

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : HYDRAULIQUE
N° :.....

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : HYDRAULIQUE URBAINE



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master
Académique

Intitulé

**Traitement Des Eaux Du Barrage Fontaine De
Gazelles-Biskra Par Coagulation Flocculation**

Présenté par :

- HAFSI Laid
- DJAIDJ Belkacem

Dirigé par :

Mr. TEMIM Djamel

Soutenu devant le jury composé de :

.....	Université de M'sila	Président
.....	Université de M'sila	Rapporteur
.....	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي
بَدَأَ خَلْقَ الْإِنسَانِ
مِنْ طِينٍ ثُمَّ عَلَّمَهُ
الْقُرْآنَ وَعَلَّمَكَ
مِثْقَالَ ذَرَّةٍ
وَمَا يَذْكُرُكَ إِلَّا
فِي سَجْدٍ كَثِيرٍ
وَمَا يَسْأَلُكَ إِلَّا
بِالْحَقِّ وَكَرِهَ
الْجَهَنَّمَ نَارًا
أَشْرَقَتْ لَهَا
الْأَشْيَاءُ
وَمَا يَسْأَلُكَ إِلَّا
بِالْحَقِّ وَكَرِهَ
الْجَهَنَّمَ نَارًا
أَشْرَقَتْ لَهَا
الْأَشْيَاءُ

✨ Remerciements ✨

Avant tout, je remercie mon dieu tout puissant, de m'avoir donné le courage et les moyens pour effectuer ce travail, Alhamdulillah.

Je tiens tout particulièrement à témoigner mes sincères remerciements à tout le staff pédagogique du département de l'hydraulique de l'université de M'sila, pour son encadrement durant l'année universitaire 2021/2022, sans oublier notre encadreur Mr TEMIM Djamel, pour ses conseils judicieux et orientations pendant la conception de ce travail.

- HAFSI Laid

- DJAIDJ Belkacem

المخلص:

ان الطلب على المياه في تزايد مستمر، الأمر الذي يشكل ضغطا على موارد المياه الجوفية والسطحية، وهذه الأخيرة هي الأكثر عرضة للتلوث (الكيميائي، العضوي، الصناعي، المنزلي، الزراعي). ولغرض الحفاظ على صحة الإنسان وحمايتها من مخاطر تلوث المياه السطحية، فإن معالجة هذا النوع من المياه ضرورية للغاية بل هي إلزامية. من بين عمليات العلاج الأكثر استخدامًا عملية التلبد والتلبد ولقد درسنا المعلمات الرئيسية مثل وقت التحريك والسرعة، ووقت الترسيب، وجرعة التلبد المثلى (كبريتات الألومنيوم وكلوريد الحديد)، وتأثير الرقم الهيدروجيني، وتأثير جرعة الندف (البوليمر، الكربون المنشط، الطين).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فعالية هذه التقنية. مع الأخذ بعين الاعتبار العوامل والمعلمات التي تؤثر على العملية

الكلمات المفتاحية: التلبد- التلبد، المخثرات، الندف، سد منبع الغزلان

Résumé :

Les demandes en eau s'accroissent sans cesse. ce qui exerce des pressions sur les ressources en eaux souterraines et superficielles ces derniers sont les plus menacées par la pollution (chimique, organique, industriel, domestique, agricole). Et pour objet de préservation et de protection de la santé humaine contre les risques de pollution le traitement de ce type des eaux est très indispensable. Parmi les procédés du traitement les plus utilisées c'est la coagulation-floculation (C-F). Les principaux paramètres effectués sur ce procédé ont été étudiés (temps et vitesse d'agitation, temps de décantation, dose des coagulants (sulfate aluminium et chlorure ferrique), l'effet du pH, la dose du floculant (polymère, charbon actif, argile).

Les résultats obtenus ont montré l'efficacité de cette technique. En tenant compte des facteurs et paramètres qui influent sur le procédé

Mots clés : Coagulation-floculation, coagulants, Floculants, barrage du Fontaine de Gazelles.

Abstract :

The demands for water are constantly increasing. This puts pressure on underground and surface water resources, the latter being the most threatened by pollution (chemical, organic, industrial, domestic, agricultural). And for the purpose of preservation and protection of human health against the risk of pollution, the treatment of this type of water is very essential. Among the most used treatment processes is coagulation-flocculation. the main parameters affecting this process have been studied (time and speed of agitation, settling time, dose of

coagulants (aluminum sulphate and ferric chloride), the effect of pH, the dose of flocculant (polymer, activated carbon, clay).

The results obtained have shown the effectiveness of this technique. taking into account the factors and parameters that influence the process

Keywords : Coagulation-flocculation, coagulants, flocculants, Fontaine Des Gazelles dam.

SOMMAIRE

Introduction générale.....	
Chapitre I : Généralités sur les eaux naturelles et les différents Procédés de traitement	
I.1. Introduction.....	1
I.2. Définition des eaux naturelles	1
I.2.1. Les eaux souterraines	2
I.2.1.1. Origine	2
I.2.1.2. caractéristiques générales	2
I.2.1.3. Qualité des eaux souterraines	5
I.2.1.4. Les eaux minérales, Les eaux de sources.....	5
I.2.2. Les eaux de surface.....	6
I.2.2.1. Origine	7
I.2.2.2. Caractéristiques générales	7
I.2.2.3. Paramètres des eaux de surface	8
I.2.2.3-1 : Paramètres minérales.....	8
I.2.2.3-2 : Paramètres organique	11
I.2.2.4. Potabilité des eaux de surface.....	16
I.3 .Étapes d'une filière classique de traitement d'une potable	17
I.3.1 Les différents Procédés de traitement	18
I.3.2. l'étape de production de l'eau potable	19
I.3.2.1. Les prétraitements.....	20
I.3.2.2 Clarification	21
I.3.2.3. L'affinage.....	22
I.3.2.4. La désinfection.....	24
I.3.2.4.1. La désinfection par oxydation chimique.....	25

