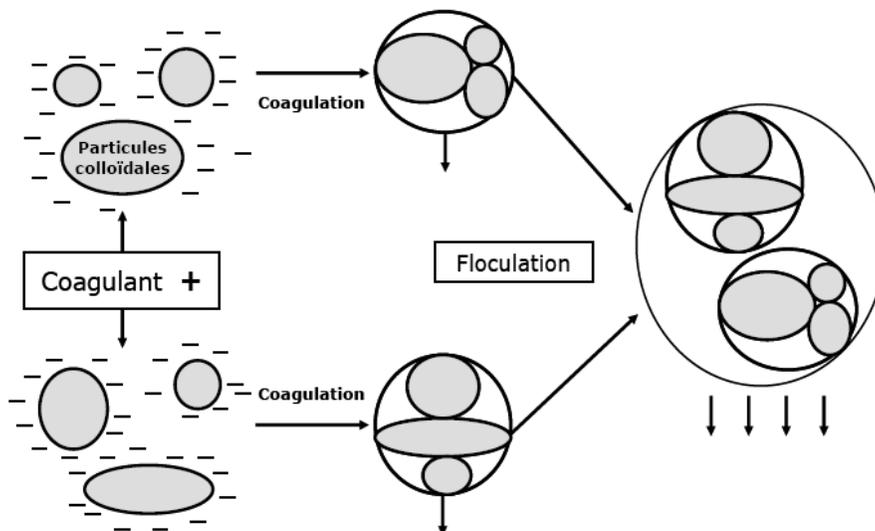


Figure II.2 : Coagulation floculation

II.5.1.3. LA COAGULATION

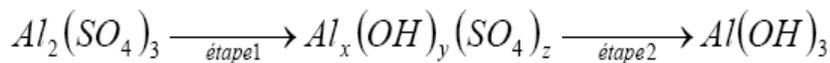
Les particules colloïdales en solution sont « naturellement » chargées négativement. Ainsi, elles tendent à se repousser mutuellement et restent en suspension. On dit qu'il y a stabilisation des particules dans la solution. La coagulation consiste dans la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives. On utilise, pour ce faire, des réactifs chimiques nommés coagulants. Le procédé nécessite une agitation importante. Les coagulants sont des produits capables de neutraliser les charges des colloïdes présents dans l'eau. Le choix du coagulant pour le traitement de l'eau de consommation doit tenir compte de l'innocuité du produit, de son efficacité et de son coût. Le type de coagulant et son dosage ont une influence sur :

- La bonne ou la mauvaise qualité de l'eau clarifiée,
- Le bon ou le mauvais fonctionnement de la floculation et de la filtration,
- Le coût d'exploitation.

Il existe deux principaux types de coagulant

- Les sels de fer (chlorure ferrique)
- Les sels d'aluminium (sulfate d'aluminium)

La mise en solution se déroule en deux étapes. Le cas du sulfate d'aluminium est très significatif. Les réactions peuvent être représentées de la façon suivante :



L'étape 1 est une phase d'hydrolyse. Des intermédiaires polychargés positifs se forment. Ces composés assez fugaces présentent un atome d'aluminium dont le nombre d'oxydation est très grand.

Ces intermédiaires polychargés positifs sont très efficaces pour neutraliser la charge primaire négative des colloïdes. Il s'agit de la véritable forme coagulante qui déstabilise les particules chargées négativement.

L'étape 1 dépend de la température et nécessite un pH compatible avec l'existence de ces intermédiaires polychargés. Le temps de formation de ces composés est de l'ordre de 0,5 seconde. La deuxième étape permet la formation du précipité $Al(OH)_3$ et dépend de l'agitation du milieu. Ce précipité est l'élément qui assure le pontage et la coalescence entre les colloïdes déstabilisés : c'est la forme floculante. Tout coagulant présente successivement les deux formes actives coagulante et floculante. Le maintien de cette dernière dépend du pH du milieu. Cette notion de pH permet de définir les zones optimales de coagulation-floculation.

Le choix du coagulant peut varier avec la température et la saison. Le sulfate d'aluminium, par exemple, est un coagulant utilisé pour une température d'eau supérieure à 10-12 °C. On peut rappeler également que plus un coagulant a des charges positives, plus son efficacité est grande. Par la suite, nous allons énumérer l'ensemble des paramètres influençant le bon fonctionnement du procédé de coagulation. [8]

A) L'INFLUENCE DU PARAMETRE PH

Le pH a une influence primordiale sur la coagulation. Il est d'ailleurs important de remarquer que l'ajout d'un coagulant modifie souvent le pH de l'eau. Cette variation est à prendre en compte afin de ne pas sortir de la plage optimale de précipitation du coagulant. La plage du pH optimal est la plage à l'intérieur de laquelle la coagulation a lieu suffisamment rapidement. En effet, une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation. En général, le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes. Le pH a également une influence sur l'élimination des matières organiques.

B) L'INFLUENCE DE LA DOSE DE COAGULANT

La dose de réactif est un paramètre à prendre en compte. Le coagulant qui est habituellement fortement acide a tendance à abaisser le pH de l'eau. Pour se placer au pH optimal, il est possible d'ajouter un acide ou une base. Une dose de coagulant excessive entraîne une augmentation du coût d'exploitation, tandis qu'un dosage insuffisant conduit à une qualité de l'eau traitée insuffisante. La quantité des réactifs ne peut pas se déterminer facilement. Des théories ont été élaborées sur les charges électriques nécessaires pour déstabiliser les colloïdes et on a mesuré un potentiel, appelé potentiel Zeta, à partir duquel apparaît un floc.

La difficulté principale est de déterminer la quantité optimale de réactif à injecter en fonction des caractéristiques de l'eau brute. A l'heure actuelle, il n'existe pas de modèle de connaissance simple qui permet de déterminer le taux de coagulant en fonction des différentes variables affectant le procédé. La détermination du taux de coagulant est effectuée par analyse hors ligne au laboratoire tous les jours, à l'aide d'un essai expérimental appelé « Jar-test » (Figure I.6.3). Cet essai consiste à mettre des doses croissantes de coagulant dans des récipients contenant la même eau brute. Après quelques instants, on procède sur l'eau décantée à toutes les mesures utiles de qualité de l'eau. La dose optimale est donc déterminée en fonction de la qualité des différentes eaux comparées. L'inconvénient de cette méthode est de nécessiter l'intervention d'un opérateur. On voit ici tout l'intérêt de disposer à l'avenir d'un moyen automatique pour effectuer cette détermination. [2]

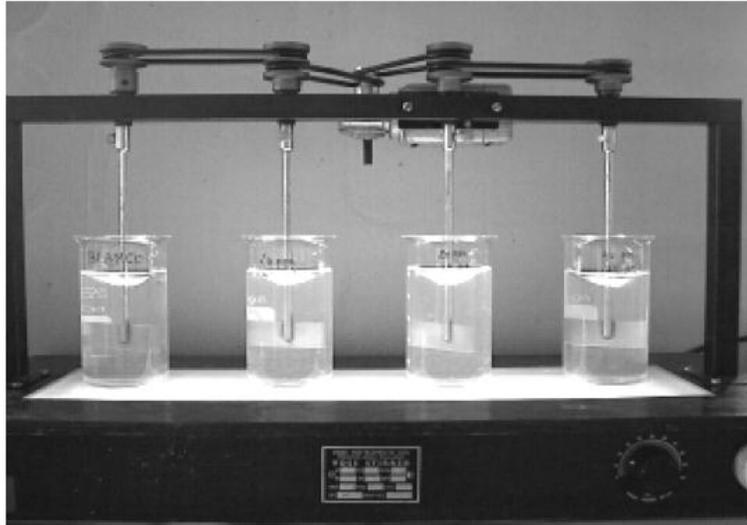


Figure II.3 : Essai « Jar-Test »

C) L'INFLUENCE DE LA TEMPERATURE

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

D) L'INFLUENCE DE LA TURBIDITE

La turbidité est, elle aussi, un paramètre influant sur le bon fonctionnement du procédé de coagulation. Dans une certaine plage de turbidité, l'augmentation de la concentration en particules doit être suivie d'une augmentation de la dose de coagulant. Quand la turbidité de l'eau est trop faible, on peut augmenter la concentration en particules par addition d'argiles. Dans le cas de fortes pluies, l'augmentation des MES favorise une meilleure décantation. Enfin, pour grossir et alourdir le floc, on ajoute un adjuvant de floculation. [3]

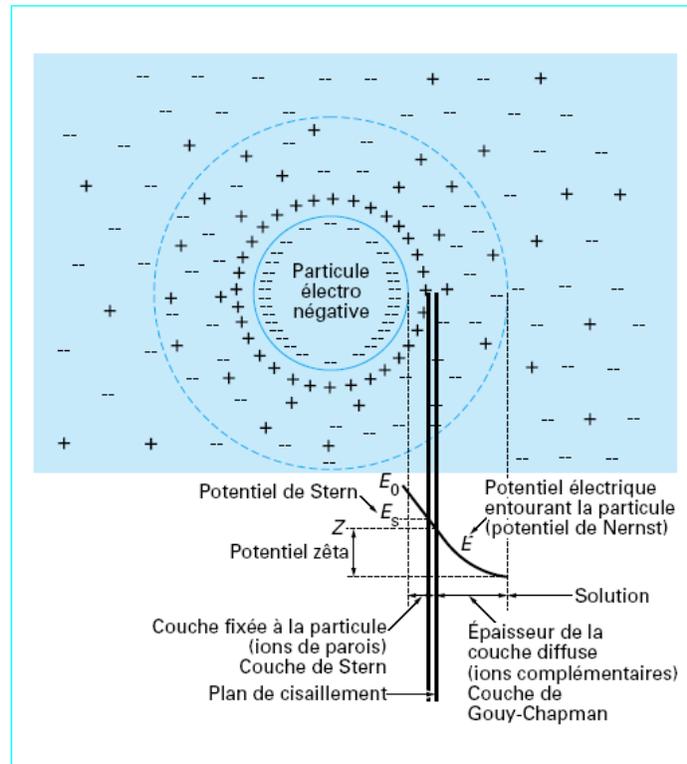


Figure II.4 : Distribution ionique autour d'une particule colloïdale électro-négative

II.5.1.4. LA FLOCCULATION

Pour favoriser la dispersion des réactifs dans l'eau à traiter et la formation consécutive de gros agglomérats, on introduit les coagulants et adjuvants en des endroits où règne une forte turbulence (chute, remous, agitation mécanique rapide, etc.) ; on parle de flash mixing ou de flash mélange et la durée de séjour ne doit pas excéder 2 min ; la notion d'énergie de dispersion est très importante.

On introduit ensuite l'eau dans un ouvrage où règne une turbulence faible mais non négligeable. Les microflocs formés au stade de l'agitation rapide voient leur dimension croître considérablement par effet de pontage notamment. En fait la floculation est un cas particulier de coagulation par adsorption; nous distinguons usuellement la floculation péricinétique (mouvement brownien des particules) et la floculation orthocinétique (liée au déplacement du fluide). L'ouvrage où se produit l'opération s'appelle un flocculateur (figure Figure II.6.5) ; il existe des flocculateurs statiques, de type à chicanes (section fixe ou croissante) et des flocculateurs dynamiques, les plus fréquents actuellement, à pales ou à équipages tournants, à un ou deux compartiments verticaux ou horizontaux.

Les quatre notions de base à retenir pour une bonne floculation sont :

- le brassage ne doit pas avoir d'effet destructif ;
- le temps de floculation qui doit se situer entre 10 et 30 min ;
- le gradient d'écoulement :

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

Avec :

- μ- viscosité dynamique,
- P- puissance dissipée par unité de volume (frottements) ;
- une totale absence de courts circuits hydrauliques.

La cohésion du floc peut être augmentée de deux façons :

- En introduisant dans la masse des flocons une partie des flocons constituant les boues en excès extraites lors de la décantation ;
- En maintenant une masse de flocons en expansion, que l'eau chargée de flocons, plus ou moins développés, traverse de bas en haut.

Dans certaines filières, dites compactes, le flocculateur peut ne pas exister séparément, mais le stade de la floculation est toujours ménagé, par exemple dans la partie inférieure d'un lit de boue ou d'un lit de microsable fluidisé ; dans ces derniers ouvrages, la floculation est accélérée et le temps de séjour réduit à quelques minutes. En effet, la grande surface développée, que présentent les grains de microsable, crée une zone importante de réactivité ; la cinétique de floculation est également plus élevée. [3]

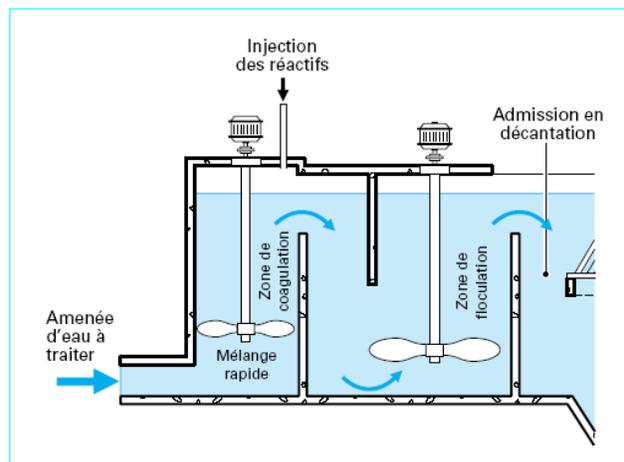


Figure II.5 : Flocculateur à pales

Une fois le floc formé, il faut le séparer de l'eau. C'est ce qu'on appelle la séparation solide-liquide. Elle peut s'effectuer par différents moyens :

- Coagulation sur filtre,
- Décantation,
- Flottation.

II.5.2. LA DECANTATION – FLOTTATION

Ces procédés sont des méthodes de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation-floculation. Si la densité de ces floes est supérieure à celle de l'eau, il y a décantation. L'eau clarifiée située près de la surface est dirigée vers des filtres à sable. Dans le cas de particules de densité inférieure à celle de l'eau, le procédé de flottation doit être appliqué.

II.5.2.1 LA DECANTATION

Dans la décantation, toute particule présente dans l'eau est soumise à deux forces. La force de pesanteur qui est l'élément moteur permet la chute de cette particule. Les forces de frottement dues à la traînée du fluide s'opposent à ce mouvement. La force résultante en est la différence.

a) Loi de Stokes

Loi de Stokes permet de définir la vitesse relative de chute d'une particule sphérique donnée dans un fluide immobile donné (ici l'eau) :

$$V_S = \frac{2g}{9} \frac{(\rho - 1)R^2}{M}$$

Avec :

- VS - Vitesse de Stokes,
- ρ - Masse volumique de la particule,
- R - Rayon de la particule,
- M - Viscosité du milieu,
- g - Accélération due à la pesanteur.

VS est donc avant tout une caractéristique de la particule.

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

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

La masse volumique moyenne du floc est d'environ $1,03 \text{ kg/dm}^3$; celle du floc lesté par du microsable passe à environ $1,6 \text{ kg/dm}^3$, ce qui permet de multiplier la vitesse de chute par un facteur pouvant idéalement atteindre 20. [3]

Par ailleurs, la vitesse de chute d'une particule est inversement proportionnelle à la viscosité du liquide, sur laquelle il n'est pas possible d'agir. Le fait que la viscosité varie inversement à la température constitue une des raisons pour lesquelles la décantation est plus lente en hiver qu'en été.

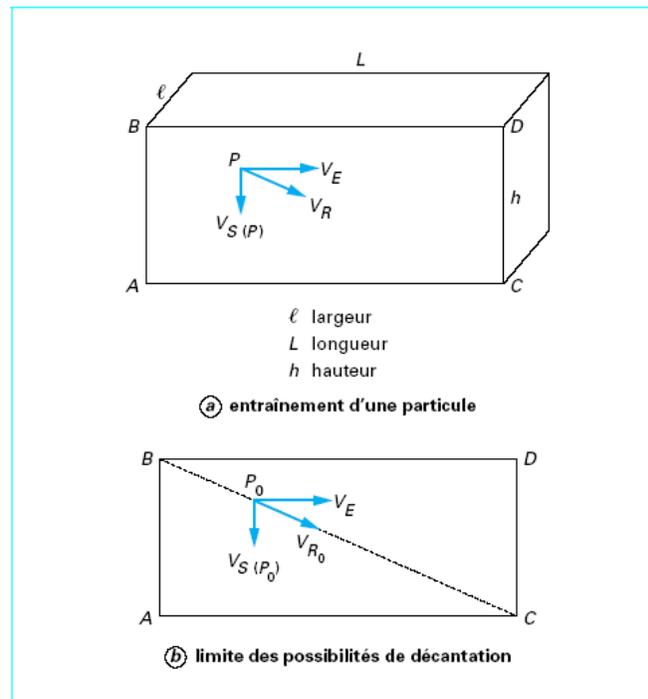


Figure II.6 : Décantation horizontale

b) Vitesse de Hazen

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.

Cela veut dire que la vitesse résultante de P0 ; notée VR0, est portée par la diagonale BC (figure II.6)

Les conditions s'écrivent :

$$\frac{V_{S(P_0)}}{V_E} = \frac{h}{L} \quad \text{et} \quad V_E = \frac{Q}{\ell \times h}$$

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. []

C) Pratique

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.

Cela conduit, par exemple, à superposer des étages de décanteurs en décantation horizontale.

