

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES

Faculté des Sciences de l'ingénieur

Département génie des procédés et de l'environnement

Mémoire de Fin d'Etudes

En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Filière : science et Génie de l'environnement

Option : Génie de l'environnement

THEME

**Etude critique de performances de La
station de traitement d'eau de Boudouaou**

Réalisé par :

- Madjour Ghazel Nesrine
- Adjouj Ibtissem

Promoteur :

- Mr M. Boureghda

Année Universitaire : 2017/2018

Remerciements

Nous remercions en premier lieu, **DIEU**, de nous avoir accordé toute la patience durant toutes ces années, la santé, le courage et la foi pour arriver à ce jour.

Nous tenons à présenter notre reconnaissance à notre promoteur « **Mr. Boureghda** » qui par sa confiance et ses conseils a porté une attention constante à notre travail, ainsi que pour tous ses encouragements pendant toute la durée de ce travail. Qu'il trouve dans ce mémoire l'expression de notre profonde gratitude.

Nos remerciements vont également à tous les enseignants de notre faculté des sciences de l'ingénieur, et spécialement pour les enseignants de génie de l'environnement.

On tient à remercier vivement la station de traitement des eaux potable (SEAAL) pour leur accueil, leur esprit d'équipe. Nous remercions tous ceux qui ont contribué au succès de ce travail.

Les plus grands remerciements sont dus à notre professeur encadré qui a grandement contribué au succès de ce travail, où nous avons beaucoup soutenu et ne nous a pas épargné en termes d'information et de conseil un grand merci pour vous monsieur

« **Boureghda** »

À tous, nous disons merci.

Acknowledgements

At the end of my thesis i would like to thank all those people who made thesis possible and an unforgettable experience for me.

*I take this opportunity to express the profound gratitude from my deep heart to my first and beloved **Dad** and **Mom**, **Grandmother**, my brother Mounir, to my lovely sister imene and for my dear second sister who has always supported me khateb Amina, To my aunt Fahima, Samira, chahrazed, houda, Fadila, for all my uncls Especially my uncle « salah eddine » and « khateb ahmed ».*

I would like to express my very sincer gratitude to my advisor «ADJOU DJ IBTISSEM» and my lovely little Sisters and Brothers Ahlem, Hiba, Amira, Badr eddine, Amir, Haitham, Maroua Zakaria, Akram...

Great thanks to all my family Madjour and Ferdi.

Finally, i am thankful to Mr boureghda for his selfless encouragement and support when i most need it.

« Madjour Ghazel Nesrine »

Remerciements

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon Directeur de mémoire Monsieur « **Bouregghda** » pour le temps qu'il a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette étude. Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.

J'adresse mes sincères remerciements à toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé mes réflexions et ont accepté à me rencontrer et répondre à mes questions durant mes recherches au niveau de la station de traitements des eaux potable Boudouaou.

Je désire aussi remercier les professeurs de la faculté FSI, qui m'ont fourni les outils nécessaires à la réussite de mes études universitaires jusqu' aujourd'hui.

Je remercie mes très chers parents, Adjoudj Ali et Mekhfi Djamila, qui ont toujours été là pour moi,

« Vous avez tout sacrifié pour vos enfants n'épargnant ni santé ni efforts. Vous m'avez Donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. Je suis redevable d'une éducation dont je suis fier ».

Je remercie mon époux qui était toujours derrière moi afin de réussir dans mes études.

Ainsi mes frères et sœurs pour leur encouragement.

Je remercie très spécialement mon binôme de travail « **Madjour Ghazel Nesrine** » et tous sa famille pour leur soutien inconditionnel et leur encouragement.

À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Table des matières

Chapitre I :

Présentation	1
Caractéristiques :	1
Ouvrages :	1
I.1. Introduction :	3
I.2. Les eaux souterraines :	4
I.2.1. Définition :	4
I.2.2. Origine :	4
I.2.3. Le stockage et la circulation :	5
I.2.4. Potabilité :	5
I.3. Les eaux superficielles	6
I.3.1. Définition	6
I.3.2. Origine :	6
I.3.3. Potabilité des eaux de surface :	6
I.3.3. Caractéristiques générales :	7
I.4. La pollution des eaux souterraines et les eaux superficielles :	9
I.4.1. La Contamination des eaux souterraines :	9
I.4. 2. La contamination des eaux superficielles et de nappe phréatique :	9

Chapitre II :

II)- Chaîne élémentaire de production d'eau potable.....	10
II.1. Introduction :	10
II.2. Prétraitement	10
II.2.1. Le dégrillage :	11
II.2. 2. Préoxydation :	11
II.3. Clarification	12
II.3.1. Coagulation-Floculation	13
a) - Les particules mis en jeu	13

b) -But de la coagulation-floculation	14
II.3.2. La coagulation	14
a) L'influence du paramètre pH :	15
b) L'influence de la dose de coagulant :	16
c) L'influence de la température	16
d) L'influence de la turbidité	16
II.2.3. La floculation.....	16
II.4. La décantation-flottation	18
II.5. La filtration	18
II.6. Oxydation-Désinfection.....	19
II.6.1. Le chlore (Chloration)	20
II.6.2. Le dioxyde de chlore	21
II.6.3. L'ozone.....	21
II.6.4. Le rayonnement UV	21
II.7. L'Affinage.....	22
II.8. Conclusion	22

Chapitre III :

III. Introduction :	23
III.1. Processus de production de l'eau potable	23
III.1.1. La décantation.....	23
Objectif :	23
B) -Définition :	23
III 1.2. Différents types de décantation.....	24
III.1.3. Décantation des particules grenues :	24
Théorie.....	24
III.1.4. Régime hydraulique.....	25
III.1.5. Conditions de capture	25
Décantation à flux vertical.....	25
Décantation à flux horizontal	26
III.1.6. Efficacité comparée des décantations horizontale et verticale particules grenues : .	27
a) - Décantation dise des particules floculées	27
b) - Décantation en piston des particules floculées	27
III .1 .7. Observation visuelle	27

III .1 .8. Courbe de Kynch :	28
III .2.1. Calcul des décanteurs	29
A) -Décantation lamellaire	30
Principe	30
B) -Choix du type de décantation lamellaire	32
C)- Choix du type de faisceaux lamellaires	32
III .2.2. Le décanteur PULSATOR	33
III .2.2.1. Historique	33
III .2.2.2. Définition et caractéristique :	34
III .2.3. Le décanteur Pulsateur Lamellaire (floculation, décantation)	35
A) -Principe et fonctionnement :	35
III .2.3. Interprétation des résultats :	40
III .3. La filtration	41
III .3.1. Généralité :	41
A) -Définition	41
Objectif de la filtration :	41
B) - Principe de la filtration :	42
III .3.2. Filtration en surface :	43
III .3.3. Filtration en profondeur :	44
III .3.4. Les filtres sur sable	44
III .3.5. Filtre à sable Aquazur :	46
a) -Filtres bicouches :	46
b) -Filtres à charbon actif :	46
C -filtres particuliers :	46
III .3.6. Taux de filtration	47
A/-Filtration lente sur sable :	47
III .3.8. Avantages des filtres	49
III .4. Le filtre « aquazur v »	49
A) -Définition	49
B) -Caractéristiques :	49
C) -Description :	50
D) -Fonctionnement :	50
E) -Performances	50
III.4.1. La granulométrie de sable ϕ	51
A) -Caractéristiques physiques :	51

B) -Nature du milieu poreux	51
III.4.2. Les filtres AQUAZUR V sont ainsi caractérisés par :.....	54
A) -Buselures :.....	54
III.4.4. La filtration sur un filtre ouvert type aquazur v :	56
III.4.5. Colmatage et lavage du matériau filtrant.....	56
III.4.6. Lavage des filtres AQUAZUR V :	57
A) -Lavage du milieu filtrant :.....	57
B) -Le lavage du filtre dépend de :	57
C) -Les trois critères pour effectuer un lavage du filtre	58
E) -Les débits mis en œuvre sont :	58
III.4.7. Consommation d'eau de lavage :.....	58
III.4.8. Aquazur v double cellules :.....	59
III .4.9. Interprétation des résultats :.....	60
III.5. La javellisation :	62
A) -Principe :	62
B) - Désinfectants	62
- III.5.1. Le suivi du chlore résiduel	63
III.6. Préservation de l'environnement.....	63
Réduire l'impact de l'activité de « SEAAL » sur l'environnement :	63
III.7. Conclusion.....	64

Liste des figures

Chapitre I :

La Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL) : présentation et Historique

Figure I.1 : Schéma de la station de traitement des eaux potables Boudouaou.....	2
Figure I.2: la circulation de l'eau de Pluit	5

Chapitre II :

Figure II.1: Station de production d'eau potable.....	9
Figure II .2 : Dégrilleur à la sortie du barrage.....	10
Figure II.3: schéma de la préoxydation	11
Figure II. 4: L'étape de la coagulation- Flocculation.....	13
Figure II .5 : Coagulation- Flocculation.....	13
Figure II. 6 : La formation des floccs.....	16

Chapitre III :

Figure III.1: De la décantation à flux horizontal (particules grenues).	26
Figure III.2: De la décantation à flux horizontal (particules flocculées)	27
Figure III.3: schéma de décantation en piston.....	28
Figure III.4: Influence du temps de séjour et de la hauteur du décanteur sur l'élimination des particules flocculées en décantation diffuse.....	28
Figure III.5: Courbe de kynch-Anderson. (Régimes de sédimentation)	29
Figure III.6: Décantation lamellaire à co-courant	31
Figure III.7: Décantation lamellaire à contre-courant.....	32
Figure III.8: Décantation lamellaire à courants- croisés.	32
Figure III.9: Décanteur PULSATOR.	35
Figure III.10: Le décanteur Pulsateur Lamellaire de la station de Boudouaou.	37
Figure III.11: Mélange à filtrer	41
Figure III.12: Filtration en surface.	44
Figure III.13: Filtration en profondeur.	44
Figure III.14: Filtre sous pression	45
Figure III.15: Filtre ouvert (double AQUAZUR type T à plancher béton et canal air-eau)	46
Figure III.16: Coupe du filtre Midiazur double flux.	47
Figure III.17: Les composantes d'un filtre lent avec contrôle de débit à l'entrée.....	48
Figure III.18: Filtration rapide sur sable	49
Figure III.19: Schéma d'une phase de filtration.....	53
Figure III.20: Filtre à sable de type Aquazur avec une plate forme contient des buselures....	56
Figure III.21: Filtre AQUAZUR type V, phase de filtration.	58
Figure III.22: Filtre Aquazur v de la station SEAAL de Boudouaou lors du lavage.	59
Figure III.23: Buseleur type D20.	60
Figure III.24: Filtre Aquazur type V, phase de lavage air-eau avec balayage de surface.....	61
Figure 25: Schéma de régulation électronique d'un filtre.....	62

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 : Les principales différences entre l'eau souterraine et l'eau provenant des surfaces sont résumées dans le tableau ci-dessous :	8
--	---

Chapitre III

Tableau III.2 :Tableau de Reynolds :	25
Tableau III.3: Les caractéristiques de l'ouvrage décanteur pulsator lamellaires dans l'usine de traitement des eaux potables seaal Boudouaou :	37
Tableau III.4: Détermination graphique du rendement en utilisant les fractions.....	38
Tableau III.5: Ci-après les caractéristiques du notre sable quartzeux : Le produit doit être conforme à la Norme NF EN 12904 juillet 2005.....	52
Tableau III.6: La concentration de Mes :	55

Présentation

La Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL), est une Société Publique par actions, La principale mission de SEAAL est de produire et de desservir en Eau potable la wilaya d'Alger, et de collecter et traiter les Eaux usées au niveau de son périmètre. Elle dessert ainsi 4 millions d'habitants soit environ 10% de la population Nationale., la station de traitement d'eau de Boudouaou est, historiquement, la plus importante infrastructure de production des eaux conventionnelles alimentant la Capitale. Elle fait partie du système SPIK (Système de Production Isser Keddara) et est alimentée à partir du barrage de Keddara (capacité 142 Millions m^3), lui-même principalement alimenté par pompage depuis le barrage de Beni Amrane (capacité 12 Millions m^3), approvisionné par l'oued Isser et, en dépannage, par délestage du barrage de Koudiat Accerdoune (capacité 640 Millions m^3).

Avant la réalisation de l'usine de Boudouaou, la capitale était alimentée par les eaux souterraines à partir des champs captant de Mazafran, Hamiz, Beraki.

Aujourd'hui encore, près d'un Algérois sur trois étanche sa soif avec de l'eau en provenance de Boudouaou. 300 000 m^3 y sont produits quotidiennement avec une marge de manœuvre importante, puisque sa capacité de production peut atteindre, en cas de besoin, 540 000 m^3/j , soit environ la moitié des besoins globaux en eau potable de la Capitale. Elle est dotée d'une capacité de stockage de 150 000 m^3 .

Le traitement de l'eau est opéré grâce à une série d'étapes successives, un processus complexe garantissant une eau de qualité répondant rigoureusement aux normes de potabilité algériennes. Une particularité : l'unité de traitement au charbon actif qui permet de garantir la qualité organoleptique de l'eau en traitant efficacement les goûts observés sporadiquement sur l'eau brute, lorsque des micro-algues se développent, en période estivale, dans le barrage de Keddara

Caractéristiques :

- Année de mise en service : 1987.
- Capacité de traitement : 540.000 m^3/j .
- Superficie de : 17 Hectares.
- Capacité de stockage : 100.000 m^3 .

Ouvrages :

- Ouvrage d'arrivée et de mélange.
- Décanteurs (6) type : Pulsator lamellaire à lit de boue.
- Filtres (16) type : AQUAZUR V.
- Réservoirs (02) capacité 2x50 000 m^3 .
- Réservoirs Transfert TAKSEBT 2 x 25 000 m^3

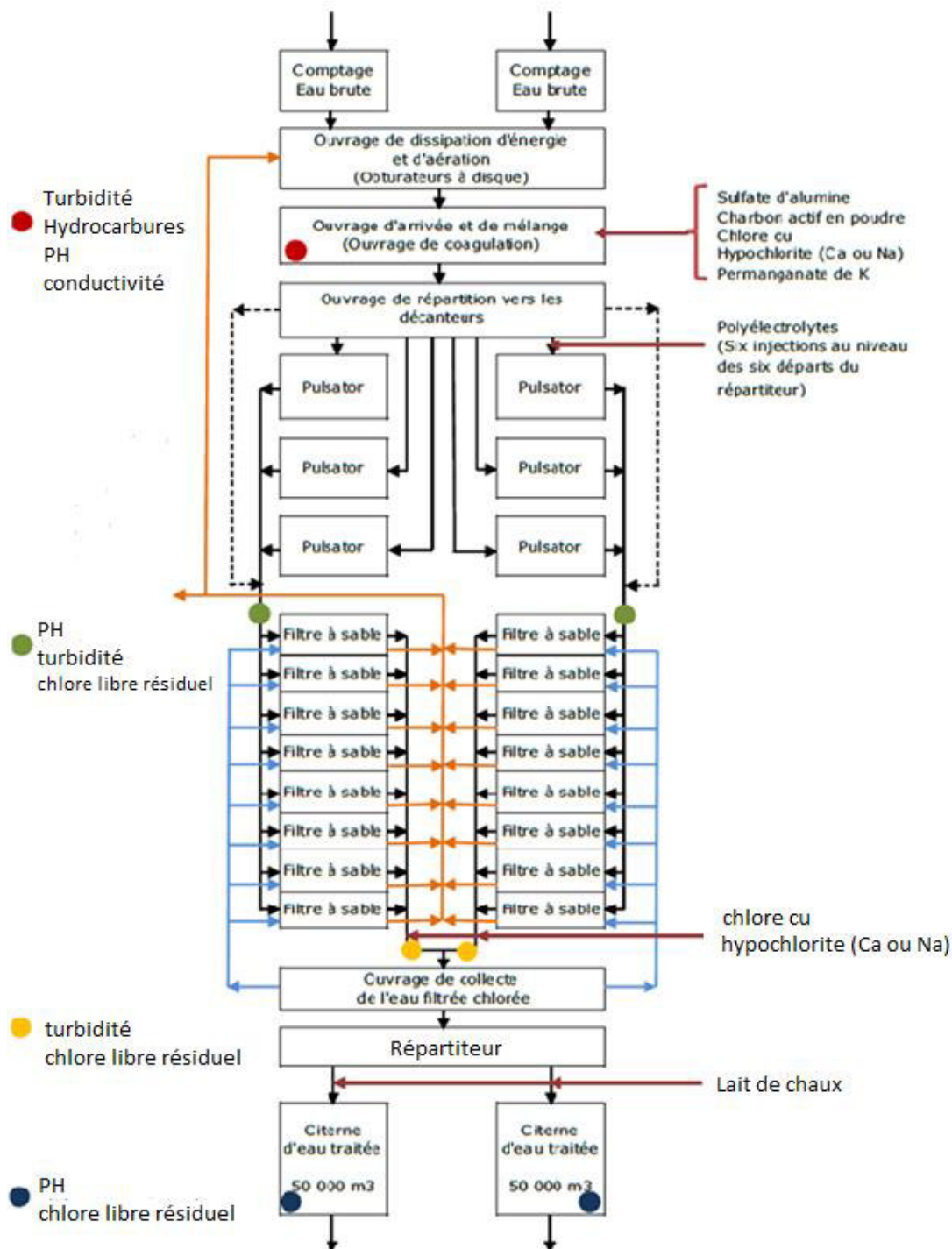


Schéma de la station de traitement des eaux potables Boudouaou.

Chapitre I

Généralités et comparaison entre les eaux de surface et
eaux souterraines

I.1. Introduction :

L'eau est une substance chimique constituée de molécules H₂O. Ce composé est très stable et néanmoins très réactif. Dans de nombreux contextes le terme **eau** est employé au sens restreint d'eau à l'état liquide, et il est également employé pour désigner une solution aqueuse diluée (eau douce, eau potable, eau de mer, eau de chaux, etc.). L'eau liquide est un excellent solvant.

L'eau est ubiquitaire sur Terre et dans l'atmosphère, sous ses trois états, solide (glace), liquide et gazeux (vapeur d'eau). L'eau extraterrestre est également abondante, sous forme de vapeur d'eau dans l'espace et sous forme condensée (solide ou liquide) à la surface, près de la surface ou à l'intérieur d'un grand nombre d'objets célestes.

L'eau est un constituant biologique important, il est aussi essentiel pour tous les organismes vivants connus. Compte tenu de son caractère vital, de son importance dans l'économie et de son inégale répartition sur Terre, c'est une ressource naturelle dont la gestion est l'objet de forts enjeux géopolitiques.

L'eau **de surface**, également appelée **eau superficielle**, sur laquelle est basé le sujet de notre étude. Elles sont constituées, par opposition aux eaux souterraines, de l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées qui sont en contact direct avec l'atmosphère.

Par conséquent, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface ou proche de la surface du sol. Il s'agit pour l'essentiel des cours d'eau, des océans, des mers, des lacs et des eaux de ruissellement.

Sa température varie en fonction du climat et de ses saisons. Ses matières en suspension sont variables selon la pluviométrie et variable la nature et relief des terres à son voisinage. Sa composition en sels minéraux en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets ; elle retient peu les nitrates². Une eau de surface est ordinairement riche en oxygène et pauvre en dioxyde de carbone.

Tôt ou tard, éventuellement après avoir contribué à la vie physiologique de la flore ou de la faune, l'eau de surface s'évapore ou rejoint le cours lent des eaux souterraines.

Les zones humides comportent de manière relativement constante une quantité d'eau de surface, celle-ci contribuant pour sa part à l'intérêt de la zone pour la biodiversité, sous forme d'eau libre, d'humidité du sol ou d'eau imbibant la base des formations végétales qui s'y reproduisent.

-Ils existent deux types d'eaux dans la nature il y'a ce qu'on appelle **les eaux souterraines** et **les eaux superficielles**

I.2. Les eaux souterraines :

I.2.1. Définition :

Les eaux souterraines : sont toutes les eaux se trouvant sous la surface du sol, dans la zone de saturation et en contact direct avec le sol ou le sous-sol.

En tant que ressource naturelle vitale et plus ou moins renouvelable et parfois transfrontalières .

Les aquifères souterraines sont la réserve majeure (96 %) de l'eau douce exploitable sur les terres émergées. Leur pompage est réparti

- 65 % pour l'irrigation.
- 25 % pour l'eau potable
- 10 % pour l'industrie.

Les stocks disponibles en eau naturelle se composent des eaux souterraines, alimentés par les eaux de surface et les eaux de mer.

L'eau souterraine est l'eau qui existe dans les pores, les fissures des roches et dans les sédiments sous la terre. Elle est issue des précipitations ou de la neige et puis, infiltre les sols dans les systèmes d'eaux souterraines. Par la suite, elle peut éventuellement remonter à la surface, ou rejoindre des lacs ou des océans. Elle est naturellement alimentée par la surface, grâce aux précipitations, aux cours d'eau et aux infiltrations d'eaux provenant des rivières.

L'eau souterraine est un réservoir naturel à long terme pour le cycle de l'eau, comparé aux réservoirs naturels que sont l'atmosphère ou l'eau de surface.

I.2.2. Origine :

La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine. Une nappe peut être libre. Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de ruissellement Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue. Une nappe peut être captive. Elle est alors séparée de la surface du sol par une couche imperméable. Elle est généralement plus profonde. Un cas particulier est représenté par les nappes alluviales : ce sont les nappes situées dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau. La qualité de ces eaux est alors directement influencée par la qualité de l'eau de la rivière.