I.4 Les traitements spécifiques de l'eau potable pour éliminer les derniers polluants.....	25
Conclusion.....	27

Chapitre II : Description du bassin versant Barrage Fontaine Des Gazelles

Introduction	28
II .1 Présentation du barrage de Fontaine de Gazelle	28
II.1.1. Situation géographique du barrage Fontaine de Gazelle	28
II.2.2. Présentation du bassin versant l'oued El Hai	29
II.3. Historique	30
II.4. Les caractéristiques générales de barrage	31
II.4.1. Caractéristiques physiques du bassin versant l'oued El Hai.....	31
II.4.2. Caractéristiques hydrologiques.....	32
II.5. Le Réseau Hydrographique.....	32
II.6. Géomorphologie.....	33
II.7. Hydrologie :	34
II.8. Hydro climatologie du bassin versant l'oued El Hai	34
II.8.1. Température	34
II.8.2. Précipitations.....	35
II.8.3. Humidité de l'air.....	36
II.9. La Lithologie.....	37
Conclusion.....	39

Chapitre III : Procédé de la coagulation floculation

Introduction	40
III.1. Définition.....	40
III.1.1 . La coagulation.....	41
III.1.2 . La floculation	41
III.1.3 . La Décantation	41
III.2. Mécanisme de la coagulation floculation	41

III.3. Rôle de la coagulation-floculation :	42
III.4. Matières en suspension et colloïdales.....	43
III.5. Les différents types des particules colloïdales	43
III.6. Structure des colloïdes.....	44
III.7. Les coagulants.....	46
III.8. Les floculants.....	47
III.9. Facteurs influençant sur la coagulation-floculation	51
Conclusion.....	53
 Chapitre IV : Matériels et méthodes	
IV.1. Introduction	54
IV.2. Procédure expérimentale	54
IV.2.1. Mode opératoire en Jar-test.....	55
IV.3. Prélèvement des échantillons.....	56
IV.4. Appareils de mesures et Analyses.....	56
IV.4.1. Potentiel d'Hydrogène (pH)	56
IV.4.2. Mesure de la turbidité.....	57
IV.4.3. La spectrophotométrie	58
IV.4.4. la conductivité (CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$	59
V.4.5. Autres équipements	60
IV.4.6. Mesure de la demande biochimique en oxygène DBO ₅	61
IV.4.6.1 Principe de la méthode manométrique.....	61
IV.5. Préparation des coagulants	63
IV.5.1. Préparation du sulfate d'aluminium.....	65
IV.5.2. Dose du coagulant (Sulfate d'aluminium (1) et Chlorure ferrique (2))	65
IV.6. Protocole expérimentale	66
IV.6.1. Effet du temps et de la vitesse d'agitation.....	66
Conclusion.....	66

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1. Introduction.....	67
V.2. les objectifs de travail.....	67
V.3. Effet du temps et de la vitesse d'agitation	68
V.3.1. Cas de la coagulation.....	68
V.3.2. Cas de la floculation.....	69
V. 4. Effet de la dose du coagulant (Sulfate d'alumine)	70
V.4.1. En absence du flocculant	70
V.5. Effet de la dose du coagulant (Chlorure ferrique).....	71
V.5.1. En absence du flocculant.....	71
V.6. Effet du pH initial.....	72
V.6.1. En présence de sulfate d'alumine.....	72
V.7. Effet de la dose du flocculant	73
V.7.1 .En Présence de sulfate d'alumine et du charbon actif.....	73
V.7.2 .En Présence de sulfate d'alumine et du l'argile.....	74
V.7.3 .En Présence de Chlorure ferrique (FeCl ₃) et du charbon actif.....	75
V. 6.4. En Présence de Chlorure ferrique (FeCl ₃) et de l'argile	76
Conclusion.....	78
Conclusion générale.....	79
Références bibliographiques	

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I.1 : caractéristiques comparées des eaux de surfaces et eaux souterraines	3
Tableau I.2 : Caractéristique des eaux souterraines	4
Tableau I.3. Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimiques pour l'eau potable	6

Chapitre II

Tableau II 4. Caractéristiques physiques du bassin versant	31
Tableau II-2 : Les valeurs de température mensuelles (minimale, maximale et moyenne) dans la période (2010-2019)	34
Tableau II-3. Les moyennes de précipitation de Biskra (2010-2019)	35
Tableau II-4. Moyenne mensuelle de l'humidité relative de Biskra (2010-2019)	36
Tableau II-5 : Le classement des formations selon leurs résistances.....	38

Chapitre III

Tableau III .1 : Avantages et inconvénients de divers coagulants chimiques	46
----------------------------------------------------------------------------------	----

Chapitre IV

Tableau II.3 : Volume d'échantillon en fonction de la gamme de la DBO ₅	63
------------------------------------------------------------------------------------------	----

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1: le circuit de l'eau potable.....	17
Figure I .2. Etapes d'une filière classique de traitement d'une potable	19

Chapitre II

Figure II-1 : Situation géographique du barrage de fontaine des gazelles	29
Figure II-2: Carte de localisation du bassin versant d'Oued El-Hai.....	30
Figure II-3 : Carte de milieu physique de la wilaya de Biskra.....	33
Figure II-4 : Variation de la Température moyenne, maximale , minimales de Biskra (2010-2019)	35
Figure II-5 : Précipitations moyennes mensuelles de Biskra (2010 -2019).....	36
Figure II-6 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative de Biskra (2010-2019).....	37
Figure II-7 : Carte lithologique Bassin versant de Oued El Hai.....	38