La technique la plus utilisée est celle des modules lamellaires. Dans cette technique, la surface utile est la surface développée totale des plaques de modules affectée d'un coefficient dépendant de l'écartement et de la pente des plaques.

Cette surface est très nettement supérieure à celle de l'emprise au sol du décanteur. À vitesse de Hazen égale, un débit plus important peut donc passer.

II.5.2.2 LA FLOTTATION

La flottation est un procédé de séparation liquide-solide basé sur la formation d'un ensemble appelé attelage, formé des particules à éliminer, des bulles d'air et des réactifs, plus léger que l'eau. Cette technique convient principalement pour éliminer les particules de diamètre compris entre 1 et 400 μm .

La flottation est supérieure à la décantation dans le cas de clarification des eaux de surface peu chargées en MES, riches en plancton ou en algues et produisant un floc léger mal décantant. Elle est préconisée dans le traitement des boues. Ce procédé est très souple d'emploi. Il permet un épaississement simultané des boues directement déshydratables. L'efficacité de la flottation et de la décantation peut être évaluée par le pourcentage de boues retenues, la quantité de matières organiques éliminées et par la mesure de la turbidité.

II.5.3 LA FILTRATION

La filtration est un procédé destiné à clarifier un liquide qui contient des MES en le faisant passer à travers un milieu poreux constitué d'un matériau granulaire. En effet, il subsiste de très petites particules présentes à l'origine dans l'eau brute ou issues de la floculation. La rétention de ces particules se déroule à la surface des grains grâce à des forces physiques. La plus ou moins grande facilité de fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation du filtre et du type de matériau utilisé. L'espace intergranulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate. Les pertes de charge augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétrolavage. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et de la turbidité.

Tout filtre est composé de trois parties. On retrouve le fond à buselures, le gravier support et le matériau filtrant. Le premier élément doit être solide pour supporter le poids de l'eau, du sable et du gravier. Il doit permettre la collecte et l'évacuation de l'eau filtrée, le plus souvent par des buselures incorporées, et la répartition uniforme de l'eau de lavage. Le gravier a pour rôle de retenir le sable et d'améliorer la distribution de l'eau de lavage dans le filtre.

Le lavage des filtres est réalisé dans le sens inverse de l'écoulement de l'eau. C'est pourquoi cette opération est souvent appelée : rétrolavage. Le sable est mis en expansion et les impuretés, moins denses que les grains de sable, sont décollés par les phénomènes de frottement intergranulaires. La vitesse de l'eau de lavage à contrecourant est limitée du fait des pertes possibles de matériau.

On injecte donc de l'air pour augmenter les turbulences afin de décoller efficacement les particules de flocs fixées sur les grains.

Durant la filtration, le filtre s'encrasse et, par conséquent, la perte de charge augmente. Il faut veiller à ne pas dépasser la perte de charge maximale admissible déterminée lors de sa conception. Pour conserver un encrassement acceptable du filtre, il faut augmenter la « hauteur de couche » de celui-ci. Le temps pendant lequel on maintient un filtrant clair (eau filtrée) est proportionnel à cette « hauteur de couche ».

La graphique de la figure II.7 représente, de manière schématique, l'évolution de la turbidité de l'eau filtrée en fonction du temps. La première phase est la maturation du filtre (a), suivie de la période de fonctionnement normal (b). Lorsque la turbidité de l'eau filtrée augmente, cela correspond à un début de crevasion de la masse filtrante (c) et l'on atteint alors rapidement la limite de turbidité acceptable (d) à ne pas dépasser. [8]

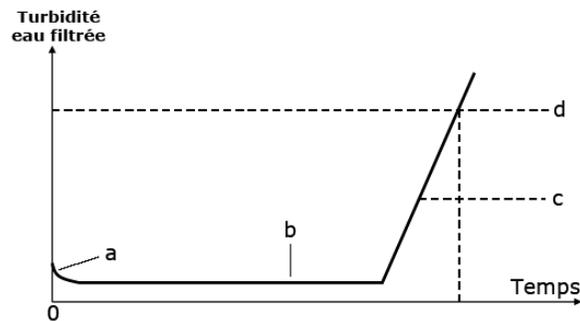


Figure II.7 : Evolution de la turbidité de l'eau filtrée d'un filtre

II.6. LA DESINFECTION

La désinfection est un traitement visant à éliminer les micro-organismes pathogènes, bactéries, virus et parasites ainsi que la majorité des germes banals moins résistants. C'est le moyen de fournir une eau bactériologiquement potable, tout en y maintenant un pouvoir désinfectant suffisamment élevé pour éviter les reviviscences bactériennes dans les réseaux de distribution. L'eau potable, suivant les normes, contient toujours quelques germes banals, alors qu'une eau stérile n'en contient aucun.

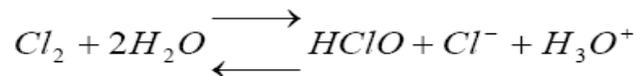
La désinfection est une post-oxydation. En eau potable, elle est assurée par des oxydants chimiques tels que le chlore, le dioxyde de chlore ClO_2 , l'ozone O_3 et dans un certain nombre de cas, par un procédé chimique comme le rayonnement UV.

Le principe de la désinfection est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée. Cette définition fait apparaître trois notions importantes : les désinfectants; le temps de contact et la concentration en désinfectant.

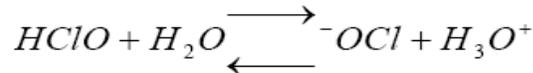
II.6.1 LE CHLORE (CHLORATION)

On entend par chloration l'emploi du chlore ou des hypochlorites à des fins de désinfection et d'oxydation. Historiquement, c'est l'un des premiers procédés auxquels on a fait appel, au début du siècle, lorsqu'il devint évident qu'il fallait insérer la désinfection dans la chaîne des traitements nécessaires à la préparation d'une eau salubre. La chloration demeure le procédé de désinfection préféré à cause de sa relative simplicité, de son coût modique et de son efficacité.

Le chlore est un gaz jaune-vert. C'est le plus connu et le plus universel, mais il nécessite pour des raisons de sécurité, le respect rigoureux de conditions particulières d'emploi. En dehors de son utilisation en prétraitement, il est employé en désinfection finale. Son introduction dans l'eau conduit à sa disparition suivant la réaction :



HClO est l'acide hypochloreux. Cet acide est faible et se dissocie suivant l'équilibre suivant :



OCl est l'ion hypochlorite. L'acide hypochloreux a un effet bactéricide plus important que l'ion hypochlorite. Les deux formes cohabitent en solution suivant les valeurs du pH de l'eau. Plus le pH est élevé, moins il y a d'acide hypochloreux pour une dose donnée de chlore. [8]

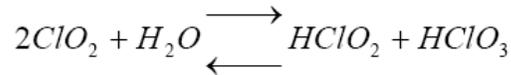
Pour la distribution et le dosage du chlore, il faut se reporter à la législation en vigueur. A partir des récipients de stockage, la distribution de chlore vers l'organe de dosage (chloromètre) peut être réalisée :

- Soit sous forme gazeuse, pour les faibles débits ;
- Soit sous forme liquide pour les débits importants.

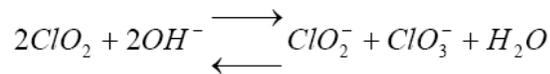
A la sortie du chloromètre, le chlore est véhiculé gazeux sous dépression jusqu'à l'hydroéjecteur où il est dissout dans l'eau motrice.

II.6.2 LE DIOXYDE DE CHLORE

Le dioxyde de chlore est un gaz orange de formule ClO₂ deux fois et demie plus dense que l'air. Il est toxique et devient explosif si sa concentration dépasse les 10 %. Il est très soluble dans l'eau. La réaction de sa mise en solution dans l'eau s'écrit :



En milieu basique, ClO₂ se disloque en donnant un chlorite ClO₂⁻ et un chlorate ClO₃⁻

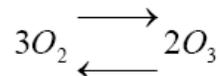


Ces composés sont problématiques. Ils ont été reconnus comme potentiellement cancérigènes. Ils peuvent apparaître lors de la préparation du dioxyde de chlore en cas de mauvais dosage, mais également lors de l'utilisation de l'oxydant pour la désinfection par réaction sur les matières organiques. [8]

II.6.3 L'OZONE

L'ozone a été découvert en 1840. L'ozone est un gaz extrêmement instable et un oxydant très puissant. Il est fabriqué sur place à partir d'oxygène au travers d'un champ électrique créé par une différence de potentiel entre deux électrodes de 10 à 20 kV.

La synthèse de l'ozone se fait selon la réaction :



L'oxygène provient soit de l'air sec, soit de l'oxygène pur du commerce. L'ozone est l'oxydant le plus efficace sur le virus, le fer et le manganèse. Il ne donne pas de goût à l'eau, contrairement au chlore, et oxyde fortement les matières organiques. Pour obtenir un effet désinfectant. Le temps de contact doit être suffisamment long, d'où la nécessité d'ouvrages adaptés, comme la tour d'ozonation. [8]

II.6.4 LE RAYONNEMENT UV

La découverte des effets bactéricides des radiations solaires date de 1878. La production d'UV est réalisée par des lampes contenant un gaz inerte et des vapeurs

de mercure. Le passage d'un courant électrique provoque l'excitation des atomes de mercure qui émettent en retour des rayons de longueur d'onde comprise entre 240 et 270 nm.

L'irradiation par une dose suffisante de rayonnement UV permet la destruction des bactéries, virus, germes, levures, champignons, algues, etc. Les rayonnements UV ont la propriété d'agir directement sur les chaînes d'ADN des cellules et d'interrompe le processus de vie et de reproduction des micro-organismes. Comme pour l'ozone, elle n'est pas caractérisée par un effet rémanent.

II.7 L'AFFINAGE

Le traitement final traite de la mise à l'équilibre calco-carbonique. L'eau suit un cycle naturel dans lequel les éléments chimiques qu'elle contient évoluent. L'eau de pluie contient naturellement du dioxyde de carbone (CO₂). Quand celle-ci traverse les couches d'humus, riches en acides, elle peut s'enrichir fortement en CO₂. Lors de sa pénétration dans un sol calcaire, c'est-à-dire riche en carbonate de calcium (CaCO₃), elle se charge en calcium CaO₂⁺ et en ions bicarbonates HCO₃⁻. En fait, le calcium est dissous par l'eau chargée en CO₂. On dit qu'elle est entartrante ou incrustante. En revanche, quand l'eau de pluie traverse une roche pauvre en calcium (région granitique), elle reste très chargée en CO₂ dissous. Cette eau est, en générale, acide. On dit qu'elle est agressive. [5]

Il y a, typiquement, deux problèmes distincts : corriger une eau agressive et corriger une eau incrustante. La correction d'une eau agressive peut s'effectuer de plusieurs façons. Premièrement, on peut éliminer le CO₂ par aération. Du fait de l'élimination du CO₂, le pH augmente et se rapproche du pH d'équilibre. Deuxièmement, on peut ajouter une base à l'eau. L'ajout de base permet d'augmenter le pH et d'atteindre le pH d'équilibre. La correction d'une eau incrustante peut se faire soit par traitement direct soit en réduisant le potentiel d'entartrage par décarbonatation. Le traitement direct correspond à un ajout d'acide. [

INTRODUCTION

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

Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent, donc un nettoyage de ce milieu est nécessaire de façon continue ou de façon intermittente.

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

Dans ce présent chapitre, nous nous intéresserons aux filtres à sable, vue l'importance de ce type d'ouvrage ou d'équipement dans la filière de traitement des eaux, ainsi qu'aux problèmes rencontrés lors de son fonctionnement et de son entretien (colmatage des lits de sable, les cycles de lavage des filtres, ainsi que le coût d'énergie et la quantité d'eau utilisée pendant le lavage de ces filtres).

III.1. PRINCIPE

Ces filtres à masse ou à couche épaisse sont composés d'un médium filtrant granulaire, généralement composé du silex concassé, du sable de rivière ou de mer, reposant sur un double fond muni de crépines (buselures) dans des bassins ouverts ou des bidons fermés travaillant sous pression.

Les dimensions des grains varient de 0,5 à 3,5 mm pour la partie filtrante et de 5 à 50 mm pour les couches supports inférieures.

Les grains fins, soigneusement calibrés et choisis en fonction de la nature et de la grosseur des particules à retenir, sont de forme ronde ou à arrêtes vives. Le silex peut être remplacé par d'autres matériaux :

- l'antracite ou le marbre, si l'on désire éviter tout entraînement de silice, en particulier dans le traitement des eaux ;
- la bauxite pour la filtration des aluminates ;
- le corindon pour la filtration des liquides à forte densité (le corindon très dense permet un lavage à contre-courant énergétique sans entraînement de la couche filtrante).

L'ensemble du médium filtrant est classé dans les filtres par densités décroissantes, les grains les plus fins se trouvent en haut de couche filtrante et les plus gros au contact du plancher support avec une hauteur totale de couche de 1 à 2 m. [5]

La vitesse de passage est essentiellement fonction du type de filtre, de la charge du liquide en sédiments et de la finesse de filtration recherchée. Elle varie généralement de 8 à 20 m/h pour des eaux contenant des substances organiques ou minérales fines, et de 20 à 30 m/h pour des eaux chargées de sédiments minéraux ou métalliques peu colmatants, tels que les battitures en sidérurgie, pour atteindre 40 à 45 m/h pour des eaux de piscines prétraitées. [5]

En fin de cycle, la régénération du lit filtrant s'effectue par envoi d'air et d'eau à contre-courant sous pression par l'intermédiaire des buselures qui assurent une bonne répartition de ces fluides dans la masse, tout en évitent la formation de canaux préférentiels. Un brassage énergique détasse et expande la masse, et les impuretés entraînées sont éliminées à l'extérieur.

Les débits des fluides de nettoyage sont d'environ 50 à 80 m³/h/m² à une pression de 50 à 70 kPa, soit 0,5 à 0,7 bar pour l'air et de 20 à 35 m³/h/m² à une pression de 1 bar (105 Pa) pour l'eau. En fin de lavage, après arrêt de l'air, le débit est réduit progressivement de façon à permettre un reclassement du lit filtrant. [5]

III.2. PARAMETRES FONDAMENTAUX DE LA FILTRATION

Il existe une grande variété de filtres, que l'on peut classer selon les paramètres énoncés dans ce qui suit.

III.2.1 COMPOSITION DU LIT FILTRANT

III.2.1.1 NATURE DES MATERIAUX

Si le sable représente le matériau traditionnel encore le plus utilisé, d'autres matériaux, combinés ou non avec le sable, peuvent entrer dans la composition d'un filtre ; on peut ainsi distinguer les types de lits filtrants suivants :

- Lits en sable homogène ;
- Lits bicouches (exemple : sable et anthracite) ou multicouches (exemple : du bas vers le haut : grenat, sable et anthracite ou pierre ponce) ; ces filtres présentent l'avantage d'une rétention plus grande des particules, mais leur lavage est plus difficile;
- Lits composés de matériaux spécifiques de la biofiltration (exemple : argile expansée), de l'adsorption (charbon actif, etc.) ;
- Lits composés de matériaux dont la masse volumique est inférieure à celle de l'eau (exemple : billes de polystyrène expansé) pour constituer un lit flottant.

III.2.1.2 GRANULOMETRIE

La granulométrie du ou des matériau(x) filtrant(s) est caractérisée par les paramètres suivants :

- La Taille Effective (TE) : c'est la taille du tamis laissant passer 10 % de la masse (en général 100 g) d'un échantillon représentatif ; les TE usuelles vont de 0,5 mm à 1,5 mm (le plus souvent TE = 0,95 mm) ;
- Le Coefficient d'Uniformité (CU), exprimant l'homogénéité du matériau ; il doit être aussi proche que possible de l'unité (en pratique de 1,2 à 1,4). [2]

III.2.1.3 HAUTEUR DE COUCHE

La hauteur de couche d'un lit filtrant se situe entre 0,8 et 2 m en général ; le plus souvent, elle est de l'ordre de 1 m.

III.2.2 CARACTERISTIQUES DE LA FILTRATION

III.2.2.1 SENS DE LA FILTRATION

Suivant le cas, cette phase du traitement se fait :

- De haut en bas (classique) ;
- De bas en haut (autrefois pratiqué dans le filtre type Immedium, ce type de filtration est obligatoire dans le cas d'un lit flottant de développement plus récent, comme le Filtrazur Degremont ou le biofiltre Biostyr OTV) ;
- Dans les deux sens avec un bifiltre (distribution simultanément à la partie supérieure et à la partie inférieure ; reprise de l'eau par un collecteur au milieu de la masse filtrante) ;
- Par filtration horizontale (type de filtre plus rustique). [3]

III.2.2.2 VITESSE DE FILTRATION

La vitesse de filtration est en réalité une grandeur spécifique qui s'exprime en $m^3/h/m^2$. Suivant le domaine d'application, on peut appliquer des vitesses de filtration comprises entre 5 et 50 $m^3/h/m^2$.