-Quand la pluie tombe sur le sol, une partie coule le long de la surface de la terre vers des ruisseaux, rivières ou des lacs et peut hydrater le sol. Une partie de cette eau est utilisée par la végétation, une autre partie s'évapore et retourne à l'atmosphère. Une partie de l'eau s'infiltre aussi dans le sol, traverse la zone non saturée et atteint la nappe phréatique, ce qui est une surface imaginaire où le sol est saturé en dessous.

I.2.3. Le stockage et la circulation :

- Les nappes sont contenues dans des terrains réservoirs appelés **aquifères**.
- L'eau souterraine est contenue dans ce qu'on appelle les aquifères.

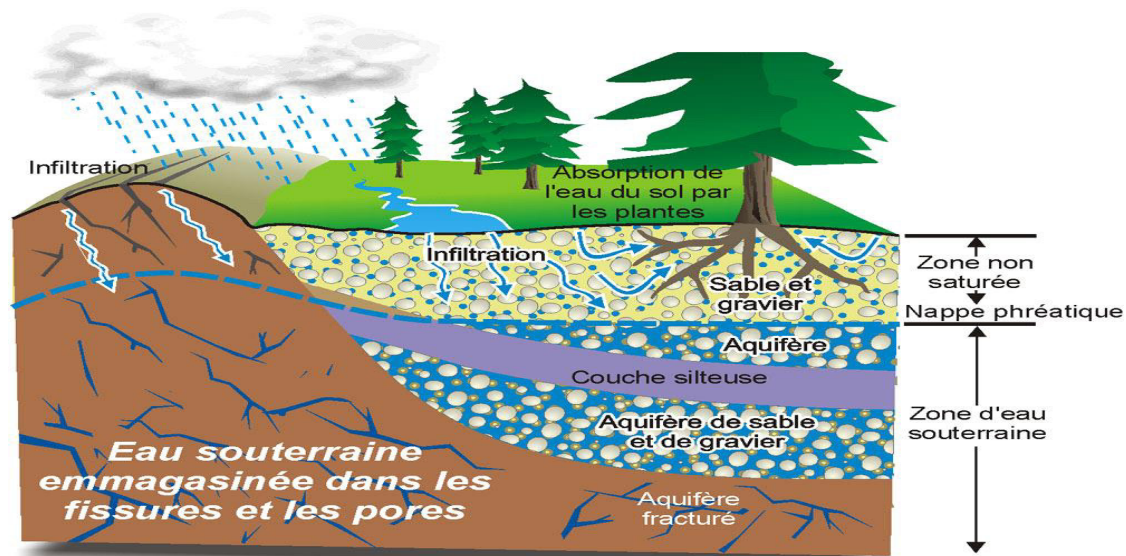


Figure I.1: la circulation de l'eau de Pluie

I.2.4. Potabilité :

Les eaux souterraines ont, pendant longtemps, été synonymes « d'eaux propres » répondant naturellement aux normes de potabilité. Ces eaux sont en effet moins sensibles aux pollutions accidentelles.

Néanmoins, de nombreuses nappes sont « influencées » par la qualité des eaux de surface, c'est le cas déjà vu des réseaux karstiques, mais aussi des nappes alluviales.

Lorsqu'une nappe souterraine a été polluée, il est très difficile de récupérer sa pureté originelle : les polluants ayant contaminé la nappe sont en effet non seulement présents dans l'eau, mais également adsorbés sur les roches et minéraux du sous-sol.

Les eaux souterraines peuvent aussi contenir des éléments à des concentrations dépassant largement les normes de potabilité. Ceci est dû à la composition du terrain de stockage et, pour certains de ces éléments, au caractère réducteur de l'eau. On peut citer Fe, Mn, NH₄, H₂S...

Les eaux souterraines doivent être traitées avant distribution toutes les fois que la concentration d'un ou plusieurs de ces éléments dépasse la valeur autorisée par les règlements en vigueur.

- La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par un certain nombre de paramètres physico chimiques, déterminant à leur tour des caractères organoleptiques.

Les paramètres pris en compte sont :

- La dureté de l'eau correspondant à sa minéralisation en calcium et magnésium

Le pH qui dépend de la teneur en ions

- La teneur en gaz dissous issus de l'atmosphère (O_2 et CO_2)
- La teneur en substances minérales dissoutes généralement sous forme ionique : anions (bicarbonates, chlorures, sulfates, nitrates, fluorures) et cations (calcium, magnésium, sodium, potassium, fer, manganèse, ammonium)

La turbidité, produite par des matières en suspension (argiles) dans les aquifères karstiques (roche perméable).

I.3. Les eaux superficielles

I.3.1. Définition

Les eaux superficielles qualifient toutes les eaux naturellement ouvertes sur l'atmosphère, y compris les fleuves, les rivières, les lacs, les réservoirs, les ruisseaux, les lacs de barrage, les mers, les estuaires, etc. Le terme s'applique également aux sources, aux puits et autres collecteurs d'eau qui subissent directement l'influence des eaux superficielles. En aquarium, l'interface eau/air, couramment appelée eau de surface, correspond aux eaux superficielles. Eau de surface est une définition du dictionnaire environnement et développement durable. L'Eau de surface désigne l'eau qui s'écoule ou qui stagne à la surface de l'écorce terrestre. Désigne également les sources, puits et autres collecteurs directement influencés par l'eau de surface.

I.3.2. Origine :

Elles ont pour origine, soit des nappes souterraines dont l'émergence constitue une source, soit les eaux de ruissellement. Ces eaux se rassemblent en cours d'eau, caractérisés par une vitesse de circulation appréciable. Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues de barrages) où peut apparaître une grande hétérogénéité de la qualité selon la profondeur.

I.3.3. Potabilité des eaux de surface :

Les eaux de surface sont rarement potables sans aucun traitement et sont toujours plus ou moins polluées par divers rejets :

- **D'origine urbaine** : les rejets provenant de la collecte des ERU, même après leur traitement en station d'épuration ;
- **D'origine industrielle** : polluants et micropolluants organiques (hydrocarbures, solvants, produits de synthèse, phénols) ou inorganiques (métaux lourds, ammoniacque, produits toxiques),
- **D'origine agricole** : engrais et produits pesticides (herbicides, insecticides, fongicides), entraînés par les eaux de pluie et le ruissellement ; dans les zones d'élevage intensif, rejets riches en composés de l'azote et du phosphore ainsi qu'en pollution organique,
- Pollution bactériologique d'origines humaine et animale.

I.3.3. Caractéristiques générales :

La **composition chimique** des eaux de surface dépend de la nature des terrains rencontrés durant leur parcours. Au cours de son cheminement, l'eau dissout les différents éléments constitutifs des terrains. En revanche, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, gaz carbonique) dépend des échanges à l'interface eau- atmosphère et de l'activité métabolique des organismes aquatiques au sein de l'eau.

- La présence de **gaz dissous**, en particulier l'oxygène ;
- Une concentration importante en **matières en suspension**, tout au moins pour les eaux courantes. Ces matières en suspension sont très diverses, allant des particules colloïdales aux éléments figurés entraînés par les rivières en cas d'augmentation importante du débit. Dans le cas des eaux de barrage, le temps de séjour provoque une décantation naturelle des éléments les plus grossiers : la turbidité résiduelle est alors faible et colloïdale ;
- La présence de **matières organiques** d'origine naturelle provenant du métabolisme, puis de la décomposition post mortem des organismes végétaux ou animaux vivant à la surface du bassin versant ou dans la rivière ;
- la présence de **plancton** : les eaux de surface sont parfois le siège d'un développement important de phytoplancton (algues...) et de zooplancton, surtout dans les cas d'eutrophisation (voir pollution et eutrophisation). Certains de ces organismes peuvent sécréter des produits sapides et odorants ou des toxines ;
- Des **variations journalières** (différence de température, d'ensoleillement) ou **saisonniers** : variations climatiques (température, précipitations, fonte des neiges), de végétation (chute des feuilles). Elles peuvent être aléatoires : pluies soudaines, orages, pollutions accidentelles.
- Dans les retenues d'eau de surface, la qualité de l'eau varie de la surface jusqu'au fond de la retenue (température, pH, O₂, Fe, Mn, oxydabilité, plancton). Le profil de ces paramètres varie lui-même en fonction des périodes de stratification ou de circulation des couches d'eau suivant les saisons.
- **Le tableau 1** donne les éléments caractéristiques des eaux de surface par rapport aux eaux souterraines.

Tableau I.1 : Les principales différences entre l'eau souterraine et l'eau provenant des surfaces sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Caractéristiques	Eaux de surfaces	Eaux souterraines
Température	Varie en fonction des saisons	Relativement constante
Turbidité	Niveau variable parfois élevé	Faible ou nulle
Couleur	Principalement dû aux sols en suspension (argile, algue,) excepté pour les eaux acides et très douces.	Principalement dû aux solides dissous
Contenu minéral	Varie avec le sol, les effluents, les pluies, ...	Généralement plus important que pour l'eau de surface
Fe et Mgn en solution	Généralement pas sauf pour au fond des lacs et des dans le processus d'eutrophisation	Présent
Co2 Agressif	Pas présent	Souvent présent en grande quantité
O2 Dissout	Souvent proche du niveau de saturation. Absent dans les eaux très polluées.	Peu présent
H ₂ S	Pas présent	Souvent présent
NH ₄	Seulement dans des eaux polluées.	Souvent présent sans forcément une pollution bactériologique.
Nitrates	Niveau généralement faible	Niveau parfois important
Silice	Généralement en proportion modérée	Niveau souvent important
Micropolluants d'origine organique et minérale	Présent dans l'eau des pays développés mais est susceptible de disparaître rapidement une fois la source éliminée	Normalement pas mais une pollution accidentelle a des effets à très long terme
Organismes vivants	Bactéries, virus, plancton (animal et végétal)	Des bactéries du fer sont fréquemment trouvées
Organismes vivants	Rarement présent	Souvent présent

I.4. La pollution des eaux souterraines et les eaux superficielles :

L'eau qu'elle soit douce, salée, de l'eau de pluie, de l'eau superficielle ou de l'eau souterraine, peut être souillée par des matières qui peuvent la rendre nocive. Polluée, elle est à l'origine de différentes maladies et peut altérer gravement la santé.

I.4.1. La Contamination des eaux souterraines :

Les eaux souterraines, dans la plupart des conditions, sont plus sûres et plus fiables que l'eau de surface. Une des raisons est que l'eau de surface est plus facilement exposée aux polluants (des usines par exemple) que les eaux souterraines. Ceci ne veut pas dire que les eaux souterraines sont invulnérables à la contamination. Bien qu'il ne soit pas aussi vulnérable que l'eau de surface, les contaminants peuvent atteindre toujours des puits et donc des ménages. Tous les produits chimiques qui sont facilement solubles et pénètrent le sol sont les principaux polluants des eaux souterraines.

Un polluant peut encore accéder à des puits éloignés grâce aux courants souterrains de l'eau. Par exemple, un produit chimique qui se renverse d'une usine industrielle située à grande distance, pourrait infiltrer la terre et, par la suite, infecter le système de couche aquifère qu'une communauté entière utilise pour leurs puits privés. Cette situation peut avoir des effets dévastateurs : une fois que des eaux souterraines sont souillées, il devient extrêmement coûteux d'enlever la contamination.

I.4. 2. La contamination des eaux superficielles et de nappe phréatique :

La pollution peut être causée par la nature lorsqu'un cours d'eau passe par des terres d'un taux d'acidité élevé, mais la plupart du temps ce sont des actions de l'être humain qui causent la pollution.

On distingue diverses formes de pollution de l'eau :

- ❖ La pollution des nappes phréatiques par les nitrates et les phosphates issue en grande partie de l'agriculture
- ❖ La pollution par les métaux lourds issue de la métallurgie, de l'incinération d'ordures et des installations minières.
- ❖ La pollution par les hydrocarbures qui se manifestent la plupart du temps sous forme de marée noire.
- ❖ La pollution au plastique, qui représente 80 % des déchets océanique.
- ❖ Le domaine de l'industrie est lui aussi très nocif pour l'eau, soit à cause du réchauffement de sa température dans certaines industries, comme l'industrie nucléaire, soit à cause des déchets industriels charriés par les eaux de ruissellements ou déversés directement dans les rivières ou dans la mer.

Si nous comparons un polluant organique d'une eau souterraine à un d'une eau de surface, l'eau souterraine a moins de microbe pour absorber les polluants organiques, elle a aussi moins d'oxygène et moins de soleil que l'eau de surface pour permettre une évaporation des polluants organiques. Surtout dans des eaux souterraines lentes, les polluants peuvent persister indéfiniment.

Chapitre II

Les différents procédés de traitements des eaux de
surfaces

II)- Chaîne élémentaire de production d'eau potable

II.1. Introduction :

Nous allons présenter, dans ce chapitre, les caractéristiques générales d'une usine de production d'eau potable, la plus complète et la plus courante, tout en détaillant plus spécifiquement le procédé sur lequel porte notre étude. La figure 1.1 représente une filière typique de potabilisation appliquée à une eau de surface. Elle comporte des traitements à large spectre d'action tels que prétraitement, oxydation, clarification, désinfection et affinage. Les étapes de déferri-sation, démanganisation, dénitratation sont les principaux traitements spécifiques de l'eau souterraine.

La station de traitement concernée par cette étude est la station de production d'eau potable

« Boudouaou » située en Algérie Elle fournit de l'eau à plus de 800 000 habitants et a une capacité nominale de traitement de 1000 l/s à partir de l'eau brute pompée de barrage de

« Kadara et taksebt ».

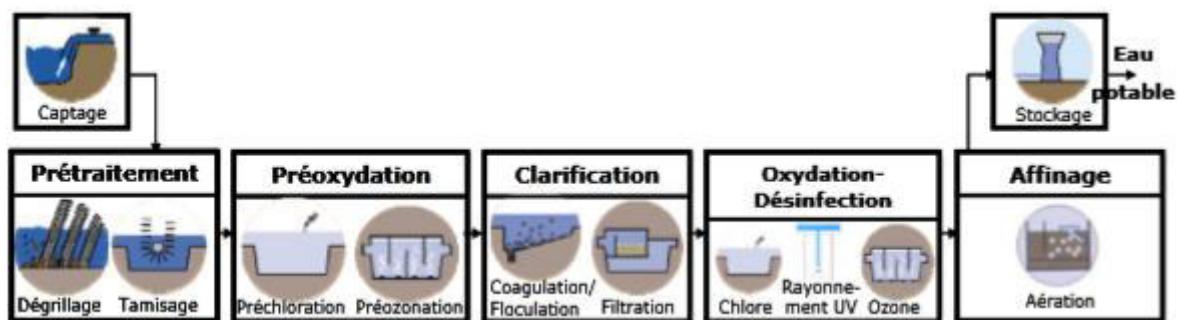


Figure II.1 : Station de production d'eau potable

Dans cette section, nous parlerons plus spécialement de traitement des eaux de surface :

II.2. Prétraitement

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

- ✓ Le dégrillage,
- ✓ Le tamisage.
- ✓ Processus de production de l'eau potable.

II.2.1. Le dégrillage :

Le 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 : morceaux de bois, etc. Le tamisage, quant à lui, permet d'éliminer des objets plus fins que ceux éliminés par le dégrillage. Il s'agit de feuilles ou de morceaux de plastique par exemple.



Figure II.2 : Dégrilleur à la sortie du barrage.

II.2. 2. Préoxydation :

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. Ces derniers 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 (pré chloration)
- Ajout de dioxyde de chlore
- Ajout d'ozone (pré ozonation)

La pré chloration 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 du type chloroforme ou des composés complexes avec les phénols du type chlorophane dont le goût et l'odeur sont désagréables.

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.

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 à une propriété virulicide très intéressante, propriété que n’a pas le chlore. Généralement utilisée en désinfection finale, cette technique peut être mise en œuvre en oxydation. Elle peut aussi être employée pour l’amélioration de la clarification. L’un des avantages d’une pré ozonation 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 pré ozonation est une solution de substitution à la pré chloration. 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 au chlore.

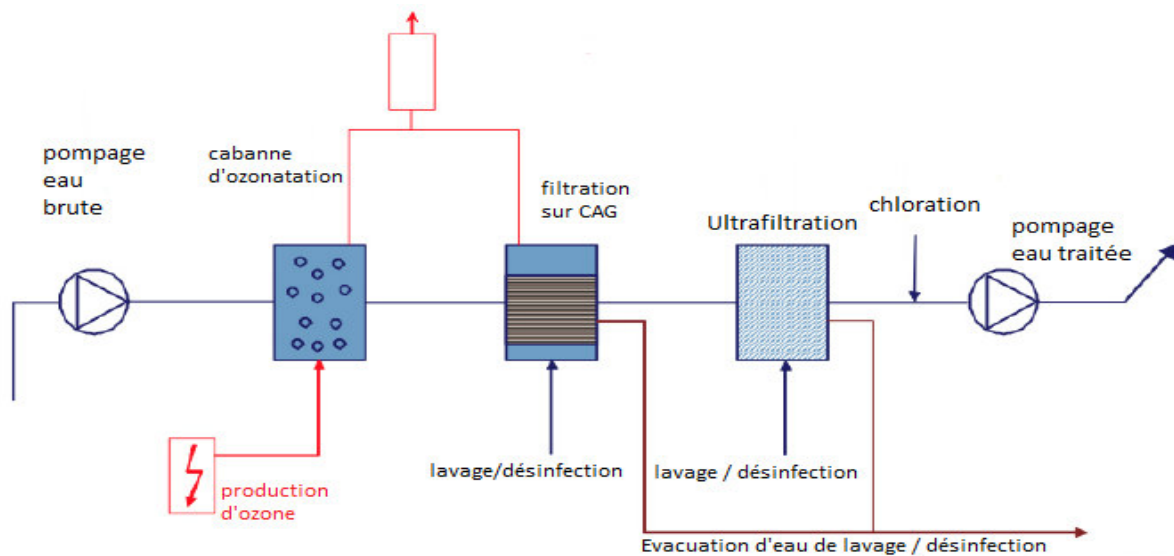


Figure. II.3 : schéma de la préoxydation

II.3. 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.

La clarification comprend les opérations suivantes :

- Coagulation -Floculation.
- Décantation.
- Filtration.

La coagulation est l’une des étapes les plus importantes dans le traitement des eaux de surface. 90% des usines de production d’eau potable sont concernées. La difficulté principale est de déterminer la quantité optimale de réactif à injecter en fonction des caractéristiques de l’eau brute.

Un mauvais contrôle de ce procédé peut entraîner une augmentation importante des coûts de fonctionnement et le non-respect des objectifs de qualité en sortie. Cette opération a également

une grande influence sur les opérations de décantation et de filtration ultérieures. En revanche, un contrôle efficace peut réduire les coûts de main d'œuvre et de réactifs et améliorer la conformité de la qualité de l'eau traitée.

En résumé, le contrôle de cette opération est donc essentiel pour trois raisons : la maîtrise de la qualité de l'eau traitée en sortie (diminution de la turbidité), le contrôle du coagulant résiduel en sortie (réglementation de plus en plus stricte de la présence de coagulant résiduel dans l'eau traitée) et la diminution des contraintes et des coûts de fonctionnement (coûts des réactifs et des interventions humaines).

II.3.1. Coagulation-Floculation

Le mot coagulation vient du latin coaguler 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.

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

a) - Les particules mis 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 inter colloïdales.

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.4 : L'étape de la coagulation- Floculation

b) -But de la coagulation-floculation

L'opération de coagulation-floculation a pour but la croissance des particules (qui sont essentiellement colloïdales) par déstabilisation des particules en suspension puis formation de flocs par absorption et agrégation. Les flocs ainsi formés seront décantés et filtrés par la suite (cf. Figure 1.3).

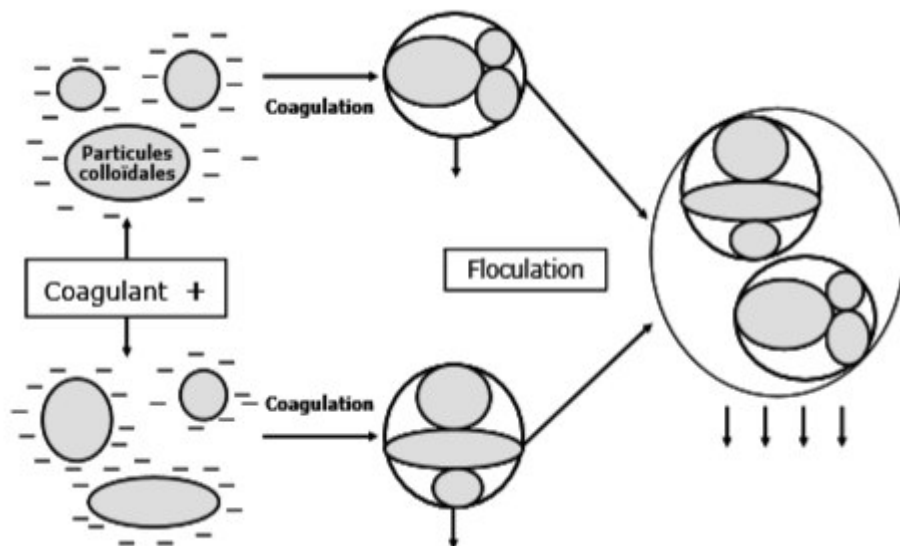


Figure II.5 : Mécanismes de la Coagulation- Floculation

II.3.2. 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 la dose ont une influence sure :

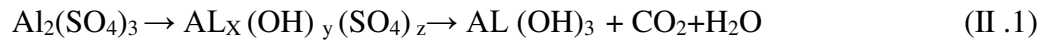
- La bonne ou la mauvaise qualité de l'eau clarifiée,

- 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 :



Étape 1

étape2

L'étape 1 est une phase d'hydrolyse. Des intermédiaires poly chargés positifs se forment. Ces composés assez fugaces présentent un atome d'aluminium dont le nombre d'oxydation est très grand. Les formes Al IV, V et VII sont rencontrées. Conformément à la règle de SCHULZE-HARDY, ces intermédiaires poly chargés 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 polys chargés. Le temps de formation de ces composés est de l'ordre de 0,5 s.

