



Université Sidi Mohammed Ben Abdellah
Faculté des Sciences et Techniques de Fès
Département des sciences de la vie



Projet de Fin d'Etudes
Licence Sciences & Techniques
«BioProcédés,Hygiène & Sécurité Alimentaires»

**Sujet : Suivi de l'essai de coagulation-floculation (Jar-test)
de source de l'eau d'Ain Asserdoune**

Présenté par :

Salima EL MOUDDENE

Encadré par :

Mme F.FADIL

Mme k.BOUHALOUA

Soutenu le 06 Juin 2017 devant le jury composé de :

- Mme F.FADIL
- Mr E.HARKI

Année Universitaire : 2016/2017

Remerciement

- *Je remercie Monsieur le directeur de l'Office Nationale de l'Eau Potable à Béni Mellal qui a bien voulu m'accepter pour passer ce stage.*
- *Je remercie également mon encadrante sur le lieu du stage Mme. Khadija BOUHALOUA chef de laboratoire de l'ONEP pour ses orientations, sa disponibilité et les pour la réalisation de ce travail et aboutir à ce résultat.*
- *Je tiens à exprimer ma gratitude et présenter mes chaleureux remerciements à mon encadrant le professeur Mme Fatima FADIL pour ses conseils sa collaboration et son aide pour réaliser ce projet.*
- *Je remercie également toute l'équipe de L'ONEP pour leur aide, leur compréhension et leur sympathie.*
- *Mes remerciements les plus chaleureux vont à mes très chers parents et ma sœur pour leurs sacrifices, leurs soutiens et leurs encouragements.*
- *Bref, merci à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, ainsi qu'à mes collègues et mes amis.*

Résumé

L'eau est un élément naturel omniprésent sur la Terre à l'état liquide notamment dans les mers et les océans, à l'état de vapeur dans l'atmosphère, à l'état solide dans les glaces polaires principalement. Ses propriétés particulières à l'état liquide ont permis le développement de tous les organismes vivants ; ceux-ci ne pouvant ordinairement pas vivre en son absence.

71 % de la surface de la planète sont couverts d'étendues d'eau de tailles et formes diverses : océans, mer, lac, fleuve, rivière, canal... Mais seulement une plus petite partie de 0.6% des réserves globales en eau sont utilisables comme eau potable.

La production de l'eau potable de la ville de Béni Mellal est assurée par l'ONEP (office national de l'eau potable) qui exploite principalement les eaux d'Ain Asserdoune. Ces eaux subissent d'abord un prétraitement dans le but de diminuer leurs charges en matière en suspension, ensuite un traitement assurant l'élimination de la pollution chimique et microbiologiques et l'abaissement de la turbidité par toute une série de transformation afin d'obtenir une eau potable destinée à l'alimentation humaine.

Le laboratoire régional de l'ONEP de Béni Mellal procède dans le cadre du contrôle des eaux potables aux analyses physico-chimiques et bactériologiques.

Dans ce stage on s'est intéressé à l'étude de l'essai de coagulation-floculation (Jar-test) : une procédure expérimentale visant la détermination de la dose probable de coagulant permettant de clarifier l'eau dans la station de traitement. On a travaillé sur différents prélèvements de l'eau brute (Ain Asserdoune) pour voir l'efficacité de ces traitements. D'après les résultats obtenus on peut constater que le traitement est plus efficace lorsqu'on travaille avec les conditions optimisées de l'essai de floculation, ce qui permet de produire une eau potable de meilleure qualité destinée aux consommateurs.

Liste des figures

Figure 1 : les différents procédés de traitement au niveau de la station.....	08
Figure 2 : La pré-chloration et coagulation au niveau d'ouvrage d'arrivée de la ST.....	09
Figure 3 : Eau sortie après filtration à sable.....	10
Figure 4 : L'appareil de pH-mètre.....	12
Figure 5 : L'appareil de turbidité.....	12
Figure 6 : courbe de la demande en chlore (break-point).....	16
Figure 7 : Dispositif expérimental de l'essai de floculation (Jar-test).....	18
Figure 8 : schéma du procédé de l'essai de floculation.....	19
Figure 9 : Les courbes des demandes de chlore effectuées.....	22

Liste des tableaux

Tableau 1 : les résultats des demandes de chlore effectuées sur différents échantillons.....	21
Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau brute.....	23
Tableau 3 : résultat d'essai 1.....	24
Tableau 4 : résultats d'essai 2.....	25
Tableau 5 : résultats d'essai 3.....	26
Tableau 6 : Résultat d'essai 4.....	27
Tableau 7 : conclusion des résultats.....	28

Abréviations

Al : Aluminium

DPD : Diéthyl Paraphénylène Diamine

MES : Matière en suspension

NTU : Unité de turbidité au Néphélométrie

ONEP : Office national de l'eau potable

pH : Potentiel d'hydrogène

RADEET : Régie Autonome de Distribution de l'Eau et l'Electricité de Tadla

ST : Station de traitement

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique complet

TB : Tombée de burette

VMA : Valeur maximale admissible

Sommaire

Introduction.....	1
Partie 1 : Présentation de l'ONEP.....	3
I. Historique de l'ONEP :	4
II. Présentation générale de la station de Béni Mellal :	4
III. Moyens et matériels :	5
Partie 2 : Procédé de traitement de l'eau d'Ain Asserdoune.....	6
I. Procédé de traitement de l'eau d'Ain Asserdoune	7
1. Procédés de traitement de l'eau	7
2. Etude et choix d'une filière de traitement	7
3. Chaine de traitement.....	8
Partie 3 : Matériels et Méthodes.....	11
I. Méthodes d'analyses :	12
1. Analyses physico-chimique :	12
2. Analyses bactériologiques :	13
Partie 4 : Suivi de l'essai de coagulation-floculation (Jar-test)	14
I. Chlore :	15
1. Introduction :	15
2. Demande en chlore :	16
II. Procédure des essais de coagulation-floculation :	17
Partie 4 : Résultats et discussion de suivi de l'essai de coagulation-floculation.....	20
I. Résultats de demande en chlore :	21
II. Résultats de suivi de l'essai de coagulation-floculation :	23
1. Essai 1 :	24
2. Essai 2 :	25
3. Essai 3 :	26
4. Essai 4 :	27
5. Conclusion des résultats :	28
Conclusion.....	29
Annexes.....	30
Référence.....	31

Introduction

L'Eau est une substance indispensable à la pérennité de tous les êtres vivants : Hommes, animaux et plantes, tous ont besoin de leur ration quotidienne d'eau. L'eau est également une ressource essentielle au développement des sociétés humaines. Celles-ci se sont d'ailleurs installées de tout temps au bord des cours d'eau comme l'atteste l'implantation de la très grande majorité des centres urbains. Grâce à ses propriétés exceptionnelles, l'eau est en effet nécessaire à toutes les activités humaines, ou quasiment.

Toutes les eaux de la nature ne sont pas bonnes à boire, même une eau d'apparence limpide peut transporter en son sein toutes sortes de substances inertes et vivantes, dont certaines peuvent être nocives pour l'organisme humain. Ces substances proviennent soit du milieu physique dans lequel l'eau a évolué, soit des rejets de certaines activités humaines dont l'eau est devenue le réceptacle. L'eau est ainsi le vecteur de transmission privilégié de nombreuses maladies.

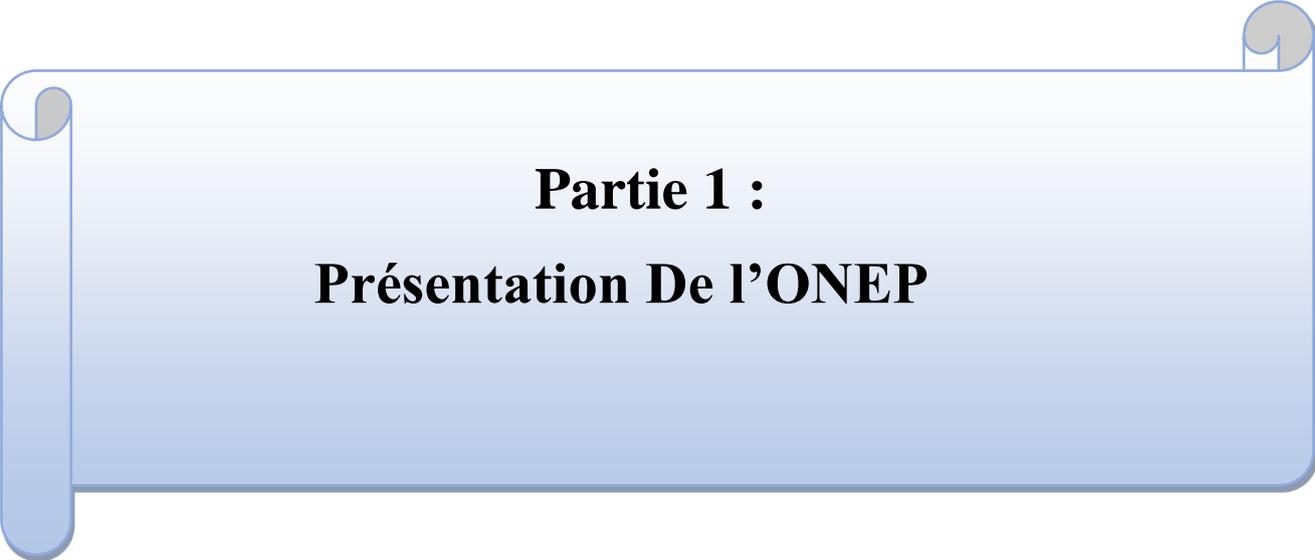
Pour pouvoir être consommée sans danger, l'eau doit donc être traitée. Des normes ont été établies fixant notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire **potable**, ne signifie pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur.