Chapitre III

Figure III.1 : Processus De Coagulation Flocculation	40
Figure III 2 : Nature et gamme de taille des particules colloïdales dans l'environnement	43
Figure III. 3 : Représentation du colloïdehydrophile... ..	44
Figure : III.4 : Distribution ionique autour d'une particule colloïdale (d'après le modèle de GouyChapmanStern.....	45
Figure III 5 : Les différentes étapes du processus de flocculation	48
Figure III. 6 : Alginate de sodium	49
Figure III.7 : La formule chimique Le carraghénane.....	50

Chapitre IV

Figure. IV.1 : Appareil du Jar test	55
Fig. IV.2 : Microprocesseur pH Mètre "Hanna pH 210"	57
Figure. IV.3: Turbidimètre Hann"HI88703"	58

Figure. . IV.4 : Dispositif représentant le spectrophotomètre utilisé	59
Figure. IV.5 : Conductimètre " Hanna, EC21"	60
Figure .IV.6: la balance de laboratoire utilisé	60
Figure IV.7 : différents béciers utilise (1000 ml / 500 ml /100 ml).....	61
Figure. IV.8: DBO-mètre "OxiDirect"	62
Figure IV .9 : mode opératoire de préparation de la solution mère	64

Chapitre V

Figure V.1 : Effet du temps et de la vitesse d'agitation sur l'élimination de la turbidité (Coagulation) : C(SA) = 100 mg/L, pH initial = 8.3... ..	68
Figure V.2 : Effet du temps et de la vitesse d'agitation sur l'élimination de la turbidité (Floculation) : C(SA) = 100 mg/L, pH initial = 8.3... ..	69
Figure (V.3) : Effet de la dose du coagulant (SA) et du temps de décantation, sur l'élimination de la turbidité : pH initial = 8.2... ..	70
Figure (V.4) : Effet de la dose du coagulant (FeCl ₃) et du temps de décantation, sur l'élimination de la turbidité : pH initial = 8.5... ..	71
Figure V.5 : Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité, C (SA) = 100 mg/L	72
Figure V.6 : Évolution du pH au cours de la C-F en présence de SA	73
Figure V.7 : Effet de la dose du flocculant (Charbon Actif) en Présence Du SA Sur L'élimination de La turbidité : C (SA) = 100 Mg/L, pH Initial = 8,04... ..	74
Figure V.8 : Effet de la dose du flocculant (l'argile) en présence du SA sur l'élimination de la turbidité : C (SA) = 100 mg/L.....	75
Figure V.9 : Effet de la dose du flocculant (charbon actif) en présence du FeCl ₃ sur l'élimination de la turbidité : C (FeCl ₃) = 100 mg/L.....	76
Figure V.10 : Effet de la dose du flocculant l'argile en présence du FeCl ₃ sur l'élimination de la turbidité : C (FeCl ₃) = 100 mg/L	77

Introduction générale :

L'eau c'est l'élément le plus important et le plus nécessaire pour toutes les activités humaines. C'est l'élément clé pour tous les écosystèmes. C'est une référence de richesse et de prospérité dans les civilisations préhistoriques et actuellement. Quel que soit le niveau de développement social, industriel ou économique, culturel. L'augmentation des activités agro-industrielle et la croissance de la population mondiale, l'accroissement de la pollution et d'autres raisons exercent des pressions croissantes sur les réserves de ressources en eau douce de notre planète.

En fait, les différentes activités humaines produisent une grande variété de produits chimiques qui se déversent dans le cycle de l'eau en amont ou en aval, on parle de la pollution des eaux soit des eaux souterraines ou des eaux superficielles.

Les pollutions de l'eau peuvent se présenter sous différentes formes notamment chimique, mais aussi bactériologiques, pollution thermique, et les eaux ou masses d'eau concernées peuvent être douces, saumâtres ou salées, souterraines ou de surface. Les conséquences de la pollution des milieux aquatiques sont multiples. Elles conduisent à des mortalités massives d'espèces, mais elles ont aussi des effets moins visibles : une eutrophisation des milieux, des effets toxiques à plus ou moins long terme, des certains nombres des maladies.

La pollution de l'eau c'est une dégradation physique, chimique, biologique ou bactériologique de ses qualités naturelles, provoquée par l'homme et ses activités. Elle perturbe les conditions de vie de la flore et de la faune aquatiques. Cette pollution peut être provoquée par le rejet des eaux d'égout domestiques doivent être épurées avant leur rejet dans le milieu naturel : ruisseaux, rivières et lacs.

Également appelées « eaux superficielles », les eaux de surface regroupent l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes en contact direct avec l'atmosphère. Ces eaux peuvent être douces, saumâtres ou encore salées selon leur emplacement.

Parmi les eaux de surface, on peut citer : Les fleuves, les rivières, les lacs, les ruisseaux, les cours d'eau, Les lacs de barrage, il faut citer que 66,5 % de notre eau potable provient d'une eau souterraine. 33,5 % de notre eau potable provient d'une eau superficielle.

Introduction générale :

Les milieux aquatiques et notamment les eaux superficielles font l'objet de multiples pressions liées aux activités humaines, agricoles, industrielles et domestiques. Cette situation induit des coûts importants de prévention, de protection et de restauration, pour assurer la pérennité des usages et en premier lieu, la production d'eau destinée à la consommation humaine.

Avant leur utilisation ou consommation les eaux de surface nécessitent un traitement plus ou moins spécifique ou se passe par plusieurs étapes de traitement pour rendre potable en cas de consommation potable ou pour réduire ces effets nocifs sur les équipements et les dispositifs.

Grâce à des procédés physico-chimiques ou biologiques, les stations de traitement ont pour rôle de concentrer la pollution contenue dans les eaux pour respecter les normes de consommation.

La protection de l'environnement devient alors un problème majeur économique et politique. Tous les pays du monde sont concernés de conserver les ressources en eau.