L'étape 2 permet la formation du précipité $\text{Al}(\text{OH})_3$. Elle 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 oc. On peut rappeler également que plus un coagulant a de 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.

a) L'influence du paramètre 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 de 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 ». 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.

c) L'influence de la température

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 turbidité

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.

II.2.3. La floculation

Après avoir été déstabilisées par le coagulant, les particules colloïdales s'agglomèrent lorsqu'elles entrent en contact. C'est la floculation. Le floc ainsi formé,

Peut décanter, flotter ou filtrer (coagulation sur filtre), suivant le procédé de rétention choisi.

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

$$L \ln \frac{N}{N_0} = - \frac{4}{\pi} (\alpha \Omega G t) \quad (\text{II .2})$$

Avec :

N et N₀ : nombre de particules colloïdales libres à l'instant t et t₀,

α : facteur de fréquence de collision efficace,

Ω : volume de particules par volume de suspension,

G : gradient de vitesse,

t : temps de contact.



Figure II.6 : La formation des floccs

Si le paramètre α est égal à 1, un choc inter particulaire donne une agglomération donc une floculation. L'élément Ω est constant, sauf intervention extérieure, car il n'y a ni création ni disparition de matière. Le gradient de vitesse G n'est qu'une valeur moyenne des vitesses spécifiques des particules dans la solution. La floculation est de qualité si le rapport $\ln(N/N_0)$ est petit. Dans ce cas, N est inférieur à N₀. Il y a donc moins de particules libres au temps t qu'au temps t₀. Toute augmentation des paramètres énoncés entraîne une diminution de ce rapport.

La stratégie pour obtenir une bonne floculation se résume en une augmentation des facteurs temps de contact t, du volume de particules Ω et du gradient de vitesse G.

La floculation est le phénomène de formation de floccs de taille plus importante (agglomération des colloïdes déchargés dans un réseau tridimensionnel). On utilise, pour ce faire, des coagulants ou adjuvants de floculation. Contrairement à l'étape de coagulation, la floculation nécessite une agitation lente.

Les flocculants ou adjuvants de floculation sont, dans leur grande majorité, des polymères de poids moléculaire très élevé. Ils peuvent être de nature minérale, organique naturelle ou organique de synthèse. Comme pour la coagulation, il existe un certain nombre de paramètres à prendre en compte pour le bon fonctionnement de ce procédé. Le mélange doit être suffisamment lent afin d'assurer le contact entre les floccs engendrés par la coagulation. En effet, si l'intensité du mélange dépasse une certaine limite, les floccs risquent de se briser. Il faut

également un temps de séjour minimal pour que la floculation ait lieu. La durée du mélange se situe entre 10 et 60 minutes.

Les temps d'injection du coagulant et du floculant sont en général espacés de 1 à 3 minutes, cette durée étant fonction de la température de l'eau.

Les boues formées pendant la coagulation-floculation aboutissent après décantation dans des concentrateurs. Des floculants de masse molaire importante permettent l'obtention de boue ayant une vitesse d'épaississement plus grande, et donc un volume de boues final réduit. Les boues purgées de décanteurs sont plus concentrées dans ce cas, ce qui conduit à une perte d'eau réduite. L'emploi de floculants de synthèse, combiné à des méthodes modernes de séparation, peut permettre la production des boues très concentrées, traitables directement par une unité de déshydratation. Dans les autres cas, on passe d'abord par un épaississement avant l'unité de déshydratation.

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.4. La décantation-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 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, le procédé de flottation doit être appliqué.

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. La flottation est un procédé de séparation liquide-solide ou liquide-liquide 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 d'eaux de surface peu chargées en MES, riches en plancton ou en algues et produisant un floc léger décantant mal. 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. 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 rétro lavage. 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, 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 incorporés, 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 en inversant le sens d'écoulement de l'eau. C'est pourquoi cette opération est souvent appelée : rétro lavage. Le sable est mis en expansion et les impuretés, moins denses que les grains de sable, sont décollées 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 ».

Le graphique de la figure 1.5 représente, de manière schématique, l'évolution de la turbidité de l'eau filtrée en fonction de 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 crevaisson de la masse filtrante (c) et l'on atteint alors rapidement la limite de turbidité acceptable (d) à ne pas dépasser.

II.6. Oxydation-Désinfection

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau. Il peut cependant subsister dans l'eau quelques germes banals, car la désinfection n'est pas une stérilisation.

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 résiduelle en désinfectant. Une bonne désinfection via les réactifs oxydants demande la combinaison d'une concentration C avec un temps de contact T ; c'est le facteur $T \cdot C$ (mg.

Min/L). Cette valeur varie avec les microorganismes concernés, le type de désinfectant et la température.

Les quatre principaux désinfectants utilisés en production d'eau potable sont les suivants :

- ✓ Le chlore
- ✓ Le dioxyde de chlore
- ✓ L'ozone
- ✓ Le rayonnement "UV"

La concentration en oxydant est pratiquement le seul paramètre sur lequel l'opérateur peut intervenir. Il faut retenir que l'efficacité de la désinfection dépend, en partie, du suivi de la concentration en oxydant. L'évolution de la concentration en oxydant est liée à la demande en oxydant de l'eau. Cette demande dépend de la qualité de l'eau, du pH, des températures (différentes entre été et hiver), des matières organiques, et de la concentration en ammoniacale. Dans la section 1.5, nous nous focaliserons davantage sur l'aspect physico-chimique de la désinfection, et en particulière sur la chloration de l'eau.

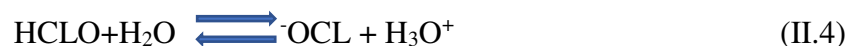
II.6.1. Le chlore (Chloration)

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 :



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.

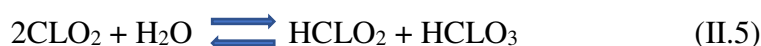
Pour la distribution et le dosage du chlore, il faut se reporter à la législation en vigueur. A partir des récipients de stockage, la distribution de chlore vers l'organe de dosage (chloromètre) peut être réalisée :

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

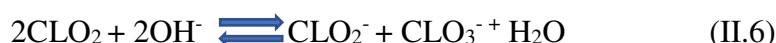
A la sortie du chloromètre, le chlore est véhiculé gazeux sous dépression jusqu'à l'hydroéjecteur où il est dissout dans l'eau motrice.

II.6.2. Le dioxyde de chlore

Le dioxyde de chlore est un gaz orange de formule ClO_2 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, 2ClO_2 se dismute en donnant un chlorite – 2ClO_2^- et un chlorate – 3ClO_3^- :



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.

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 d'air sec, soit d'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 (tour d'ozonation).

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 calo-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 (CO_2). Quand celle-ci traverse les couches d'humus, riches en acides, elle peut s'enrichir fortement en CO_2 . Lors de sa pénétration dans un sol calcaire, c'est-à-dire riche en carbonate de calcium (CaCO_3), elle se charge en calcium + 2CaO et en ions bicarbonates – 3HCO . En fait, le calcium est dissous par l'eau chargée en CO_2 . On dit qu'elle est entartrant ou incrustante. En revanche, quand l'eau de pluie traverse une roche pauvre en calcium (région granitique), elle reste très chargée en CO_2 dissous. Cette eau est, en générale, acide. On dit qu'elle est agressive.

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 CO_2 par aération. Du fait de l'élimination du CO_2 , 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.

II.8. Conclusion

Ce deuxième chapitre a servi d'introduction au domaine lié à notre étude. Nous avons décrit les différentes étapes d'une chaîne de traitement d'eau potable en nous basant sur la chaîne la plus complète possible et la plus courante. Nous avons détaillé, plus particulièrement, les procédés de coagulation et de filtration, sur lesquels porte spécifiquement notre étude. Nous avons décrit les différents paramètres physicochimiques influençant le bon fonctionnement du procédé de coagulation.

Chapitre III

Etude et mesure de la performance de la station de
traitement eau potable Boudouaou

III. Introduction :

Ce chapitre a pour but de montrer la performance des principaux paramètres de traitement d'une eau potable qu'on a basé sur dans notre étude comme dans le cas de : (la décantation et la filtration).

Ce sont des procédés physiques intervenant après la coagulation-floculation. L'eau coagulée et floculée entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences et pour permettre la décantation des particules en suspension dans l'eau.

Par la suite, l'eau s'écoule dans les canalisations vers les filtres qui sont des procédés physiques disposés généralement après la décantation ou la flottation, et qui permettent de minimiser la quantité des matières en suspensions par la filtration d'eau.

III.1. Processus de production de l'eau potable

III.1.1. La décantation

Objectif :

A) -La décantation a pour but de permettre le dépôt des particules en suspension dans l'eau. Sous l'influence de la pesanteur. Afin d'améliorer la qualité de l'eau.

Pour que cette décantation ait lieu. Il faut que la vitesse de chute des particules soit supérieure à la vitesse ascensionnelle de l'eau dans l'appareil :

$$V_a = \text{débit horaire (m}^3/\text{h)} / \text{surface m}^2 = V_a = \frac{Q}{S} \quad (\text{III.1})$$

Ces particules existent dans l'eau brute et sont rassemblées en flocons plus gros (et donc plus lourds) par l'adjonction de réactifs chimiques lors de la floculation.

B) -Définition :

La décantation est une opération unitaire, parmi les techniques de séparation liquide-solide basées sur le phénomène de sédimentation, qui consiste à séparer d'un liquide les particules en suspension en utilisant les forces gravitaires. Les procédés mis en œuvre diffèrent selon que l'on recherche seulement à augmenter la concentration des solides (épaississage) ou que l'on vise à obtenir un liquide clair à partir d'une suspension diluée (clarification). La sédimentation est réalisée sur différents types de matières solides en suspension, parmi lesquelles on peut distinguer deux comportements opposés : celui des particules grenues, qui décantent indépendamment les unes des autres, et celui des particules plus ou moins floculées, qui ont des vitesses de chute variables, fonction de la taille des flocons et de leur abondance.

III 1.2. Différents types de décantation

Divers types de matières décantables sont à distinguer :

A) -Les particules grenues :

Décantent indépendamment les unes des autres avec chacune une vitesse de chute constante

B) -Les particules coalescentes :

S'agglomèrent pendant la sédimentation, on distingue la décantation diffuse et la décantation en piston

❖ La décantation diffuse :

Lorsque la concentration en MES est faible ; le floc dispersé décante comme s'il était seul, sa vitesse de chute augmente au fur et à mesure que d'autres particules plus fines s'y agglomèrent.

❖ La décantation en piston :

Lorsque la concentration en MES est élevée, on a une décantation d'ensemble des floccs qui sont freinés au cours de leur chute.

III.1.3. Décantation des particules grenues :

C'est le cas le plus simple, le seul facilement décrit par des équations.

Théorie

Lorsqu'une particule grenue est laissée dans un liquide au repos, elle est soumise à une force motrice F_M (pesanteur) et à une force résistante F_T (traînée du fluide) résultante des forces de viscosité et d'inertie

$$\begin{array}{ccc} F_M = (Q_s - Q_l) g & \begin{array}{c} \uparrow \\ \downarrow \end{array} & F_T \\ F_T = \frac{C_s Q_l V^2}{2} & & \end{array} \quad (III.2)$$

Q_s, Q_l : masses volumiques de la particule grenue et du fluide,

d, S_v : diamètre, surface et volume de la particule grenue,

V : vitesse de décantation de la particule,

g : accélération de la pesanteur,

C : coefficient de traînée (adimensionnel).

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

$$V_0^2 = \frac{4}{3} \frac{(Q_s - Q_1)gd}{CQ_1} \quad (\text{III.3})$$

III.1.4. Régime hydraulique

La valeur de C, coefficient de traînée, est définie par la perturbation, elle-même fonction de la vitesse de chute. Cette perturbation est caractérisée par le nombre de Reynolds de grain défini par :

$$Re = \frac{Q_1 v d}{\eta} \quad (\text{III.4})$$

Re = adimensionnel, avec η = viscosité dynamique. Si Re est petit, les forces de viscosité sont bien supérieures aux forces d'inertie. Si Re est grand, les forces de viscosité sont négligeables. Le coefficient de traînée est donné par :

$$C = a Re^{-n} \quad (\text{III.5})$$

-Avec **a** et **n** constantes.

Tableau III.1 : Tableau de Reynolds :

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

Le tableau ci-contre donne les différentes valeurs de (a, n et C) en fonction du nombre de Reynolds (abaques également disponibles). Ces formules sont à la base du calcul du mouvement des grains dans un fluide et sont utilisées en décantation (solides grenus dans un liquide, gouttes d'eau dans l'air), en ascension (bulles d'air dans l'eau, gouttes d'huile dans l'eau), en centrifugation, en fluidisation.

En régime laminaire, la loi de Stokes donne :

$$V_0 = \frac{g}{18\eta} \cdot (Q_s - Q_1)d^2 \quad (\text{III.6})$$

III.1.5. Conditions de capture

Décantation à flux vertical

Les particules dont la vitesse de sédimentation est supérieure à la vitesse ascendante du liquide sont retenues :

$$v_0 > V_{asc} = \frac{Q}{S_H}$$

Q = débit du liquide.

S_H = surface libre du décanteur.

Décantation à flux horizontal

Soit un décanteur rectangulaire de longueur L et de section verticale s (où H est la hauteur d'eau et l la largeur), traversé uniformément par un débit Q.

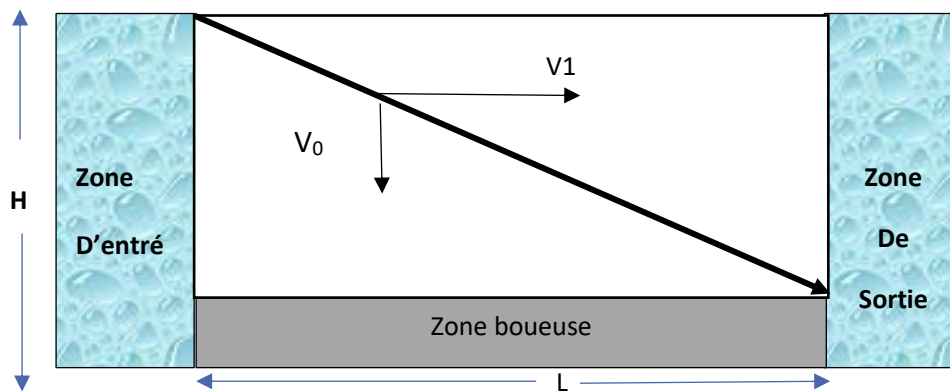


Figure III.1 : De la décantation à flux horizontal (particules grenues).

➤ La vitesse d'une particule entrant dans le bassin à son niveau supérieur a deux composantes :

V_1 : vitesse horizontale du fluide égale à Q/s ,

V_0 : vitesse verticale limite donnée par la loi de Stokes.

Cette particule est retenue dans le bassin si :

$$\frac{V_0}{H} > \frac{V_1}{L} = \frac{Q}{H \cdot l \cdot L} \text{ Soit: } V_0 > \frac{Q}{S_H} = V_H \quad (\text{III.7})$$

S_H : surface horizontale du bassin,

V_H : vitesse de Hazan (ou charge hydraulique superficielle).

Il est à noter que V_H est indépendant de la profondeur du bassin.

Toutes les particules ayant des vitesses de sédimentation supérieures à V_H seront théoriquement éliminées. Toutefois, si l'alimentation en eau est répartie sur toute sa hauteur, une partie des particules ayant une vitesse de décantation V inférieure à la vitesse de Hazan sera aussi retenue dans le rapport V/V_H .

Dans un décanteur à flux vertical, ces particules ne seraient pas retenues. Théoriquement, à surface horizontale égale, un décanteur à flux horizontal permet donc la séparation d'un plus grand nombre de particules.

Dans la pratique, cette différence est atténuée, voire inversée, pour les raisons suivantes liées à la décantation à flux horizontal :

- Difficulté de répartition hydraulique sur un plan vertical aussi bien à l'entrée qu'à la sortie de l'ouvrage,
- Accumulation et collecte des boues,
- Dans un décanteur circulaire à flux horizontal, la composante horizontale de la Vitesse de la particule (V_1) diminue du centre vers la périphérie et sa trajectoire devient curviligne.

III.1.6. Efficacité comparée des décantations horizontale et verticale particules grenues :

a) - Décantation des particules floculées

Lors de la décantation, la floculation se poursuit et la vitesse de sédimentation des particules V_0 augmente. Ce processus se produit dès que la concentration en matières floculées est supérieure à environ 50 mg/l

L'efficacité de la décantation diffuse est liée non seulement à la charge hydraulique superficielle, mais aussi au temps de séjour. Il n'existe pas de formule mathématique permettant le calcul de la vitesse de décantation. Des essais de laboratoire et des méthodes graphiques La figure 42 donne les résultats d'un tel essai.

b) - Décantation en piston des particules floculées

Dès que la concentration en particules floculées devient importante, les interactions entre particules ne sont plus négligeables. La décantation est freinée. Les particules adhèrent entre elles et la masse décanse en piston avec formation d'une interface nette entre les floccs et le liquide surnageant. Ce phénomène est caractéristique des boues activées et des suspensions chimiques floculées quand leur concentration est supérieure à environ 500 mg/l.

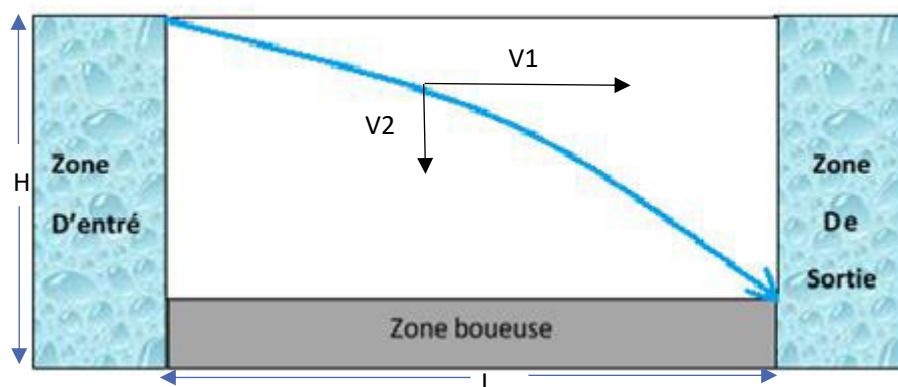


Figure III.2 : De la décantation à flux horizontal (particules floculées).

III.1.7. Observation visuelle

Quand on réalise une décantation en piston dans un tube de hauteur et de diamètre suffisants (au minimum une éprouvette d'un litre), on observe généralement l'apparition de quatre zones.

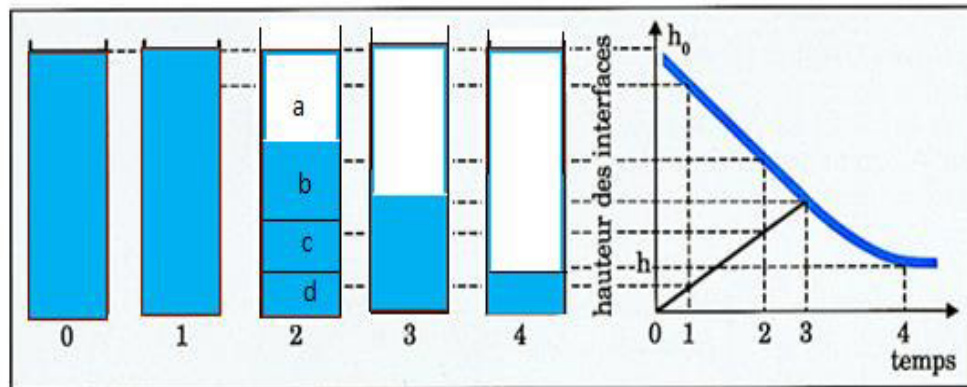


Figure III.3 : schéma de décantation en piston.

A : Zone de clarification où le liquide est clair.

B : Zone de suspension homogène de même aspect que la solution de départ avec une interface a-b nette.

C : Zone de transition (pas toujours observable).

D : Zone d'épaississement des boues dont le niveau augmente rapidement avant de diminuer lentement.

A partir d'un certain état, les zones b et c disparaissent, c'est le point critique. L'évolution de la hauteur de l'interface a -b, puis a-d en fonction du temps, constitue la courbe de Kynch.