III.2.2.3 LAVAGE DU FILTRE

La perte de charge maximale à laquelle il faut laver le filtre est, en général, 1 à 2 m de colonne d'eau (CE) pour les filtres gravitaires, 0,5 à 0,8 bar (5 à 8 mCE) pour les filtres sous pression. Les modes de lavage du filtre applicables sont les suivants :

- Contre-courant d'eau seul (États-Unis) avec comme inconvénient le classement du sable et la formation de mud balls (agglomérations de boues, aboutissant finalement à la prise en masse du lit filtrant) ; ce type de lavage n'est plus pratiqué que sur les petits filtres à sable très fin, notamment les filtres sans vannes autolaveurs;

- Le lavage à l'air, puis à l'eau (en filtre bicouche ou à sable très fin) : air : 50 à 60 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$, eau : 35 à 55 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ pour sable de 0,6 à 0,85 mm de TE ; le phénomène des « mud balls » est également fréquent avec ce type de lavage ;
- Le lavage simultané à l'air (50 à 60 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$) et à l'eau (5 à 10 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$), puis rinçage (15 à 20 $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$) : c'est le mode de lavage usité en Europe sur les filtres à sable homogène ; le filtre est alors muni d'un faux plancher, sur lequel repose le sable et qui est garni de buselures spécialement conçues pour ce type de lavage ;
- Les filtres à lavage continu, par exemple : à circulation de sable (figure III.1), comme le Liftazur Degrémont ou le Dynasand ; à compartiments, comme le Greenleaf ou l'ABW commercialisés aux États-Unis. [3]

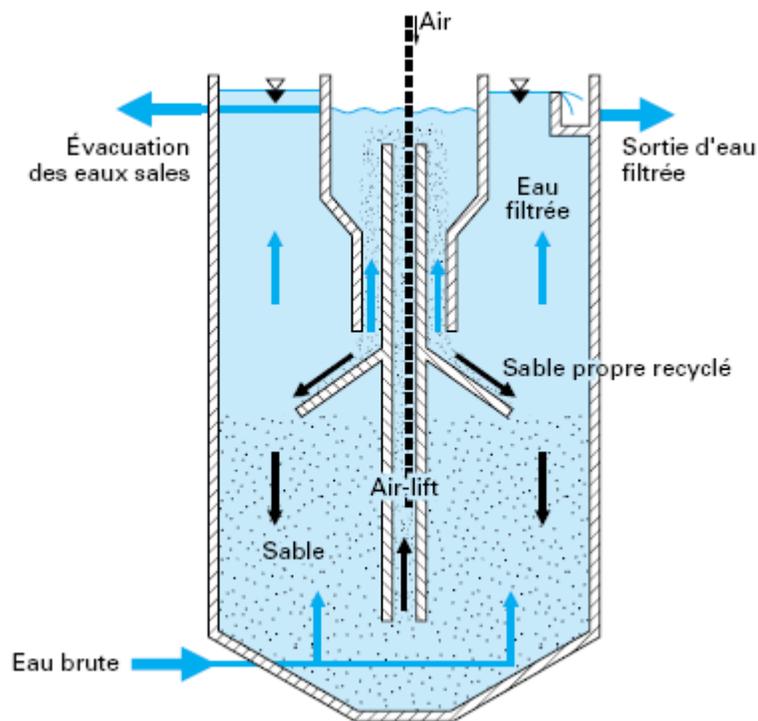


Figure III.1. Filtre à courant ascendant et à lavage continu avec circulation de sable

III.2.2.4 CYCLES DE FILTRATION

La durée des cycles de filtration entre deux lavages dépend de la nature et de la concentration des matières en suspension (MES) arrivant sur le filtre, de la vitesse de filtration, des caractéristiques du lit filtrant, de la température de l'eau, de la perte de charge admissible et de la garantie donnée pour la qualité du filtrat. À partir de la concentration des MES dans l'eau à filtrer, de la vitesse de filtration et de la durée du cycle. La performance du filtre peut être estimée par la masse de MES retenues par m^2 de filtre entre deux lavages ; ce chiffre est très variable : de 0,3 kg de MES par m^2 de filtre pour les déferrisations délicates ou les filtrations d'eau décantée de très

bonne qualité, jusqu'à 20 kg/m² pour retenir certains floes ou particules de nature minérale. [3]

III.3 PRINCIPAUX TYPES DE FILTRES A MATERIAU GRANULAIRE

Dans certains cas (filtration directe d'eaux de surface présentant des teneurs variables en MES ; cas délicats de déferrisation démnanganisation physico-chimique, etc.), on peut avoir intérêt à choisir une combinaison multicouche, la plus courante étant la solution bicouche comprenant :

- Un matériau plus dense (sable) et de faible TE (0,55 à 0,75 mm) au niveau de la partie inférieure ;
- Un matériau plus léger (anthracite, pierre ponce, charbon actif...) et de TE plus élevée (1 à 1,5 mm) au niveau de la partie supérieure. [3]

Dans cette solution, l'eau à filtrer percole successivement à travers un matériau de grosse granulométrie avec une forte capacité de rétention des MES, puis un matériau plus petit permettant d'affiner la qualité de l'eau. En revanche, ces filtres ne peuvent être lavés simultanément à l'air et à l'eau, sous peine de perdre le matériau léger, à moins d'accepter une dépense accrue de génie civil en accumulant l'eau sale au-dessus du filtre pendant la période [air + eau] ; en général, la solution adoptée comporte les séquences ci-dessous :

- Soufflage à l'air seul ;
- Rinçage à l'eau seule, à une vitesse permettant la mise en expansion et le reclassement des matériaux, la différence de masse volumique permettant au matériau le plus grossier de se replacer à la partie supérieure du filtre.

Ce type de lavage est moins efficace et plus coûteux- étant donné que la vitesse d'eau nécessaire dépend de la masse volumique et de la TE des matériaux, ainsi que de la température de l'eau, mais elle est toujours beaucoup plus élevée que pour le lavage [air + eau] appliqué aux filtres à sable homogène - c'est la raison pour laquelle les filtres à sable homogène sont le plus couramment utilisés.

III.3.1 FILTRES SOUS PRESSION

Ces filtres, généralement en acier, se distinguent surtout par leur mode de lavage.

III.3.1.1 LAVAGE A L'EAU SEULE

Ce type de lavage est utilisé dans les très petites installations ou lorsque l'on met en œuvre un sable très fin permettant l'expansion à l'eau seule. La répartition de l'eau de lavage se fait par collecteur ; il n'y a donc pas de plancher à buselures, mais la couche de sable filtrant repose sur des couches de gravier.

III.3.1.2 LAVAGE [AIR + EAU] OU [AIR PUIS EAU]

Ce lavage se pratique :

- Soit dans des filtres verticaux métalliques, en forme de bidon fermé par deux fonds bombés, très utilisés dans les petites installations de déferrisation ou de filtration directe d'eau de surface, où on évite ainsi le double pompage;
- Soit dans des filtres horizontaux métalliques utilisés dans les plus grandes stations. [3]

Ces filtres sont généralement équipés d'un plancher métallique avec des buselures qui permettent l'injection simultanée d'eau et d'air pour le lavage (vitesse de filtration : 5 à 50 m³/h/ m²). Diamètre maximal : le plus souvent de l'ordre de 4 m.

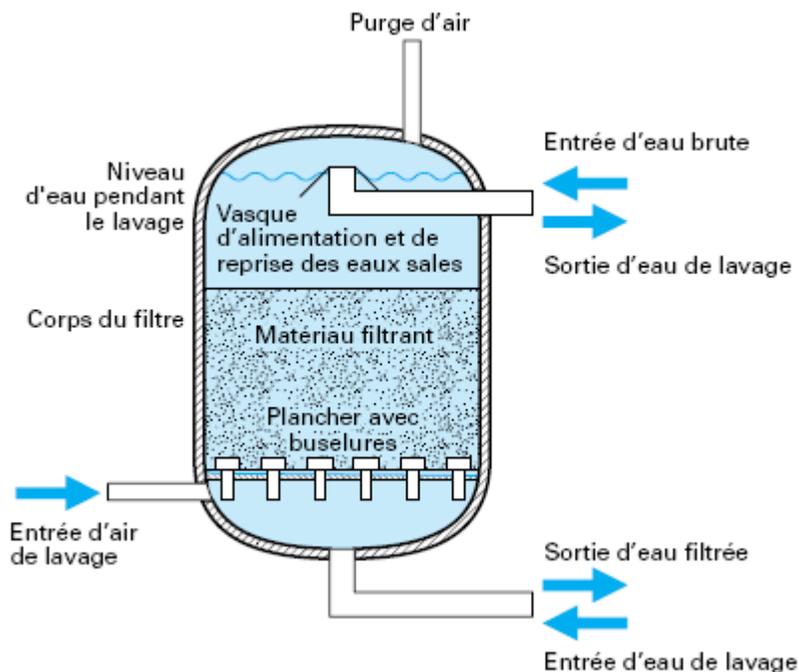


Figure III.2. Filtre vertical métallique sous pression, lavé à l'air et à l'eau

III.3.2 FILTRES OUVERTS (GRAVITAIRES)

Suivant leur taille, on distingue :

- Les filtres métalliques pour les petites stations ; dans le cas le plus courant, ce sera un filtre circulaire vertical à un seul fond bombé, correspondant au filtre représenté sur **Figure III.2** auquel on aurait ôté le fond bombé supérieur ; d'autres types de filtres plus particuliers sont parfois utilisés : à circulation de sable (exemples : Dynasand, Liftazur, filtres sans vannes, etc.);

- Les filtres rectangulaires en béton : ce sont les filtres que l'on utilise le plus couramment dans les moyennes et grandes installations car ils peuvent atteindre de très grandes surfaces unitaires (jusqu'à plus de 200 m²). Ils sont généralement lavés à l'air et à l'eau simultanément.

Il existe en gros deux types de filtres à sable en béton suivant la gamme de vitesse considérée.

- Vitesse de filtration comprise entre 5 et 7 m³/h/m² : filtres à faible hauteur d'eau. Perte de charge maximale : de l'ordre de 1,5 m.

Avantage : Coût de génie civil moins élevé.

Inconvénient : La faible hauteur d'eau peut permettre une mise en dépression de l'intérieur de la masse filtrante, entraînant un phénomène de dégazage (surtout dans les eaux riches en algues, lesquelles peuvent provoquer une sursaturation de l'eau en oxygène dissous).

- Vitesse de filtration comprise entre 7 et 25 m³/h/m² : filtres à forte hauteur d'eau au-dessus du sable (1,2 m au minimum). Perte de charge maximale : de l'ordre de 2,5 m. Il n'y a alors plus de risque de mise en dépression et les cycles sont plus longs. Dans ce cas précis, le lavage est en outre facilité par un rinçage latéral (« balayage » de surface), qui permet une évacuation plus rapide et plus complète des eaux sales à l'égout, tout en évitant une surcharge des autres filtres au moment du lavage (l'eau à filtrer continuant à alimenter le filtre pour assurer le balayage). [3]

Ces filtres peuvent être agencés en filtres simples à une seule cellule, ou en filtres doubles à cellules jumelles.

III.4. TECHNIQUES DE FILTRATION A SABLE

III.4.1 FILTRES CLASSIQUES A COURANT DESCENDANT NORMAL

Dans ces appareils, le liquide à filtrer est admis sous pression à la partie haute et recueilli dans le fond du filtre après passage dans le lit de sable et drainage par les buses. Le lit filtrant est très souvent constitué d'une couche de granulométrie unique, variant de 0,3 à 1,5 mm, homogène, reposant sur un gravier grossier. [3]

Le liquide pollué rencontre d'abord la couche très fine de sable qui retient les impuretés, et la hauteur réellement utilisée pour la filtration se réduit à quelques dizaines de centimètres. De ce fait, la capacité de rétention en sédiments est faible.

Ces filtres conviennent principalement pour des liquides peu chargés ou floculés et travaillent généralement à une vitesse de 8 à 20 m/h ; ils peuvent toutefois atteindre 50 m/h suivant la granulométrie du médium et la nature des impuretés.

Le lavage doit s'effectuer à l'eau filtrée, ce qui nécessite d'avoir une réserve d'eau propre et d'immobiliser une partie du filtrat en stockage.

III.4.2. FILTRES A DRAINS A DOUBLE COURANT

Ces filtres sont essentiellement caractérisés par la présence d'un rameau, muni de drains collecteurs de filtrat répartis dans la couche de granulométrie la plus fine, et par leur mode d'alimentation.

Le liquide brut est introduit à la fois à la partie supérieure et à la partie inférieure (plancher crépiné) de l'appareil.

En filtration de surface, l'admission par le haut permet d'agir, comme dans les filtres classiques, mais crée en même temps un effet de piston hydraulique qui maintient le médium filtrant en place et facilite l'alimentation inférieure sans soulèvement des couches.

Durant la progression du bas vers le haut, les particules de sédiments les plus importantes sont retenues de façon progressive par les grains les plus gros, et le liquide parvient préfiltré dans la couche fine où il est débarrassé de ses dernières impuretés avant le drainage. Cette utilisation de la totalité du lit filtrant augmente considérablement la longueur des cycles (dix fois supérieurs à ceux d'un filtre classique à vitesse égale) et permet une rétention d'environ 35 kg de matière sèche par mètre cube de médium granulaire.

Ces filtres sont lavés à l'eau brute, ce qui ne requiert donc aucun stockage préalable. La consommation maximale d'eau de lavage est de 2 % du débit filtré. [3]

III.4.3. FILTRES A GRILLES

La filtration s'effectue exclusivement du bas vers le haut. À 100 mm environ au-dessous de la surface de la couche supérieure fine de sable, on dispose une grille formée de fers plats sur chant, dont les espacements sont soigneusement calculés en fonction de la granulométrie du médium et de la finesse de filtration recherchée.

Dès la mise en filtration, le liquide brut dans son mouvement ascendant entraîne le sable qui, dans les mailles de la grille, crée des voûtes stabilisant le médium. Ces voûtes permettent d'obtenir une vitesse de passage de 15 à 20 m/h et, dans le cas d'eaux fortement chargées, de 10 à 12 m/h. [3]

Généralement, l'eau filtrée tombe librement par débordement dans une bêche de stockage. Toutefois, ces appareils peuvent également travailler en ligne, sous pression, mais il convient alors d'éviter les à-coups d'alimentation, les coups de bélier ou l'introduction de bulles de gaz qui entraîneraient une détérioration des voûtes.

Les longueurs de cycle et les capacités de rétention sont identiques à celles des filtres à drains, mais leur conception est plus simple et, de ce fait, moins chère.

Le lavage s'effectue à l'eau brute. Ces appareils existent en deux versions :

- Bidons fermés, construction chaudronnée jusqu'à 5 m de diamètre ;

- Au-delà de ce diamètre, pour les très grands débits, les bidons chaudronnés sont remplacés par des bassins ouverts, en béton, de construction plus économique.

III.4.4. FILTRES AUTOLAVEURS

Il existe également des filtres à sable autolaveurs ayant un fonctionnement discontinu ou continu.

Les appareils autolaveurs discontinus, alimentés par un bac de mise en charge, comportent un réservoir d'eau filtrée. Lorsque le filtre se colmate, le niveau monte dans le bac de mise en charge ainsi que dans un siphon dont l'une des extrémités est mise à l'égout.

Lorsque la perte de charge est suffisante pour amorcer le siphon, il s'ensuit une chasse rapide entraînant la réserve d'eau filtrée à travers le médium en lavage à contre-courant. La réserve d'eau épuisée, l'appareil fonctionne à nouveau en filtration.

Les appareils autolaveurs continus sont d'un principe identique, mais nécessitent une automatisation des vannes. Ils sont constitués pratiquement de deux filtres disposés dans une cuve servant de réservoir d'eau filtrée. Lorsque la perte de charge prédéterminée est atteinte, la vanne de mise à l'égout est ouverte et la réserve d'eau sert au lavage à contre-courant. [3]

III.5. FILTRATION A SABLE A LAVAGE CONTINU

III.5.1. DESCRIPTION ET MODE DE FONCTIONNEMENT

L'effluent brut ou floclé, alimenté en haut du filtre (1), descend au cœur de celui-ci jusqu'au système radial de distribution qui le répartit de manière uniforme à la base du lit de sable (3).

L'effluent percole en phase ascendante à travers le sable dans lequel les solides en suspension sont piégés tandis que le filtrat est évacué au sommet du filtre, par débordement au-dessus d'une déverse (2).

Le sable, contaminé par les solides, circule de haut en bas dans le filtre vers le fond d'un cône jusqu'à être aspiré dans l'air-lift extérieur (4).

L'air-lift est alimenté par de l'air comprimé de manière à véhiculer le mélange sable / solides jusqu'à un système de lavage situé en haut du filtre (5). Le sable y est alors lavé à contre-courant par une fraction ascendante de filtrat (eau de lavage) qui se charge en matière en suspension.

Le sable lavé pénètre ensuite dans la boîte d'isolation (6). Cette dernière, à la forme spécialement étudiée, empêche tout contact entre filtrat et sable (8) avant que ce dernier ne soit à nouveau utilisé pour la filtration.