Le traitement des eaux de surface consiste à rendre propre à l'utilisation ou à la consommation les eaux prélevées en surface (nappes, lacs, fleuves ou rivières, bassins). Les eaux de surface sont facilement accessibles, mais nécessitent généralement des traitements spécifiques car elles contiennent de grandes quantités d'éléments en suspension, tels que des bactéries, des matières organiques, des algues, qui sont à l'origine de goûts ou d'odeurs désagréables. Ces eaux peuvent également être saumâtres. Les principaux traitements destinés à dépolluer les eaux de surface sont la coagulation, la floculation, la flottation, la sédimentation, la clarification, la filtration par le sable, la désinfection, adsorption par charbon actif, l'ultrafiltration et l'écémage.

Différentes technologies physiques, chimiques, biologiques ont utilisées pour la purification de l'eau notamment les eaux superficielles avant la consommation humaines comme des eaux potables. L'utilisation d'un traitement unique reste insuffisante de rendre les eaux traitées potables et Parmi les procédées utilisées soit comme étape de prétraitement ou phase de traitement finale la technique du la coagulation-floculation.

La coagulation-floculation (C-F) est la méthode de traitement physico-chimique la plus utilisée. C'est également une étape importante dans le traitement de l'eau contenant des particules colloïdales assez petites pour se déposer sous l'effet de la gravité, ils sont l'origine de la couleur, de la turbidité de l'eau.

Introduction générale :

La technique de la coagulation-floculation a été étudiée en laboratoire par l'utilisation d'un dispositif appelée Jar-Test, permet de sélectionner les meilleurs un ensemble de conditions opératoires pour l'étape de décantation. Cette étude vise à retrouver ces conditions opératoires pour clarification des eaux, Les paramètres qui nous avons étudiées sont notamment : l'effet de la vitesse et du temps d'agitation, Le temps de décantation, dosage et type de coagulants et floculants, et pH initial

Nous avons adopté le plan suivant afin de mener cette étude

- Introduction générale
- Le chapitre I présente généralité sur les eaux naturelles.
- Le chapitre II Présentation du barrage du Fontaine Des Gazelles
- Le chapitre III présente procédé de la coagulation floculation.
- Le chapitre IV contient Matériels et Méthodes.
- Le chapitre V résultats et discussion

Une conclusion générale qui résumer ce travail

Chapitre I : Généralités sur les eaux naturelles et Les différents Procédés de traitement

I.1. Introduction :

L'eau est un élément essentiel de tous les êtres vivants et c'est le milieu à partir duquel la vie est née et existe. L'eau douce est inégalement répartie sur la terre ce qui cause de sérieux problèmes entre les pays et souvent des disputes surgissent au sujet du problème d'approvisionnement en eau.

L'accès à l'eau dans le monde est un problème majeur, non résolu dans de nombreux pays, et souvent lié à la pauvreté. Malgré l'abondance de l'eau sur la planète, la quantité d'eau douce disponible en représente une infime proportion. La gestion de la ressource s'inscrit depuis une dizaine d'années dans les objectifs pour le millénaire. Concernant d'usages de l'eau sont multiples : Le premier consommateur en eau est l'agriculture qui utilise 70% des volumes d'eau douce. Vient ensuite l'industrie (22%) et les 8% restants pour les usages domestiques (seulement 1.5%* pour la boisson¹).

Le traitement des eaux de surface consiste à rendre propre à l'utilisation ou à la consommation les eaux prélevées en surface (lacs, fleuves ou rivières, bassins). Les eaux de surface sont facilement accessibles, mais nécessitent généralement des traitements spécifiques car elles contiennent de grandes quantités d'éléments en suspension, tels que des bactéries, des matières organiques, des algues, qui sont à l'origine de goûts ou d'odeurs désagréables.

Plusieurs procédés de traitement ont été adoptés dont : la coagulation, la floculation, la flottation, la sédimentation, la clarification, la filtration par le sable, la désinfection, adsorption par charbon actif, l'ultrafiltration et l'écémage.

I.2. Définition des eaux naturelles :

En effet les eaux naturelles regroupées en deux grandes catégories ; des eaux souterraines (nappes), et les eaux de surface stagnantes (lacs, retenues de barrages) ou en écoulement (rivières, fleuves) et des eaux de mer. [1]

I.2.1. Les eaux souterraines :

I.2.1.1. Origine :

Les eaux souterraines regroupent l'ensemble des réserves d'eau qui se trouvent dans le sous-sol. L'eau est stockée dans des zones appelées aquifères, composées de roches poreuses et/ou fissurées. L'eau peut s'accumuler dans ces espaces vides pour former des nappes, qui occupent tout ou partie de l'aquifère. La profondeur des nappes est variable : les plus profondes peuvent se trouver à plusieurs centaines de mètres sous la surface. Les nappes phréatiques sont celles qui se trouvent près de la surface. Leur faible profondeur les rend facilement accessibles pour les activités humaines. L'eau des nappes provient du phénomène d'infiltration. À la suite des pluies, une partie de l'eau pénètre dans les pores et les fissures du sol. Entraînée par gravité, elle traverse le sol puis s'infiltré dans le sous-sol, jusqu'à ce qu'elle soit interrompue par un substratum compact, imperméable. L'eau s'accumule alors dans tous les espaces vides de l'aquifère, et forme une nappe. Alors les nappes sont contenues dans des terrains réservoirs appelés aquifères.

La porosité et la structure du terrain déterminent le type de nappe et le mode de circulation souterraine.

Une nappe peut être **libre (ou phréatique)** si elle est suffisamment proche de la surface pour être accessible par puits). Elle est alors alimentée directement par l'infiltration des eaux de pluie. Le niveau de cette nappe fluctue en fonction de la quantité d'eau retenue.