Mon projet de fin d'études m'a permis à la fois d'améliorer mes connaissances pratiques et théoriques. Certes, mon stage qui s'est déroulé pendant deux mois dans la station de traitement de l'eau de Ain Asserdoune m'a permis d'acquérir cette expérience.

Le présent rapport est organisé de la façon suivante :

- Dans la première partie concerne la présentation de l'ONEP ainsi qu'un aperçu sur son historique,
- la deuxième partie apporte un bref aperçu sur le procédé de de traitement de l'eau potable d'Ain Asserdoun,

- la troisième partie concerne les matériels et méthodes effectuées au sein du laboratoire pour assurer la surveillance du réseau d'approvisionnement en eau potable : analyses des paramètres organoleptiques, mesure des paramètres physicochimiques et bactériologiques,
- Dans la dernière partie on s'intéresse à étudier la coagulation suivie de la floculation réalisées dans une installation appelée **Jar-Test**.



Partie 1 :
Présentation De l'ONEP

I. Historique de l'ONEP :

L'ONEP a été géré par un règlement provisoire de 1972, qui a été réformé par un statut régissant l'ensemble du personnel statutaire depuis janvier 1988.

En 1975, se crée la direction provinciale de Béni Mellal pour la production de l'eau potable, puis en 1980, l'ONEP a cédé la tâche de distribution à la RADEET (Régie Autonome de Distribution de l'Eau et l'Electricité de Tadla).

Et sous l'influence de pollution et l'expansion de la ville, l'eau de la source perd sa potabilité. Alors l'ONEP a réalisé des études dans le cadre de traitement et stérilisation des eaux d'Ain Asserdoune.

Ces études étaient réalisées en plusieurs tranches à mettre en service. La première tranche comprenant une station de traitement de la source. Par conséquent l'approvisionnement des eaux potables de la ville était effectué par deux départs descendants de cette même source :

- Le premier assure l'approvisionnement de Béni Mellal à hauteur de 38%.
- Le deuxième est conçu pour un transit des eaux par station de traitement à la ville.

La deuxième tranche concerne le traitement en permanence de la totalité des eaux de la source Ain Asserdoune.

Principales Missions de l'ONEP :

- La planification de l'approvisionnement des eaux potables, détermine l'évolution des besoins, et réserve les ressources correspondantes dans l'espace et dans le temps.
- La gestion des distributions d'eau potable, qui a été cédé à l'ONEP après délibération du conseil communal, et approbation des autorités compétentes.
- Le Contrôle de la turbidité des eaux susceptibles d'être utilisées pour l'alimentation humaine et ce en collaboration avec les autorités compétentes.
- L'étude des projets, des textes législatifs et réglementaires nécessaires à l'accomplissement de sa mission.
- L'Assistance technique en matière, de surveillance de la qualité de l'eau alimentaire.

II. Présentation générale de la station de Béni Mellal :

La station de traitement d'eau potable de Béni Mellal est située au sud de la ville dont le but d'assurer un écoulement gravitaire, cette station dernière est alimentée en eau brute à partir de la source Ain Asserdoune, et équipée pour assurer une production globale de l'ordre de 260 l/s d'eau potable, lorsque l'eau brute présente une charge en MES ≤ 2 g/l, afin de gérer les besoins des consommateurs.

Elle a été réalisée en deux (2) tranches, décrites succinctement ci-après :

➡ La tranche N°1, construite en 1977 par la société CTE, pour produire un débit de 140 l/s d'eau potable et qui comprend les ouvrages hydrauliques suivants :

- 1 ouvrage d'arrivée d'eau brute, équipé d'un obturateur à disque noyé ;
- 1 canal alimentant cette tranche en eau brute, mais qui est déjà conditionné en réactifs de traitement (notamment le chlore et le sulfate d'alumine);
- 2 flocculateurs ;
- 2 décanteurs statiques ;
- 3 filtres ouverts à lit de sable ;
- 1 bache d'eau traitée de 60 m³ ;
- 1 réservoir semi enterré de 700 m³ d'eau traitée.

➡ La tranche N°2, construite en 1993 par la société SOGEA, pour produire un débit de 120 l/s d'eau potable et qui comprend les ouvrages hydrauliques suivants :

- 1 canal alimentant cette tranche en eau brute, mais qui est déjà conditionné en réactifs de traitement (notamment le chlore et le sulfate d'alumine);
- 2 flocculateurs ;
- 2 décanteurs statiques de type "longitudinal" ;
- 3 filtres ouverts à lit de sable.

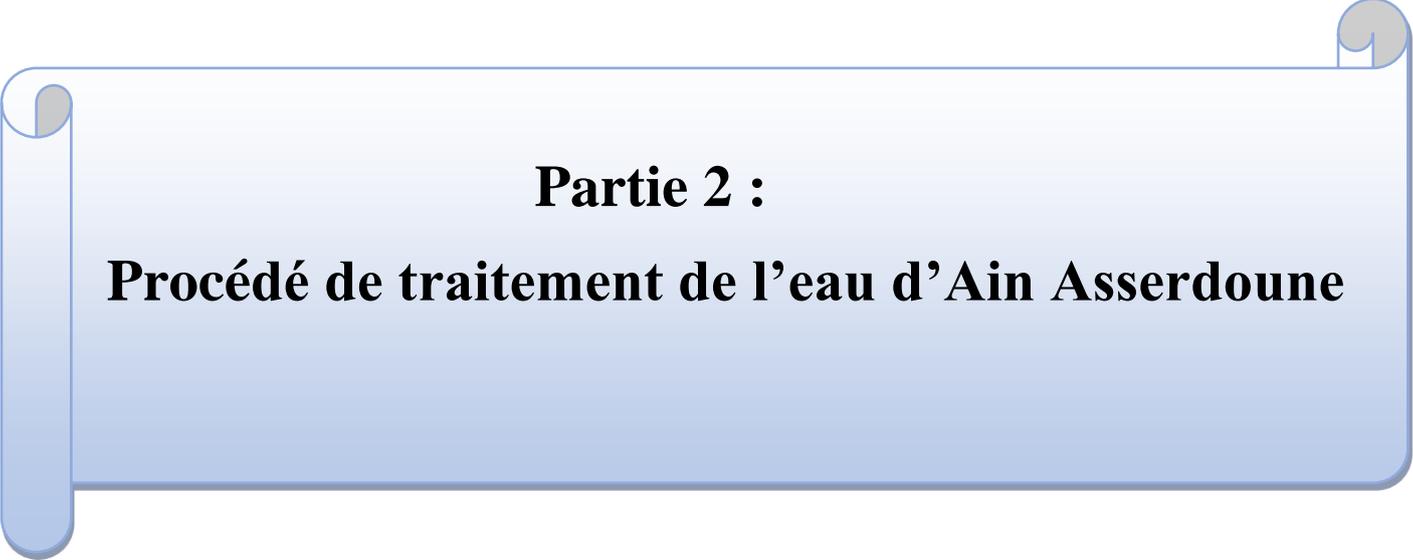
Comme ouvrages hydrauliques, celui d'arrivée, la bache d'eau traitée de 60 m³ ainsi que le réservoir d'eau traitée de 700 m³ sont communs entre les deux tranches.

III. Moyens et matériels :

Le laboratoire est doté d'un équipement moderne qui lui permet de procéder à la détermination de plusieurs paramètres, ces analyses sont réalisées sur des échantillons d'eaux traitées, brutes, produits de traitement, etc....