L'eau de lavage chargée est évacuée par une déverse spécifique (7).
Le niveau de cette déverse est réglable manuellement, mais reste toujours inférieur au niveau de la déverse du filtrat. [3]

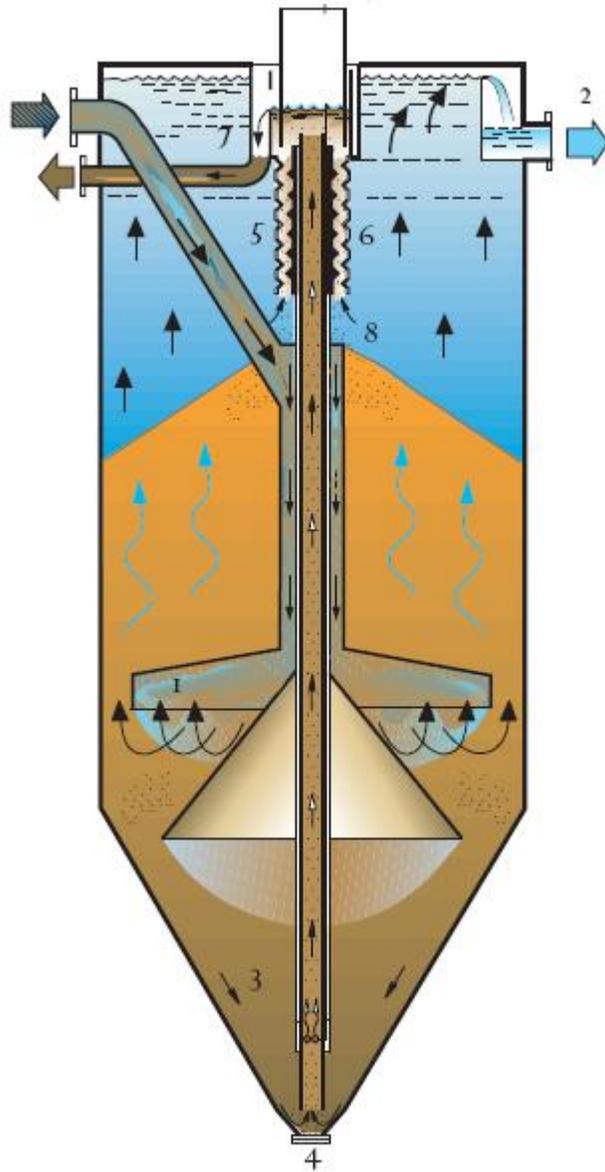


Figure III.3. Filtration à sable à lavage continu

Cette conception présente les avantages suivants :

- Fonctionnement et lavage continu,
- Excellente efficacité de filtration,
- Excellente efficacité de lavage du sable,
- Maintenance particulièrement aisée grâce à l'air-lift externe,
- Pas de contamination possible du filtrat par du sable en phase de lavage,
- Rinçage final du sable à l'intérieur de la boîte de lavage,
- Débit d'eau de lavage aisément ajustable,
- Consommation énergétique très faible,
- Adaptabilité de la profondeur du lit de sable,
- Très simple mise en place/installation des filtres,
- Pas d'arrêt pour décolmatage du sable,
- Pas de pièces en mouvement,
- Aucun équipement annexe pour le lavage du sable.

Conclusion

Après avoir défini les différents types de filtration et leurs caractéristiques techniques, nous constatons que la filtration à sable et à lavage continu peut constituer une solution technico-économique à adapter aux stations de traitement des eaux de surface.

INTRODUCTION

La station de traitement des eaux potables « Boudouaou » se situe à trois (03) Km au sud de la ville de Boudouaou. Sa capacité de traitement est d'environ 540 000 m³/jour, en traitant les eaux provenant du grand réservoir (barrage) de Kaddara et alimentant la capitale Alger avec des eaux traitées et de bonne qualité.

Les eaux arrivent à la station à partir du barrage de Kaddara avec une pression d'environ six (06) bars. Cette eau brute subie une série de traitement complexe telles que la coagulation floculation, la décantation, la filtration et l'injection de produits chimiques dans le but d'améliorer sa qualité en éliminant les matières organiques, les micro-organismes (les bactéries, les virus, et les pesticides) qui causent des maladies graves aux populations qui la consomment.

La station de traitement en question appelée aussi « Usine de traitement » est constituée d'un ensemble d'ouvrages en béton et munie de systèmes de dosage des réactifs sophistiqués, ainsi que d'équipements hydromécaniques et des instruments performants.

Cette usine est constituée de :

- Bâtiment administratif (bureaux des différents service, salle de réunion, secrétariat, archive) ;
- Salle de contrôle et de commande (synoptique) ;
- Laboratoire qui veille au contrôle de la qualité des eaux (préparation des solutions chimiques pour les mesures des paramétrées physico-chimiques et biologiques) ;
- Les ouvrages hydrauliques (les brises charge, le bassin de mélange, les décanteurs, les filtres à sable, les réservoirs de stockage) ;
- Atelier (maintenance des équipements, stockage des pièces de rechange) ;
- Locaux de stockage (charbon actif, sulfate d'alumine, polyélectrolyte, chaux, permanganate de potassium, hypochlorite de sodium et hypochlorite de calcium) ;
- Les systèmes de dosage des réactifs.

IV.1. CHAÎNE DE TRAITEMENT D'EAU

A l'entrée de la station, des brise charge sont installés pour augmenter la perte de charge et mettre l'eau sous la pression atmosphérique afin de contrôler son écoulement à travers la chaîne de traitement.

IV.1.1. BASSIN DE MELANGE

L'eau entre dans le bassin de mélange par gravité et subie un traitement chimique à savoir ;

La Pré chloration:

L'objectif principal de la pré chloration est d'inhiber tout développement de vie aquatique (algues,...) pouvant causer des problèmes dans la station, et permet d'améliorer le rendement global de traitement.

La chloration agit par oxydation sur les ions ferreux et manganés, sur l'ammoniac, sur les nitrites et sur toutes les matières organiques oxydables, ainsi transformés en corps relativement insolubles, leur élimination sera facile au cours des étapes suivantes de traitement.

Un système de dosage par le chlore gazeux est installé au niveau de cette usine et fonctionne en mode automatique. Les concepteurs ont choisi d'utiliser ce type de chlore, vu l'efficacité d'oxydation qu'il porte. Une concentration en chlore plus élevée implique une quantité moins importante au niveau des réserves et d'autonomie par rapport aux autres produits chimiques.

Vu que le système de chlore gazeux est actuellement en panne pour raison de mauvais contrôle et entretien, un autre poste de chloration par l'hypochlorite de sodium a été mis en place. Constitué de réservoirs de stockage et de préparation de réactifs, et de pompes doseuses, le nouveau système est apte à assurer un dosage variable selon la demande en chlore pour bien traiter l'eau.

La figure IV.1 montre une stabilité et une faible demande en chlore pour l'eau brute, ce qui explique qu'en matière de pollution, l'apport est stable et de faible quantité.

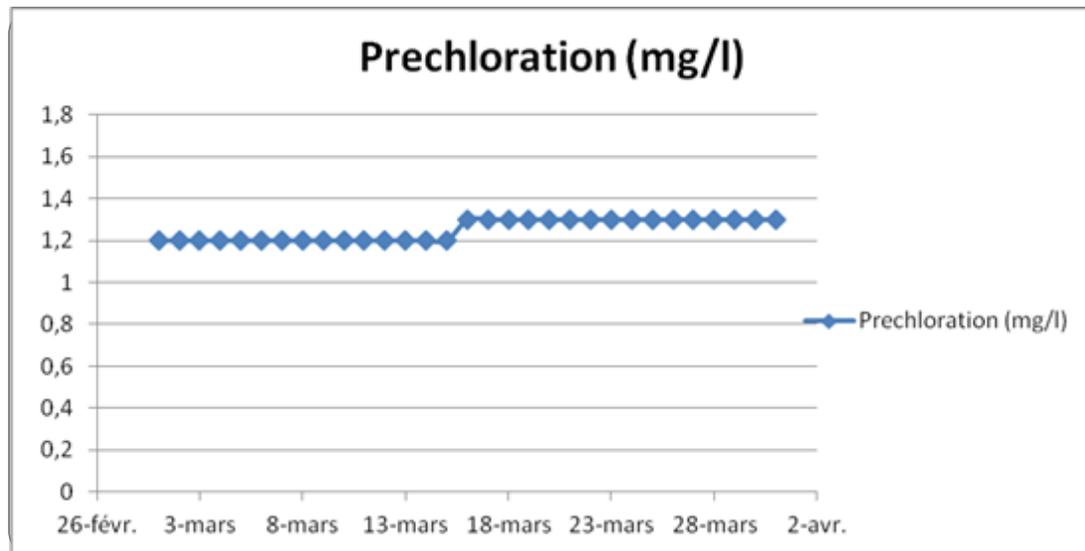


Figure IV.1 : Taux de chloration en mois de mars

Coagulation floculation :

La coagulation-floculation est un procédé physico-chimique de clarification des eaux. Son aboutissement est la formation par addition du coagulant, des trames floconneuses appelées ``flocs``. Cette prise en masse suivie d'une décantation rapide, vise les particules colloïdales et les dispersions fines, mais également des substances dissoutes ou de grosses molécules hydrophiles en dispersion stable.

Coagulant :

Le coagulant utilisé est un sel métallique (sulfate d'alumine), la dose utilisée dépend de la nature de l'eau à traiter.

Le type de coagulant et la dose injectée ont une influence sur :

- La bonne ou la mauvaise clarification de l'eau,
- Le bon ou le mauvais fonctionnement de la floculation et de la filtration,
- Le coût d'exploitation.

Le pH a une influence primordiale sur la coagulation. Il est d'ailleurs important de remarquer que l'ajout d'un coagulant modifie souvent le pH de l'eau. Cette variation est à prendre en compte afin de ne pas sortir de la plage optimale de précipitation du coagulant.

Le taux du coagulant dépend de la nature de l'eau brute et spécialement de la turbidité présente dans cette eau. Plus l'eau est turbide, plus le taux du coagulant est

élevé. La figure IV.2 montre que le taux du coagulant est plus faible dans la saison estivale et qui correspond à une eau moins turbide.

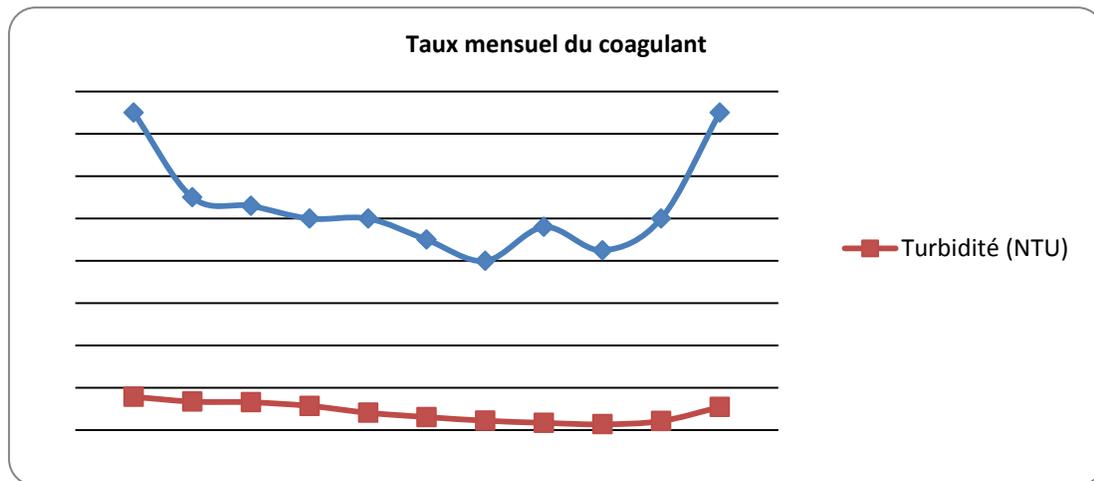


Figure IV.2 : Variation du taux de coagulant en fonction de la variation de la turbidité d'eau brute

Floculant:

Les floculants sont des produits qui ont des actions inter - particules par pontage. Ils sont pour la plupart constitués de polymères à haut poids moléculaire possédant des groupes réactifs de charge inverse à celle de la suspension à traiter.

Le floculant utilisé au niveau de la station de traitement de BOUDOUAOU est le polyélectrolyte et avec des taux de dosage de très faible quantité entre (0,07 et 0,1) mg/l comme l'indique le graphe ci-dessous. Le dosage du Poly-électrolyte est effectué de façon continue et proportionnelle au débit pour favoriser la croissance de floccs dans le bassin de mélange.

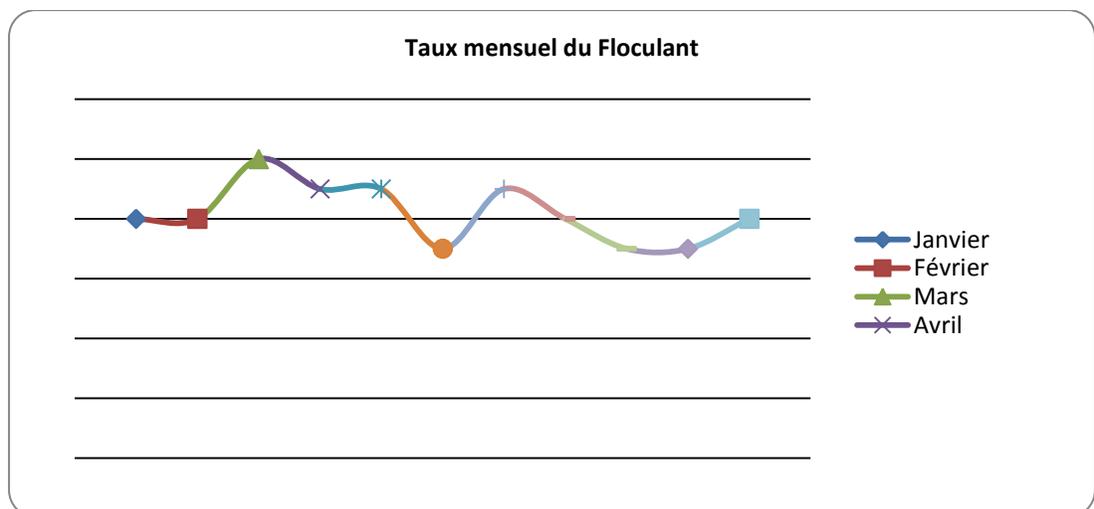


Figure IV.3 : Variation mensuelle du Taux de Floculant

IV.1.2. LA DECANTATION

Ces procédés sont des méthodes de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation-floculation. Si la densité de ces floccs est supérieure à celle de l'eau, il y a décantation. L'eau clarifiée située près de la surface est dirigée vers des filtres à sable. Dans le cas de particules de densité inférieure à celle de l'eau.

Dans notre cas, un décanteur lamellaire à lit de boue de type pulsator est utilisé. Au niveau de cet ouvrage, l'eau à clarifier traverse verticalement le lit de boues qui joue un rôle de filtre fluidisé très efficace.

Le procédé de décantation est plus que nécessaire dans le traitement des eaux de surface et notamment les eaux très chargées en matières en suspension. Dans cette étape de procédé on remarque une élimination très importante de la turbidité d'eau brute (Figure IV.4) où le taux d'élimination de la turbidité atteint les 90 %.

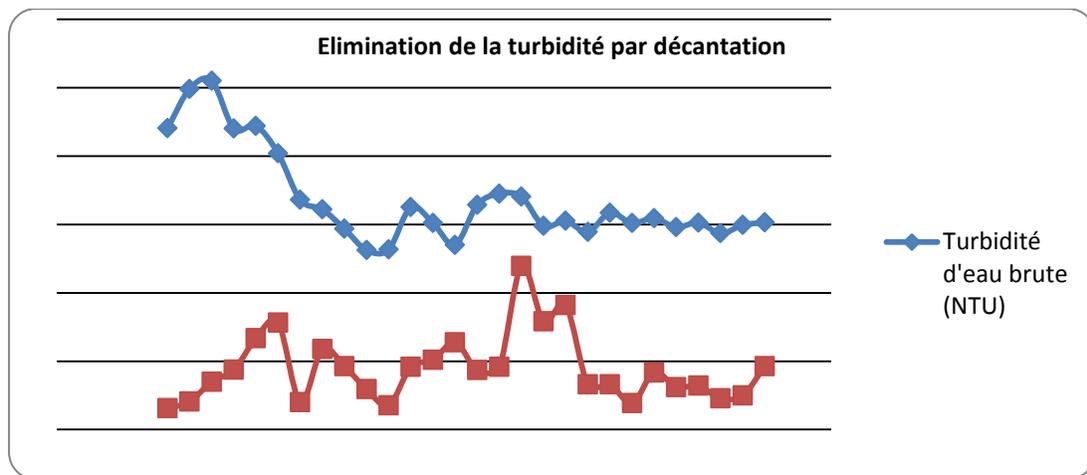


Figure IV.4 : Elimination de la turbidité par décantation

IV.1.3. LA FILTRATION

La filtration a pour but de retenir les particules en suspension dans l'eau. En effet, il subsiste de très petites particules présentes à l'origine dans l'eau brute ou issues de la floculation.

L'espace intergranulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate. Les pertes de charge augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétrolavage. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et de la turbidité.

Les filtres utilisés dans ce cas sont de type AQUAZUR "V", ce sont des filtres rectangulaires en béton que l'on utilise le plus souvent dans les moyennes et grandes installations. Ils sont caractérisés par des lits filtrants de granulométrie homogène et par un lavage simultané à l'air et à l'eau. La hauteur d'eau au dessus du filtrat peut aller jusqu'à 1,2 m.