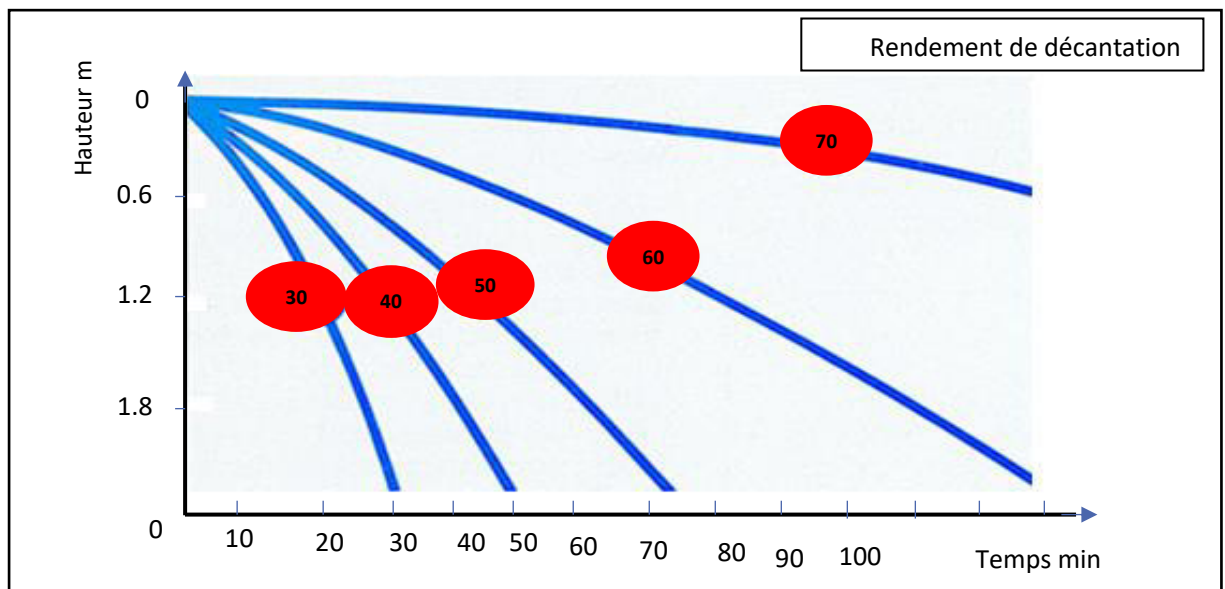


Figure III.4 : Influence du temps de séjour et de la hauteur du décanteur sur l'élimination des particules floculées en décantation diffuse.

III.1.8. Courbe de Kynch :

L'hypothèse fondamentale de Kynch est que la vitesse de chute d'une particule ne dépend que de la concentration locale C en particules.

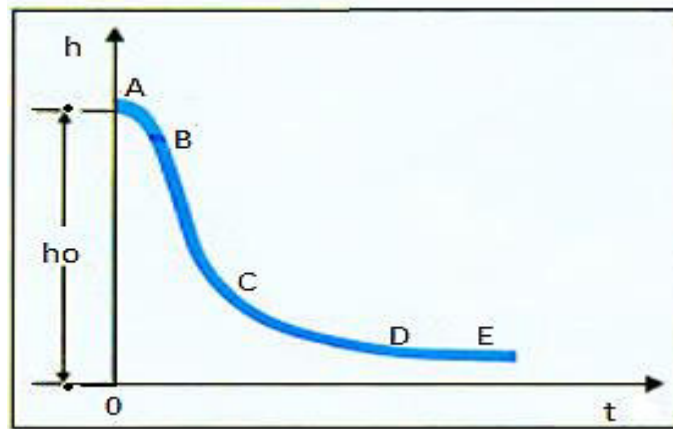


Figure III.5 : Courbe de kynch-Anderson. (Régimes de sédimentation)

A – Début de la décantation : au départ homogène, le mélange commence à se séparer en une phase claire, située au-dessus de l'interface, et une phase concentrée. Dans cette étape, les particules en suspension ont commencé à couler, ce qui fait diminuer la concentration à la couche superficielle. **La hauteur H** de l'interface, initialement égale à la hauteur de la surface libre, commence à diminuer, mais de façon non linéaire au début.

B – Sédimentation en particules séparées : la hauteur H diminue linéairement avec le temps (la courbe est assimilable à un segment de droite) : la vitesse de chute est constante car les particules chutent isolément et le phénomène peut être décrit par la relation (6). Dans cette phase, la concentration C n'est pas encore suffisamment importante pour provoquer la floculation.

C – Zone de transition : qui se subdivise en deux sous-étapes :

- **Décantation en masse** (ou « sédimentation troublée ») : dans la phase mélangée, du fait de la diminution de H , et donc du volume du mélange, la concentration devient suffisamment élevée pour que les particules interagissent hydro dynamiquement pendant leurs chutes : la floculation commence à se produire, les particules grossissent et deviennent plus lourdes.
- **Ralentissement** : les particules, devenues plus volumineuses, se freinent mutuellement entraînant donc un ralentissement de la diminution de H .

D – Phase de compression (ou tassement) : les particules solides agglomérées acquièrent un poids suffisant pour exercer une compression du milieu. Les particules se compactent et la concentration devient d'autant plus élevée. Il n'y a plus de décantation mais tassement.

La théorie de Kynch s'applique aux tronçons BC et CD qui couvrent le domaine essentiel de la décantation des boues activées.

III .2.1. Calcul des décanteurs

La surface d'un décanteur est déterminée à l'aide de deux critères :

- ❖ La charge hydraulique superficielle caractérisant le volume d'effluent à traiter par unité de surface et de temps ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$),
- ❖ Le flux massique caractérisant la quantité de MES à décanter par unité de surface et de temps ($\text{kg}/\text{m}^2.\text{h}$).

A) -Décantation lamellaire

Principe

Pour les décanteurs à flux horizontal, la seule grandeur fondamentale est la surface horizontale S_H de l'ouvrage, La capture d'une particule grenue s'effectue si sa vitesse de décantation est supérieure à la vitesse de Hazen V_H .

$$V_H = \frac{Q}{S_H} \quad (\text{III.8})$$

La rétention d'une particule est donc théoriquement indépendante de la hauteur de l'ouvrage. Ainsi, en décantation horizontale, il est possible théoriquement, à performances égales, de traiter

- ❖ Un débit n Q , dans la même ouvrage, en superposant n étages de hauteur élémentaire H/n ,
- ❖ Un même débit Q en superposant n étages de hauteur élémentaire H/n et de longueur L/n .

Dans la pratique, la superposition de décanteurs horizontaux non raclés pose le problème d'une bonne évacuation des boues et conduit ainsi à une baisse des performances.

La décantation lamellaire consiste à multiplier dans un même ouvrage les surfaces de séparation eau-boue. Ainsi le positionnement de faisceaux lamellaires (tubes ou plaques parallèles) dans la zone de décantation crée un grand nombre de cellules élémentaires de séparation. Afin d'assurer l'évacuation des boues, il est nécessaire d'incliner les lamelles d'un angle θ par rapport à l'horizontale.

Par analogie avec la loi de Hazen, et en première approximation, la vitesse limite de décantation u_1 dans un élément est

$$U_1 = \frac{Q}{n \cdot S_L \cos \theta} \quad (\text{III.9})$$

S_L : surface élémentaire de chaque élément,

n : nombre de lamelles.

Trois types de décantation lamellaire existent :

- **Co-courant**

La boue et l'eau circulent de haut en bas (c'est la technique utilisée dans la station de Boudouaou) :

$$U_1 = \frac{Q}{n.l.(L \cos \theta - e \sin \theta)} \quad (\text{III.10})$$

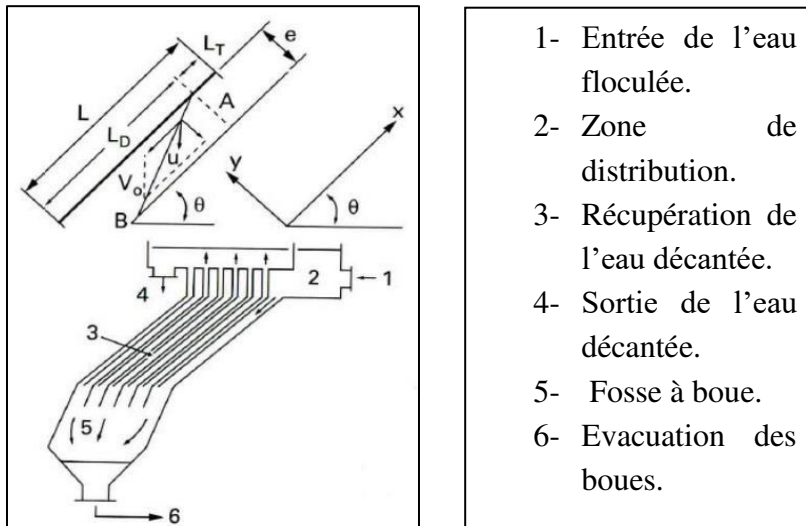


Figure III.6 : Décantation lamellaire à co-courant

- **Contre-courant**

La boue et eau circulent en sens inverse

$$U_1 = \frac{Q}{n.l.(L \cos \theta + e \sin \theta)} \quad (\text{III.11})$$

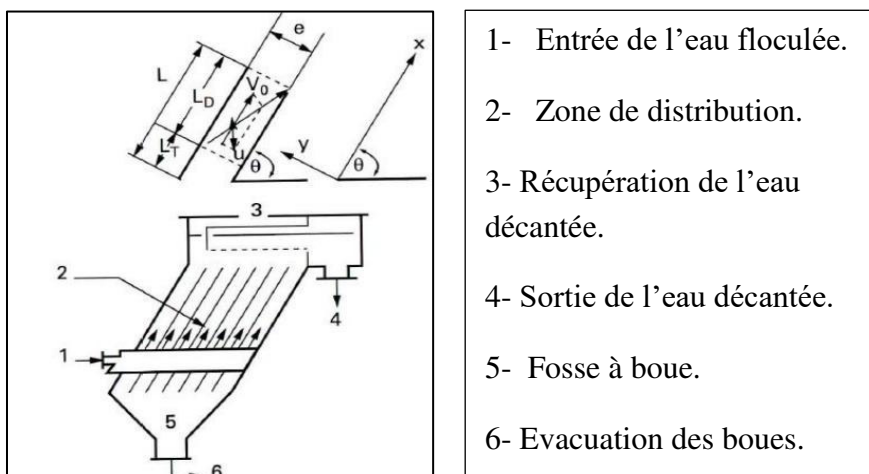


Figure III.6 : Décantation lamellaire à contre-courant.

• **Courants croisés**

La boue et eau circulent perpendiculairement. Ces formules ne tiennent pas compte des contraintes hydrauliques, ni de celles liées au départ et à l'évacuation des matières décantées.

$$U_1 = \frac{Q}{N.l.L \cos \theta} \quad (\text{III.12})$$

Avec **L** : longueur de la lamelle. $\uparrow$
l : largeur de la lamelle. $\downarrow$
 $S = L.l$

e : écartement entre deux lamelles (distance orthogonale).

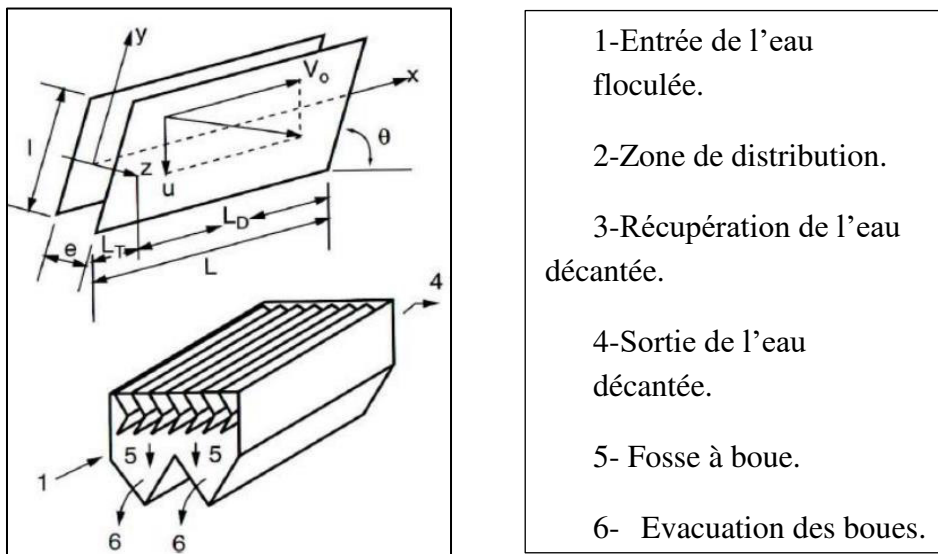


Figure III.7 : Décantation lamellaire à courants- croisés.

B) -Choix du type de décantation lamellaire

La décantation à contre-courant permet l'organisation hydraulique la plus simple et la plus fiable. Par contre, la décantation à concourant se heurte à de grandes difficultés dans la reprise de l'eau décantée. Dans la décantation à flux croisés, l'équirépartition des flux hydrauliques est délicate.

C)- Choix du type de faisceaux lamellaires

De nombreux modèles sont disponibles plaques ondulées, tubes ronds, tubes carrés, chevrons, modules hexagonaux. Afin de comparer les divers faisceaux lamellaires entre eux, il est intéressant de considérer le paramètre approché u :

$$U_1 = \frac{Q}{n.S_L.COS\theta} = \frac{u_0.S_H}{n.S_L.COS\theta} \quad (\text{III.14})$$

$$\text{Soit : } \frac{u_1}{u_0} = \frac{S_H}{n.S_L.COS\theta}$$

Ce rapport dépend du type de faisceau considéré. Ainsi, à diamètre hydraulique équivalent, pour des faisceaux de longueur 1,5 m inclinés à 60°, les modules hexagonaux ont la surface

Projetée la plus importante (voir tableau ci-dessous). Les faisceaux à plaques parallèles peuvent également développer des surfaces importantes tout en gardant des hauteurs raisonnables, mais cela n'est possible qu'au prix d'une forte réduction des espaces entre plaques qui compromet sérieusement la fiabilité de l'installation.

Par ailleurs, la mise en place des plaques est délicate ; elle nécessite la pose de supports et d'entretoises qui sont souvent des facteurs perturbant l'hydraulique et favorisant l'accrochage des boues.

L'efficacité hydraulique des modules hexagonaux est supérieure à celle des autres faisceaux tubulaires et des plaques parallèles. Ces modules minimisent considérablement les risques de colmatage tout en offrant une surface développée importante. Degremont utilise de tels modules avec des diamètres hydrauliques de 80 et 50 mm suivant les applications.

III .2.2. Le décanteur PULSATOR

III .2.2.1. Historique

Né il y a plus de 50 ans, c'est le décanteur le plus répandu dans le monde pour traiter les eaux naturelles ; ce succès s'explique par :

- Sa simplicité de construction et son adaptabilité à des bassins de toutes formes ;
- Sa forte vitesse de Hazen par rapport aux décanteurs statiques : 2 à 4 m · h⁻¹ en clarification des eaux naturelles, voire plus lorsque le coefficient de cohésion des boues est très favorable ; cet avantage, joint à celui de l'absence d'un flocculateur séparé (rappelons que les zones de floculation et de décantation proprement dite sont superposées), conduit à des installations beaucoup plus compactes ;
- Sa souplesse d'emploi : rapidité de mise en service, faible impact des variations de débit et/ou de qualité d'eau brute (inertie du lit de boues) ;
- Sa fiabilité, due en particulier au fait qu'aucun appareillage mécanique (brassage, raclage...) n'est immergé dans l'eau ou les boues ;
- Son coût d'exploitation réduit (faible consommation électrique, optimisation des réactifs...).

III .2.2.2. Définition et caractéristique :

C'est le décanteur le plus répandu dans le monde : plus d'un million de mètres cubes d'eau est traité chaque heure, dans des décanteurs PULSATOR.

C'est un décanteur à lit de boues simple, d'une grande fiabilité, souple d'emploi, facilement adaptable à des bassins existants pour en augmenter la capacité de traitement.

Généralement utilisé en clarification des eaux, il permet d'atteindre des vitesses ascensionnelles comprises entre 2 et 4 m.h-1, voire plus dans des cas exceptionnels, suivant la valeur du coefficient de cohésion de la Boue.

Le décanteur est constitué par un bassin à fond plat, muni à sa base d'une série de tuyaux perforés (permettant d'introduire l'eau brute uniformément sur tout le fond du décanteur. A la partie supérieure, une série de tuyaux perforés ou de goulottes permet une reprise uniforme de l'eau décantée en évitant toute irrégularité de vitesse dans les différentes parties de l'appareil.

Pour alimenter le collecteur inférieur d'une manière discontinue, différents moyens peuvent être employés. Ils se ramènent tous à stocker pendant un certain temps un certain volume d'eau brute qu'on fait ensuite pénétrer rapidement dans l'appareil. Le procédé le plus économique pour effectuer cette opération consiste à introduire l'eau brute dans une cloche à l'intérieur de laquelle on aspire l'air à l'aide d'une machine aspiratrice déplaçant un débit d'air sensiblement égal à la moitié du débit maximal d'eau à traiter. Cette cloche est mise en communication avec le collecteur inférieur du décanteur.

Dans ces conditions, le niveau de l'eau brute monte progressivement dans la cloche. Lorsqu'il a atteint une valeur comprise entre 0,60 m et 1,00 m au-dessus du niveau de l'eau

Ces appareils sont généralement réglés de telle sorte que la vidange de la cloche dans le décanteur s'effectue en 5 à 20 secondes, alors que le remplissage de cette cloche dure de 20 à 40 secondes.

L'aspiration dans la cloche s'effectue à l'aide d'un ventilateur ou d'un surpresseur fonctionnant en pompe à vide.

Les ouvertures et les fermetures de la vanne de mise en communication avec l'atmosphère sont commandées en fonction des niveaux de l'eau contenue dans la cloche.

Ce lit est animé de mouvements alternatifs verticaux et tend à augmenter de volume du fait des impuretés apportées par l'eau brute et des réactifs introduits : son niveau monte régulièrement.

Une certaine zone du décanteur est réservée pour former les fosses à fond

Incliné dans lesquelles la boue en excès se déverse et se concentre. On effectue les purges d'une manière intermittente, par les conduites

L'appareil ne comporte aucun système de brassage mécanique des boues susceptible de briser les flocons déjà formés. Du fait de la haute concentration du lit de boues et de son rôle tampon, un mauvais ajustage du taux de traitement, une variation du pH de l'eau brute, n'ont pas de conséquence néfaste immédiate on constate une variation lente de la turbidité de l'eau décantée, mais sans qu'il se produise de

Départ massif des boues contenues dans le décanteur.

III .2.3. Le décanteur Pulsateur Lamellaire (floculation, décantation)

A) -Principe et fonctionnement :

Le principe de base de ces appareils a été exposé dans la **décantation à contact de boue**. Dans ce type de décanteur, les boues formées par la floculation constituent une masse en expansion à travers laquelle l'eau brute à traiter, précédemment coagulée, passe verticalement de bas en haut, de manière régulière et uniforme. L'eau flocule en passant à travers le « lit filtrant » que constituent les boues et ressort clarifiée à la partie supérieure du décanteur.

Le décanteur (figure 8) est constitué par un bassin à fond plat, muni à sa base d'un réseau de tuyaux perforés (9), surmontés de tranquillisateurs (4), permettant d'introduire l'eau brute uniformément sur toute sa surface. À la partie supérieure, un autre réseau, constitué de tuyaux perforés ou de goulottes (2), assure une reprise uniforme de l'eau décantée. Un tel système de répartition maintient un flux d'eau identique en tous points du lit de boues et évite tout risque de zone morte.

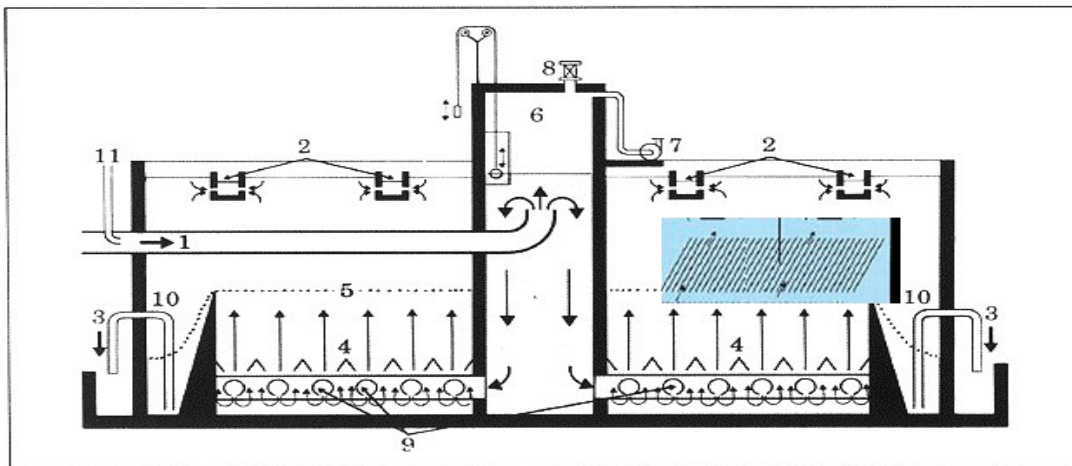


Figure III.8 : Décanteur PULSATOR.

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1- Arrivée d'eau brute. | 7- Pompe à vide. |
| 2- Sortie d'eau décantée. | 8- Vanne automatique casse-vide. |
| 3- Extraction des boues. | 9- Tuyaux perforés de répartition d'eau Brute |
| 4- Tranquillisateurs. | 10- Concentrateurs des boues. |
| 5- Niveau supérieur du lit de boues. | 11- Introduction des réactifs. |
| 6- Cloche à vide. | |

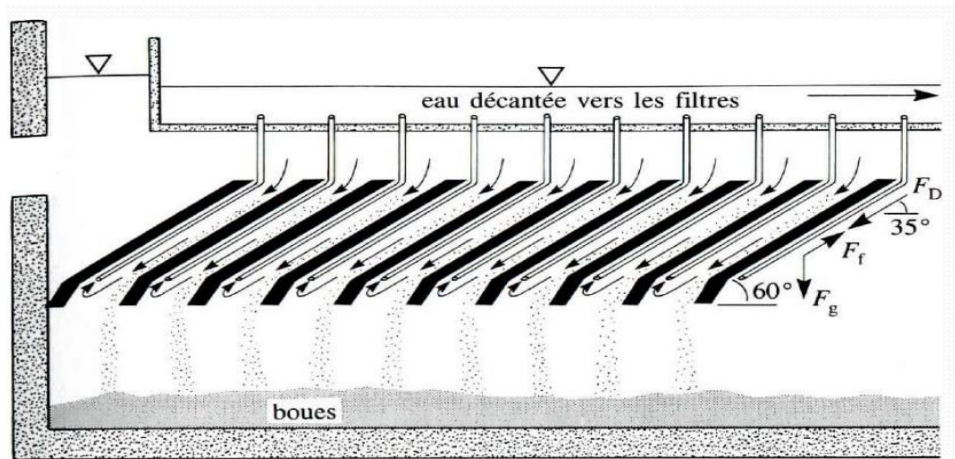


Figure III.9 : schéma de Décanteur à lamelles.