Le laboratoire dispose de 5 salles :

- ✓ Une salle pour les analyses physico-chimiques ;
- ✓ Une salle pour les analyses bactériologiques ;
- ✓ Une laverie pour le nettoyage et la stérilisation du matériel.



Partie 2 :
Procédé de traitement de l'eau d'Ain Asserdoune

I. Procédé de traitement de l'eau d'Ain Asserdoune :

1. Procédés de traitement de l'eau :

Les techniques de traitement des eaux diffèrent selon l'origine de l'eau à traiter (eau de surface, eau de souterraine et eau de mer).

Mais d'une manière générale, ces différents types d'eau se regroupent sous trois grands types de traitement :

- a. **Procédé physique** : consiste à éliminer les éléments solides en suspension dans l'eau brute ou formés au cours de traitement :
 - Aération ;
 - Décantation ;
 - Filtration.
- b. **Procédé chimique** : Permet de transformer les éléments en solution dans l'eau en des corps solubles inoffensifs ou des corps insolubles qui précipitent :
 - Oxydation (chlore ou dérivés, KMnO_4 ,...) ;
 - Modification du PH (soude, acide sulfurique, acide chlorhydrique,...).
- c. **Procédé physico-chimiques** :
 - Coagulation (sulfate d'alumine, chlorure ferrique,...) ;
 - Floculation (Alginate, poly-électrolytes anionique,...) ;
 - Déferrisation-démanganisation.

2. Etude et choix d'une filière de traitement :

La filière de traitement dépend de la qualité de l'eau. Cependant, on peut citer quelques points particuliers qui peuvent tracer une ligne de traitement et qui sont comme suit :

- **Matières organiques** : une teneur élevée en matière organique prévoit une préchloration
- **Matière en suspension** : le choix des bons ouvrages dans la station de traitement dépend de la teneur de l'eau en MES ;
- **Sable** : élément endommageant les roues et les pompes donc un dessablage est nécessaire
- **Pollution bactérienne** : une désinfection est prévue en fin de traitement pour pallier le risque d'une pollution bactérienne ;
- **Éléments traces métalliques** : principalement éliminés par la pré-chloration ou la clarification. Au cas où la nécessité se présente, un oxydant fort est à prévoir pour oxyder ces éléments.
- **Mauvais goûts** : pour l'éliminer il faut un traitement au charbon actif.

L'eau produite doit répondre aux exigences de la norme marocaine relative à la qualité des eaux d'alimentation humaine (03.7.001). (Voir annexe)

3. Chaîne de traitement :

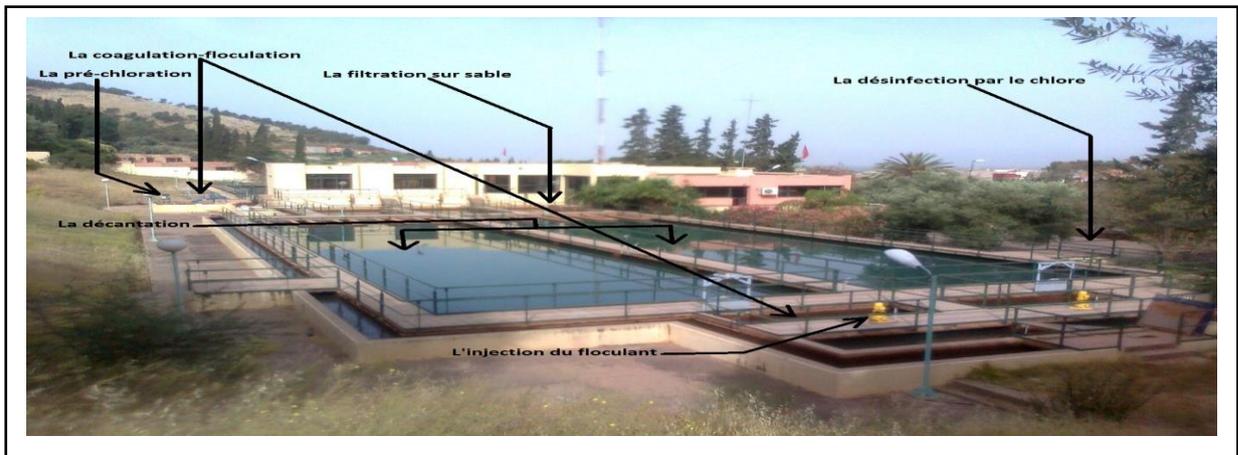


Figure 9 : les différents procédés de traitement au niveau de la station

a. pré-chloration :

Le pré chloration (ou Préoxydation) permet essentiellement la dégradation des matières organiques afin de faciliter les opérations qui suivent.

L'objectif du pré chloration est :

- L'oxydation de composés minéraux comme le fer et le manganèse ou l'ammoniaque.
- L'oxydation de la matière organique.
- l'inhibition de la croissance algale dans les ouvrages de clarification.
- L'amélioration de la coagulation, floculation.
- Le maintien des ouvrages en bon état.

b. Coagulation-floculation :

La turbidité et parfois la couleur d'une eau, sont principalement causées par des particules très petites, généralement colloïdales. Ces colloïdes, qui peuvent rester en suspension dans l'eau pendant longtemps, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation-floculation.

✓ Coagulation :

Les substances indésirables les plus difficiles à éliminer dans les eaux naturelles sont celles qui possèdent une très petite taille (particules colloïdales) et celles qui sont dissoutes (matières organiques), responsables de la coloration et la turbidité de l'eau.

Ces substances portent habituellement une charge électrique négative qui empêche les particules de s'agglomérer les unes aux autres.

Le but de coagulation est donc, de favoriser la formation d'un agglomérat. Pour ce faire, on introduit habituellement dans l'eau un produit chimique chargé positivement nommé « coagulant ».

L'injection d'un coagulant, généralement le sulfate d'aluminium, qui permet de déstabiliser les particules et se rassemblent alors progressivement pour former de petits agrégats. (dispersion rapide ► agglomération facilitée)

La coagulation nécessite une vitesse d'agitation plutôt rapide, afin de bien mélanger l'eau et que les colloïdes et les cations métalliques se neutralisent. ($V=120$ tr/min dans la station de traitement de Béni Mellal).

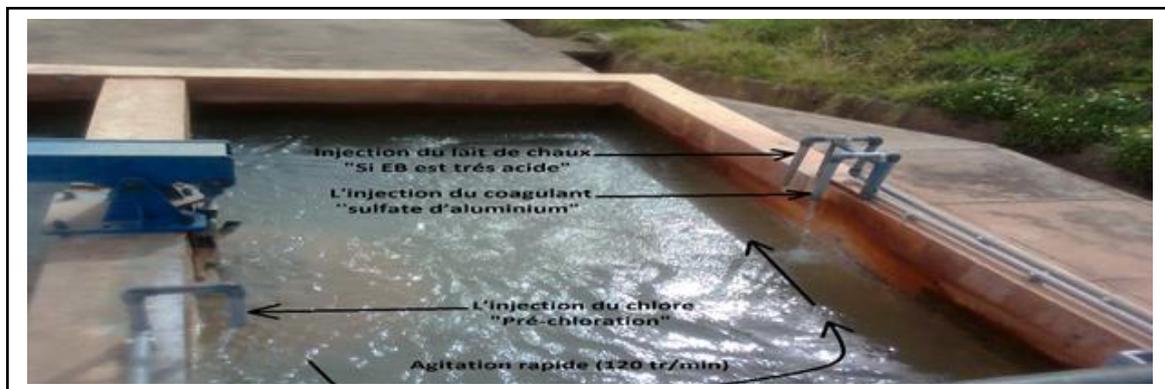


Figure 10 : La pré-chloration et coagulation au niveau d'ouvrage d'arrivée de la ST

✓ Flocculation :

La flocculation est habituellement l'étape de traitement qui suit la coagulation. Elle vise à favoriser l'agglomération des micros floccs, afin de former d'amas de plus en plus volumineux appelés "flocs". Et pour améliorer la flocculation, on peut ajouter un polymère(Polyélectrolyte).

La flocculation nécessite une vitesse relativement lente afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floccs déjà formés. (40 tr/min)

c. Décantation :

Cette étape consiste à laisser les déchets les plus lourds descendre au fond du décanteur, dans le but de :

- ✓ Déposer le flocc décantable,
- ✓ Réduire au minimum la concentration de matières en suspension qu'il faudra enlever par filtration.