Un cas particulier est représenté par les **nappes alluviales** 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.

Une nappe peut être **captive** si elle est emprisonnée entre deux couches de terrains imperméables ; les nappes de ce type sont les plus fréquentes et généralement les plus profondes. ; Il y règne une certaine pression : leur niveau piézométrique se situe généralement entre leur toit imperméable et la surface du sol ; elles sont dites **artésiennes** quand ce niveau se situe au-dessus de la surface du sol (d'où un jaillissement de l'eau lors d'un forage).

I.2.1.2. caractéristiques générales :

Les eaux souterraines jouent un rôle majeur dans le cycle de l'eau. Par leurs relations avec les milieux de surface, ils jouent un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes aquatiques, soutenant le débit initial des rivières ou la pérennité des zones humides et des

plaines alluviales. Elles offrent une régularité, une qualité et des propriétés protectrices souvent bien supérieures à celles des eaux de surface, et sont plus sensibles à l'eau potable (environ 60%). Cependant, de manière difficilement perceptible, les eaux souterraines représentent aussi un réservoir de vie, abritant des espèces indigènes, souvent rares voire uniques au monde.

La nature géologique du terrain a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue. À tout instant, l'eau est en contact avec le sol dans lequel elle stagne ou circule : il s'établit un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau. Les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont acides et peu minéralisées. Les eaux circulant dans des sols calcaires sont bicarbonatées calciques et présentent souvent une dureté élevée.

Le tableau 1 donne les caractéristiques des eaux souterraines selon les principaux paramètres analytiques. On notera en particulier une bonne pureté bactériologique, une faible turbidité, une température et une composition chimique constantes, l'absence presque générale d'oxygène provoquant la présence d'éléments réduits indésirables.

Dans le cas des eaux karstiques, on peut cependant relever des variations brutales de qualité, avec apparition de turbidité et de pollutions diverses. Ces variations sont liées à la pluviométrie et aux ruissellements entraînés sans réelle filtration dans le réseau souterrain. [2]

Les caractéristiques biologiques de ces espèces sont très particulières et fondamentalement distinctes de celles de leurs homologues vivant dans les eaux superficielles.

Les caractéristiques des eaux souterraines et des eaux de surfaces sont regroupées dans le tableau ci-dessous (**Tableau I.1**) .

Les caractéristiques des eaux souterraines selon les principaux paramètres analytiques, bonne pureté bactérienne, faible turbidité, Température et composition chimique constantes, et absence presque générale d'oxygène.

Tableau I.1 : caractéristiques comparées des eaux de surfaces et eaux souterraines [2]

Caractéristiques	Eaux de surface	Eaux souterraines
------------------	-----------------	-------------------

Température	Variable (saisons)	Plutôt constante
Turbidité/ MES vraies ou colloïdales	Variable (parfois élevée / crues, rejets de carrières, fortes pluies)	Faible ou nulle sauf en pays karstique et en pays crayeux
Couleur	Dépend essentiellement des MES, des acides humiques, tannins, etc. et des algues	Dépend des acides humiques ou des précipitations Fe – Mn
Goûts et odeurs	Fréquents	Rares sauf H ₂ S
Minéralisation globale / Salinité	Variable (précipitations rejets, nature des terrains traversés, etc.)	Généralement plus élevée que celle mesurée dans les eaux de surface sur le même territoire
Fe et Mn divalent dissous	Normalement Absents sauf dystrophisation des eaux profondes	Présents
CO ₂ agressif	Généralement absent	Présent souvent en quantité
O ₂ dissous	Variable (proche de la saturation dans les eaux propres / absent dans les eaux polluées)	Absent
H ₂ S	Absent	Présent
NH ₄	Seulement dans les eaux polluées	Présence souvent sans rapport avec une pollution bactérienne
Nitrates	Variable (normalement absent, parfois en quantité dans les zones d'excédent azoté)	Teneur parfois élevée
Silice	Teneur normalement modérée	Teneur élevée
Micropolluants minéraux et organiques	Surtout présents dans les eaux des régions industrialisés	Absents sauf suite d'une pollution Accidentelle
Solvants chlorés	Normalement absents	Présents en cas de pollution de la nappe
Éléments vivants	Virus, bactéries, algues, protistes, etc. / Présence d'organismes pathogènes toujours possible	bactéries sulfato-réductrices et ferrobactéries surtout
Eutrophie	Possible, davantage si les eaux sont chaudes	Jamais

Tableau I.2 : Caractéristique des eaux souterraines. [3]

Température	Plutôt constante
--------------------	------------------

Turbidité / MES	Faible ou nulle sauf en pays
Colloïdales	karstique et en pays crayeux
Couleur	dépend des acides humiques ou des précipitations Fe – Mn
Goûts et odeurs	Rares sauf H ₂ S
Minéralisation globale / Salinité	Généralement plus élevée que celle mesurée dans les eaux de surface sur le même territoire
CO ₂ agressif	Présent souvent en quantité
O ₂ dissous	Absent
Éléments vivants	bactéries sulfato-réductrices et ferrobactéries surtout.

Source des données : Mémoire BRINIS NAFAA, Chap. 5 : Estimation de la qualité des eaux)

I.2.1.3. Qualité des eaux souterraines :

La qualité des eaux souterraines est l'évaluation des concentrations des différents produits chimiques qui les composent, par rapport à une concentration de référence (la norme) (être potable Elle nécessite la vérification et le contrôle de diverses propriétés qui combinent de nombreux paramètres/ caractéristiques. [4]

Généralement ces caractéristiques peuvent être classés comme suit :

- a) Caractéristiques physiques ou organoleptiques.
- b) Caractéristiques chimiques et physico-chimiques.
- c) Caractéristiques bactériologiques

I.2.1.4. Les eaux minérales, les eaux de sources :

L'eau minérale est une eau profonde qui peut contenir certains éléments Concentration supérieure à la concentration autorisée de l'eau potable autorisée Propriétés cicatrisantes reconnues. Il est distribué en flacons car l'organisation mondiale de la santé dans ses recommandations ne fixe pas de normes strictes, mais plutôt un guide des valeurs qui peuvent être utilisées avec une certaine flexibilité à des fins Continuer à protéger la santé de la population, tout en permettant des jugements Comparaison de la qualité de l'eau.