Pour alimenter le collecteur inférieur d'une manière discontinue, le procédé le plus économique consiste à introduire l'eau brute par l'intermédiaire d'une cloche (6) en haut de laquelle on crée une dépression à l'aide d'un ventilateur ou d'un surpresseur fonctionnant en pompe à vide (7) qui aspire un débit d'air sensiblement égal à la moitié du débit maximal d'eau à traiter.

Dans ces conditions, le niveau de l'eau brute monte progressivement dans la cloche. Lorsqu'il a atteint une valeur comprise entre 0,60 m et 1,00 m au-dessus du niveau de l'eau dans le décanteur, un relais électrique relié à un détecteur de niveau (interrupteur à flotteur (12) ou électrode) commande l'ouverture brusque d'une vanne « casse-vide » (8) de mise en communication avec l'atmosphère. L'eau pénètre alors dans le décanteur avec une grande vitesse (les tranquillisateurs contribuant au maintien d'une bonne distribution).

Ces appareils sont généralement réglés de telle sorte que la chasse s'effectue en 7 à 15 secondes, alors que le remplissage de la cloche dure de 30 à 40 secondes ; la fréquence et la durée des pulsations sont très facilement ajustables en cas de besoin.

Le lit de boues est ainsi animé de mouvements alternatifs verticaux et tend à augmenter de volume du fait de **MES** floculées de l'eau brute, captées par la masse existante. Pour maintenir constant son niveau (5), une certaine zone latérale du décanteur est réservée pour former les fosses à fond incliné (10) dans lesquelles la boue en excès peut se déverser et se concentrer. On effectue leur purge d'une manière intermittente (minuteries), par les conduites (3). Un avantage important du dispositif est que, si l'on effectue une purge trop importante de boue, on subit une perte d'eau sans que le lit de boues en soit affecté.

Il est facile de réaliser un décanteur « Pulsator » dans une cuve existante (décanteur statique, ancien filtre ou réservoir). Ceci permet de moderniser d'anciennes installations et de multiplier le débit de la décantation par un facteur 2 ou 3.



Figure III.10 : Le décanteur Pulsateur Lamellaire de la station de Boudouaou.

B) – Tableau III.2 : Les caractéristiques de l'ouvrage décanteur pulsator lamellaires dans l'usine de traitement des eaux potables « seaal Boudouaou » :

Étape de traitement	Ouvrage	Conditions opérationnelles	Remarques et résultats
Décantation	6 décanteurs lamellaires Pulsator Degremont Dimensions unitaires : Longueur = 37 m Largeur = 19,3 m Surface = 714,1 m² Hauteur = 4,75 m Volume = 3392 m³ Lamelles : Nombres : 11500 Inclinaison : 60% Surface de lamelle : 2.04m²	- Tps séjour = 73,2 min -57,5 min -Vitesse au miroir V = 3,89 – 4,96 m/h -Vitesse ramenée à la surface des Lamelles V = 0,39 – 0,49 m/h -Débit D'entrée : 6.25m³/s	-Zone de décantation Lamellaire avec lit de boue Pulsé -Extraction des boues via Des concentrateurs -diminution de la turbidité Exp : (Avant décantation 8.1 NTU Après la décantation 0.9NTU)

a) -Calculer la vitesse de chute de la particule la plus défavorisée :

$$V = \frac{Q}{S} \cos \alpha \quad (\text{III.15})$$

V : la vitesse de chute de la particule.

Q : le débit d'eau.

S : la surface des lamelles.

(α) : l'inclinaison de la lamelle.

$$V = \frac{6.25}{11200 \times 2.04} \cos 60^\circ = 3 \text{ m/h}$$

b) - l'extraction des boues

$$[\text{Boues extraite}] / 24h = Q \cdot (C_i - C_f) \cdot R \quad (\text{III.16})$$

$$[\text{Boues extraite}] = 6.25 \times (6.06 - 0.62) \cdot 0.82 \cdot 24.3600 = 2.408.832 \text{ g/j} \\ = 2.4 \text{ tonnes/jour.}$$

Q : débit en m³/s

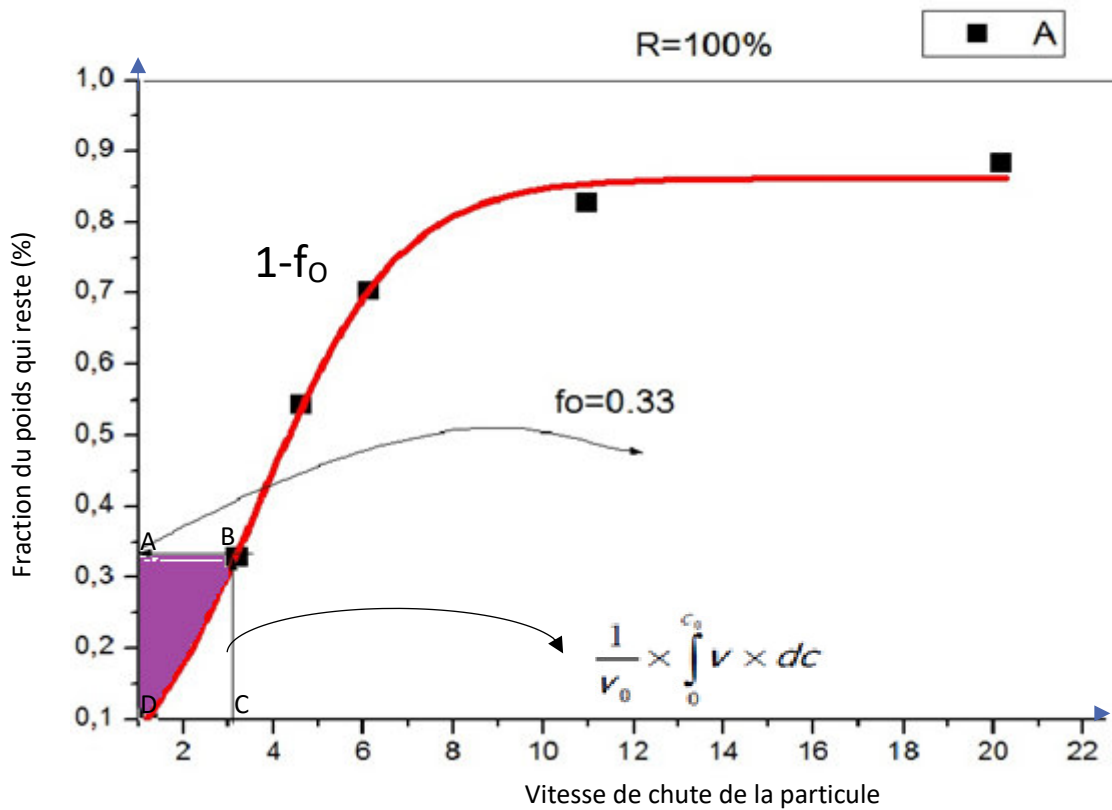
C_i : concentration initiale eau brute en gr/l

C_f : concentration finale, après décantation en gr/l

R : rendement de la décantation en %

C)- Tableau III.3 : Détermination graphique du rendement en utilisant les fractions

Fraction du poids qui reste %	Vitesse de décantation (m/h)
0.92	20
0.84	11
0.59	6
0.36	4.6
0.26	3
0.10	1.4



$$R = (1-f_0) + \frac{1}{v_0} \times \int_0^{c_0} v \times dc \quad (\text{III.17})$$

$$\frac{1}{v_0} \times \int_0^{c_0} v \times dc = \frac{\text{a.b.c.d}}{2} = \frac{(3 \times 0.33)}{2} = 0.49 = 49\%$$

$$R (\%) [\text{global}] = f_0 + \frac{1}{v_0} \times \int_0^{c_0} v \times dc$$

$$R (\%) [\text{global}] = 0.33 + 0.49 = 0.82 \longrightarrow R = 82 \%$$

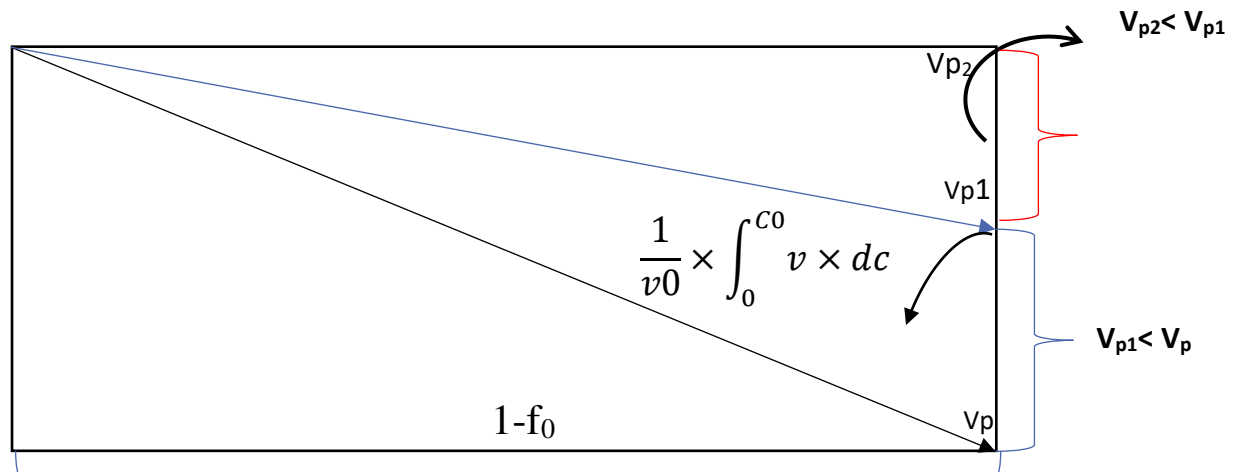


Schéma d'un décanteur classique.

Remarque :

Pour optimiser le rendement du décanteur on le fait souvent précéder d'un compartiment de tranquillisation dans lequel une sensible diminution de la vitesse de transfert permet la décantation des particules les plus grosses et la coalescence du floc le plus fin.

III .2.3. Interprétation des résultats :

Au vu du rendement de décantation qui est à peu près de 82%, ceci est due à la très grande surface de décantation et au débit ce qui impliquerait que les responsables de la station auez dû faire passer l'eau à travers le décanteur, éliminer la majorité des matières en suspensions et alléger la filtration ce qui auez nécessite des lavages moins fréquents donc des couts d'exploitations plus faibles.

Or actuellement le traitement de l'eau potable de la station « Boudouaou », consiste en coagulation- floculation directement sur filtre à sable, en by-passant la décantation et ceci poserait d'énormes problèmes d'exploitation du filtre en matière d'évolution de perte de charge due à la très grande quantité de boues qui se dépose et d'un autre coté les décanteurs à l'arrêt son fonctionnement pendant ces moments perdra de sa fiabilité.

III .3. La filtration

III .3.1. Généralité :

A) -Définition

La filtration est un procédé de séparation qui utilise le passage d'un mélange solide- liquide à travers un milieu poreux (filtre). Lorsqu'un mélange constitué d'une phase liquide et de particules solides en suspension (phase solide) traverse un filtre, une partie des particules solides est retenue par le filtre : c'est la filtration.

Objectif de la filtration :

La filtration, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs.

Les causes de la rétention des particules solides par le filtre sont d'ordre physicochimiques. En général la fixation des particules solides sur le milieu filtrant résulte des forces de type Van der Waals (intermoléculaires). Nous ne les traiterons pas ici, et nous considérerons seulement le processus hydrodynamique. Si le mélange à filtrer est situé au-dessus d'un milieu filtrant, il s'écoule vers lui avec une vitesse d'écoulement U (figure 18).

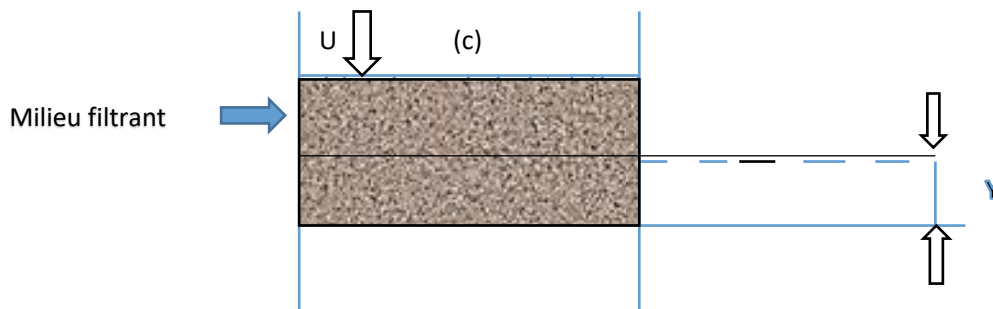


Figure III.11 : Mélange à filtrer

Quand une particule, transportée à la vitesse « V », rencontre le milieu filtrant, une fois à l'intérieur, sa vitesse change et devient ce que l'on appelle la vitesse interstitielle « v ». Si « β » est la porosité du filtre, u est définie par :

$$v = \frac{V}{\beta} \quad \longrightarrow \quad V = \frac{Q}{S} \quad (\text{III.18})$$

Quand les particules progressent dans le milieu filtrant, une partie d'entre elles s'accumulent pour former un dépôt accumulé de masse « q » par unité de volume du filtre (q en kg/m^3), de masse volumique ρ (en kg/m^3), et la vitesse interstitielle devient :

$$v = \frac{V}{\beta - \frac{q}{\rho}} \quad (\text{III.19})$$

Le piégeage des particules solides dans le filtre, donc l'augmentation du dépôt q , entraîne une clarification du mélange, c'est-à-dire une diminution de la concentration en masse C (kg/m³) des particules solides dans le mélange (2). Or le dépôt augmente avec la distance (y) parcourue par le mélange dans le filtre. On admet donc que la quantité de matière solide en suspension qui a disparu dans le mélange liquide est proportionnelle à la concentration locale (équation d'Ison) :

$$\frac{dC}{dy} = -\lambda C \quad (\text{III.20})$$

λ : **coefficient de filtration** (en m⁻¹). (17) s'intègre immédiatement en :

$$C(y) = C_0 e^{-\lambda y} \quad (\text{III.21})$$

Re est le nombre de Reynolds de l'écoulement dans la section considérée, **u** = U/f est la vitesse interstitielle, et **D** la dimension caractéristique de l'écoulement. Or un milieu poreux, comme un filtre, est l'ensemble des grains et des vides qui les séparent. La taille caractéristique **D** du milieu poreux est alors définie comme le rapport du volume des vides et de la surface

Des vides :

$$D = \frac{\text{volume des vides entre les grains}}{\text{volume des vides entre les grains}} \quad (\text{III.22})$$

B) - Principe de la filtration :

La force motrice de la filtration est en général une différence de pression amont-aval, égale à la perte de charge du filtre (mesure par PDI). Au cours de la filtration, l'accumulation de solide dans le gâteau ou dans la masse filtrante augmente la perte de charge pour un débit donné, ou réduit le débit de filtration pour une différence de pression donnée. Cette réduction conduit à effectuer des cycles de filtration, avec remplacement ou contre-lavage du média filtrant. La marche en continu peut être obtenue en disposant deux filtres en parallèles (l'un en service, l'autre en reconditionnement). Dans certains filtres, la suspension circule de façon tangentielle au média filtrant, limitant ainsi la croissance du gâteau et permettant un fonctionnement continu.

En dimensionnement, de nombreux paramètres sont à prendre en compte parmi lesquels :

- Le mode de fonctionnement discontinu, semi-continu, ou continu,
- Le débit à traiter, la perte de charge maximale admissible et la viscosité de la solution, ce qui conditionne en partie la surface de filtration à utiliser et l'épaisseur maximale admissible du gâteau,
- La quantité et la qualité des solides et du liquide à traiter : filtration à 0,1, 1, 10 ou 100 microns (tailles des particules arrêtées), lavage, essorage et/ou séchage du gâteau, etc...
- Le besoin d'adjuvant de filtration (noir de carbone, silice, filtration plus sélective).

En filtration centrifuge ou essorage, la pression motrice de la filtration est obtenue par mise en rotation de la suspension et du media filtrant dans une essoreuse. Le filtrat est centrifugé et sort vers l'extérieur, alors que le solide est retenu à l'intérieur du filtre de l'essoreuse. Ces appareils sont en général discontinus (essoreuse à salade). L'essorage se distingue de la centrifugation dans laquelle il n'y a pas de media filtrant pour séparer le solide du liquide. En centrifugation, le solide est récupéré dans la partie externe et le liquide dans la partie interne de la centrifugeuse.

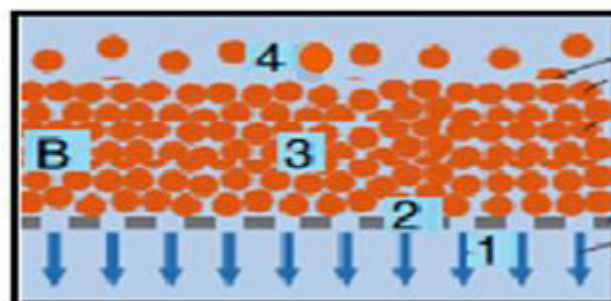
On distingue trois grandes catégories de processus de filtration selon le mode de mise en œuvre :

- **La filtration sur support :** On distingue le tamisage, c'est-à-dire une filtration en surface et jusqu'à des seuils d'ouverture relativement gros (au-dessus de 30 microns environ), - la filtration fine, dans laquelle la filtration sur support mince des plus grosses particules coexiste avec la filtration en épaisseur des plus fines. Un aspect de la filtration en surface est à souligner : elle n'assure l'élimination état initial par un lavage efficace et économique dont le mode est lié au type de filtre et à la nature des éléments retenus.
- **La filtration sur lit granulaire :** L'eau à filtrer passe à travers un lit filtrant constitué de matériau granulaire, dont la hauteur de couche est importante et dépend du type de filtre. Les matières en suspension sont retenues dans les espaces intergranulaires, sur la plus provoquer son encrassement progressif.
- **La filtration sur gâteau ou filtre a pré- couche.**
- **La filtration sur membrane :**

La filtration sert à éliminer les matières solides. Le principe de base consiste à retenir les matières solides en utilisant un filtre. La phase liquide de l'eau brute traverse le filtre et est appelée filtrat. On distingue principalement la filtration en profondeur et la filtration en surface.

III .3.2. Filtration en surface :

La filtration en surface repose sur un effet d'arrêt en surface. Les matières solides ne pénètrent pas dans le filtre, mais sont retenues à sa surface. Cela n'est possible que si la taille des pores du filtre est inférieure à la taille des particules solides. Les tamis, les toiles filtrantes, le papier-filtre ou les membranes peuvent être des filtres. Si l'écoulement est perpendiculaire à la surface, on parle de filtration sur gâteau. L'inconvénient réside dans le fait qu'un gâteau de filtration se forme au fil du temps sur le filtre, réduisant ainsi le débit du filtrat.



B-filtration sur gâteau.
1-eau pure (filtrat).
2-filtre.
3-gâteau de filtration.
4-matière solide.

Figure III.12 : Filtration en surface.

III .3.3. Filtration en profondeur :

Lors de la filtration en profondeur, l'eau brute traverse un filtre sous la forme d'un lit de particules (lit filtrant). Le sable et le gravier sont des filtres très souvent utilisés. L'eau brute s'écoule dans les interstices du lit filtrant, les matières solides étant retenues. L'eau purifiée traverse quant à elle le lit filtrant. Progressivement, un nombre croissant des matières solides se dépose dans les interstices du lit filtrant. Cela entraîne un rétrécissement de la section de passage. Ainsi, la résistance du filtre à l'écoulement s'accroît. Cette résistance se manifeste par une augmentation de la perte de pression. Le débit du filtre diminue ou ne peut être maintenu qu'en augmentant la pression au niveau de l'entrée du filtre. Les matières solides déposées peuvent à nouveau être éliminées par un rinçage à contre-courant. Un rinçage à contre-courant permet donc de réduire la perte de pression. Normalement, ce processus est réalisé avec une eau purifiée (eau pure) dans le sens opposé à l'écoulement du filtrat. L'évolution dans le temps du profil de pression dans un lit filtrant peut être mise en évidence à l'aide des diagrammes de résistance, également appelés diagrammes de Micheau.

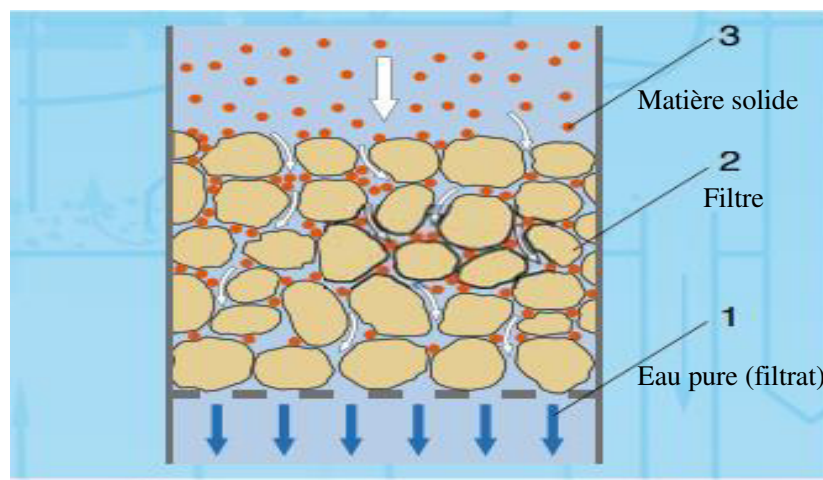


Figure III.13 : Filtration en profondeur.