Dans la figure IV.5, nous remarquons une diminution de la turbidité d'eau après filtration vers des valeurs inférieures à 0,5 NTU, hormis deux valeurs proches de 1 NTU pour cause de mauvaise exploitation des filtres. Donc, la partie filtration complète le procédé de décantation et améliore la qualité de l'eau produite.

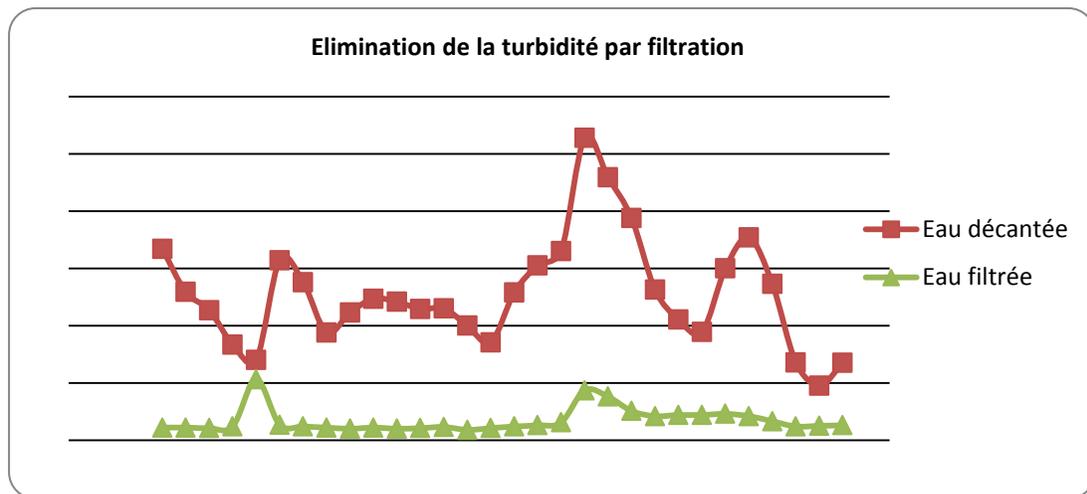


Figure IV.5 : Elimination de la turbidité par filtration

IV.1.4. NEUTRALISATION AU PH D'EQUILIBRE

Lorsque le pH d'une eau est inférieur au pH d'équilibre, l'eau sera considérée comme agressive, et si le contraire, l'eau sera considérée comme incrustante.

La mesure de l'agressivité s'effectue par la mesure du pH du TAC après un temps de contact avec du marbre.

La neutralisation des eaux filtrées s'effectue par le dosage du lait de chaux pour obtenir un pH d'équilibre.

IV.1.5. LA DESINFECTION

Le principe de la désinfection est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée.

Dans la station de traitement de Boudouaou, les concepteurs ont opté pour le chlore dosé comme désinfectant, vue sa grande efficacité et sa facilité d'emploi. Le chlore est doté d'un pouvoir oxydant important, favorable à la destruction indispensable à la vie des germes microbiens.

IV.2. EXPLOITATION DE L'USINE

Le contrôle de la filière de traitement s'effectue à partir d'une salle de contrôle munie d'un tableau synoptique montrant tous les équipements en service et le schéma du procès, ainsi que d'un pupitre pour effectuer la commande à distance. A partir de la salle de contrôle toute panne ou fonctionnement incorrecte du procès est détecté.

La station de traitement de BOUDOUAOU consomme une quantité très importante de réactifs chimiques vue sa grande capacité de traitement qui peut atteindre les 6 m³/s. En conséquence des locaux de grande surface sont installés pour le stockage de ces produits chimiques.

IV.2.1. CONSOMMATION DES REACTIFS CHIMIQUES

Les réactifs les plus utilisés dans cette usine sont le sulfate d'alumine avec une consommation moyenne mensuelle de 150 000 kg, et l'hypochlorite de sodium 120 000 Kg en moyenne mensuelle.

Tableau IV.1 : Consommation et prix des réactifs chimiques

Désignation	Consommation moyenne mensuelle en kg	Prix unitaire en DA
Soude caustique à 49 %	10 000,00	49,00
Hypochlorite de sodium à 48 °	120 000,00	17,00
Hypochlorite de Calcium	10 000,00	141,80
Chlore liquide	30 000,00	150,00
Sulfate d'alumine	150 000,00	27,50
Poly électrolyte	1 000,00	240,00
Charbon actif	10 000,00	110,00

IV.2.2. CONSOMMATION D'ENERGIE DE LA STATION

Vue les équipements de puissances très élevées dont est dotée la station de Boudouaou, celle-ci nécessite une énergie très importante lors de l'exploitation. Au mois de février, la consommation en énergie a atteint les 61 749 kW, ce qui généré une dépense de 222 917,29 DA, et au mois de janvier l'énergie consommée était de 56 087 kW, ce qui correspond à une facture de 218 967,49 DA.

IV.2.3. EXPLOITATION DES FILTRES A SABLE

La filtration est la barrière ultime et obligatoire dans la filière de traitement d'eau, donc les filtres jouent un rôle essentiel, puisqu'ils sont la dernière étape du traitement avant la désinfection finale. C'est pour cette raison que nous avons suivi cette étape de filtration en cherchant à optimiser leur performance (filtres) tant au niveau de leur conception que de leur exploitation, dans l'objectif d'améliorer la qualité de l'eau filtrée et minimiser les pertes d'eau ainsi que la consommation d'énergie.

a) Caractéristiques des filtres à sables AQUAZURE V :

Seize (16) filtres à sable de type AQUAZURE « V » à double cellules ont été réalisés en béton armé. Ce type de filtre est caractérisé par un lit filtrant de granulométrie homogène, une filtration rapide, un lavage simultané à l'air et à l'eau, et une charge d'eau de 1,2 m au dessus du lit filtrant.

Dimensions unitaires des filtres :

- Longueur : 16,30 m
- Largeur : 10,00 m
- Surface : 163,00 m²

Matière filtrante

- Couche support :
 - Type : Gravier
 - Hauteur : 5,00 cm
 - Volume : 8,25 m³
- Sable :
 - Hauteur : 1,10 m
 - Volume : 187,50 m³
- Plancher filtrant équipé de buselures :
 - Fabricant : Dégrement
 - Type : D20
 - Nombre : 8820 buselures

b) Lavage des filtres à sable :

La durée de lavage normale d'un filtre AQUAZURE est de 16 à 20 minutes.

Le lavage d'un filtre comporte les différentes phases suivantes :

- Un décolmatage à contre-courant avec un faible débit d'eau en utilisant quatre pompes de lavage avec une capacité unitaire de $815 \text{ m}^3/\text{h}$. Le décolmatage a pour but de créer un courant ascensionnel prêt à entraîner les grosses impuretés qui apparaissent dès le début de la phase suivante.
 - Le débit de décolmatage est de $2\,445 \text{ m}^3/\text{h}$
 - La durée de la séquence est de 30 à 60 secondes

- Après la séquence de décolmatage, le groupe électro surpresseur d'air est mis en marche avec un débit de $9\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ et une vitesse de 50 à $60 \text{ m}^3/\text{h}$ par m^2 de surface filtrante. Un faible débit d'eau permet d'entraîner dans les goulottes d'évacuation la plus grande partie des impuretés que le violent barbotage d'air a détachée du sable.

- Un rinçage à grand débit après fermeture de la vanne d'air surpressé. On ouvre la vanne de purge d'air et simultanément on envoie un débit d'eau de lavage sous le plancher en ouvrant totalement la vanne d'eau de lavage.
 - Ce débit d'eau de rinçage est de 13 à $15 \text{ m}^3/\text{h}$ par m^2 de surface filtrante.
 - Le débit de rinçage est de $2\,445 \text{ m}^3/\text{h}$, sur une durée de séquence de 8 à 10 min.

IV.2.4. L'ENERGIE CONSOMMEE PENDANT LE LAVAGE D'UN FILTRE

- Pompe de lavage :
 - Quantité : 03 unités
 - Puissance totale installée : 111,00 kW
 - Puissance totale absorbée : 89,91 kW
 - Temps de fonctionnement : 21 min.
 - L'énergie consommée : 31,47 kWh

- Groupe électro surpresseur :
 - Quantité : 02 unités
 - Puissance totale installée : 150,00 kW
 - Puissance totale absorbée : 121,50 kW
 - Temps de fonctionnement : 10 min.
 - L'énergie consommée : 20,25 kWh

- Pompe de recirculation d'eau de lavage :
 - Quantité : 03 unités
 - Puissance installée : 66 kW
 - Puissance absorbée : 53,46 kW
 - Temps de fonctionnement : 40 min.
 - L'énergie consommée : 35,64 kWh

L'énergie consommée pendant le lavage d'un filtre est de **87,36 kWh**

IV.3. SUBSTITUTION DES FILTRES AQUAZURE PAR DES FILTRE DYNA SAND

Les recherches menées sur le suivi du procédé de la filtration et de l'exploitation des filtres AQUAZURE installés dans l'usine de traitement de BOUDOUAOU montrent que, la consommation d'énergie pour le lavage des filtres, la turbidité d'eau filtrée restent importantes, mais aussi que l'exploitation dans cette étape de filtration est difficile vu la nécessité de contrôler régulièrement le colmatage par des vannes de régulation et de veiller à effectuer un lavage à chaque fois qu'un filtre est colmaté.

La conception du filtre à lavage continu nous a permis de distinguer une amélioration au niveau de leur exploitation et de leur performance, par rapport aux filtres AQUAZURE. Si on prend les mêmes surfaces et les mêmes vitesses de filtration pour les deux types de filtres, on obtient les résultats comparatifs dans le tableau suivant :

Tableau IV.2 : Comparaison entre les filtres AQUAZURE et les filtres DYNASAND

Filtres AQUAZURE	Filtre DYNASAND
Débit moyen horaire : 7632 m ³ /h	Débit moyen horaire : 7632 m ³ /h
Les équipements consommant de l'énergie : 1. Sur presseur d'air (150 kW) puissance installée 2. Pompes de lavage (111 kW) 3. Pompe de recirculation (66 kW)	Les équipements consommant de l'énergie : 1. Compresseur d'air (4 kW) 2. Pompe de recirculation (66 kW)
Consommation d'énergie mensuelle : 6 465 kW	Consommation d'énergie mensuelle : 2 368 kW
Arrêt de filtration lors du lavage	Filtration et lavage continu
Faible rendement de filtration, vu la difficulté d'exploitation des filtres	Excellente efficacité de filtration
Pertes d'eau lors du rinçage	Rinçage intérieur du filtre

CONCLUSION

La station de traitement de BOUDOUAOU est conçue par un traitement classique conventionnel qui nécessite une amélioration au niveau de leur exploitation et leur performance. La difficulté de l'exploitation de cette station conduira à produire une eau de qualité indésirable, en matière de turbidité qui a une valeur supérieure à 0,5 NTU. Cela s'explique par la difficulté de contrôle des paramètres de traitement et la variation intense du débit entrant à la station.

Le traitement classique nécessite une quantité très importante de produits chimiques (la quantité mensuelle nécessaire du coagulant - Sulfate d'Aluminium - est de 150 000Kg).

Le filtre à lavage continu réduit l'énergie consommée de 64 %, et est facile à l'exploiter.

INTRODUCTION

Dans le cadre des travaux de recherche et de suivis effectués sur la chaîne de traitement des eaux de la station de BOUDOUAOU relatifs à l'amélioration des techniques de traitement et des performances de traitement, des analyses et un suivi ont été effectués au niveau de cette station, durant les années 2009 et 2010, pour faire ressortir les problématiques relatives aux procédés de traitement classique. Ces préoccupations seront notre sujet de discussion dans le présent chapitre.

Effectuer une étude sur une station en phase de fonctionnement et relever les paramètres de traitement des différents procédés en ligne était quelque peu difficile, vu la nécessité de changement de fonctionnement ou arrêt de certains procédés pour raison de maintenance ou de variation de la nature des eaux à traiter. Toutefois, ces aléas nous ont permis de faire ressortir différents graphes et de noter nos observations concernant le rendement de traitement sur site, la qualité des procédés au niveau de leur exploitation et de leurs performances.

Vu la nature des eaux de surface et la nécessité d'éliminer la matière organique et la turbidité élevée dans ces eaux, nous avons effectué des analyses sur le taux d'élimination de la turbidité, le rendement de traitement des principaux procédés (décantation et filtration), la présence de l'Aluminium dans les eaux traitées, l'influence du procédé de désinfection sur la qualité d'eau traitée ; comme nous avons proposé des solutions concrètes et efficaces à ces préoccupations.

V.1. VARIATION DE LA TURBIDITE ET DU DEBIT A L'ENTREE DE LA STATION

Par cause de gestion de l'eau à l'amont de la station ou des besoins en consommation d'eau de la population, le débit entrant à la station varie durant la période de l'exploitation. Par conséquent, cette variation de débit aura un impact sur l'exploitation de la station en général, mauvais contrôle du taux de traitement des produits chimiques, changement des paramètres de fonctionnement des ouvrages comme les vitesses de filtration des filtres à sables, les temps de séjours dans les décanteurs.

La variation de la turbidité dans le traitement conventionnel, influe directement sur le contrôle du procès de coagulation – floculation.

La variation de la turbidité d'eau brute et la variation du débit au cours des mois de janvier et mars, nous permettent de remarquer que la fluctuation des débits influe sur la fluctuation de la turbidité. Cette influence est proportionnelle à l'augmentation de débit et par conséquent l'eau sera prise à différents niveaux dans le barrage de KADDARA où la turbidité est variable d'un niveau à un autre. Par contre durant le mois de janvier la variation de la turbidité est moins intense par cause de faible variation de débit avec une moyenne de $02 \text{ m}^3/\text{s}$. Afin de limiter ou complètement éliminer les pics de débit, nous avons opté pour l'augmentation de la capacité de stockage d'eau traitée et absorber, ainsi, les variations importantes des besoins en eau de consommation.

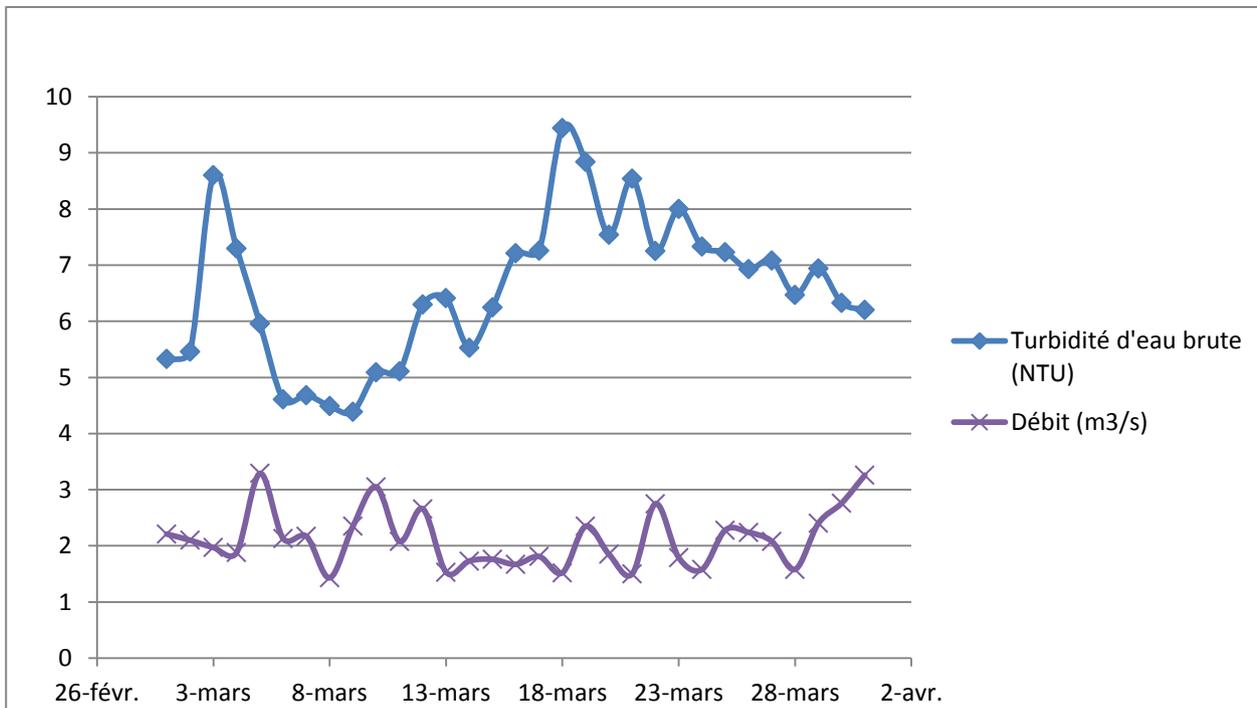


Figure V.1 : Variation de la turbidité de l'eau brute et du débit au mois de Mars

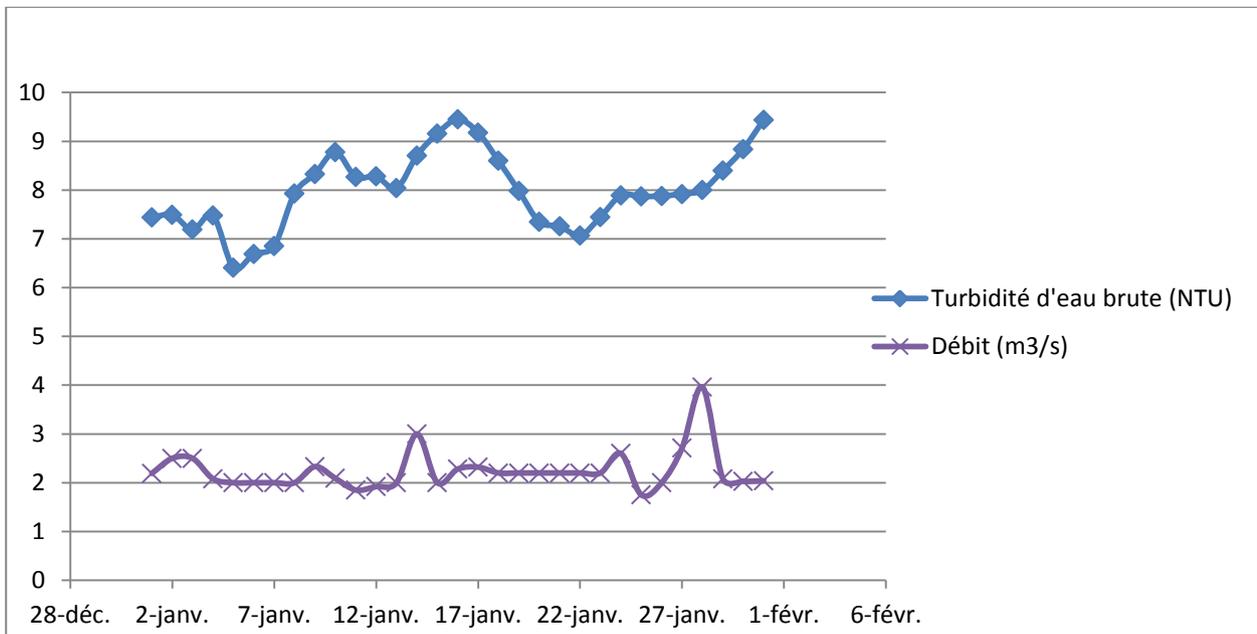


Figure V.2 : Variation de la turbidité de l'eau brute et du débit au mois de janvier

V.2. INFLUENCE DE LA TURBIDITE DE L'EAU DECANTEE SUR LA TURBIDITE DE L'EAU FILTREE

Lorsque les filtres sont installés en aval d'un décanteur, il est important d'optimiser au maximum la qualité de l'eau décantée, car plus la turbidité de l'eau décantée sera élevée, plus celle de l'eau filtrée sera élevée et conduira à des pertes d'eau excessives, du fait du raccourcissement des cycles entre deux lavages.