Les eaux de source sont des eaux qui, contrairement aux eaux minérales, doivent en principe répondre, à l'émergence, aux critères de potabilité et ne subir aucun traitement ; certaines tolérances

existent toutefois pour ôter certains éléments instables, comme le fer dissous, par les mêmes moyens naturels que pour les eaux minérales. À ces deux types d'eaux, on peut opposer le terme « eaux rendues potables par traitement » (anciennement « eaux de table ») qui correspond à des eaux embouteillées dont le seul critère est de répondre aux normes de potabilité, tout traitement préalable étant autorisé [5].

Tableau I.3. Normes OMS et algériennes des paramètres physico-chimiques pour l'eau potable. [6]

Paramètres	Selon l'OMS	Selon le Journal Algérien	Unité
pH	9	6.5 - 8.5	-
Conductivité	1000	2800	µs/cm
Dureté totale CaCO₃	50	100 - 500	°F
Calcium	100	75 - 200	mg/L
Magnésium	50	150	mg/L
Sodium	150	200	mg/L
Potassium	12	20	mg/L
Sulfates	250	200 - 400	mg/L
Chlorures	600	200 - 500	mg/L
Nitrates	50	50	mg/L
Nitrites	0.1	0.1	mg/L
Ammonium	0.5	0.5	mg/L
Phosphates	5	5	mg/L
Oxydabilité (KMnO₄)	5	3	mg/L
Oxygène dissout	5	5	mg/L
Aluminium	0.2	0.2	mg/L
Température	25	25	°C

I.2.2. Les eaux de surface :

Également appelées « eaux superficielles », les eaux de surface regroupent l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes en contact direct avec l'atmosphère. Ces eaux peuvent être douces, saumâtres ou encore salées selon leur emplacement [5]

I.2.2.1. Origine

Leur source soit une nappe phréatique dont la présence constitue une source d'eau, soit une eau de ruissellement. Cette eau s'accumule dans les cours d'eau avec une vitesse de circulation prononcée. Ils peuvent être stockés dans des réserves naturelles (lacs) ou artificielles (barrages-réservoirs) et selon la profondeur, il peut y avoir une grande hétérogénéité de qualité.

Les eaux de surface comprennent : Rivières, lacs, ruisseaux , les eaux de ruissellement (eau de pluie), réservoirs, lacs de barrage, mers et océans, les eaux côtières, Zones humides ou eaux de transition.

I.2.2.2. Caractéristiques générales :

La composition chimique de l'eau de surface dépend de la nature du terrain rencontré dans son processus. Au fur et à mesure que l'eau se déplace, elle dissout les différents éléments constitutifs de la terre. D'autre part, sa teneur en gaz dissous (oxygène, azote, dioxyde de carbone) dépend des échanges à l'interface eau-air et de l'activité métabolique des organismes aquatiques dans l'eau.

La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains rencontrés durant leur parcours. Au cours de son cheminement, 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.

En fait, ce type d'eau présente une gamme de caractéristiques particulières, notamment :

- 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 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 saisonnières : 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.

I.2.2.3. Paramètres des eaux de surface :

I.2.2.3-1. Paramétrées minérales :

- **Température :**

Il est primordial de connaître la température d'une eau. En effet, elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz, et la détermination du pH. La mesure de la température est très utile pour les études limnologiques et le calcul des échanges. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau.

La température de l'eau influe sur beaucoup d'autres normes de paramètres. C'est en premier lieu le cas pour l'oxygène dissous indispensable à la vie aquatique. Plus la température de l'eau s'élève, plus la quantité d'oxygène dissous diminue. Une température trop élevée des eaux peut donc aboutir à des situations dramatiques de manque d'oxygène dissous pouvant entraîner : la disparition des espèces, la réduction de l'auto épuration, l'accumulation des dépôts nauséabonds, la croissance accélérée des végétaux (dont les algues).

- **pH :**

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ion H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre

caractérise un grand nombre d'équilibre physico-chimique et dépend de facteurs multiples dont l'origine de l'eau.

Le pH doit être mesuré sur le terrain. Le pH doit être compris entre 6,5 et 8,5 où il est le niveau optimal et les valeurs de pH sont inférieures à 5 ou

Plus de 8,5 affectent la croissance et la survie des microorganismes aquatiques selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

- **Conductivité :**

La mesure de la conductivité de l'eau nous permet d'apprécier la quantité des sels dissous dans l'eau (chlorures, sulfates, calcium, sodium, magnésium...). Elle est plus importante lorsque la température de l'eau augmente. La conductivité électrique d'une eau usée dépend essentiellement de la qualité de l'eau potable utilisée et du régime alimentaire de la population et des activités industrielles.

- **Ions majeurs :**

La minéralisation de la plus part des eaux est dominée par huit (8) ions appelés couramment les ions majeurs. On distingue les cations : calcium, magnésium, sodium et potassium, et les anions : chlorures, sulfates, nitrate et bicarbonate.

- **Fluor :**

Les sources principales de production du fluor sont les roches sédimentaires. Leurs concentrations sont plus faibles si la teneur en Ca^{2+} est forte.

Le fluor est connu comme un élément essentiel pour la prévention des caries. Cependant une ingestion régulière d'eau dont la concentration en fluor est supérieure à 2 mg/l (OMS) entraîne des problèmes de fluoroses osseuse et dentaire (coloration en brun des dents pouvant évoluer jusqu'à leurs pertes). Sa concentration doit être inférieure ou égale à 0,7 mg/l.