III .3.4. Les filtres sur sable

Les modalités très diverses de mise en œuvre des matériaux filtrants granulaires ou des pré couches conduisent à la création d'un grand nombre de filtres dont les principales familles

Sont :

Pour les matériaux granulaires, selon les conditions hydrauliques d'utilisation :

- filtres sous pression : Ces filtres sont construits avec des revêtements adaptés aux conditions d'utilisation. Les dispositifs d'évacuation des eaux de lavage doivent être particulièrement soignés, de façon à en assurer une collecte uniforme.

Ils se prêtent aisément à un fonctionnement entièrement automatique. DEGRÉMONT a réalisé des unités jusqu'au diamètre de 8 m.

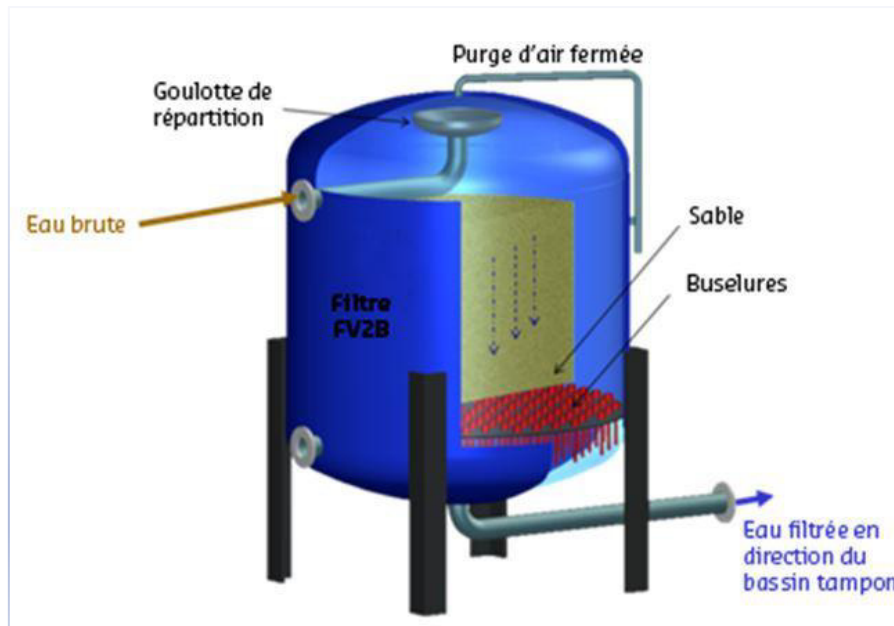
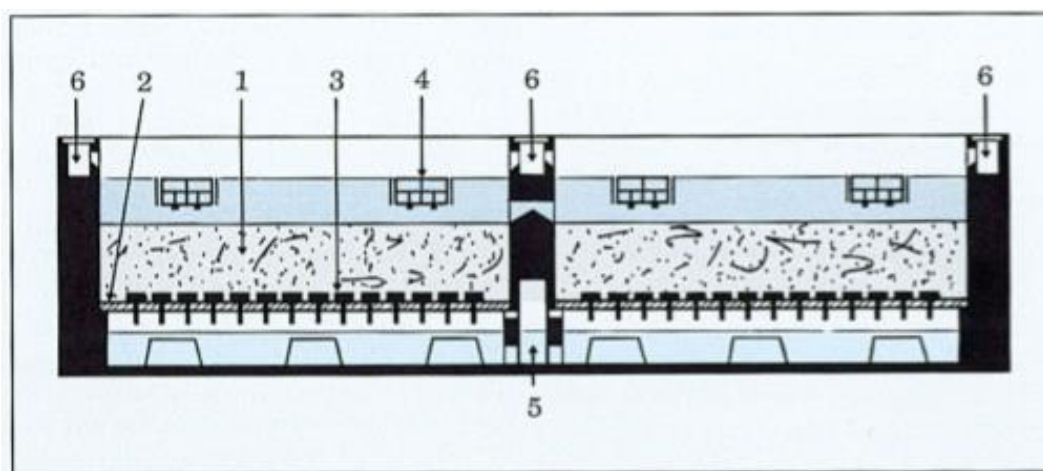


Figure III.14 : Filtre sous pression

- **filtres ouverts, en béton ou métalliques** : La plupart des installations filtrantes destinées à l'alimentation d'eau potable, ainsi que bon nombre d'installations de clarification d'eaux industrielles ou résiduaires, de fort débit, utilisent des filtres ouverts, en général en béton. Suivant les cas, l'eau à filtrer ne reçoit au préalable aucun réactif, elle est simplement coagulée sans phase de décantation, ou bien coagulée, floculée et décantée ; ce dernier cas

Est le plus fréquent Le mode de traitement influence la conception technologique des filtres et surtout la conception d'ensemble de la batterie filtrante. Les filtres ouverts fonctionnent à des vitesses de filtration comprises entre 5 et 20 m.h⁻¹ et peuvent être lavés soit simultanément à l'air et à l'eau, soit successivement à l'air puis à l'eau.



- 1- Sable.
- 2 - Plancher béton.
- 3 - Buselures.
- 4 -Clapet d'entrée d'eau.
- 5-Canal de distribution air-eau de lavage. Sortie d'eau filtrée.
- 6-Goulottes d'évacuation des boues

Figure III.15 : Filtre ouvert (double AQUAZUR type T à plancher béton et canal air-eau)

III .3.5. Filtre à sable Aquazur :

a) -Filtres bicouches : Ce sont des filtres chargés de deux couches de matériaux différents (sable-anthracite par exemple), à grande hauteur d'eau et vitesse de filtration comprise entre 7 et 20 m. h⁻¹. Les filtres bicouches sont normalement lavés à l'air puis à l'eau ; un lavage à l'air et à l'eau simultanés est cependant possible, moyennant l'adaptation des filtres.

b) -Filtres à charbon actif : Ce sont des filtres conçus pour la mise en œuvre du charbon actif en grains (CAG) ; ils peuvent également être adaptés à la filtration sur d'autres matériaux légers (pierre ponce, anthracite...). Le filtre à une vitesse de filtration de 7 à 20 m. h⁻¹ :

En effet, par ses propriétés et sa place dans la chaîne de traitement, ce filtre est susceptible de mettre en œuvre dans de bonnes conditions de fortes hauteurs de matériau (jusqu'à 2 m). Peut être équipé de goulottes en acier inoxydable pour la reprise de l'eau sale de lavage.

C -filtres particuliers : Ces filtres fonctionnent d'une manière totalement autonome et automatique, en filtration comme en lavage. L'eau à filtrer provient d'un bac de mise en charge et, après filtration à travers un lit de faible granulométrie, remonte vers la réserve d'eau filtrée superposée. Lorsque la réserve est pleine, l'eau part à l'utilisation par débordement. Quand le lit filtrant s'encrasse, le niveau monte dans la chambre de mise en charge et dans la branche amont d'un siphon. Lorsque la perte de charge maximale est atteinte, l'air comprimé contenu dans le siphon s'échappe et le siphon s'amorce. La réserve d'eau filtrée traverse le filtre à contre-courant pour en assurer le lavage. Avec ce type de filtre, on a l'assurance de ne jamais atteindre d'encrassement anormal du lit filtrant, car le lavage s'effectue automatiquement pour une valeur de perte de charge fixe et préréglée. Ces filtres sont utilisables en particulier, lorsqu'on ne dispose ni d'air comprimé, ni d'électricité. Ils conviennent pour des eaux peu ou moyennement chargées de MES, quand le réseau de distribution tolère un arrêt pendant la période de reconstitution de la capacité d'eau de lavage.

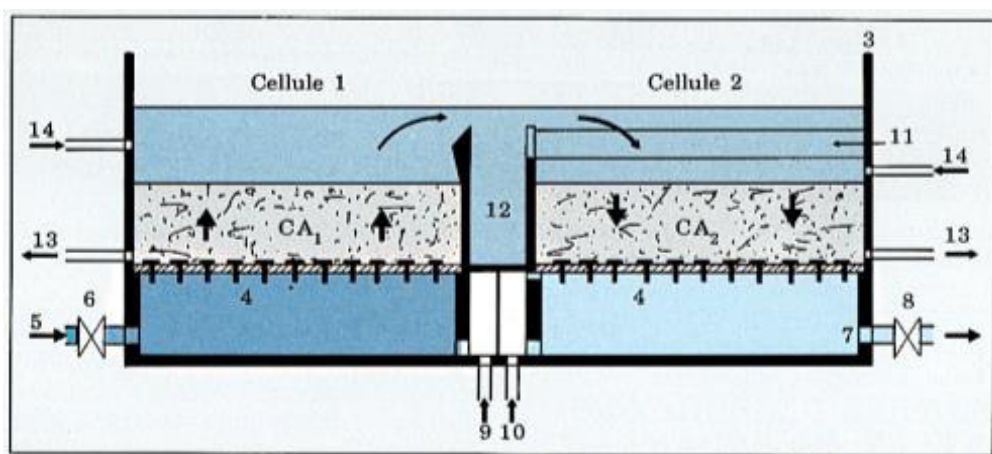


Figure III.16 : Coupe du filtre Midiazur double flux.

Pour les filtres à précouche, selon le support :

➤ **Filtres Cannon :** Ces appareils peuvent assurer la filtration très fine d'eaux extrêmement différentes en taux de MES, par exemple : condensats nucléaires et suspensions de levures. Ils remplacent les filtres à bougies, en microfiltration, quand des eaux ne sont pas filtrables sans précouche ou quand un gâteau épais est rapidement formé et doit être évacué avec peu d'eau de lavage. Ces appareils sont donc caractérisés par les volumes de gâteau possibles et par les conditions de lavage ou d'extraction de celui-ci.

➤ **Filtres à bougies :** Les filtres CANNON sont constitués par une enveloppe cylindrique fermée, à l'intérieur de laquelle sont disposées verticalement un certain nombre de bougies fixées sur une plaque support. Ces bougies sont des cylindres creux perforés, réalisés en acier inoxydable, sur lesquels est bobiné en mince épaisseur un fil en fibre synthétique formant manchon : le matériau de précouche, mis au préalable sous forme de suspension diluée, vient s'appliquer sur ce manchon. Ces filtres sont construits avec -diamètre de 0,8 à 1,8 m, - surface filtrante de 15 à 378 m² (120 à 624 bougies). Les vitesses développées sont de 2 à 15 m.h⁻¹ suivant la nature et la concentration de la suspension.

➤ **Filtres à cadres ou à disques :** Ces filtres comportent des filtres à disques ou à cadres fixes ou tournants, disposés horizontalement ou verticalement. Ces éléments sont eux-mêmes recouverts d'une toile support. Il existe une grande variété de modèles, avec des plateaux simples ou profilés, de façon à obtenir une répartition homogène des dépôts.

III .3.6. Taux de filtration

A/-Filtration lente sur sable :

La filtration lente est une méthode d'épuration biologique qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par la diminution du nombre de micro- organismes (bactéries, virus, kystes), par l'élimination de matières en suspension et colloïdales et par des changements dans sa composition chimique.

Eléments de base d'une Filtration Lente sur Sable

Une installation de Filtration Lente sur Sable se compose fondamentalement d'un bassin contenant une couche surnageante d'eau brute, un lit filtrant avec des drains, et un système de régulation et de commande du filtre (cf. les deux schémas ci-dessous)

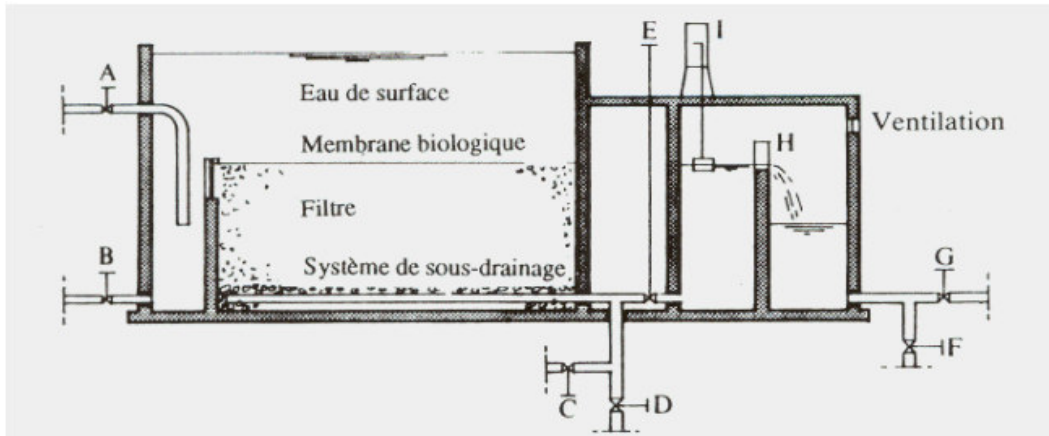


Figure III.17 : Les composantes d'un filtre lent avec contrôle de débit à l'entrée

- a) Vanne d'amenée d'eau non-filtrée et de contrôle de débit
- b) Vanne de vidange pour évacuation de l'eau surnageante
- c) Vanne pour recharger le lit filtrant en eau propre
- d) Vanne de vidange pour drainer le lit filtrant et la chambre de sortie
- e) Vanne de chasse pour vider le réservoir d'eau traitée
- f) Vanne de sortie vers le réservoir principal du réseau de distribution
- g) Déversoir
- h) Mesure de débit

B/-Filtration rapide sur sable :

Ce type de filtration est utilisée lorsque l'usine doit fournir de grande quantité d'eau ($> 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$), lorsque les terrains sont limités et/ou que le prix des médias filtrant est élevé ;

- « Absence » des processus biologiques
- Taux de filtration plus élevés : $120 - 240 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ j}^{-1}$
- Bassins en béton ou en acier ;

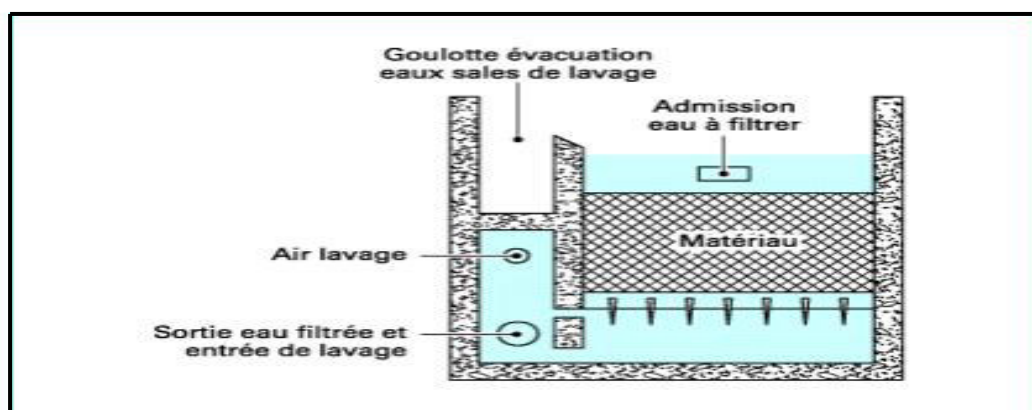


Figure III.18 : Filtration rapide sur sable

Ce type de procédé nécessite préalablement une étape de coagulation/floculation/(décantation) Possibilité de l'utiliser pour éliminer les floccs produits directement ;

- Possibilité de coagulation avant filtration
- Eau brute avec faible turbidité
- Dosage faible de coagulant = 4 ppm mg/l

Ces filtres peuvent être gravitaires ou sous pression

- Sous pression : bassins sous pression en acier
- Le coût de construction de ces bassins limite l'utilisation de ces technologies
- Typiquement petites installations

Gravitaire : Doit typiquement surmonter une perte de charge de 2-3 mètres

- Bassins ouverts
- Utilisé dans la majorité des usines

III .3.8. Avantages des filtres

Le filtre à sable présente de **multiples** avantages :

- Un **coût d'investissement pas trop élevé**.
- Un **coût d'exploitation très faible**. Il se limite à l'achat de sable, très peu cher et d'une exceptionnelle durée de vie. Un remplacement tous les 7 à 8 ans pour le
- Il est **adapté** à tous les types d'eau et de traitements.
- Son **nettoyage est très facile**. Un simple contre lavage permet d'éliminer les une grande partie des résidus.
- L'**entretien est simple**, facile et peu coûteux. Il se limite à l'utilisation d'un nettoyant pour filtre une fois par an, au moment de l'hivernage.

III .4. Le filtre « aquazur v »

A) -Définition

L'Aquazur V est un filtre ouvert à sable à courant descendant. Comme tout filtre, c'est un séparateur solide-liquide. Il est destiné à retenir les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau à traiter grâce à une épaisse couche de sable.

L'homogénéité du sable augmente la durée des cycles de filtration, l'épaisseur permet de filtrer à grande vitesse et la grande hauteur d'eau (1,20 m) évite les dégazages. Généralement, l'eau à filtrer est l'effluent provenant d'un procédé de clarification, c'est-à-dire d'un décanteur.

B) -Caractéristiques :

Le filtre Aquazur « v » est essentiellement caractérisé par :

- Un lit filtrant de granulométrie homogène et qui reste homogène après lavage.
- Un lavage par retour simultané d'air et d'eau accompagné d'un balayage de surface, suivi d'un rinçage au même débit, sans mise en expansion du lit filtrant, et toujours avec balayage de surface,
- Une grande hauteur d'eau au-dessus du lit filtrant (1.2m)

C) -Description :

Le filtre Aquazur « v » est constitué :

- D'une cuve en béton séparée en deux parties par un plancher de dalles en béton de faible épaisseur, dans lequel sont visées des buselures à longue queue D20 (50 au m²),
- D'une distribution d'air de lavage assurée par un canal en béton situé sous la goulotte de lavage répartissant l'air sous Le plancher,
- Des équipements suivants :
 - Diaphragme et déversoir à partir de la goulotte d'eau à filtrer permettant l'équipartition du débit totale d'eau à filtrer entre tous les filtres.
 - Vannes de sortie d'eau filtrée. D'entrée d'air de lavage, d'entrée d'eau de lavage, d'évacuation des eaux de lavage,
 - D'une goulotte de récupération des eaux de lavage : déversoirs à 0.5m au-dessus du lit filtrant,
 - D'une goulotte en « v » percée de nombreux orifices permettant d'obtenir le balayage de surface à partir de la goulotte d'arrivée d'eau à filtrer, pendant le lavage du filtre.
 - D'une régulation par vanne papillon et capteur de niveau RN.
 - D'un indicateur d'encrassement.

D) -Fonctionnement :

L'eau à filtrer à la sortie du déversoir pénètre dans le filtre par l'orifice situé à l'extrémité de la goulotte en « V ». Elle traverse le lit filtrant.

L'eau filtrée passe à travers les buselures du plancher pour être reprise, sous le plancher, par la tubulure de sortie d'eau filtrée et acheminée par le canal vers les citernes d'eau filtrée.

E) -Performances

La qualité de filtration dépend de la granulométrie et, de la répartition granulométrique(d10/d60) du sable utilisé et de la vitesse de passage de l'eau dans le filtre.

Normalement il faudrait utiliser 2 couches de sable.

- Une 1^{ère} d'une granulométrie plus importante (2 à 4 mm) se trouve au niveau des crépines. Elle permet d'éviter que la 2^{ème} couche, plus fine (0,4 à 0,6 mm), dont le rôle est de filtrer l'eau, ne vienne obturer les trous de la crépine.
- Dans la pratique, c'est souvent du sable d'une granulométrie unique, en général de 0,55mm qui est utilisé. Il permet alors une finesse de filtration variant de 25 à 50 microns.

Si un sable plus fin permettait une meilleure qualité de filtration, il s'encrasserait également plus rapidement.

Une vitesse de filtration élevée, comprise entre 7 et 20 m.h-1, entraîne des choix technologiques particuliers, concernant notamment

- Le choix du matériau filtrant et sa hauteur,
- Le mode de lavage,
- L'hydraulique générale.

III.4.1. La granulométrie de sable ϕ

A) -Caractéristiques physiques :

Un matériau est caractérisé par différents paramètres dont les protocoles de mesure sont détaillés à la section examen des matériaux granulaires et pulvérulents :

- La granulométrie : définie par le couple : taille effective (TE) et coefficient d'uniformité (CU) ;
- La forme des grains : anguleux (matériau concassé), ou ronds (sable de rivière ou de mer), ou plus ou moins plats (voir mesure du coefficient d'aplatissement). Cette forme des grains est importante : ainsi, on obtient des qualités d'eau filtrée semblables avec un matériau anguleux de taille effective plus faible que celle d'un matériau à grains ronds, ou bien, à granulométrie égale, l'accroissement de perte de charge est plus faible avec des grains anguleux qu'avec des grains ronds ; en effet, la porosité d'un lit à grains anguleux est plus élevée car contrairement à ce que l'on peut penser, les grains de ce type s'imbriquent moins facilement les uns dans les autres que les grains ronds, et laissent des sections de passage plus grandes ;
- La friabilité : qui permet de choisir les matériaux susceptibles d'être utilisés en filtration, sans risque de production de fines par les opérations de lavage. Un matériau trop friable est à proscrire, surtout dans un filtre fonctionnant de haut en bas et dont le lavage se termine par une phase d'expansion à l'eau seule car les fines formées s'accumulent en surface et y bloquent l'encrassement ;
- La perte à l'acide : il est bien évident qu'on ne peut tolérer une perte à l'acide importante quand l'eau est susceptible de contenir du gaz carbonique agressif ou toute acidité minérale ;
- La masse volumique des grains constituant le milieu filtrant en relation avec leurs vitesses minimales de fluidisation ;
- Les masses volumiques apparentes (en vrac) dans l'air et dans l'eau.