Pour améliorer le rendement de décantation et par conséquent améliorer le rendement de filtration, on veillera à optimiser les doses de coagulant et de floculant, en réalisant régulièrement l'essai au Jar-Test sur l'eau brute à chaque variation significative de la turbidité et du débit. Mais dans des conditions d'exploitation comme celles de la station de BOUDOUAOU –voir figure V.3- où la variation de débit est très intense, le contrôle des doses de coagulant et floculant sera plus difficile et le rendement de décantation devient plus faible. Donc pour améliorer la décantation et la filtration, on s'attachera à rendre le débit d'eau à traiter constant dans une période permettant de maîtriser l'exploitation et le contrôle du fonctionnement de la station.

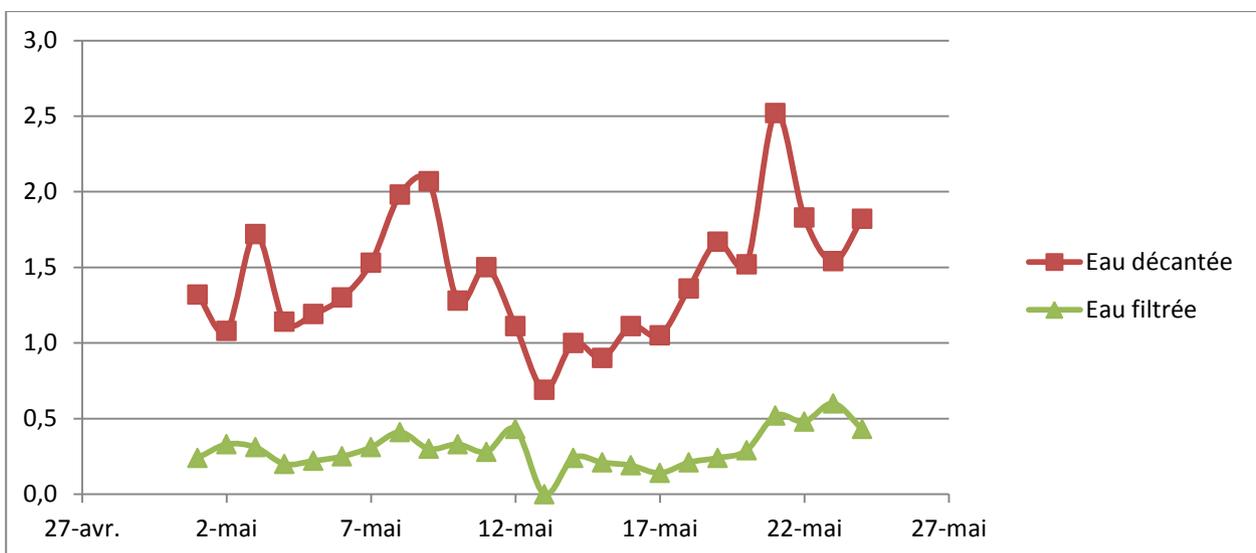


Figure V.3 : Influence de la turbidité de l'eau décantée sur la turbidité de l'eau filtrée

V.3. L'INFLUENCE DU PROCEDE DE COAGULATION-FLOCCULATION SUR FILTRE SUR LE CYCLE DE LAVAGE DES FILTRES A SABLE

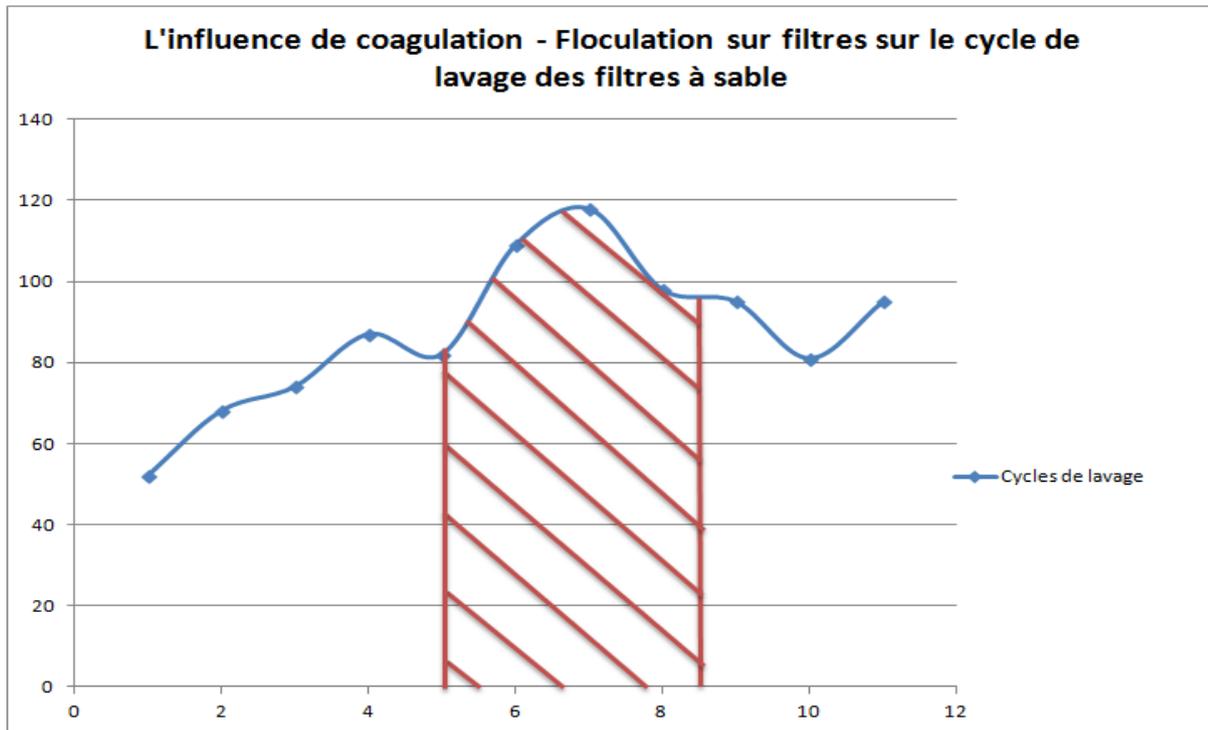


Figure V.4 : Influence du procédé de coagulation floculation sur filtre sur les cycles de lavage

Dans le cas de Coagulation – Floculation sur filtres à sable (période hachurée dans la Figure V.4), la turbidité de l'eau à filtrer augmente, et le colmatage des filtres sera plus rapide, par conséquent le cycle de lavage sera très réduit, ce qui demande une énergie et une quantité d'eau de lavage plus importantes.

L'énergie consommée lors d'un lavage d'un filtre à sable dans le cas de la station de traitement de Boudouaou est de 87,36 kWh et la quantité d'eau de lavage est de 855,75 m³.

Tableau V.1 : Influence du procédé de coagulation floculation sur filtre sur le taux d'élimination de la turbidité

Mois	Cycle de lavage	Turbidité (NTU)			Taux d'élimination de la turbidité (%)	Observations
		Eau brute	Eau décantée	Eau filtrée		
Janvier	52	7,86	1,9	0,39	95,04	Décantation + Filtration
Février	68	6,74	1,9	0,49	92,39	Décantation + Filtration
Mars	74	6,58	2	0,26	95,92	Décantation + Filtration
Avril	87	5,73	2,56	0,34	93,26	Décantation + Filtration
Mai	82	4,03	1,37	0,32	92,13	Décantation + Filtration
Juin	109	3,09	-	-		Changement de process
Juillet	118	2,23		0,41	81,49	coag.floc. sur filtres
Août	98	1,72		0,39	78,37	Filtration seule
Septembre	95	1,38	-	-		Changement de process
Octobre	81	2,14	0,53	0,31	84,13	Décantation + Filtration

Le tableau V.1 nous permet de déduire que le taux d'élimination de la turbidité est supérieur à 90 % dans le cas d'utilisation du procédé de décantation et de filtration, et inférieur à 90% dans le cas d'utilisation de la filtration sans décantation.

A partir du mois de Juin la valeur de la turbidité dans l'eau brute commence à baisser dans les environs de 02 NTU, ce qui fait que le procédé change ; alors que l'utilisation de la décantation et de la filtration durant le mois d'Octobre et dans le cas d'une turbidité aussi faible (2,14 NTU), le rendement de traitement est meilleur que celui du procédé de coagulation-floculation sur filtre.

Donc l'utilisation du procédé de décantation et filtration nous permet d'obtenir un taux (rendement) de traitement plus élevé et de faibles pertes d'eau.

V.4. L'INFLUENCE DE LA VITESSE DE FILTRATION SUR LA QUALITE DES EAUX

FILTRES

Dans la figure V.5, nous remarquons l'appariation des valeurs indésirables sur la qualité des eaux filtrées et qui correspondent à une augmentation rapide de la vitesse de filtration. On peut expliquer l'augmentation de la valeur de la turbidité par :

- L'augmentation rapide de la charge superficielle, et par conséquent l'augmentation des forces de cisaillements qui s'exercent sur les floes à l'intérieure des filtres.
- L'augmentation rapide de la vitesse de filtration qui implique la destruction des floes, et par conséquent une augmentation de la turbidité à la sortie des filtres.
- Difficulté de contrôler le bon fonctionnement des filtres (contrôle des valeurs de colmatage, de la turbidité et des cycles de lavage), vu l'augmentation rapide des vitesses de filtration.

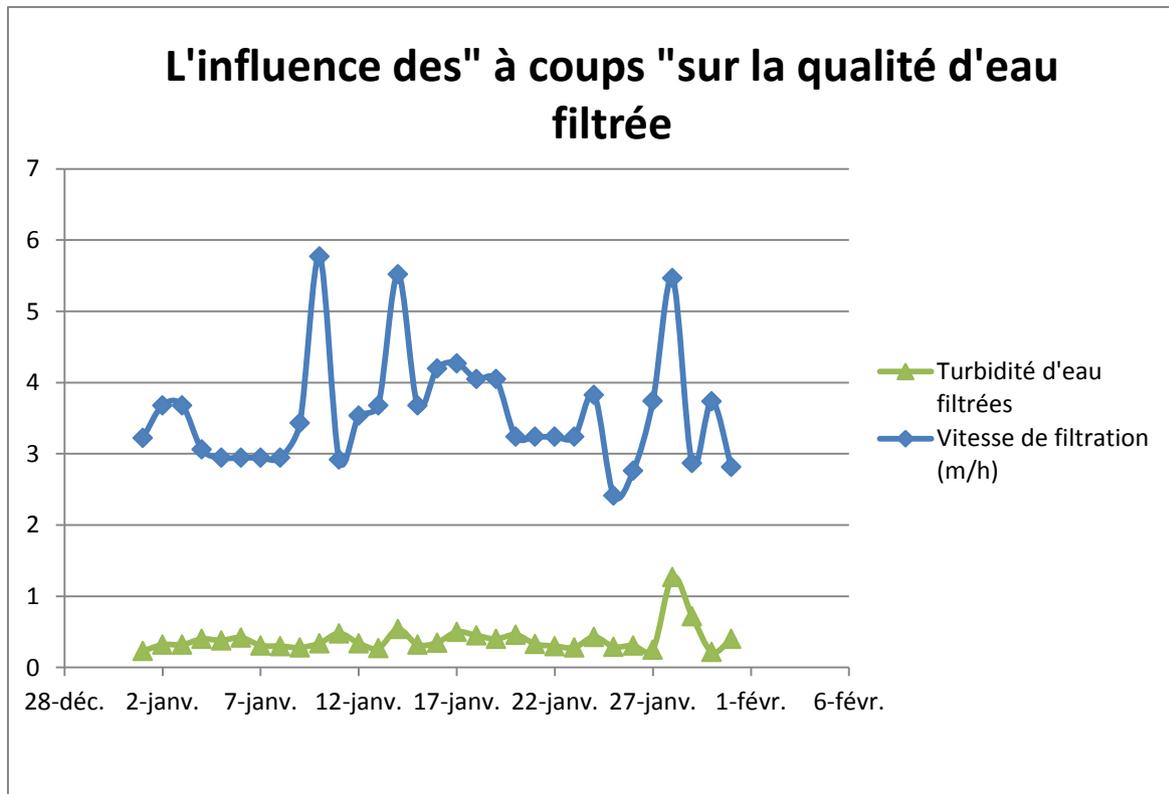


Figure V.5 : Influence des à-coups sur la qualité d'eau filtrée

V.5. PRESENCE DE L'ALUMINIUM DANS L'EAU TRAITEE

L'injection du Sulfate d'Aluminium dans l'eau brute a pour but d'améliorer le processus de coagulation-Floculation. Ceci explique la présence de l'Aluminium en grande quantité dans l'eau traitée et les eaux de lavage des filtres, lorsqu'il s'agit d'une coagulation – Floculation sur filtres.

La présence de l'Aluminium sous forme d'hydroxyde d'Aluminium dans la boue décantée qui, ensuite, est rejetée dans le milieu naturel peut engendrer un risque de contamination des nappes phréatiques et des terres agricoles. Dans ce cas-là, un traitement des boues est primordial pour la protection de l'environnement.

C'est pour ces raisons que les exploitants de la station de traitement, sont obligés de revoir à la baisse le taux d'injection de Sulfate d'Aluminium, afin d'éviter l'apparition de l'Aluminium en grande quantité dans les eaux traitées. Donc les actions à entreprendre suite aux résultats du Jar Test ne sont pas respectés, et le rendement de décantation devient plus faible. Dans ce cas, l'utilisation du Sulfate d'Aluminium dans le processus de Coagulation-Floculation reste un concept insuffisant.

Tableau V.2 : Présence de l'Aluminium dans l'eau

Mois	Jar Test	Al . dans l'eau traitée	Taux de traitement
	mg/l	mg/l	mg/l
Mars	53	0,16	12
Avril	65	0,17	12
Mai	55	0,28	20
Juin	50	0,16	16
Juillet	40	0,14	2

V.6. LES INCONVENIENTS DE CHLORATION DANS L'EAU TRAITEE

La combinaison du Chlore avec la matière organique génère par une suite de réactions chimiques et biologiques des sous-produits de désinfection odorants. Certains sous-produits de chloration, tels les THM (Trihalométhane) peuvent être cancérigènes.

Les résultats d'analyse mentionnés dans le Tableau V.3 montrent que malgré le traitement effectué, les teneurs en matière organique restent importantes et contribuent de façon considérable à la formation de THM et de valeurs supérieures à 300 µg/l, alors que la concentration des THM dans l'eau est limitée par la réglementation en vigueur et la NF (Norme Française) à 100 µg/l. Actuellement, il y a une tendance internationale à la baisse de ce seuil, comme aux Etats-Unis où il est de 80 µg/l et de 30 µg/l en Italie. [6]

L'abattement de la matière organique dans l'eau potable répond à cette problématique. Il permet de réduire la teneur en THM de l'eau potable, possible par l'utilisation d'un traitement membranaire.