- **Dureté :**

Une eau est dite douce lorsqu'elle est peu chargée en calcium et en magnésium. À l'inverse elle est dite dure. Alors une eau dure, par son apport en calcium et en magnésium, est bonne pour la santé, mais elle accélère par contre l'entartrage des conduites et réagit mal au savon. À l'inverse, une eau trop douce a tendance à corroder les canalisations.

- **Oxygène dissous :**

La présence d'oxygène dans l'eau est indispensable à la respiration des êtres vivants aérobies. Elle permet également le processus d'oxydation des matières organiques, mais cette décomposition appauvrit le milieu aquatique en oxygène.

L'oxygénation de l'eau provient d'abord du contact de sa surface avec l'atmosphère. Elle est favorisée par les remous, les cascades et surtout la température car plus l'eau s'échauffe, moins l'oxygène y est soluble. Des apports en dioxygène dans les eaux sont :

- ✓ La dissolution du dioxygène de l'air,
- ✓ La photosynthèse des algues vivant dans l'eau.
- ✓ La concentration en oxygène dissous doit être supérieure à 7 mg/l.

- **Matières décantables :**

De nombreuses particules peuvent constituer des impuretés d'une eau. Les techniques analytiques nécessaires à leurs déterminations dépendent des dimensions de ces particules. Les impuretés présentes dans l'eau ont pour origine soit des substances minérales, végétales ou animales. Les matières décantables sont les matières de grandes tailles, entre 40 micromètres et 5 millimètre et qui se déposent sans traitement physique et chimique.

- **Chlorure :**

Les chlorures existent dans la quasi-totalité des eaux à des concentrations très variables. La présence des chlorures en concentrations élevées dans l'eau contenant du sodium donne un goût salé. Par ailleurs, les chlorures sont indispensables aux régimes alimentaires. Les effluents des industries de conserve des viandes et certains légumes sont connus par une forte teneur en sels et particulièrement en chlorure. Dans des travaux antérieurs ont constaté que la salinité des eaux usées constitue un handicap majeur pour les eaux réutilisées en agriculture.

I.2.2.3-2.Paramétrées organique :

- **Matière organique :**

L'eau de mer contient aussi de la matière organique particulaire qui est principalement constituée d'animaux, de végétaux du zooplancton (ou de leur résidu). Elle peut représenter de 10 à 60% de la matière en suspension. [7]

- **Matières azotées :**

Les activités industrielles, peuvent être à l'origine des rejets plus ou moins riches en azote (élément nutritif) issu des fabrications d'engrais, des cokeries, et des industries chimiques et agroalimentaires. L'azote existe sous deux formes : la forme réduite qui regroupe l'azote ammoniacal (NH_3 OU NH_4^+) et l'azote organique (protéine, créatine, acide urique). Plus une forme oxydée en ions nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-).

- **Azote ammoniacal (NH_4^+) :**

L'ammonium (NH_4^+) est la forme ionisée de l'azote ammoniacale. Il est relativement fréquent dans les eaux et traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique (décomposition des déchets végétaux et animaux). L'ion ammonium se transformant assez rapidement en nitrates et nitrites par oxydation, sa teneur dans les eaux de surface est normalement faible. Une forte présence d'azote ammoniacal est l'indice d'une pollution par des rejets d'origine humaine ou industrielle (industries chimiques, engrais azotés, industries textiles...). Les nitrites (NO_2^-) sont naturellement en faible quantité dans les eaux. Cela est lié à leur forme instable et au fait que l'ion nitrite est une forme intermédiaire entre l'ion ammonium et l'ion nitrate. La présence de nitrites peut être d'origine industrielle (traitements de surface, chimie, colorants, etc.) [8]

- **Nitrites (NO_2^- et NO_3^-) :**

Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre *Nitrosomonas*, puis en nitrates par les bactéries du genre *Nitrobacter*). Les nitrates sont très solubles dans l'eau; ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation (Santé Canada, 1992). La toxicité des nitrates résulte de leur réduction en

nitrites et de la formation de méthémoglobine d'une part et de leur contribution possible à la synthèse endogène de composés N-nitrosés d'autre part.

Les concentrations de nitrates et de nitrites dans l'eau peuvent être exprimées sous forme de nitrates (ou nitrites) ou sous forme d'azote. Un milligramme de nitrates par litre (mg/l de NO_3) équivaut à 0,226 mg de nitrates, sous forme d'azote, par litre (mg-N/l). Dans le cas des nitrites, un mg/l équivaut à 0,304 mg-N/l [9]

- **Composés phosphorés :**

Le phosphore est l'un des composants essentiels de la matière vivante. Les composés phosphorés ont deux origines, le métabolisme humain et les détergents. Dans les eaux usées, le phosphore se trouve soit sous forme d'ions orthophosphates isolés, soit sous forme d'ions phosphates condensés ou sous forme d'ions phosphates condensés avec des molécules organiques. Les ortho phosphates correspondent au groupement PO^{43-} , ces phosphates sont fixés facilement par le sol, leur présence dans les eaux souterraines est souvent liée à la nature des terrains traversés, à la décomposition de la matière organique, aux engrais phosphatés industriels entraînés par lessivage ou par infiltration. Les polyphosphates sont utilisés comme émulsifiants, dispersants, inhibiteurs... et sont utilisés dans divers domaines tels que l'industrie des lessives en poudre, l'industrie alimentaire, l'industrie pharmaceutique comme inhibiteur de précipitation et de corrosion.