B) -Nature du milieu poreux

- Le sable quartzeux a été le premier des matériaux utilisés pour la filtration et c'est encore le matériau de base pour la plupart des filtres actuels. L'anthracite ou le marbre peuvent lui être substitués quand il est nécessaire d'éviter toute trace de silice dans les traitements industriels, ou quand leur approvisionnement est plus facile. Pour certains traitements tels qu'affinage, traitement tertiaire des eaux résiduaires, etc., il est intéressant d'utiliser des matériaux à forte surface spécifique, tels que BIOLITE, schistes expansés, pouzzolane, etc.
- Certains filtres utilisent une combinaison de plusieurs matériaux (filtres multicouches). Le sable peut alors être associé à de l'anthracite, du grenat, des schistes plus ou moins poreux, etc., à condition que la friabilité de ces matériaux soit faible ainsi que leur perte à l'acide. Enfin, la filtration peut s'effectuer sur du charbon actif granulé, suffisamment résistant :

- en remplacement du sable après un traitement de décantation quand on veut à la fois éliminer le floc résiduel et lutter par adsorption contre une pollution, - en second étage de filtration pour un traitement d'affinage seul ou de déchloration.

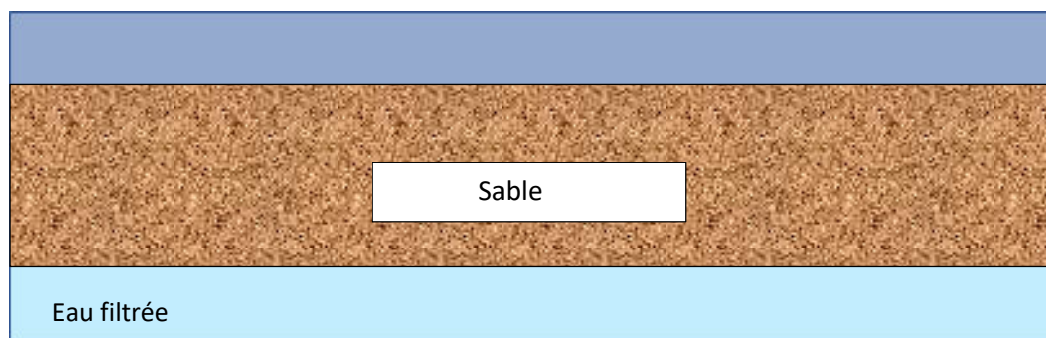
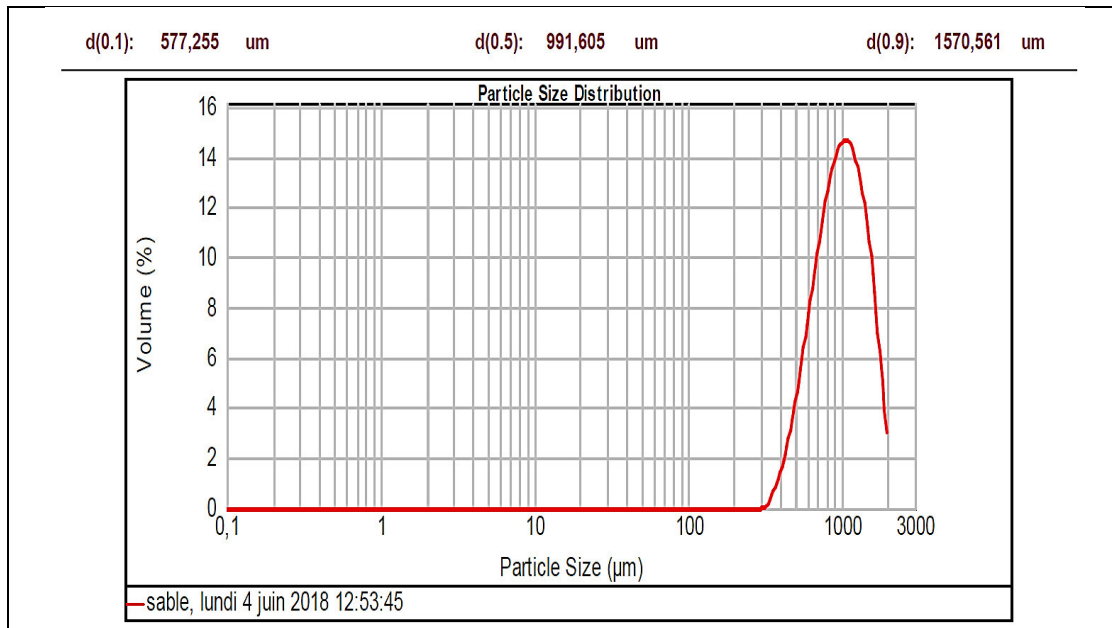


Figure III.19 : Schéma d'une phase de filtration

C) -Tableau III.4 : Ci-après les caractéristiques du notre sable quartzeux : **Le produit doit être conforme à la Norme NF EN 12904 juillet 2005**

Propriétés Chimiques	
Paramètres	Exigences
La teneur en silice	Supérieur à 85 %
Masses volumiques vraie	De 2,6 à 2,7 kg/l

Propriétés Physiques	
Paramètres	Exigences
Taille effective des grains d10	0,95 mm (+/-) 5 %
Coefficient d'uniformité	Inférieur à 1.5
Particules passant par le tamis dont l'ouverture est égale à 0,63 mm	Inferieur 1% de la masse totale du matériau filtrant (sable)
Particules ne passant pas par le tamis dont l'ouverture est égale à 1,7 mm et ne dépassant pas 1.9 mm	Inferieur 5% de la masse totale du sable



Support gravier type A

Hauteur = 5 cm

Volume = 8.15 m³

Sable type TEN : 0,95

Hauteur = 1,10 m

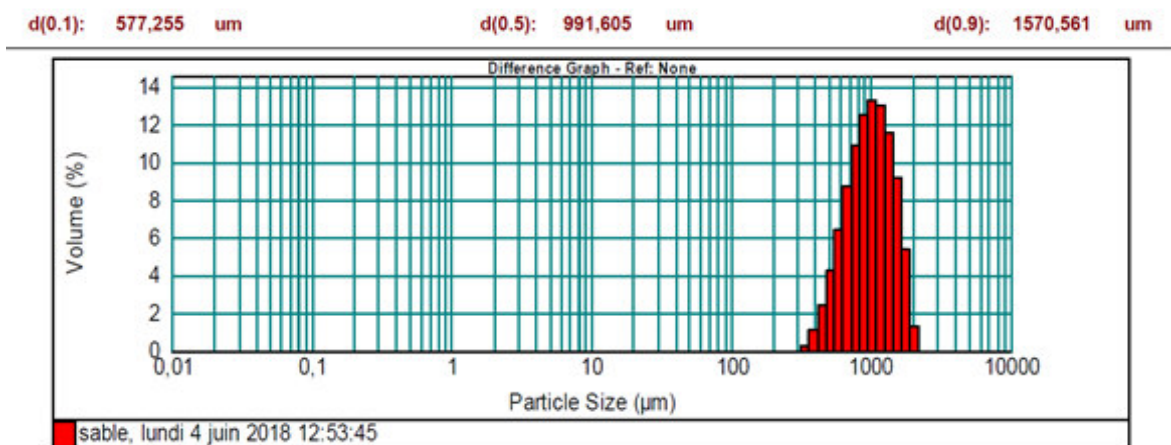
Volume = 187.5 m³

Concentration : envergure : uniformité : unités de résultat :
0.0327 % Vol 1.002 0.308

volume

Aire de surface spécifique : moyenne pondérée en surface :
0.00666 m²/g 900.263

moyenne pondérée :
1036.038 Um



Le coefficient d'uniformité est de :0.38

$$\text{Donc le } Cu = \frac{d_{10}}{d_{60}} = \frac{0.95}{0.4} = 0.38 \quad (\text{III.23})$$

Cette valeur est révélatrice d'une mauvaise granulométrie qui Risque d'avoir une conséquence directe sur la porosité qui ne sera très élevée et des repercussions sur la variation de la perte charge de filtration et de lavage

III.4.2. Les filtres AQUAZUR V sont ainsi caractérisés par :

- Une grande hauteur d'eau au-dessus du lit filtrant, égale à 1 m au minimum et, dans la plupart des cas, à 1,20 m,7
- Une hauteur de matériau filtrant homogène, comprise entre 0,8 et 1,5 m,
- Une taille effective du matériau filtrant, en général de 0,95 mm ou 1,35 mm (fourchette extrême : 0,7 mm et 2 mm),
- Un lavage **simultané à l'air et à l'eau**, accompagné d'un balayage en surface à l'eau décantée, suivi d'un rinçage à l'eau, sans mise en expansion du lit filtrant, et toujours avec balayage en surface. Ce balayage permet d'évacuer, plus rapidement les impuretés à l'égout, ce qui réduit la durée du lavage.
- Les différents types de planchers et les organes de régulation sont les mêmes pour le filtre AQUAZUR V que pour le filtre AQUAZUR T.
- Les filtres AQUAZUR V peuvent également être agencés en filtres simples (comportant un régulateur par élément filtrant), ou en filtre double (deux cellules communiquant par le haut et par le bas et un seul régulateur).



Figure III.20: Filtre à sable de type Aquazur avec une plate forme contient des buselures.

A) -Buselures :

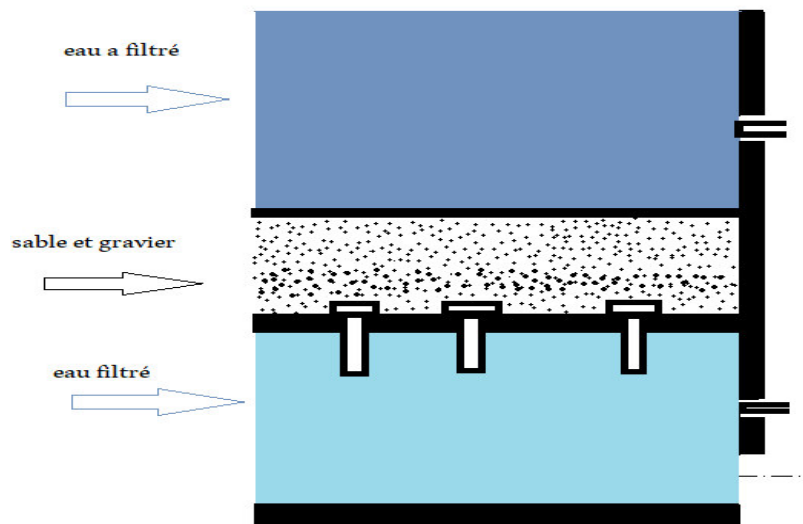
Suivant les techniques de lavage, deux types de buselures peuvent être employés :

- buselures pour lavage à l'eau seule. Elles se différencient par leur forme, la largeur de leur fente et la nature de leur matière.



Figure III.23 : Buseleur type D20.

Schéma d'un buselure :



Nombre : 8820

Type : D20

➤ Suppresseur d'air de lavage :

Nombre : 03 -----(2 en marche et 1 en secours)

Débit = 4750 m³/h

Pression = 315 bar

III.4.3. Avantages du filtre Aquazur v :

- Un filtre ouvert à grande vitesse.
- Un lavage original, efficace et économique.
- Un régulateur de niveau.
- Un contrôle de fonctionnement à la carte.

III.4.4. La filtration sur un filtre ouvert type aquazur v :

Après la décantation l'eau passe à travers 16 filtres à sable réparties en deux filières, ces filtres permettent de débarrasser l'eau de toute matière fine insoluble et d'améliorer la turbidité de l'eau.

L'eau à filtrer (figure 21) est amenée à l'organe central par une goulotte (1) de distribution annulaire en acier. Le siphon d'entrée (2) de chaque cellule de filtration amène l'eau à filtrer dans la chambre d'entrée (3) de chaque cellule, munie d'un réservoir d'équirépartition (4). Ces déversoirs d'entrée à niveau constant remplacent les régulateurs de débit L'eau filtrée est collectée dans la chambre (5) commune à toutes les cellules filtrantes. Elle en sort par le déversoir (6) qui maintient en permanence une charge positive sur le matériau filtrant.

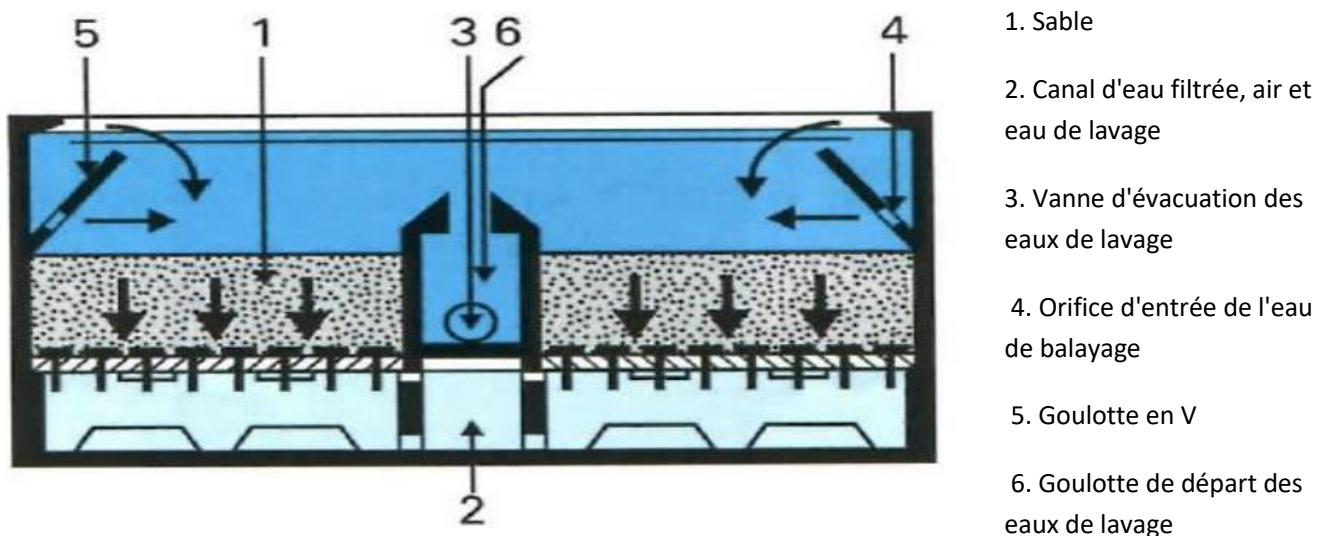


Figure III.21: Filtre AQUAZUR type V, phase de filtration.

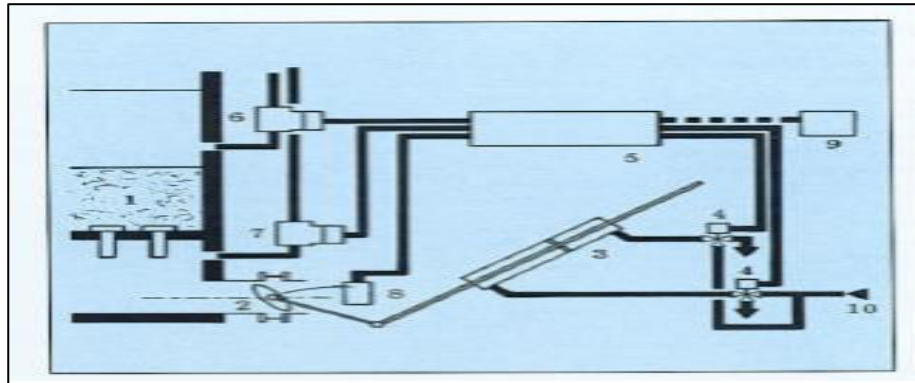
III.4.5. Colmatage et lavage du matériau filtrant

- On appelle colmatage l'obstruction progressive des interstices du matériau filtrant. Le colmatage provoque une augmentation de la perte de charge. Si l'on fonctionne à pression d'alimentation constante, le débit du filtrat baisse. Si l'on désire maintenir ce débit constant, il faut augmenter la pression initiale au fur et à mesure du colmatage.

➤ La vitesse de colmatage dépend :

- Des matières à retenir : elle est d'autant plus grande que le liquide est plus chargé en MES, que ces matières ont une plus grande cohésion et qu'elles sont susceptibles, elles-mêmes, de prolifération (algues, bactéries).
- De la vitesse de filtration.
- Des caractéristiques de l'élément filtrant : dimension des pores, homogénéité, rugosité, forme du matériau.
- Le filtre est colmaté lorsqu'il a atteint la perte de charge maximale (1 m). Il importe de le ramener à son état initial par un lavage efficace et économique dont le mode est lié au type de filtre et à la nature des éléments retenus.

- **Indicateur de colmatage :**
- Type : régulateur de niveau
- Graduation : 2.5 m CE =0.25 bar



• Figure III.25 : Schéma de régulation électronique d'un filtre

- 1-Lit filtrant.
- 2-Vanne de sortie d'eau filtrée.
- 3-Vérin de commande de la vanne.
- 4-Électrovanne de commande du fluide alimentant le vérin.
- 5-Régulateur.
- 6-Capteur de pression mesurant le niveau du filtre.
- 7-Capteur de pression sous le plancher.
- 8-Potentiomètre placé sur l'axe de la vanne.
- 9-Indicateur éventuel de colmatage.
- 10-Alimentation en fluide de commande du vérin.

III.4.6. Lavage des filtres AQUAZUR V :

A) -Lavage du milieu filtrant : Le lavage est une opération très importante : lorsqu'il est insuffisant, il entraîne rapidement le colmatage permanent de certaines zones, ne laissant à l'eau qu'un passage réduit ; la perte de charge s'accroît alors plus vite, la filtration devient localement plus rapide et moins efficace (« renardage »).

Pour laver le matériau filtrant, on le soumet à un courant d'eau, circulant de bas en haut et réparti uniformément sur toute la surface du fond du filtre. Ce courant d'eau est destiné à détacher les impuretés (pour ce faire, le matériau doit recevoir une **énergie** suffisante) puis à les entraîner par mise en expansion à l'eau seule (avec lavage de surface).

Le lavage manuel, semi-automatique ou automatique s'effectue suivant les séquences suivantes :

- Soufflage : envoyer de l'air Entre (30 à 60s) d'en dessous pour faire monter l'eau et le sable et dégager les matières coincées.
- Barbotage : introduire air + eau. 10 min
- Rinçage : laver le filtre avec l'eau de lavage. Entre (8 à 10 min)
- Remplissage : fermer les vannes de lavage et ouvrir les vannes de l'eau propre.
- Démarrage : reprise de l'état initial du filtre à sable.



Figure III.22: Filtre Aquazur v de la station SEAAL de Boudouaou lors du lavage.

B) -Le lavage du filtre dépend de :

- La qualité de l'eau brute.
- Le débit d'eau.
- Le processus de traitement (les taux de traitement).
- Le filtre est colmater dans ce cas-là, la perte de charge est $\Delta H = 1.8\text{m}$

C) -Les trois critères pour effectuer un lavage du filtre

Le lavage se fait selon trois critères :

- a. Quand le degré du colmatage : $\Delta H = 1.8\text{ m}$
- b. Dès que la qualité de l'eau filtrée en point de vue turbidité [1-1.5 NTU],
- c. Les jours de filtration : le lavage du filtre sera déclenché par l'opérateur lorsque le filtre à atteindre les 5 jours de filtration maximum.

- **Nombre de lavage :** 1 fois par jours (5 à 8 filtres).

E) -Les débits mis en œuvre sont :

- -débit d'air de lavage : 50 à 60 $\text{m}^3/\text{h.m}^2$
- -débit de balayage : de l'ordre de 5 $\text{m}^3/\text{h.m}^2$
- -débit de rinçage : 5 $\text{m}^3/\text{h.m}^2$.