Tableau V.3 : Taux en THM (Trihalométhane) dans l'eau traitée

Mois	Composants	Eau traitée
	µg/L	Désinfectée
Mars	COT	1,87
	THM	261,4
Avril	COT	1,34
	THM	327,7

V.7. SUBSTITUTION DU TRAITEMENT CONVENTIONNEL PAR UN TRAITEMENT MEMBRANAIRE

Une des voies de résolution des problèmes rencontrés au niveau des stations de traitement conventionnel est le recours aux traitements membranaires, pour atteindre à un taux infime de matière organique dans l'eau potable, réduire la consommation des produits chimiques (coagulant et floculant) et opposer une barrière physique aux virus, aux bactéries et aux parasites.

Des études estimatives ont été réalisées sur le système membranaire en employant les bases de données de la station de traitement de BOUDOUAOU pour obtenir des résultats comparatifs à ceux obtenus par le système de traitement classique.

V.7.1. CONSOMMATION EN PRODUITS CHIMIQUES :

Comme on peut l'observer sur le tableau V.4, les procédés membranaires sont beaucoup plus économes en produits chimiques que les procédés conventionnels. Les produits chimiques employés dans le système membranaires sont utilisés lors des lavages des membranes.

Tableau V.4 : Consommation en produit chimique

Réactifs	Procédé conventionnel	Procédé membranaire
Floculant	1 000 Kg/mois	0
Coagulant	150 000 Kg/mois	0
Lavage à l'Eau de Javel	0	11 250 Kg/mois
Lavage à l'acide citrique	0	800 Kg/mois
Lavage à la Soude	0	2 300 Kg/mois
Lavage Profond à l'Acide	0	520 Kg/mois

V.7.2. ENCOMBREMENT ET ESPACE D'OCCUPATION

Le tableau V.5 est un comparatif entre des deux types de technologie. En matière d'encombrement, pour le cas des technologies membranaires pour traitement des eaux de surface au niveau de la station de BOUDOUAOU, la surface nécessaire aux ouvrages est de 30 % plus faible, ce qui permet de réduire les coûts d'investissement au tout début des travaux de GC (voir tableau V.5).

Il est important de noter que les installations membranaires sont légères et ne nécessitent pas des fondations aussi solides que celles à réaliser pour les procédés conventionnels, réduisant ainsi les coûts de Génie Civil lors de la construction des unités.

Tableau V.5 : Superficie d'occupation des éléments de traitement

Procédé conventionnel	Procédé membranaire
Décanteurs : 4 284,6 m ²	1 200 m ²
Filtres à sable: 2 608,00 m ²	

V.7.3. COMPARAISON GENERALE ENTRE LES DEUX PROCÉDES

Le tableau V.6 montre que les procédés membranaires agissent comme des filtres pour retenir les éléments microscopiques supérieurs à 0,01 micron et résoudre, ainsi, les problèmes liés à la présence de THM et de l'Aluminium dans les eaux traitées, en éliminant les produits chimiques de coagulation et floculation.

Tableau V.6 : Comparaison entre les deux procédés

	Procédé conventionnel	Procédé membranaire
Barrière physique	Les filtres à sable n'offrent pas une filtration absolue.	La filtration membranaire offre une barrière physique efficace. Il s'agit d'une filtration absolue.
Consommation de produits chimiques	L'efficacité de la filtration dépend du dosage des produits chimiques, et la charge polluante à l'entrée de la station	Généralement dans les systèmes de filtration membranaires aucun produit chimique n'est nécessaire
Variation de la turbidité	La qualité des effluents est fonction de celle de l'eau brute et la turbidité atteint des valeurs supérieures à 1 NTU	Le traitement permet d'obtenir des turbidités faibles: en dessous de 0,1 NTU
Elimination de la matière organique	Passage de la matière organique dans l'eau potable, et le taux de THM plus élevé	Teneur en matière organique très faible, il permet de réduire le taux de THM dans l'eau potable
Présence de l'Aluminium	L'ajout du Sulfate d'Aluminium en grande quantité engendre la présence de l'Aluminium dans l'eau traitée et dans la production de boues décantées	Pas d'ajout de coagulant et absence de production de boues

CONCLUSION

L'utilisation du traitement classique seul pour le traitement des eaux de surface est insuffisante pour obtenir une meilleure qualité d'eau et une grande assurance de santé pour les consommateurs.

De par les caractéristiques dimensionnelles de ses édifices, le traitement classique des eaux de surface requiert une grande superficie d'installation des ouvrages hydrauliques, une consommation très importante de produits chimiques et un coût d'exploitation (énergie, entretien et maintenance) assez élevés. En plus de l'incidence financière, le dit type de traitement présente des difficultés au niveau de son exploitation et de son contrôle (mauvais contrôle de lavage des filtres à sable, des doses non optimales concernant le coagulant), ce qui provoque une réduction de la qualité de l'eau traitée.

Ces inconvénients nous amènent à contribuer dans la recherche de l'amélioration du traitement conventionnel par des procédés membranaires qui répondent aux exigences et normes de potabilité des eaux.

Il est possible d'obtenir, indépendamment de la qualité de l'eau:

- Une bonne qualité des effluents en continu $< 0,1\text{NTU}$,
- Une garantie de réduction de la matière biologique/bactériologique,
- Un encombrement et des frais de construction plus faibles,
- Une réduction des interventions pour la maintenance ;
- Une faible consommation en produits chimiques.

CONCLUSION GENERALE

L'étude effectuée sur le traitement des eaux de surface par le système classique a pour but d'obtenir des résultats d'analyse sur les performances de leurs procédés de traitement et leurs inconvénients. C'est à partir de ces résultats qu'on cherche à améliorer les techniques de traitement en matière de qualité d'eau potable, coût et exploitation.

Les analyses ont été menées par le suivi de la turbidité, d'un côté, à cause des écarts souvent constatés en dehors des normes de potabilité, et de l'autre, du fait que c'est un paramètre de référence pour estimer les rendements des principaux procédés de la chaîne de traitement.

Il est difficile d'effectuer une étude sur une station en phase de fonctionnement et de faire le suivi des paramètres de traitement des différents procédés en ligne, vue la nécessité de changement de fonctionnement ou arrêt de certains ouvrages de la filière de traitement, pour raison de maintenance ou de variation de la nature des eaux à traiter. Toutefois, nous avons pu élaborer différents graphes et faire des observations concernant le rendement de traitement sur site, ainsi que la qualité des procédés au niveau de leur exploitation et de leurs performances.

Après analyses et suivi des paramètres du procédé classique sur site, nous avons distingué :

- L'impact de fluctuation du débit sur l'exploitation de la station en général, et sur la variation de la turbidité. Cette variation s'explique par la prise d'eau brute à différents niveaux du barrage. Pour absorber ces fluctuations, nous proposons l'installation (réalisation) de réservoirs de stockage de grande capacité.
- Possibilité d'éliminer le procédé de la filtration directe vue son faible rendement
- Présence de l'Aluminium dans l'eau traitée à cause du dosage du Sulfate d'Aluminium
- Teneur en THM élevée et dépassant les normes et recommandation.

Les points ci-dessus, objets de débats scientifiques, peuvent être résolus par l'utilisation de systèmes de traitement membranaires, d'après l'étude comparative qui a été élaborée dans ce mémoire.

Nous avons effectué également des études comparatives entre la filtration du système classique et la filtration à lavage continu et nous avons distingué que la filtration à lavage continu est plus performante que la filtration du système existant du point de vue exploitation, qualité de traitement et coût (l'énergie consommée par le filtre proposé est à 64 % moins faible que pour le filtre existant).

En conclusion, l'utilisation des systèmes membranaires pour les eaux de surface peu chargées en matière de pollution et de faible turbidité résout les problèmes rencontrés dans les systèmes de traitement classiques.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Adrian RODRIGUEZ GARCIA

"Etude de la congélation comme technique de traitement des eaux : Applications spécifiques", Thèse de doctorat, Institut national des sciences appliqués de Toulouse, Année 2004.

[2] Cyril GOMELLA et Henri GUERREE

"LE TRAITEMENT DES EAUX PUBLIQUES, INDUSTRIELLES ET PRIVEES", Editions Eyrolles, Paris, 1978.

[3] Degrement

"Mémento technique de l'eau", Première Edition Technique et Documentation Lavoisier (1989)

[4] Guillaume BIBES

"Modélisation de Procédés de traitement des Eaux et Reconstruction de grandeurs Physico-chimiques", Thèse de Doctorat, Université de Poitiers, Mars 1992.

[5] Héctor Ricardo Hernandez De León

"Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable ", Thèse de Doctorat, Institut national des Sciences Appliquées de Toulouse, Année 2006.

[6] Jean-Marc BERLAND et Catherine JUERY

"Les procédés membranaires pour le traitement de l'eau ", Document technique FNDAE, Office International de l'Eau SNID, Décembre 2002

[7] LYONNAISE DES EAUX

"Mémento du Gestionnaire de l'Alimentation en Eau et de l'Assainissement, Eau dans la ville, Alimentation en eau", Edition Technique & Documentation - Lavoisier, Paris 1994.

[8] Raymond Desjardins

"LE TRAITEMENT DES EAUX", Edition DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE DE MONTREAL, Janvier 1990.

[9] Sébastien Renou

"Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées", Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de lorraine, Janvier 2006.

Références Web:

<http://portail.unice.fr/jahia/webdav/site/myjahiasite/users/audra/public/Traitement%20eau%20potable%20Veolia%202009.pdf>

<http://www.aimwater.com.au/files/File/DynaSand+2p.pdf>

<http://des.nh.gov/organization/commissioner/pip/factsheets/ard/documents/ard-ehp-13.pdf>

https://cours.etsmtl.ca/ctn626/Technologies/actiflo_dusenflo_package_plants.pdf

<http://www.abhadoo.net.ma/index.php/fre/content/download/20851/380298/file/DIFFERENTS%20FILIERES%20DE%20TRAITEMENT%20DES%20EAUX.pdf>

<http://www.docstoc.com/docs/7861196/ZenoGem-Wastewater-Treatment-Process-%28PDF%29>

<http://www.safewater.org/PDFS/frenchowh/pratiquesurletraitementdeseaux.pdf>

<http://www.chartanc64.fr/public/docs/Choix-des-filieres-ANC.pdf>

<http://vzauf-dev.refer.org/greenstone/collect/bibauf/index/assoc/HASH0116/6c287503.dir/doc.pdf>

<http://www.agencesante09.gouv.qc.ca/Document.aspx?id=456&lang=FR>

<http://www.pall.com/pdfs/Food-and-Beverage/FBOENOFXLF.R.pdf>

ANNEXE 1 : EXEMPLE DE L'EXPLOITATION DES FILTRES AQUAZURE

Tableau 1.1. Exploitation des filtres AQUAZUR DE LA STTAION DE BOUDOUAOU Janvier 2010

DATE		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
01/01/2010	Turbidité	0,21	0,23	0,19	0,22	0,24	0,17	0,23	0,22	0,21	0,23	0,18	0,2	0,26	A	0,26	0,21
	Colmatage	0,3	0,3		0,55	0,6	0,45	0,3	0,3	1	0,5	0,3	0,4	0,5	A	0,3	0,75
	heure de lavage																
02/01/2010	Turbidité	0,21	0,24	0,25	0,26	0,19	0,23	0,19	0,13	0,16	0,19	0,24	0,21	0,26	A	0,23	0,24
	Colmatage	0,5	0,6		1,05	1,5	0,8	0,55	0,5	1,6	0,85	0,4	1	1,2	A	0,65	2,2
	heure de lavage				10H50												15H20
03/01/2010	Turbidité	0,26	0,3	0,32	0,25	0,32	0,35	0,35	0,5	0,86	0,28	0,26	0,3	0,42	A	0,9	0,9
	Colmatage	0,6	0,75		0,15	0,25	0,95	0,75	0,75	0,2	1	0,5	1,25	0,25	A	0,9	0,35
	heure de lavage																
04/01/2010	Turbidité	0,28	0,2	0,32	0,68	0,3	0,24	0,37	0,36	0,29	0,3	0,5	0,39	0,47	A	0,32	0,28
	Colmatage	0,6	0,7		0,2	0,25	0,6	0,5	0,65	0,25	0,7	0,35	0,3	0,35	A	0,9	0,3
	heure de lavage																
05/01/2010	Turbidité	0,21	0,22	0,21	0,19	0,21	0,23	0,26	0,18	0,26	0,23	0,2	0,24	0,29		0,26	0,31
	Colmatage	0,7	0,2		0,3	0,35	0,9	0,8	0,5	0,35	0,95	0,55	0,5	0,6	A	1,2	0,65
	heure de lavage																
06/01/2010	Turbidité	1,07	12,8	0,26	0,33	0,51	0,38	0,41	0,44	0,37	0,33	0,28	0,24	0,23	A	0,22	0,19
	Colmatage	0,6	0,7		0,4	0,4	1,05	1,05	1	0,5	1,15	0,65	0,7	0,65	A	1,5	0,75
	heure de lavage	11H30	9H30	13H00											14H30	10H40	
07/01/2010	Turbidité	0,32	0,27	0,34	0,28	0,31	0,26	0,25	0,31	0,21	0,28	0,22	0,32	0,31	A	0,34	0,31
	Colmatage	0,25	0,2		0,4	0,5	1,1	1	0,7	0,5	1,05	0,55	0,8	0,7	A	0,3	0,8
	heure de lavage																

Tableau 1.1. Exploitation des filtres AQUAZUR DE LA STTAION DE BOUDOUAOU Janvier 2010

08/01/2010	Turbidité	0,26	0,3	0,36	0,27	0,2	0,32	0,27	0,34	0,26	0,2	0,18	0,35	0,33	0,25	0,39	0,3
	Colmatage	0,4	0,3		0,5	0,55	1,6	1,15	1,1	0,55	1,3	0,75	0,95	0,85	0,25	0,4	0,8
	heure de lavage						10H00				14H00						
09/01/2010	Turbidité	0,24	0,23	0,26	0,21	0,18	0,2	0,23	0,24	0,24	A	0,2	0,21	0,23	0,21	0,17	0,26
	Colmatage	0,45	0,45		0,85	0,75	0,1	1,55	1,55	0,8	A	0,8	1,1	0,5	0,4	0,5	1,15
	heure de lavage							10H00	11H00								
10/01/2010	Turbidité	1,34	0,51	A	A	A	A	0,79	A	2,23	A	0,55	0,49	0,43	0,35	A	A
	Colmatage	0,6						0,2		0,95			1,8	1,5		0,8	
	heure de lavage												9H50	11H30			
11/01/2010	Turbidité	0,33	0,64	A	0,41	0,69	0,62	0,69	0,67	0,49	0,56	0,37	A	0,38	0,39	0,46	0,58
	Colmatage	0,6	0,7	0,6	0,25		0,3	0,3	0,2	0,7	0,8	0,6	A	0,4	0,6	0,8	1,3
	heure de lavage	10H10	11H30		13H00												15H15
12/01/2010	Turbidité	2,1	0,36	A	0,3	A	0,26	0,4	0,32	0,33	A	0,3	3,39	0,59	A	0,31	0,24
	Colmatage	0,4	0,3	A	0,3	A	0,45	0,4	0,25	0,8	A		0,72	0,73	A	0,2	0,2
	heure de lavage							14H00									
13/01/2010	Turbidité	0,31	0,27	A	0,3	A	0,27	0,3	0,32	0,34	A	1,29	0,56	0,48	A	0,39	0,27
	Colmatage	0,4	0,5		0,3	A	0,55	0,2	0,3	1,2	A	1,2	1	0,75	A	1,4	0,4
	heure de lavage									9H45		10H50				15H00	
14/01/2010	Turbidité	0,35	0,26	A	0,29	A	0,22	0,3	0,34	0,22	A	0,28	0,36	0,28	A	0,22	0,25
	Colmatage	0,4	0,5	A	0,3	A	0,5	0,2		0,2	A	0,2	0,9	0,8	A	0,35	0,45
	heure de lavage																

Tableau 1.1. Exploitation des filtres AQUAZUR DE LA STTAION DE BOUDOUAOU Janvier 2010