Sous l'effet de son poids, les floccs se déposent au fond de la cuve de décantation pour réduire au minimum la concentration de matières en suspension qu'il faudra enlever par la phase de filtration. Et pour se débarrasser des boues décantées, il y a des purges au-dessous des bassins s'ouvrent automatiquement (pendant quelques minutes) quand le niveau des boues atteint une limite bien déterminée.

d. Filtration sur sable :

Après la décantation l'eau passée à travers les caniveaux vers la filtration sur un lit de sable d'environ 0,8 à 1 m d'épaisseur puis à travers des buses d'air fixées sur le sol du filtre

La filtration sur le lit de sable élimine les derniers floccs. Elle consiste à faire passer l'eau à travers une épaisse couche de sable fin. Les particules présentes dans l'eau sont retenues au fil de leur cheminement dans le filtre qu'il faut le nettoyer régulièrement.

Les filtres s'encrassent au fur et à mesure de leur fonctionnement, donc un nettoyage périodique avec de l'air comprimé et de l'eau est pratiqué.

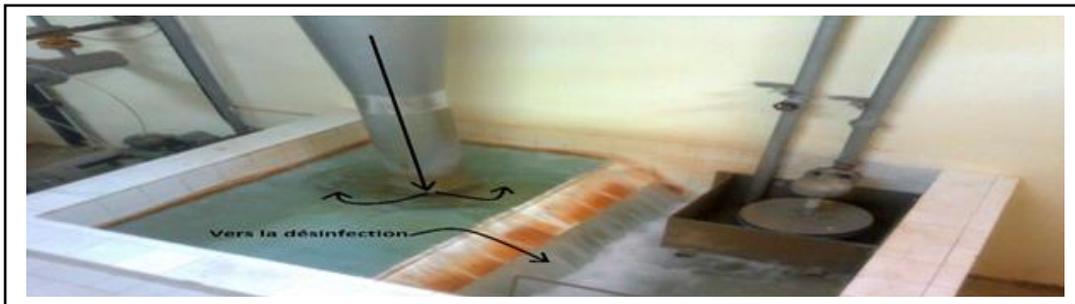
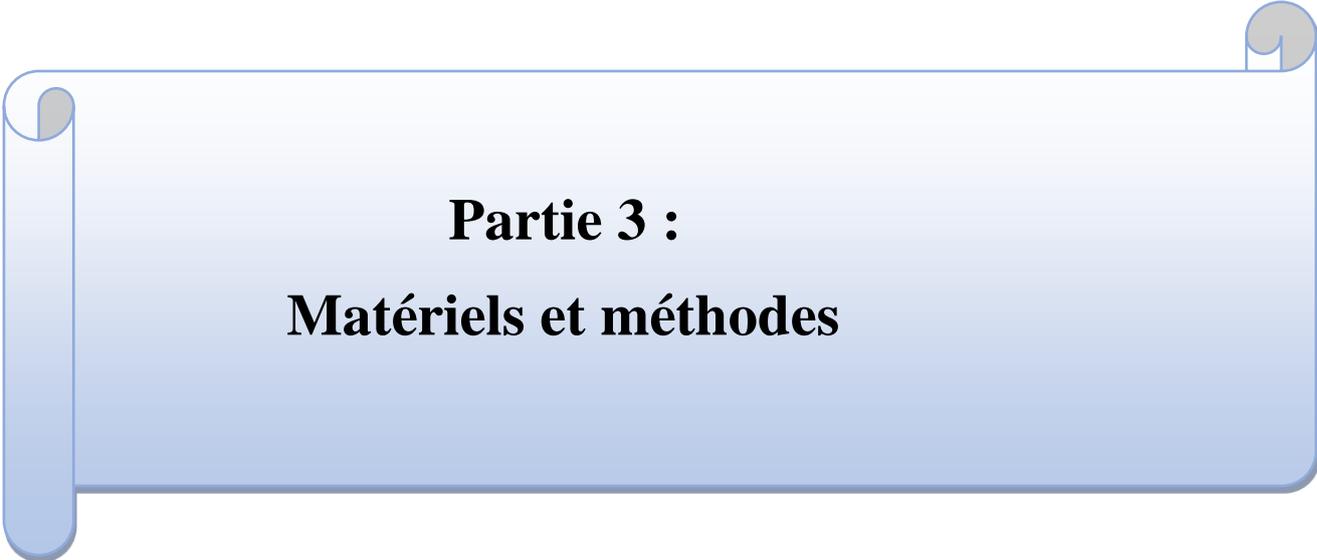


Figure 11 : Eau sortie après filtration à sable

e. Désinfection par chlore :

La désinfection est la dernière phase de traitement avant la distribution, qui permet de désactiver les virus et les bactéries pathogènes, aussi bien dans les eaux de surface que dans les eaux souterraines. Elle doit garantir à l'eau une qualité sanitaire irréprochable

La dernière étape de traitement consiste à ajouter le chlore, afin d'éliminer les germes pathogènes et garantir une eau potable de bonne qualité avant d'être stocké dans une bache de 700 m³ au niveau de la station, et l'envoyer (gravitairement) vers les réservoirs R : 3000m³ et R : 500 m³ pour les distribuer.



Partie 3 :

Matériels et méthodes

I. Méthodes d'analyses :

1. Analyses physico-chimique :

a. Potentiel d'hydrogène pH :

Le pH donne une indication sur la teneur de l'eau en ions hydrogènes. Il est lié, avec plusieurs autres paramètres de la qualité de l'eau.

Il est important dans le traitement de mesurer le pH de l'eau car :

L'efficacité des procédés de coagulation et de floculation dépend en grande partie du pH, et il est d'usage courant, dans le traitement de l'eau, d'ajuster le pH afin de former le meilleur floc possible.

La mesure est effectuée sur place au moment du prélèvement de l'échantillon de façon à ne pas modifier les équilibres ioniques.

L'eau qui possède un pH inférieur à 6,5 peut favoriser la corrosion des canalisations et donc la dissolution dans l'eau potable de métaux comme le plomb et le cadmium.



Figure 4 : l'appareil de pH- mètre

L'eau qui possède un pH supérieur à 8,5 peut favoriser l'apparition de tartre dans les canalisations. La mesure a été réalisée par un pH-mètre.

b. Température :

La température varie selon l'origine de l'eau. Elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz et conditionne les équilibres de dissociation, elle agit sur la conductivité électrique et le pH.

La mesure est effectuée sur place au moment du prélèvement de l'échantillon à l'aide d'un thermomètre.

c. Turbidité :

La turbidité désigne la teneur d'eau en particules suspendues qui la troublent c'est l'inverse de la limpidité. Elle est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argiles, plancton, microorganismes

- NTU < 5 --> Eau claire (Unité de Turbidité Néphélométrique)
- NTU > 50 --> Eau trouble

La turbidité est mesurée par le turbidimètre

l'unité est le NTU (Unité de Turbidité Néphélométrique).



Figure 5 : l'appareil de la turbidité

d. Chlore résiduel :

Le chlore est suivant la valeur de pH sous forme d'acide hypochloreux ou les deux à la fois.

L'addition de DPD à des eaux contenant du chlore donne une coloration rose qui permet de déterminer, à l'aide d'un comparateur, la teneur en chlore.

- La teneur de l'eau en chlore est exprimée en mg/l.
- La quantité de chlore dans l'eau traitée ne doit pas être inférieure à 0,5mg/l.

e. L'alcalinité de l'eau :

L'alcalinité mesure les concentrations d'ions de bicarbonate, de carbonate et d'hydroxyde. L'alcalinité est la mesure du pouvoir tampon d'une eau, c'est-à-dire de sa capacité à un accroissement ou à un abaissement du pH.

Détermination du TA : $TA \text{ (még/l)} = V \text{ (ml) versé ;}$

Détermination du TAC : $TAC \text{ (még/l)} = V' \text{ (ml) versé.}$

Avec :

V : volume de HCl versé pour la détermination de TA ;

V' : volume de HCl versé pour la détermination de TAC.

f. Oxydabilité (méthode en milieu acide à chaud) :

L'oxydation chimique des matières organiques et des substances oxydables est effectuée par le permanganate de potassium à chaud, ce test conventionnel permet de déterminer la teneur en matière organique en même temps que d'autres substances oxydables.

Oxydabilité par un excès de permanganate de potassium en milieu acide et à ébullition des matières oxydables contenues dans l'échantillon.

Réduction de permanganate de potassium par l'oxalate de sodium $Na_2C_2O_4$ et titrage en retour de l'excès de l'oxalate de sodium par permanganate de potassium.

2. Analyses bactériologiques :

L'eau doit être exempte de bactéries et de virus pathogènes. Elle ne doit pas non plus contenir des germes de contamination car ceux-ci, bien qu'inoffensifs, signalent la présence de germes pathogènes. Les traitements de clarification et de désinfection permettent de les éliminer efficacement. La contamination de l'eau provient des déjections animales, ou bien elle peut être provoquée par les milieux naturels.