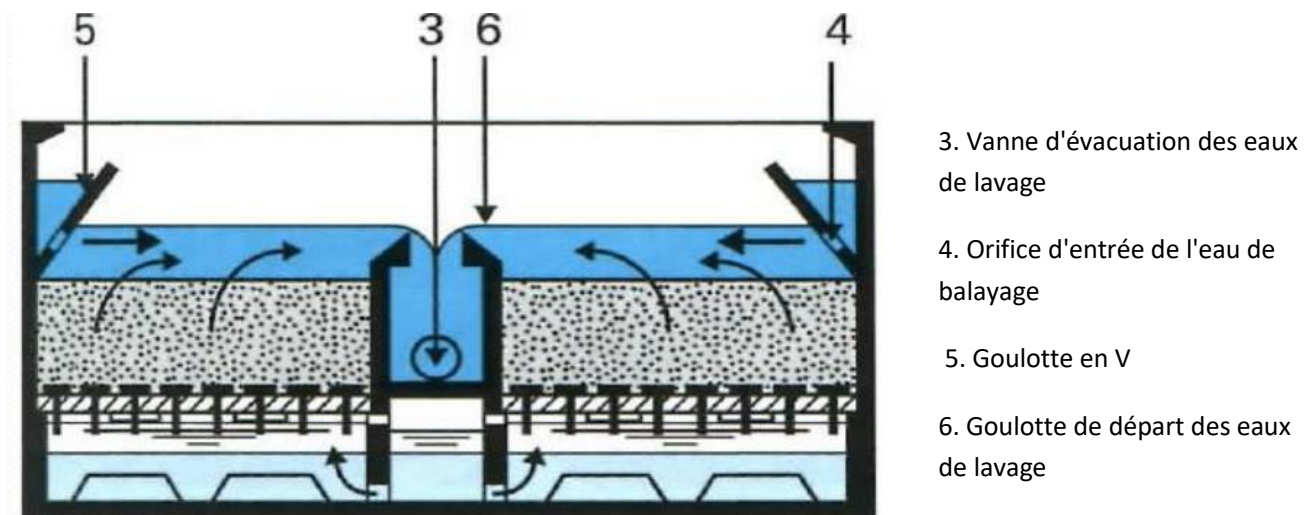


Figure III.24 : Filtre Aquazur type V, phase de lavage air-eau avec balayage de surface

III.4.7. Consommation d'eau de lavage :

La consommation d'eau par lavage ($4 \text{ à } 10 \text{ m}^3 \text{ par m}^2$ de surface filtrante) est essentiellement fonction de la nature et du poids des particules retenues par m^3 de matériau filtrant ainsi que de la méthode de lavage. En particulier, l'utilisation conjointe d'air de lavage et d'eau de balayage non filtrée permet de réduire d'environ 20 à 40 % la consommation d'eau par rapport au lavage à l'eau seule.

La consommation d'eau de lavage est d'autant plus forte que :

- La hauteur d'eau au-dessus du matériau filtrant est plus grande ;
- Les goulottes d'évacuation des boues sont plus écartées les unes des autres
- La quantité de boues à évacuer est plus grande ;
- La cohésion et la densité des boues sont plus fortes.

Cette consommation est également accrue lorsqu'on utilise des laveurs de surface.

Remarque :

A la fin du lavage Le recyclage des eaux de lavage vers l'ouvrage d'arrivée eau brute.

Compte tenu des temps de manœuvre des vannes, le lavage dure 15 à 20 minutes et se termine par le remplissage du filtre jusqu'à son niveau normal de filtration.

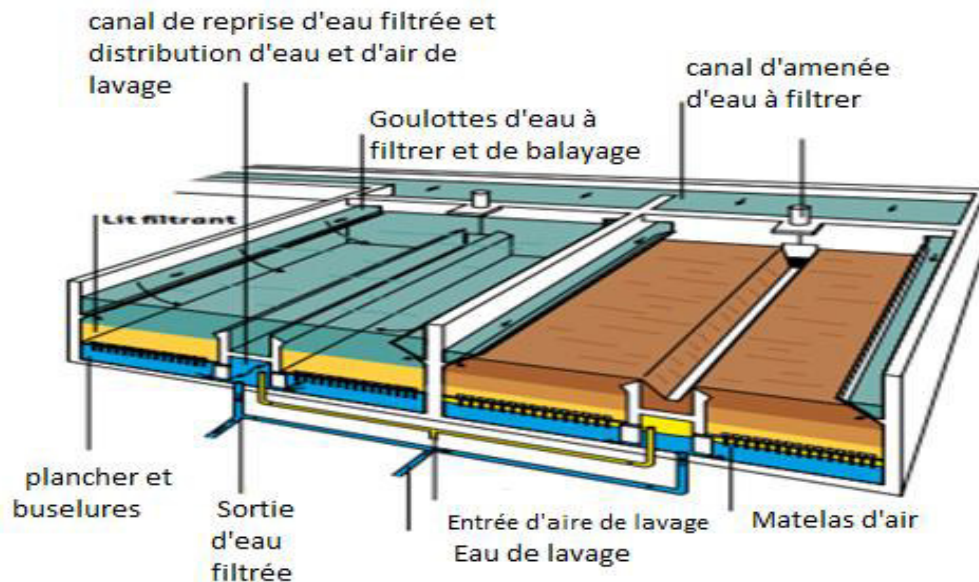
➡ La station de Boudouaou possède de 16 filtres Monocouches.

III.4.8. Aquazur v double cellules :

Dimensions unitaires :

- Longueur du filtre = 16,3 m
- Largeur du filtre = 2x5m
- La surface du filtre à sable SF = 163 m^2

- La hauteur du filtre à sable HF = 2.5m
- La hauteur d'eau sur le filtre = 1.20 m
- La vitesse de la filtration (8 filtres) = 6,4 m/h - 8.1 m/h
- Dans le cas de (7 filtres) = 7,3 m/h – 9,31 m/h
- Temps de filtration = 6,1– 3,7 min



- Fréquence de lavage = (2-3) /j
- Production moyenne = 263 à 394 m³/m²
- La charge hydraulique $Q/s = \frac{20160}{163} = 123.68 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$
- Temps de lavage = 15 min
- Quantité d'eau utilisé pour lavage des filtres = 2445 m³/h/m²
- La quantité d'eau utilisé pour lavage de 16 filtres :
$$\frac{2445 \times 16 \times 12}{60} = 7.824 \text{ m}^3/\text{min}/\text{m}^2$$
- Quantité d'air utilisé pour lavage des filtres = 9454 m³/h/m²
- Vitesse de filtration comprise entre 5 et 20 m/h.
- Vitesse d'eau de lavage de 14 m³/m²/h.
- Débit total d'eau de lavage + eau de balayage. Est compris entre 20 et 22 m³/m²/h.
- Débit de pompage : 815 m³/h.

❖ Tableau III.5 : La concentration de Mes :

MES avant le décanteur (chambre de répartition)	MES avant la filtration	MES après la filtration
6.06	7.68	0.62

A) -Le rendement des matières en suspensions dans l'entrée et la sortie du filtre :

❖ Quantité **MES** retenu par le filtre pendant 3 jours= 72h :

- MES [entrée] : 8.65 (mg/l)
- MES [sortie] : 1.5 (mg/l)
- D'où 8.65 mg/l ---- $1\text{m}^3 = 8650\text{ mg}$
- Quantité d'eau filtré dans 3 jours = $Q_j \times 3$ (III.24)
- Le débit d'eau = 6.25 m^3
- **Quantité MES/jour** = $6.25 \times 3600 \times 8.5 \times 72 = 1377 \times 10^4\text{ kg/m}^3$

Calculer le rendement de filtration :

$$\text{Le rendement} = \frac{[\text{MES entrée}] - [\text{MES sortie}]}{[\text{MES entrée}]} \times 100 \quad (\text{III.25})$$

$$R = \frac{8.65 - 1.5}{8.65} \times 100 = 82.65\%$$

Calculer la vitesse interstitielle :

$$\text{On a : } v = \frac{V}{\beta} \quad \Rightarrow \quad V = \frac{Q}{S} = \frac{6.25}{163} = 0.038\text{ m/s} = 3.8\text{cm/s} \quad (\text{III.26})$$

$$\text{Donc : } v = \frac{0.038}{0.38} = 0.1\text{m/s}$$

III .4.9. Interprétation des résultats :

On constate que le rendement de filtre (82%), ce qui nous laisse penser que 18% de MES sortent avec le filtrat. Ce qui justifie une décantation préalable.

III.5. La javellisation :

A) -Principe :

La plupart des microorganismes pathogènes est éliminée de l'eau lors des précédentes phases de traitement. Cependant, la désinfection de l'eau est encore nécessaire afin d'empêcher que l'eau potable soit nocive pour notre santé. La désinfection est un traitement qui permet d'éliminer les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies ; ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné. On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides. Les produits chimiques les plus utilisés sont : le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone, le brome, l'iode et le permanganate de potassium. On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques : ébullition, ultrasons, ultraviolets ou rayons gamma.

La dernière étape de la potabilisation de l'eau est la chloration. En effet, à sa sortie elle est chlorée en grande quantité afin d'éliminer les dernières bactéries. Le milieu ne contenant plus de matière organique, les bactéries ne pourraient pas se développer. Pour que l'eau n'attaque pas le réseau de distribution, elle doit avoir un pH neutre. On le rééquilibre grâce à de la Chaux, du carbonate de sodium, de la soude, de l'acide sulfurique et chlorhydrique, du bicarbonate de sodium et du carbonate de calcium. Pour que l'eau n'est pas de goût désagréable, on procède à une déchloration. L'eau reste légèrement chlorée en fin de parcours afin de ne pas être altérée lors de sa distribution. Le chlore se décompose vite lorsqu'il est utilisé en grande quantité. Il faut donc légèrement chlorer l'eau en sortie d'usine afin de pouvoir la rechlorer tout au long du réseau de distribution par les stations de rechloration. Pour protéger le réseau des anti-tartres et anti-corrosifs sont utilisés. L'eau est ensuite stockée dans des châteaux d'eau avant d'être consommée par la population via les réseaux hydrauliques.

B) - Désinfectants

La désinfection de l'eau peut être réalisée à partir de plusieurs désinfectants. Les plus utilisés sont :

- Le chlore,
- Cl_2 L'hypochlorite de sodium,
- NaOCl Le dioxyde de chlore, ClO_2 Les chloramines,
- NH_2Cl Peroxyde d'hydrogène,
- H_2O_2 Ionisation cuivre/argent
- Autres désinfectants incluant l'ozone et les UV

-Désinfection : elle permet d'éliminer les microorganismes pathogènes par injection de l'eau de javel.

-N. B : parfois au niveau de la chambre de mélange il y a l'injection de charbon actif quand la qualité de l'eau est mauvaise, et ou l'injection de permanganate de potassium KMnO_4 pour éliminer le fer Fe^{+2} et le manganèse Mn^{+2} qui donnent un goût désagréable à l'eau.

-**Neutralisation** : comme dernière du traitement, il est effectué une neutralisation dans l'eau traitée de façon à obtenir son **PH** d'équilibre. L'ajustement de PH se fait du lait de chaux ou de la chaux hydratée.

-**Stockage** : à la fin de cette chaîne de traitement, l'eau est stockée avant d'être distribuée aux consommateurs dans deux réservoirs souterrains d'une capacité de 50 000 m³ chacun.

- III.5.1. Le suivi du chlore résiduel

Séquences de la chloration :

- ✓ La quantité du chlore dans la chambre de répartition est : 0.75 mg/l
- ✓ La quantité du chlore dans le décanteur (eau décantée) est : 0.5 mg/l
- ✓ La quantité du chlore dans le filtre (eau filtré) est : 0.2 mg/l
- ✓ La quantité du chlore dans (l'eau désinfecté) après la chloration est : 1.40 mg/l
- ✓ La quantité d'eau résiduelle dans la sortie du réservoir est : 1 mg/l

III.6. Préservation de l'environnement

Réduire l'impact de l'activité de « SEAAL » sur l'environnement :

L'eau est essentielle pour notre société et notre santé. Les rivières, les lacs, les eaux côtières et leur propreté jouent un rôle important pour les entreprises et les loisirs. Ils contribuent également à l'identité des lieux où nous vivons.

La gestion des eaux résiduaires de rejet est un élément important à considérer au moment de la conception des installations de traitement en eau potable. Comme les chaînes de traitement retenues

À l'instar de ce qui est préconisé pour les plus grosses installations d'eau potable, le rejet des eaux résiduaires de lavage des filtres doit préférablement se faire à l'égout sanitaire communautaire lorsque c'est possible. Si celui-ci est trop éloigné ou s'il n'y en a pas, il faut soit acheminer les eaux résiduaires de lavage des filtres vers une installation de traitement des eaux usées sur place, soit les acheminer vers un milieu récepteur.

L'eau résiduaire de lavage des filtres ne contient généralement que les contaminants qu'on retrouve dans la source d'eau mais de façon plus concentrée. Il peut arriver aussi que les eaux résiduaires de lavage contiennent du chlore si le lavage se fait à l'eau chlorée. La première option est de retourner ces eaux résiduaires vers le système de traitement des eaux usées existant. Les volumes de ces eaux résiduaires sont généralement faibles, alors l'impact sur le traitement des eaux usées sera négligeable. Sinon, il est toujours possible d'envoyer ces eaux résiduaires de lavage vers un milieu récepteur. Avant de ce faire, toutefois, il faut vérifier que certains critères sont respectés.

SEAAL participe activement à la préservation de la santé humaine premièrement, le recours en nette diminution aux ressources souterraines. Par ailleurs, elle a pu réduire considérablement non seulement le rejet direct des eaux de lavage des filtres et la grande quantité de boues extraite par jour.

SEAAL s'engage également à promouvoir une culture environnementale, notamment auprès des jeunes générations.

III.7. Conclusion

A la fin de ce chapitre, nous avons terminé la dernière partie de notre projet fin d'étude,

Dans ce chapitre on a fait une étude critique sur les principaux paramètres qui contribuent au traitement de l'eau, dans la station de « Boudouaou »

Nous avons constaté que : En présence de produits coagulants et flocculants, les particules en suspension dans les eaux s'agrègent en flocons. Le poids de ces flocons provoque la sédimentation des particules au fond des bassins de décantation, cette dernière permet d'éliminer environ 70 % des matières en suspension. Celles-ci se déposent au fond du bassin : ce sont les boues primaires. Elles sont ensuite récupérées par raclage du fond du bassin, puis envoyées dans des épaisseurs. [Durant notre stage au sein de la station de Boudouaou nous avons remarqué qu'ils utilisent la méthode by-passe qui consiste à passer l'eau directement vers le filtre sans le faire décanter] Les performances de la décantation peuvent être améliorées par l'adjonction de réactifs chimiques, qui permet, après coagulation et floculation, de capter jusqu'à 90 % des matières en suspension. La filtration finale à travers des filtres minéraux (sable) permet de produire une eau limpide débarrassée de ses particules. Par la suite la désinfection permet d'éliminer les microorganismes pathogènes par injection de l'eau de javel.

A la fin du traitement et de la purification de l'eau nous obtenons de l'eau pure et potable.

Conclusion générale

Pour obtenir le titre « d'eau potable » et ainsi pouvoir être consommée sans risque pour la santé, l'eau brute puisée dans l'environnement doit subir de nombreux traitements. Ces opérations peuvent se faire à l'échelle d'une agglomération, dans des usines de traitements tel le cas de SEEAL où nous avons fait notre étude critique sur la performance des paramètres de traitement de l'eau potable.

Cette eau, déjà au préalable contrôlé, va passer par des types de traitements différents afin de respecter des normes de potabilité précises. Ces opérations, qu'elles soient réalisées de manière complète ou simplifiées, produisent des résultats semblables bien que l'on ne réalise pas exactement les mêmes actions. Là en parle de l'élimination de décantation en bayassent l'eau directement après la coagulation floculation suivie d'une filtration sur sable et une désinfection avant de les destinés à la consommation.

La production d'eau potable avec l'utilisation de l'étape décantation garantissant une eau de qualité pour une modique somme et une énergie faible, il semble donc avantageux d'exploiter ce procédé.

Il pourra enfin être intéressant de voir à l'avenir comment perfectionner les traitements des eaux, aussi bien à grande qu'à petite échelle, et si ceux-ci pourront se développer de manière à résoudre le problème de l'eau potable en quantité suffisante. En définitive, le traitement de l'eau mérite d'être mieux connu puisqu'il nous garantit une denrée vitale de plus en plus précieuse sous une forme épurée propre à la consommation.

BIBLIOGRAPHIE

Thèse-Préparée au Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes du CNRS- par "Héctor Ricardo Hernández De León." en 2006.

Mémento technique de l'eau - Tomes 1 et 2 Degrémont -Edition 2005.

CPS : Condensate Polisher Systems - Degrémont-Edition 2009.

La webographie :

- [1] Historique sur La Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger (SEAAL), CTB-CHA-2007.
- [2] <http://www.seaal.dz/qui-sommes-nous/profil/>
- [3] https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_souterraine.
- [4] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/quelles-eaux-a-traiter-pourquoi/les-eaux-naturelles/les-eaux-souterraines>
- [5] <http://www.seaal.dz/qui-sommes-nous/metiers/production/traitement-des-eaux/>.
- [6] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Eau>.
- [7] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/quelles-eaux-a-traiter-pourquoi/les-eaux-naturelles/les-eaux-de-surface>.
- [8] <https://www.lenntech.fr/eaux-souterraines/contamination.htm>
- [9] <https://www.ladissertation.com/Sciences-et-Technologies/Sciences-Cognitives/La-Pollution-Des-Eaux-Superficielles-Et-Des-Nappes-192717.html>
- [10] <https://www.suezwaterhandbook.fr/search/tag/D%25C3%25A9d%C3%A9cantation> .
<https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/decantation>
- [11] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/decantation/differents-types-de-decantation>
- [12] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/decantation/calcul-des-decanteurs>

- [13] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/flottation/flottabilite-et-vitesse-ascensionnelle>
- [14] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/decantation/decantation-lamellaire>
- [15] <https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/floculateurs-decanteurs-flottateurs/les-decanteurs/les-decanteurs-a-lit-de-boues>.
- [16] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/filtration>.
- [17] <https://www.suezwaterhandbook.fr/search/tag/Filtres>.
- [18] PDF : La filtration sur sable [GCI 720 -Conception : usine de traitement des eaux potables Automne 2009],
- [19] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/filtration/principes-generaux-de-la-filtration>.
- [20] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/processus-elementaires-du-genie-physico-chimique-en-traitement-de-l-eau/filtration/filtration-sur-lit-granulaire> .
- [21] <https://www.suezwaterhandbook.fr/technologies-degremont-R/traitement-des-eaux-usees/traitement-tertiaire/un-filtre-ouvert-a-sable-a-courant-descendant-Aquaz> .
- <http://www.degremont.fr/fr/savoir-faire/eaux-municipales/eau-potable/filtration-sur-sable-aquazur-v/>
- [22] <http://www.seaal.dz/developpement-durable/preservation-de-lenvironnement/> .
- [23] <http://inspectech-estrie.com/traitement-eau/files/2011/03/MINIST%C3%88RE-DU-D%C3%89VELOPPEMENT-DURABLE-REJET-TRAITEMENT-DEAU.pdf> .

Résumé

Dans ce projet nous avons fait Une étude critique sur la performance de traitement des eaux potables dans station SEAAL. L'eau brute après son captage subit plusieurs traitements avant d'être distribuée dans les circuits d'eau potable ; elle est soumise à une coagulation floculation, une décantation, filtration Et désinfection.

Le décanteur assure 80 % d'élimination des matières en suspension. Le filtre n'élimine que 20% seulement. Si la filtration contribue relativement peu de cette étape. Elle simplifie considérablement la gestion des Boues.

Dans Cette étude critique de système utilisé actuellement à la station de traitement « Boudouaou ». On a marqué le non utilisation de l'étape décantation à cause de la nature de l'eau brute qui a une faible turbidité) ce qui permet de supprimer les bassins de décantation et le changer par la technique bypass

Il nous sort d'après nos calculs dans cette méthode une production de tonnes de boues dans la porosité de filtre cette dernière est induite par la vitesse interstitielle et un surcoût d'énergie et une perte d'eau ; en utilisant une grande quantité d'eau lors de lavage de filtres.

Si on utilise notre méthode en réutilisant le décanteur qui ne consomme aucune énergie la méthode est meilleure (le but et d'obtenir une eau potable soumise à des normes avec un faible coût.

ملخص

قمنا في هذا المشروع بإجراء دراسة نقدية حول أداء معالجة مياه الشرب في محطة سيال حيث تخضع المياه الخام للعديد من المراحل قبل توزيعها للشرب، فإنه يخضع لعدة مراحل التخرير، الترسيب، والترشيح والتطهير عند وصوله من السدود.

تقضي مرحله الترسيب 80 ٪ من إزالة المواد الصلبة المعلقة اما الترشيح يزيل فقط 20٪. إذا كان الترشيح يساهم قليلاً نسبياً في هذه الخطوة. يبسط إلى حد كبير إدارة المواد المعلقة المستخلصة. في هذا النظام المستعمل حالياً في محطة معالجة بودواو مراجعة نقدية. ملحوظ عدم استخدام مرحلة الترسيب بسبب طبيعة المياه الخام لديها تعكر منخفض الذي يلغي أحواض الترسيب وتغييره عن طريق تقنية الالتفافية. ووفقاً لحساباتنا، تنتج هذه الطريقة أطناناً من المواد المعلقة المستخلصة في مسامية المرشحات؛ هذا الأخير يحدث سبب سرعة الخلالي وتكلفة إضافية للطاقة وفقدان المياه. باستخدام كمية كبيرة من الماء عند غسل المرشحات

إذا استخدمنا طريقتنا في إعادة استخدام أحواض الترسيب الذي لا يستهلك طاقة، تكون الطريقة أفضل من الناحية الاقتصادية. الهدف هو الحصول على مياه الشرب تخضع لمعايير السلامة بأقل تكلفة ممكنة.

Abstract

In this project we made a critical study on the drinking water treatment performance in the SEAAL station. The raw water after its capture undergoes several treatments before being distributed in drinking water circuits; it is subjected to coagulation flocculation, decantation, filtration and disinfection.

The decanter provides 80% removal of suspended solids. The filter only eliminates 20%. If filtration contributes relatively little to this step. It greatly simplifies sludge management.

In this critical study of the system currently used at the Boudouaou treatment station, the non-use of the settling stage was noted because of the nature of the raw water which has a low turbidity) which makes it possible to eliminate the watersheds. Decantation and change it by the bypass technique.

According to our calculations, this method produces no tons of sludge in the filter porosity; the latter is induced by the interstitial velocity and an additional cost of energy and a loss of water. Using a large amount of water when washing filters. If we use our method reusing the decanter which consumes no energy the method is better (the goal and to obtain drinking water subject to standards with low cost.