15/01/2010	Turbidité	0,23	0,26	A	0,24	A	0,27	0,28	0,3	0,27	A	0,24	0,25	0,26	A	0,31	0,24
	Colmatage	0,7	0,9	A	0,6	A	0,95	0,55	0,6	0,4	A	0,4	0,2	1,4	A	0,7	0,4
	heure de lavage													17H00			
16/01/2010	Turbidité	0,2	0,33	A	0,26	A	0,22	0,23	0,33	0,25	A	0,28	0,22	0,36	A	0,35	0,27
	Colmatage	0,7	0,9	A	0,65	A	0,85		0,55	0,45	A	0,4	0,5	0,4	A	0,7	0,35
	heure de lavage																
17/01/2010	Turbidité	0,86	0,72	A	0,84	A	1,25	0,3	0,56	0,26	A	0,28	0,55	1,93	A	0,63	0,46
	Colmatage	0,9	1,25	A	0,85	A	1,15	0,75		1,6	A	0,6	0,9	0,7	A	1,15	0,85
	heure de lavage																
18/01/2010	Turbidité	0,48	0,56	A	0,51	A	0,36	0,27	0,4	0,29	A	0,27	0,26	0,29	A	0,3	0,28
	Colmatage	0,75	1,2	A	0,7	A	1,05	0,7		0,6	A	0,5	0,8	0,7	A	1,1	0,6
	heure de lavage																
19/01/2010	Turbidité	0,43	0,67	A	0,38	A	0,33	0,45	0,75	0,8	A	0,34	1,48	0,39	A	0,36	1,94
	Colmatage	0,56	0,95	A	0,5	1	0,7	0,5		0,5	0,25	0,4	0,7	0,6	0,9	0,8	0,45
	heure de lavage																
20/01/2010	Turbidité	6,5	3,9	A	2,62	0,17	4,27	0,27	2,5	0,92	0,73	2,04	2,94	1,93	0,35	3,08	2,75
	Colmatage	0,65	1,25	A	0,8	1,05	1,05	0,7	M	0,55	0,4	0,5	0,85	0,75	0,9	1,05	0,7
	heure de lavage		10H00			11H30	13H30		15H00							14H15	
21/01/2010	Turbidité	1,25	0,9	A	0,88	0,96	1,1	1,2	1,3	1,15	1,3	1,07	1,27	0,92	1,1	1,14	1,04
	Colmatage	0,3	0,38	A	0,15	0,2	0,2	0,2		0,65	0,5	0,6	0,4	0,95	0,35	0,4	1
	heure de lavage	11H00			12H20			13H30					14H30		22H00		23H00

Tableau 1.1. Exploitation des filtres AQUAZUR DE LA STTAION DE BOUDOUAOU Janvier 2010

22/01/2010	Turbidité	0,54	0,19	A	0,26	0,18	0,18	0,22	0,23	0,4	0,32	0,47	0,16	0,13	0,21	0,24	0,2
	Colmatage	0,45	0,4	A	0,15	0,3	0,2	0,1	M	0,75	0,7	0,6	0,4	0,25	0,4	0,55	0,2
	heure de lavage							10H25		11H30		13H00				14H00	
23/01/2010	Turbidité	0,49	0,14	A	0,22	0,21	0,29	0,31	0,31	0,18	0,27	0,17	0,38	0,23	0,2	0,24	0,22
	Colmatage	0,5	0,55		0,2	0,4	0,3	0,5		0,2	0,8	0,2	0,7	0,45	0,4	0,8	0,35
	heure de lavage			9H40							10H40						
24/01/2010	Turbidité	0,35	0,18	A	0,29	0,27	0,22	0,25	0,2	0,27	0,26	0,2	0,43	0,26	0,6	0,26	0,14
	Colmatage	0,6	0,7	A	0,25	0,5	0,4	0,2		0,25	0,35	0,45	0,4	0,6	0,6	1	0,5
	heure de lavage															10H20	
25/01/2010	Turbidité	0,17	0,32	0,2	0,16	0,18	0,17	0,16	0,15	0,21	0,2	0,17	0,19	0,2	0,21	0,17	0,18
	Colmatage	0,55	0,65		0,2	0,45	0,25	0,25		0,25	0,4	0,1	0,5	0,2	0,15	0,15	0,4
	heure de lavage																
26/01/2010	Turbidité	0,13	0,14	0,16	0,12	0,13	0,19	0,21	0,16	0,13	0,14	0,18	0,18	0,16	0,14	0,12	0,18
	Colmatage	0,5	0,95		0,35	0,6	0,6	0,35		0,4	0,5	0,35	0,7	0,8	0,85	0,6	0,7
	heure de lavage		1600														
27/01/2010	Turbidité	0,3	0,5	0,29	0,41	0,34	0,28	0,3	0,54	0,17	0,27	0,16	0,4	0,21	0,39	0,28	0,25
	Colmatage	0,5	0,2		0,25	0,5	0,45	0,35		0,4	0,55	0,3	0,55	0,7	0,75	0,6	0,7
	heure de lavage												18h15	19h15	17h00		21h00
28/01/2010	Turbidité	0,35	0,28	0,26		0,44	0,34	0,25	12,4	2,25	0,96	0,98	0,96	0,52	0,46	0,42	0,35
	Colmatage	0,75	0,5		0,6	1,1	0,8	0,7		0,8	0,85	0,75	0,2	0,3	0,35	0,95	0,2
	heure de lavage					9H30			10H30	12H30							

Tableau 1.1. Exploitation des filtres AQUAZUR DE LA STTAION DE BOUDOUAOU Janvier 2010

29/01/2010	Turbidité	0,26	0,19	0,26	0,28	0,28	0,23	0,21	0,28	0,36	0,57	0,27	0,24	0,47	0,36	0,22	0,2
	Colmatage	0,55	0,5		0,2	0,5	0,25	0,2		0,3	0,35	0,3	0,35	0,85	0,6	0,5	0,4
	heure de lavage																
30/01/2010	Turbidité	0,16	A	0,19	0,23	0,26	0,19	A	0,26	A	0,21	0,16	0,19	A	0,31	0,21	0,21
	Colmatage	0,7	A		0,4	0,7	0,4	A		A	0,45	0,75	0,4	A	0,75	0,4	0,6
	heure de lavage																
31/01/2010	Turbidité	0,32	0,33	0,26	0,41	0,22	0,25	0,24	0,2	0,48	0,2	0,36	0,19	0,41	0,23	0,18	0,28
	Colmatage	1,1	1,1		0,7	0,95	0,6	0,55		0,45	0,55	0,4	0,6	1,1	0,95	0,85	0,75
	heure de lavage	10h30	11h30											13h30			

F1 : Filtre 1

A : Filtre en arrêt

ANNEXE 2 : SPECIFICATIONS DES FILTRES DYNASAND

2.1. Spécifications techniques des filtres DYNASAND :

Les filtres DynaSand sont des réservoirs en béton contenant plusieurs unités de filtres, chacune des filtres composés comme suit :

- Entonnoir complète avec éléments de fixation
- Distributeur d'alimentation des eaux brutes
- Cône de distribution de sable
- Pot de lavage de sable
- Air-lift pour la circulation et le lavage des sables

Une cellule de filtration DynaSand est généralement composée de 8 unités, dont chaque cellule a les spécifications suivantes :

- Surface de filtration : 48 m²
- Volume de sable : 98,4 m³
- Compresseur d'air : 5 bars
- Température autorisée maximale : 60 °C

Matériaux de construction :

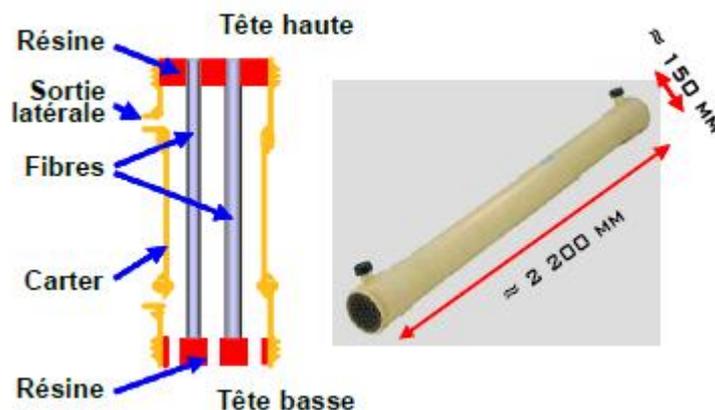
- Cône d distribution de sable : GRP
- Pompe Air-Lift : Polyéthylène
- Pièces à l'intérieur du filtre : Acier Inox

ANNEXE 3 : EXEMPLE DU SYSTEME DE FILTRATION MEMBRANAIRE

3.1. Spécifications techniques du module membranaire, model UNA-62, type PALL

Longueur	2160 mm
Diamètre	165 mm
Seuil de coupure	0,1 µm
Surface des membranes:	50 m ²
Pression transmembranaire maximale	3,0 bar
Pression de service maximale	3,0 bar
Température de service maximale	40 °C
Plage de service de pH	1 – 14
Matériau de la membrane	PVDF
Matériau du carter	ABS
Installation	Verticale
Poids sec (avec solution de préservation)	30 kg

De la résine époxy injectée aux deux extrémités du module réalise le collage des fibres entre elles et avec le carter du module. L'absence de joints toriques évite le risque potentiel de passage de germes de l'eau brute vers l'eau traitée. Une extrémité des fibres est entièrement incluse dans la résine, l'autre extrémité est ouverte.



3.2. Principe de fonctionnement

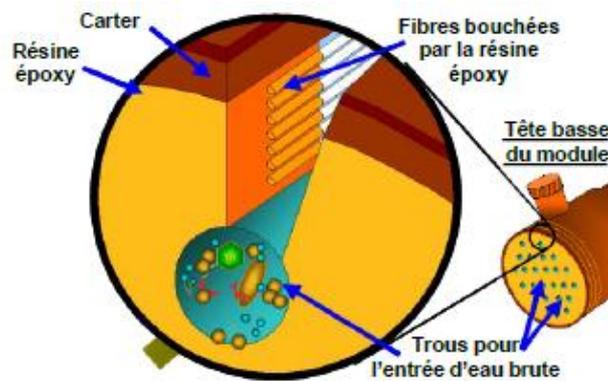
Le fonctionnement du système de Filtration Membranaire se déroule en quatre étapes de fréquence et durée différentes :

- Pré-filtration et filtration,
- Rétro-lavage,
- Nettoyage court et test d'intégrité (EFM).
- Nettoyage en profondeur (NÉP)

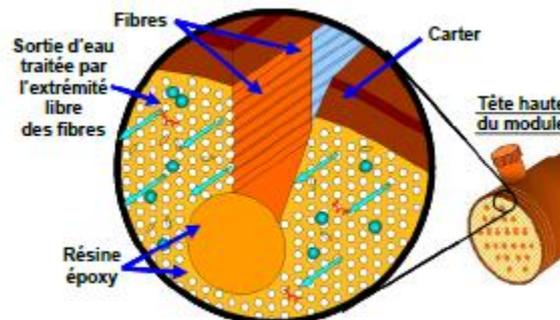
3.3. Pré-filtration et filtration

Les pompes alimentent les racks de modules membranaires. Les particules de taille supérieure à 0,3 mm sont tout d'abord éliminées par des pré-filtres mécaniques.

L'eau brute est injectée sous pression en tête basse du module par 18 trous de 1 cm de diamètre prévus dans la résine époxy et se retrouve à l'extérieur des fibres. Ce liquide est appelé concentrât ou retentât.

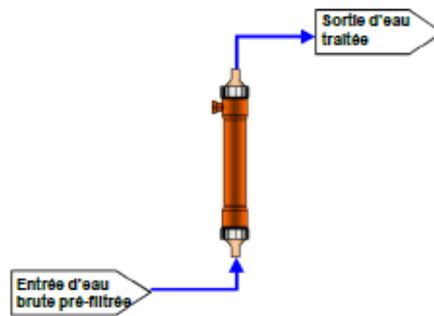


L'eau sous pression traverse la paroi de chaque fibre et sort en tête haute du module par l'extrémité libre de chaque fibre. Le liquide produit est appelé perméat ou filtrat.



L'eau traitée produite par les modules alimente en partie la bêche de rétro-lavage montée sur l'unité Pall Aria ainsi que la cuve de filtrat.

La durée de la filtration est fonction de la qualité de l'eau brute. Plus la turbidité est faible, plus la durée de la filtration est longue. En période sèche, la période entre deux rétro-lavage sera de l'ordre de 30 minutes.



3.4. Rétro-lavage

La filtration accumule les particules et les microorganismes à l'extérieur et à la surface des fibres. Il est nécessaire d'éliminer régulièrement ce dépôt. A la fin de la période de filtration, on réalise un rétro- lavage.

Un rétro-lavage se produit non pas sur une base temps mais en fonction d'un volume d'eau filtrée. Ce volume varie en fonction de la qualité de l'eau brute.

Pall a développé un rétro-lavage original à l'air et à l'eau. Ce type de rétro-lavage utilise un volume d'eau de deux à trois fois plus faible que lorsque le rétro-lavage est fait uniquement à l'eau. Le volume de rejets ainsi généré est de l'ordre de 80 litres par module (30 litres de filtrat, 50 litres d'eau brute).

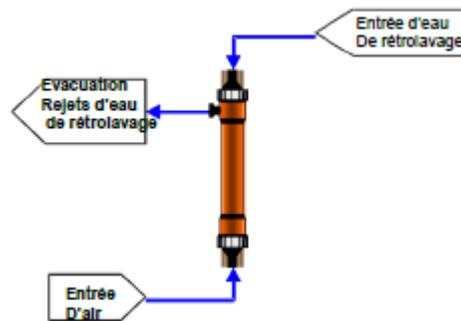
Du filtrat en provenance de la cuve de rétro-lavage est envoyé sous pression en sens inverse de la filtration, côté perméat grâce à une pompe centrifuge (débit typique 1,8 m³/h par module).

En même temps de l'air des surpresseurs est insufflé côté alimentation. Le besoin en air lors du rétro- lavage des membranes est de 5 Nm³/h par module.

L'injection simultanée d'air et d'eau améliore l'efficacité du rétro-lavage. Le filtrat ainsi envoyée côté perméat, traverse la membrane et décolle le dépôt de la membrane.

Les rejets de rétro-lavage (environ 30 litres de filtrat par module) sont évacués par une canalisation des rejets.

A la fin du rétro-lavage, les saletés résiduelles contenues dans le module, à l'extérieur des fibres, sont chassées à l'eau brute. Environ 50 litres d'eau brute par module sont nécessaires pour réaliser cette opération. La durée totale du rétro-lavage est de l'ordre de deux minutes.



3.5. Nettoyage court (EFM)

Une faible partie des dépôts n'est pas éliminée par l'action hydraulique et mécanique réalisée lors des rétro-lavages. Il est donc nécessaire de réaliser un nettoyage plus efficace à la surface des membranes. Cette étape s'appelle un nettoyage court (EFM ou « Enhanced Flux Maintenance »).

La fréquence des nettoyages courts est fonction de la variation de la qualité de l'eau brute. Lorsque l'eau brute contient peu ou pas de matière organique ou de turbidité, les nettoyages sont espacés. Lorsque l'eau brute se dégrade, caractérisée par une augmentation forte et rapide de la turbidité généralement associée à une augmentation de la concentration en matières organiques, les nettoyages chimiques sont plus fréquents.

Le procédé de nettoyage utilisé pour laver chimiquement les membranes MICROZA n'emploie jamais de détergents. Le nettoyage court utilise une solution chlorée pour éliminer la matière organique.

Le nettoyage court est réalisé sur chaque rack individuellement. Les principales étapes du nettoyage court sont :

- Préparation de la solution de nettoyage,
- Vidange de l'eau contenue dans les modules
- Circulation de la solution de nettoyage,
- Récupération et vidange de la solution de nettoyage,
- Remplissage des modules avec de l'eau filtrée
- Elimination par rinçage de la solution de nettoyage.

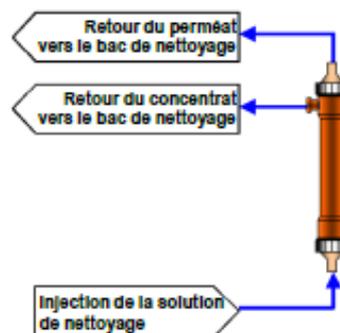
3.5.1. Préparation de la solution de nettoyage

La solution de nettoyage est préparée dans la cuve de nettoyage en ajoutant de l'hypochlorite de calcium à de l'eau. L'ajout se fait grâce à un envoi de solution provenant de la préparation de la solution chlorée.

3.5.2. Circulation de la solution de nettoyage

La solution de nettoyage circule dans la boucle de nettoyage grâce à la pompe de nettoyage à un débit de 1 m³/h par module.

La solution circule à l'extérieur des fibres, la majeure partie du débit ressortant par la sortie latérale haute des modules et est retournée vers le bac de nettoyage. Une faible partie traverse les fibres et est également renvoyée vers ce bac de nettoyage si nécessaire. La circulation dure en général 20 à 30 minutes.



Cette circulation des solutions de nettoyage dissout ce qui a adhéré à la surface des membranes. Chaque solution de nettoyage est éliminée des modules par vidange, remplissage et rinçage.

Récupération de la solution de nettoyage des modules via l'utilisation de la pompe de nettoyage vers la cuve de nettoyage.

- Remplissage des modules par rétro-lavage au filtrat
- Vidange de la solution vers les rejets
- Rinçage à l'eau brute

Typiquement, le volume de rinçage est d'environ 200 litres. Les rejets de vidange ou de rinçage des solutions de nettoyage contiennent ce qui s'est accumulé sur la surface de la membrane et qui provient de l'eau brute. Ces rejets sont évacués à l'égout.

3.6. Nettoyage en profondeur : NEP

De temps en temps, il est préférable de réaliser un nettoyage en profondeur qui correspond à une circulation d'eau contenant une forte concentration de réactif – chlore/soude, puis rinçage, puis acide.

Cette opération est réalisée avec les mêmes équipements que le nettoyage court.

La solution chlorée/basique, préparée à environ 500 – 800 ppm et 1-2% de soude dans de l'eau tiède à environ 35°C, circule dans les modules pendant 120 minutes.

La solution acide, préparée dans de l'eau à température ambiante par ajout d'acide citrique (2 % final), circule dans les modules pendant 60 minutes.

Le rinçage se fait comme pour les nettoyages chimiques. Typiquement, le volume total de rinçage est d'environ 300 litres par module.