La présence dans l'eau de germes pathogènes est très difficile à détecter. On se contente de rechercher des germes non-toxiques, tels que la bactérie *Escherichia coli*, bien plus facile à détecter, et qui accompagnent toujours des germes pathogènes d'origine fécale.

L'eau ne doit pas contenir de *Salmonella*, *Staphylocoque*, *Bactériophages fécaux*, *Coliformes* et *Streptocoque fécaux*.

Partie 4 :
Suivi de l'essai de coagulation-floculation
(Jar-test)

Pour étudier l'essai de floculation, on doit déterminer la quantité de chlore à utiliser au cours de l'opération.

I. Chlore :

1. Introduction :

Le chlore est un désinfectant puissant utilisé pour le traitement de l'eau potable, à la station Ain Asserroune, il est employé essentiellement sous forme de chlore gazeux ou d'hypochlorite de sodium (eau de javel). Doté d'un pouvoir oxydant très important, il est le plus rémanent.

Dans l'eau, le chlore libre se trouve sous trois formes d'états en équilibre : l'acide hypochloreux (HOCl), l'ion hypochlorite (ClO⁻) et l'ion chlorure (Cl⁻).



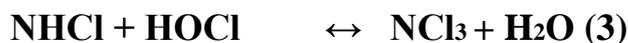
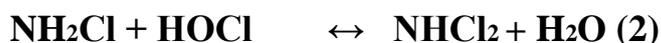
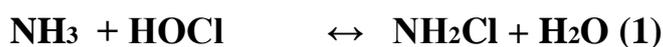
Les concentrations respectives de ces trois formes dépendent du pH et de la température.

C'est essentiellement l'acide hypochloreux qui est le composé le plus actif dans le mécanisme de la désinfection (l'ion hypochlorite est peu oxydant et peu bactéricide), c'est pourquoi il est aussi appelé **chlore actif**, il est majoritaire en milieu acide.

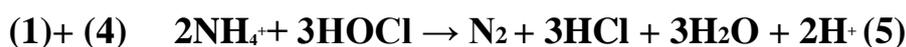
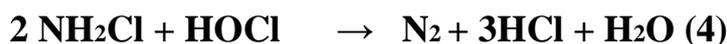
Le chlore permet d'éliminer l'ammoniaque et les matières organiques en excès dans l'eau destinée à la production d'eau potable.

Au cours de ces réactions, on a formation de chlore combiné comprenant les trihalométhanes et les chloramines.

Suivant la quantité du chlore et le pH on aura la production du : NH₂Cl : monochloramines / NHCl₂ : dichloramines / NCl₃ : trichloramines.



A pH supérieur à 7 (cas de la plus part des eaux naturelles), il se forme presque uniquement de la chloramine. Lorsque la réaction (1) est terminée, un excès de chlore la détruit :



Lorsque la réaction (5) est terminée, le chlore ajouté en excès se trouve sous forme de chlore libre (HOCl + ClO⁻), pour un temps de contact de 30 min.

Le tracé de la courbe de chlore résiduel (chloramines + chlore libre), en fonction de la dose de chlore introduite, donne une courbe caractéristique représentée sur la figure ci-dessous, sur laquelle on reconnaît :

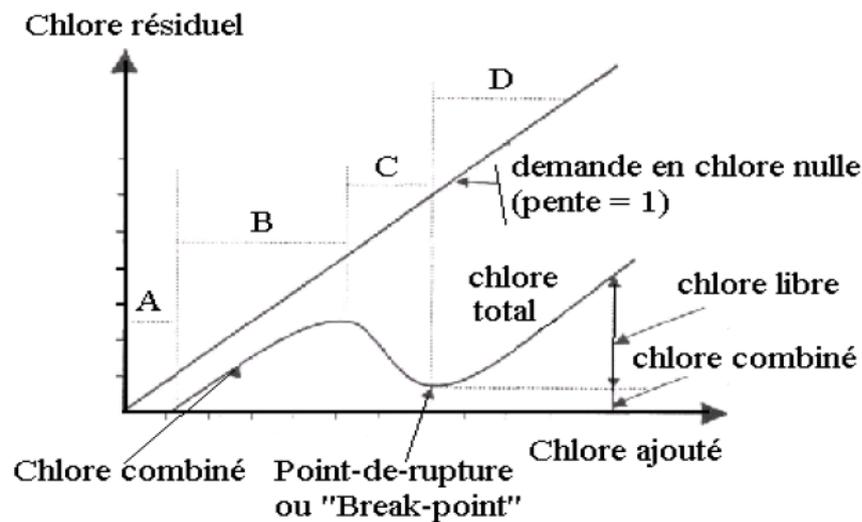


Figure 6 : courbe de la demande en chlore (Break-point)

A : destruction du chlore par les composés minéraux ;

B : formation de composés chlorés organiques et de chloramines, réduction des monochloramines et des dichloramines, formation puis réduction des trichloramines ;

Break-point, les monochloramines, dichloramines et trichloramines sont quasi disparues ;

C : destruction des chloramines par ajout de chlore supplémentaire ;

D : production de chlore actif. Tout le chlore ajouté sera sous forme d'acide hypochloreux mais il reste un résiduel de trichloramines.

2. Demande en chlore :

a. Détermination de Break-point :

i. Définition :

Le point optimal (break point) est la dose du chlore pour laquelle il ne subsiste plus de composés d'addition chlorés dans l'eau. Le plus souvent ces composés sont responsables de dégagement de mauvaise odeur. Break point est la dose du chlore pour laquelle les odeurs sont minimums et chloramines disparaissent.

ii. Mode opératoire :

- On prépare 12 flacons en verre opaque de volume 250 ml, on introduit dans chacun 100 ml d'eau à analyser, puis on ajoute des quantités connues de la solution chlorée

0,1 g/lcroissante de flacon en flacon, de façon à avoir des concentrations précis en chlore actif (voir tableau 1).

- On laisse les flacons à l'obscurité.
- Au bout de 30 min exactement on dose le chlore résiduel avec un comparateur par introduction de réactif DPD : comprimé de mesure du chlore libre.

II. Procédure des essais de coagulation-floculation :

L'essai consiste à rechercher au laboratoire les conditions optimales de floculation et de décantation par la détermination des doses de réactifs (coagulant, floculant, réactifs de correction de pH...) en préparant une série de 6 béchers de 1 L d'eau à floculer selon le protocole bien connu de **Jar Test** et qui sont agités de façon identique.

L'essai a pour but de déterminer la nature et les doses probables de ou (des) réactif(s) permettant de clarifier l'eau dans la station de traitement. L'opération doit être réalisée le plutôt possible après le prélèvement à une température voisine de celle que possédera effectivement l'eau au cours de son traitement dans la station.

a. Description de la procédure :

Le procédé consiste à suivre les étapes suivantes :

- Préchloration par le chlore de 10 g/l au Break-point/la demande en chlore,
- Essai au sulfate d'alumine ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) comme coagulant de concentration 10 g/l),
- Amélioration de l'essai par l'utilisation d'adjuvant de floculation : le polyélectrolyte de 1g/l.

b. Mode opératoire :

Avant de commencer l'essai de floculation, les analyses suivantes (pH, l'alcalinité TA et TAC, l'oxydabilité, la température de l'eau au moment de l'opération, la turbidité de l'eau et la turbidité colloïdale (eau brute filtrée directement sur papier filtre), la demande en chlore (Break point)) sont effectuées pour l'eau brute.

Ces analyses donnent une idée sur les réactifs à employer, et leur efficacité par comparaison avec les résultats obtenues après traitement.

- Dans chaque bécher on verse 1 L d'eau brute et on les place sur le banc de floculation ;
- On ajoute aux béchers la dose de l'eau de javel déjà déterminée d'après la courbe de demande de chlore ;
- En mettant en marche les agitateurs à une vitesse d'environ 120 tr/min, on ajoute rapidement des quantités croissantes du coagulant et on laisse agiter pendant 2 min ;
- Ensuite on ajoute le polyélectrolyte en diminuant la vitesse d'agitation à 40tr/min pendant 20 min ;

- Après l'agitation lente on note l'aspect des flocs formés pour chaque bécher :
- 0 - pas de floc
 - 2 – légère opalescence
 - 4 – petits point
 - 6 – flocons de dimensions moyenne
 - 8 – bon floc
 - 10– excellent
- Après on relève les hélices et on laisse décanter tous les flocons formés dans les béchers pendant 30 min ;
 - Après, on mesure le pH, l'oxydabilité, la turbidité et le chlore résiduel du **surageant** ;
 - Ensuite on passe le surageant de chacun des béchers sur des papiers-filtres disposé dans les entonnoirs. Les résultats obtenus après cette filtration sont comparable à ceux obtenus par filtration à sable dans la station de traitement ;
 - Puis on détermine la turbidité, l'alcalinité et l'aluminium résiduel (par kit).

L'aluminium provient du sulfate d'alumine utilisé au cours de traitement, sa concentration ne doit pas dépasser 0.05 mg/l.

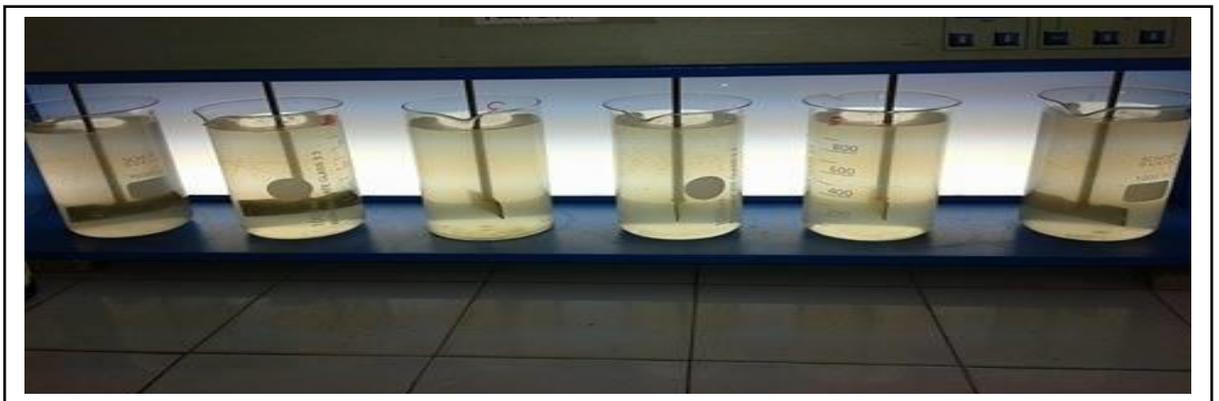


Figure 7 : Dispositif expérimental de l'essai de floculation (Jar-test)

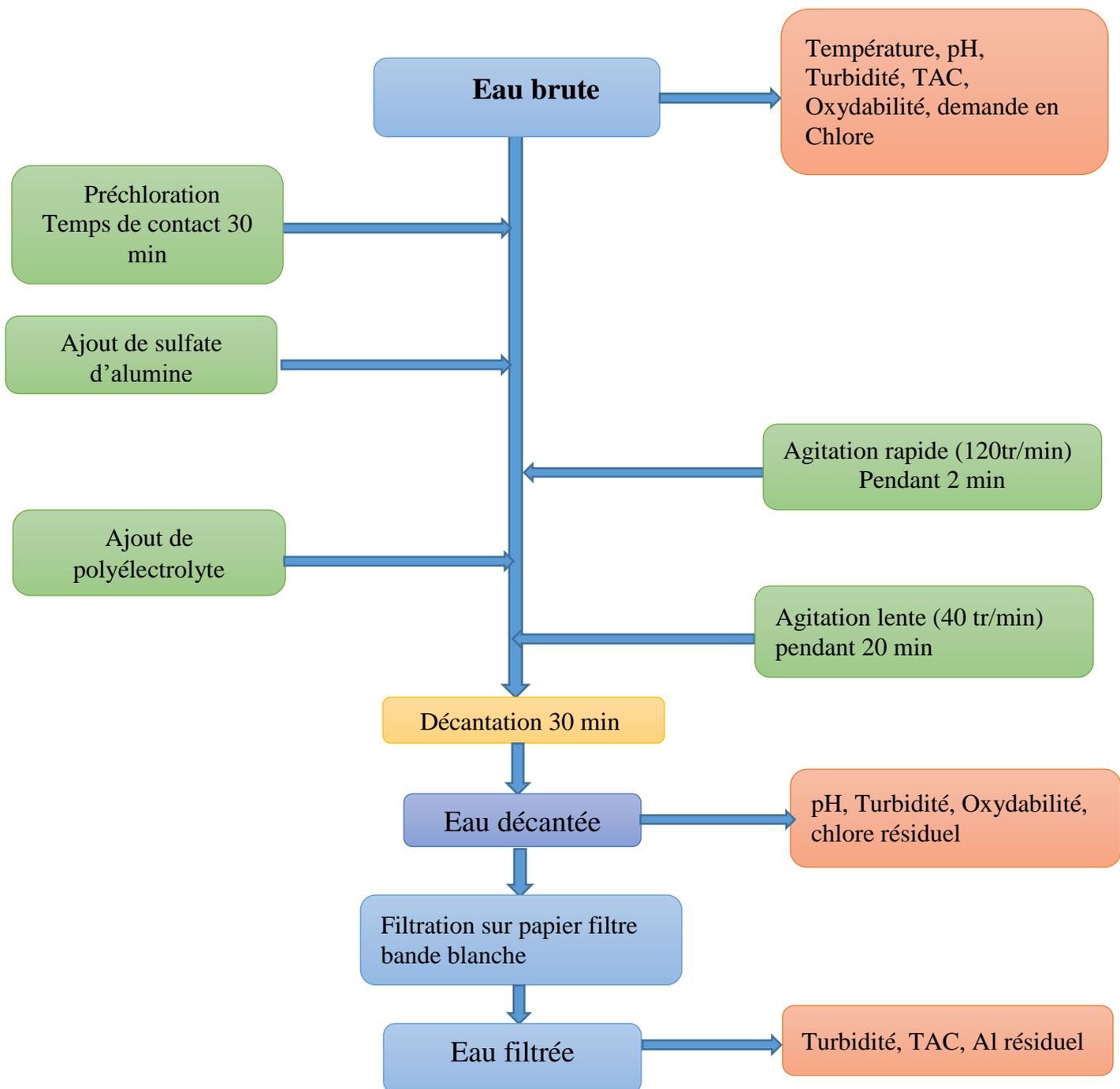


Figure 8 : Schéma du procédé de l'essai de floculation

c. Critères de choix de meilleure bécher :

- ✓ Taille des flocs > 6
- ✓ Turbidité de l'eau décantée < 5 NTU
- ✓ Turbidité de l'eau filtrée < 0.5 NTU
- ✓ pH de floculation entre 6,5 et 8,5
- ✓ oxydabilité < 5mg/l
- ✓ [Al résiduel] < 0.05 mg/l

Partie 5 :

Résultats et discussion de suivi de l'essai de coagulation-floculation (Jar-test)

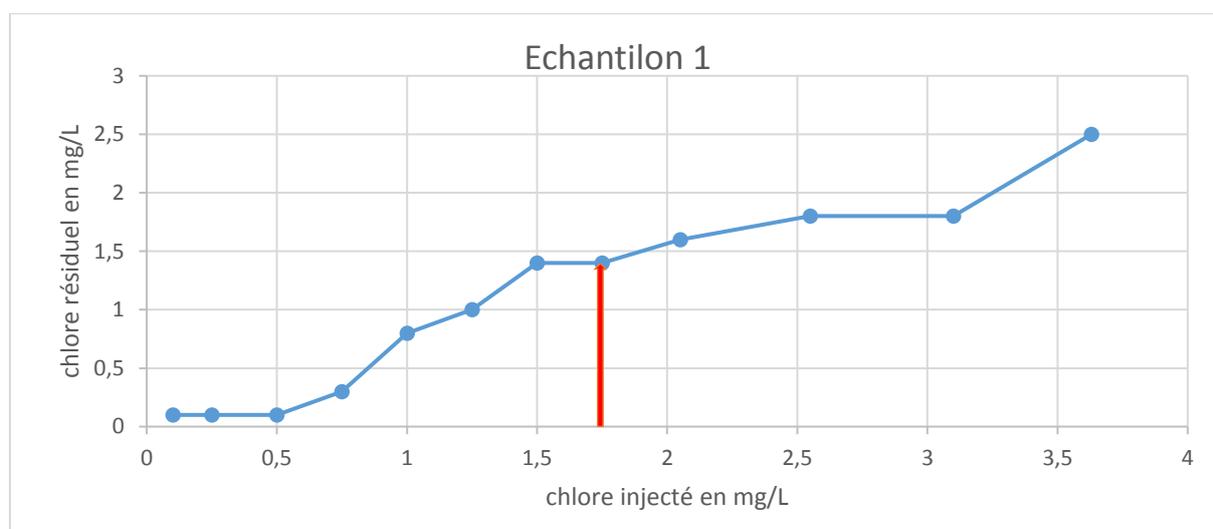
I. Résultats de demande en chlore :

Les résultats de la demande en chlore sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 1 : les résultats des demandes de chlore effectuées sur différents échantillons

N° de flacon	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cl ₂ injecté en mg/l	0,1	0,25	0,502	0,756	1,01	1,26	1,5	1,75	2,04	2,56	3,09	3,63
Cl ₂ résiduel en mg/l (Echantillon 1) 24/04/2017	0,1	0,1	0,1	0,3	0,8	1	1,4	1,4	1,6	1,8	1,8	2,5
Cl ₂ résiduel en mg/l (Echantillon 2) 26/04/2017	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,8	1,4	1,6	1,8	2	2,5
Cl ₂ résiduel en mg/l (Echantillon 3) 02/05/2017	0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	0,8	1,2	1,6	1,8
Cl ₂ résiduel en mg/l (Echantillon 4) 04/05/2017	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,5	0,6	0,8	1	1	1,2	2

➡ Pour obtenir les quantités de chlore qu'on va ajouter à l'étape de pré-chloration on a tracé les courbes suivante :



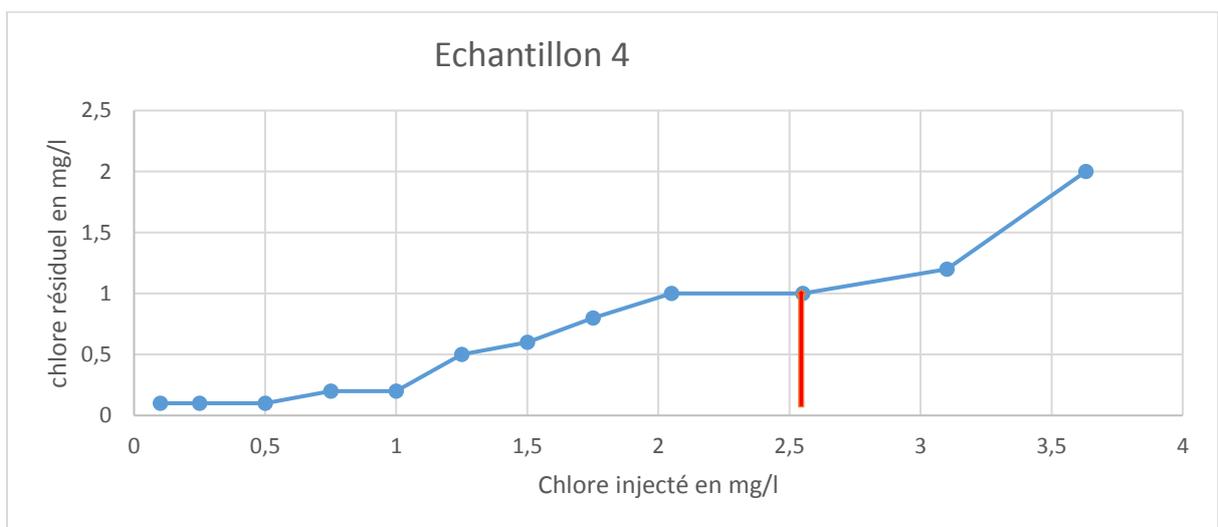
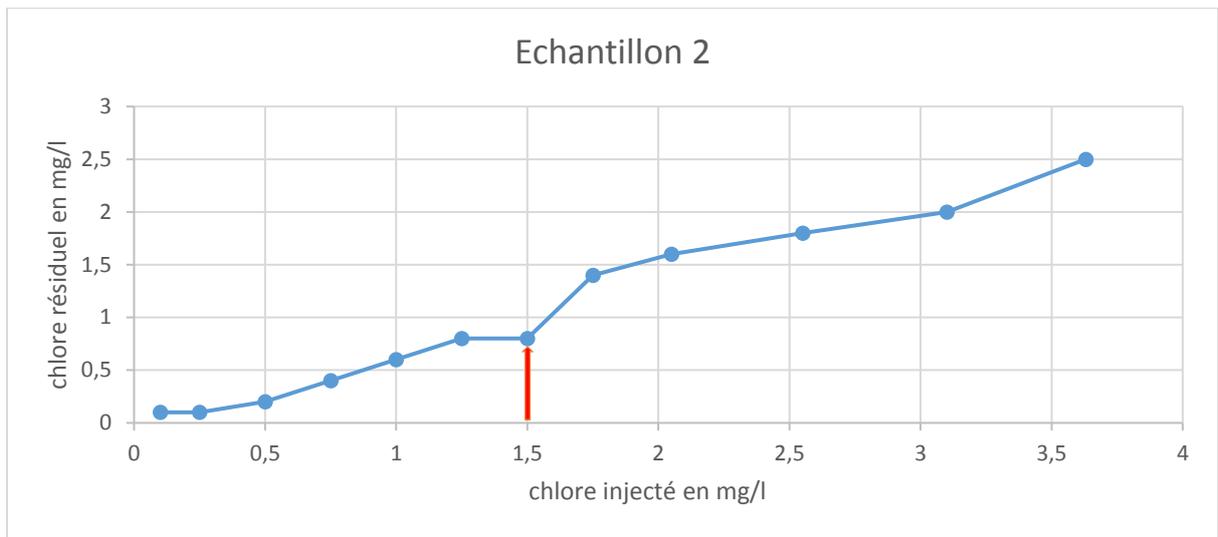


Figure 9 : Les courbes des demandes de chlore effectuées

Les quantités de chlore qu'on va ajouter à l'étape de pré-chloration correspond au break-point :

- **Echantillon 1** : 1,75 mg/l
- **Echantillon2** :1.5 mg/l
- **Echantillon 3** :2 mg/l
- **Echantillon 4** : 2,55 mg/l

II. Résultats de suivi de l'essai de coagulation-floculation :

❖ Les valeurs des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eau brute analysée sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau brute

Eau brute	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai4
pH	7,39	7,12	7,11	7,22
TA en méq/l	0	0	0	0
TAC en méq/l	5,4	5,5	4,8	5
T° en °C	17,9	17,1	17,4	18,3
L'oxydabilité en mg/l	0,96	1,12	2,16	2,8
Turbidité de l'eau brute en NTU	7,11	6,77	135	310
Turbidité colloïdale en NTU	3,82	3,84	60	72,3
Demande en chlore en mg/l	1,75	1,5	2	2,55
Chlore résiduel en mg/l (break point)	1,4	0,8	0,8	1,7

→ Pour chercher le meilleur bécher qui contient des bonnes conditions pour chaque essai :

Les résultats des essais de coagulation-floculation sont présentés dans les tableaux suivants :

1. Essai 1 :

Tableau 3 : résultat d'essai 1

N° bécher	1	2	3	4	5	6
Pré chloration en mg/l	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
Coagulant mg/l	10	15	20	25	30	35
Floculant mg/l	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Aspect des floes	4	4	4	6	4	6
pH	7,37	7,32	7,33	7,35	7,21	7,17
Oxydabilité mg/l (eau décanté)	1,2	3,6	1,04	1,12	0,96	1,12
Chlore résiduel mg/l (eau décanté)	1,2	1,2	1	1	1	1
Turbidité NTU (eau décanté)	6,5	6,4	5,52	4,45	3,80	3,65
Turbidité NTU (eau filtré)	0,77	0,65	0,52	0,45	0,38	0,42
TAC en mg/l	4,7	4,9	4,9	4,7	4,8	4,7
AL résiduel mg/l	0,02	0,02	0,02	0	0	0,02

D'après les critères de choix du meilleur bécher :

Les trois derniers béchers répondent aux critères. Concernant AL (Aluminium) résiduel on remarque que les six béchers répondent au critère, mais le bécher quatre et cinq contiennent 0 mg/l en AL résiduel donc on va choisir le bécher quatre grâce à une raison économique.

❖ **Donc la dose optimal de coagulant est 25 mg/**

2. Essai 2 :

Tableau 4 : résultats d'essai 2

N° bécher	1	2	3	4	5	6
Préchloration en mg/l	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Coagulant mg/l	10	15	20	25	30	35
Floculant mg/l	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Aspect des floes	2	2	4	6	6	6
pH	7,16	7,17	7,17	7,13	7,8	7,9
Oxydabilité mg/l (eau décanté)	1,6	1,2	2,16	1,2	1,36	1,44
Chlore résiduel mg/l (eau décanté)	1	1,2	1,2	1	1	1,2
Turbidité NTU (eau décanté)	7,75	6,1	4,01	3,66	3,32	3,13
Turbidité NTU (eau filtré)	0,73	0,58	0,45	0,43	0,46	0,36
TAC en mg/l	4,7	4,8	4,6	4,65	4,4	4,9
AL résiduel mg/l	0,035	0	0,02	0	0,02	0

D'après les critères de choix du meilleur bécher :

Les quatre derniers béchers répondent aux critères. Concernant AL(Aluminium) résiduel on remarque que les six béchers répondent au critère, mais le bécher quatre et six ne contiennent pas l'AL résiduel, donc on va choisir le bécher quatre grâce à une raison économique.

❖ **Donc la dose optimal de coagulant est 25 mg/l.**

 Dans les essais 3 et 4 on a changé les doses de coagulant utilisés de (10,15,20,25,30,35) à (10,20,30,40,50,60) à cause de l'augmentation de la turbidité de l'eau brute .

3. Essai 3 :

Tableau 5 : résultats d'essai 3

N° bécher	1	2	3	4	5	6
Préchloration en mg/l	2	2	2	2	2	2
Coagulant mg/l	10	20	30	40	50	60
Floculant mg/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Aspect des floes	6	6	6	6	6	6
pH	7,42	7,31	7,24	7,15	7,28	7,33
Oxydabilité mg/l (eau décanté)	1,6	1,84	1,36	1,28	1,52	1,6
Chlore résiduel mg/l (eau décanté)	0,8	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Turbidité NTU (eau décanté)	10	7,83	6,62	5,10	9,62	3,52
Turbidité NTU (eau filtré)	0,85	0,35	0,33	0,29	0,39	1,08
TAC en mg/l	4,9	4,6	4,7	4,6	4,5	4,4
AL résiduel mg/l	0,035	0,035	0,035	0,02	0,035	0,02

D'après les critères de choix du meilleur bécher :

Concernant AL résiduel on observe que tous les béchers répondent au critère. le bécher quatre a été choisi, car il contient une valeur minimal de la turbidité (0,29) et de l'AL résiduel (0,02) de l'eau filtré par rapport aux autres béchers.

❖ **Donc la dose optimal de coagulant est 40 mg/l.**

4. Essai 4 :

Tableau 6 : Résultat d'essai 4

N° bécher	1	2	3	4	5	6
Préchloration en mg/l	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55
Coagulant mg/l	10	20	30	40	50	60
Floculant mg/l	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Aspect des floes	4	6	6	6	6	4
Ph	7,16	7,12	7,7	7,5	7	6,98
Oxydabilité mg/l (eau décanté)	1,28	1,44	1,36	1,52	1,28	1,2
Chlore résiduel mg/l (eau décanté)	0,8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8
Turbidité NTU (eau décanté)	15,8	9,74	4,33	3,35	6,7	4,34
Turbidité NTU (eau filtré)	2,07	2,03	0,8	0,53	0,33	0,29
TAC en mg/l	4,9	4,8	5	4,7	4,6	4,7
AL résiduel mg/l	0,02	0	0,02	0,05	0,035	0,02

D'après les critères de choix du meilleur bécher :

On ce qui concerne la turbidité de l'eau filtré on remarque que les béchers (1, 2,3 et 4) ne répondent pas à la norme. Concernant l'AL résiduel tous les béchers répondent à la norme (<0,05 NTU).donc le bécher 6 a été choisi, car il contient une valeur minimal de la turbidité (0,29 NTU) et de l'AL résiduel (0,02) de l'eau filtré.

❖ **Donc la dose optimal de coagulant est 60 mg/l.**

5. Conclusion des résultats :

Dans ce tableau on rassemble les résultats des meilleurs béchers pour les 4 essais :

Tableau 7 : conclusion des résultats

N° essai	1	2	3	4
Préchloration en mg/l	1,75	1,5	2	2,55
Coagulant mg/l	25	25	40	60
Floculant mg/l	0,2	0,2	0,3	0,3
Aspect des floes	6	6	6	4
pH	7,35	7,13	7,15	6,98
Oxydabilité mg/l (eau décanté)	1,12	1,2	1,28	1,2
Chlore résiduel mg/l (eau décanté)	1	1	0,6	0,8
Turbidité NTU (eau brute)	7,11	6,77	135	310
Turbidité NTU (eau décanté)	4,45	3,66	5,10	4,34
Turbidité NTU (eau filtré)	0,45	0,43	0,29	0,29
TAC en mg/l	4,7	4,65	4,6	4,7
AL résiduel mg/l	0	0	0,02	0,02

Le tableau 7 résume les résultats de ce suivi, on remarque que les doses de coagulant utilisé dans chaque essai diffèrent l'une de l'autre selon de l'augmentation de la turbidité de l'eau brute.

Après chaque essai on a obtenu une eau filtré potable qui répond aux normes marocaine. Même si la turbidité est différent dans chaque essai. L'essai de coagulation-floculation permet donc de déterminer la dose de coagulant adéquate qu'il faut utiliser à grande échelle, l'essai de coagulation-floculation (jar-test) permet d'avoir un traitement efficace de l'eau.

Conclusion :

Durant notre étude on a essayé d'optimiser certaines conditions de l'essai de coagulation-floculation vu son intérêt au cours du traitement. Les résultats obtenus montrent une conformité aux normes et aussi avec ceux de la station de traitement.

Au cours de mon stage de fin d'étude « la Licence Bioprocédés Hygiène et Sécurité des aliments » au sein de l'office national de l'eau potable, j'ai pu mettre en pratique mes connaissances théoriques acquises durant ma formation, de plus, je me suis confronté aux difficultés réelles du monde du travail et du management d'équipe.

ANNEXES :

La norme marocaine de la qualité des eaux de l'alimentation humaine

Paramètre	Expression des résultats	VMA (valeur maximale admissible)	Commentaires
Odeur	Seuil de perception à 25 °C	3	
Saveur	Seuil de perception à 25 °C	3	
Couleur réelle	Unité Pt mg/1	20	
Turbidité	Unité de la turbidité néphélométrie	5	Turbidité médiane ≤ 1NTU et Turbidité de l'échantillon ≤ 5 NTU
Température	°C	Acceptable	
Potentiel Hydrogène	Unité pH	6.5 < pH < 8.5	Pour que la désinfection soit efficace le pH doit être de préférence < 8
Conductivité	µS/cm à 20°C	2700	
Chlorures	Cl : mg/1	750	
Sulfates	SO ₄ : mg/1	200	
Oxygène dissous	O ₂ : mg/1	5 < O ₂ < 8	
Aluminium	Al : mg/1	0.2	
Ammonium	NH ₄ : mg/1	0.5	
Oxydabilité au KMnO ₄	O ₂ : mg/1	5	La valeur de 2 mg/1 doit être respectée au départ de l'installation de traitement
Hydrogène sulfuré	mg/1	Non détectable organoléptiquement	
Fer	Fe : mg/1	0.3	
Manganèse	Mn : mg/1	0.5	
Zinc	Zn mg/1	3	

PARAMETRES	VMA	COMMENTAIRES
Escherichia coli	0/100 mL	Les teneurs en chlore résiduel doivent être comprises entre : 0,1 et 1 mg/l à la distribution 0,5 à 1,0 mg/l à la production
Entérocoques intestinaux	0/100 mL	
Coliformes	0/100 mL	- Pas de coliformes dans 95% des échantillons prélevés sur une période de 12 mois - Pas de résultats positifs dans deux échantillons consécutifs
Spores de micro-organismes anaérobies sulfito-réducteurs (clostridia)	0/100 mL	Ce paramètre doit être mesuré lorsque l'eau est d'origine superficielle ou influencée par une eau d'origine superficielle.
Micro-organismes revivifiables à 22 °C et 37 °C	20/1 mL à 37°C 100/1 mL à 22°C	Variation dans un rapport de 10 par rapport à la valeur habituelle

Références

- * http://fr.wikipedia.org/wiki/Eau_potable
- * <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0304/optsee/bei/5/binome4/coag.htm>
- * <http://pravarini.free.fr/Coagulation.htm>
- * document de l'essai de jar test de l'ONEP
- * <http://www.onep.ma/>
- * <http://lokistagnepas.canalblog.com/archives/2007/11/10/6832010.html>
- * http://ecoledeleau.eau-artois-picardie.fr/spip.php?page=article-imprim&id_article=66
- * <http://www.eau-poitou-charentes.org/Les-differentes-etapes-d-une.html>
- * GAUTHIER P. (1996). Eau potable : l'~ctiflo" un système de traitement éprouvé.
Envirotech, Juillet-Août , p. 17-23.