- **Ortho phosphates (PO^{43-}) :**

L'orthophosphates (l'une des formes de phosphates les plus communes) est composé d'un atome de phosphore et de quatre atomes d'oxygène. L'orthophosphates est parfois appelé « phosphore réactif », car il forme facilement des liaisons avec d'autres éléments et composés déficitaires en électrons. Cela s'explique par les trois électrons « supplémentaires » des atomes d'oxygène, qui cherchent fortement à se lier avec d'autres protons.

- **La demande chimique en oxygène(DCO) :**

C'est une mesure de la quantité d'oxygène nécessaire correspondant à la quantité de matière Oxydé par l'oxygène dans l'effluent. il représente la plupart des composés Matière organique (détergents, matières fécales). Elle est mesurée par la consommation d'oxygène par unité En présence de sulfate d'argent, une solution de bichromate de potassium en milieu acide sulfurique et Sulfate de mercure (chlorure complexe), chauffé pendant deux heures .[10]

- **La demande biologique en oxygène (DBO₅) :**

Il représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes de l'environnement pour détruire ou dégrader la matière organique. Mesuré en incubant des échantillons préalablement inoculés pendant 5 jours à 20 °C avec consommation d'oxygène dans l'obscurité, un temps qui assure la biooxydation des matières organiques contenant du carbone. La bioépuration aérobie complète de l'IRE prend en effet 21 jours (la DBO 21 est dite finale) le temps qu'il faut pour oxyder les composés azotés biodégradables, sinon 35 jours, 28 jours ce qui représente certains hydrocarbures Temps de dégradation de la famille Le rapport DCO/DBO5 est un indicateur de la biodégradabilité de l'eau. Pour que la contamination soit dégradable, ce rapport doit être inférieur à 2,5. Moyenne pondérée de DCO et DBO mesurées après 2 heures de sédimentation, selon la formule : $(COD+2DBO5)/3$ correspond à des substances oxydables (MO) .

- **Les métaux lourds :**

Dans l'eau, les métaux sont présents sous forme d'oxydes ou de sels, selon les métaux d'origine. Les composés de plomb sont peu solubles, sauf les chlorures. Le chlorure, le nitrate et le sulfate de cadmium sont solubles dans l'eau, tandis que les sulfures et l'oxyde de cadmium sont pratiquement insolubles.

L'analyseur portable métaux lourds HM1000 a été spécifiquement conçu pour permettre une mesure terrain facile, rapide et à un cout très compétitif en ppb, de 10 métaux lourds dans les eaux : Arsenic, Arsenic total, Cadmium, Chrome VI, Cuivre, Plomb, Manganèse, Mercure, Nickel, Zinc.

- **Effets des métaux lourds sur la santé**

Les métaux lourds sont des éléments métalliques naturels dont la densité dépasse 5 g/cm³. Ceux-ci se retrouvent le plus souvent dans l'environnement à l'état de traces : mercure, plomb, cadmium, cuivre, arsenic, nickel, zinc, cobalt, manganèse, etc. D'un point de vue chimique, les éléments du tableau périodique qui forment des cations en solution sont des métaux. D'un point de vue physique, le terme "métal lourd" désigne des éléments métalliques naturels, des métaux, ou dans certains cas des métalloïdes (environ 65 éléments), caractérisés par une densité supérieure à 5 g.cm³. D'un point de vue biologique, on distingue deux types en fonction de leurs effets physiologiques et toxiques : les métaux essentiels et les métaux toxiques. [11]

Il s'agit de l'arsenic, du cadmium, du chrome, du zinc, du cuivre, du plomb, du nickel...

Libérés par les activités humaines au niveau des bassins versants (circulation automobile, artisans, bâtiments,...) et déposés sur les surfaces imperméabilisées, les métaux lourds sont ensuite lessivés par les eaux de ruissellement et entraînés dans les fleuves par l'intermédiaire des réseaux d'eaux pluviales.

Les éléments métalliques et leurs dérivés sont pour certain très dangereux parce que potentiellement toxique, non biodégradables et bioaccumulation dans les chaînes alimentaires.

Ils sont principalement d'origine industrielle mais pas seulement (rejets atmosphériques des incinérateurs de déchets...).

➤ **Arsenic(As) :**

Fortement toxique, il peut être présent dans l'eau de façon naturelle ou sol pollué.

Sa concentration doit être inférieure ou égale à 0,01 mg/l.

➤ **Cadmium(Cd) :**

Il provient des rejets industriels, des incinérations de déchets, de l'utilisation d'engrais.

Extrêmement toxique, le cadmium s'accumule dans la chaîne alimentaire et menace les prédateurs.

La concentration du cadmium doit être inférieure ou égale à 0,001 mg/l.

➤ **Chrome(Cr) :**

Métal très dur utilisé en traitement de surface des métaux pour améliorer leur résistance. La forme chrome VI (Cr^{6+}) et les chromates(CrO_4) sont extrêmement toxiques et cancérogènes.

Sa présence dans les eaux provient de l'érosion des conduites ou de l'activité industrielle.

Sa concentration doit être inférieure ou égale à 0,05 mg/l.

➤ **Zinc(Zn) :**

Utilisé pour recouvrir les métaux, il est peu toxique au niveau de traces mais sa présence dans les eaux indique souvent celle d'autres métaux ou polluants toxique industriels. Il peut provenir des rejets industriels.

Sa concentration doit être inférieure ou égale à 0,5 mg/l.

➤ **Manganèse et Fer :**

Le fer et le manganèse sont souvent présents à l'état naturel, ainsi que dans les régions où l'eau coule à travers des sols riches en matières organiques.

Les sources artificielles sont les suivantes : canalisations, pompes, réservoirs, et autres objets faits en fonte ou en acier pouvant être en contact avec de l'eau. Les effluents industriels, les eaux d'exhaure acide, les eaux usées provenant des sites d'enfouissement des déchets peuvent également contribuer à la présence de fer et de manganèse.

Un résultat d'analyse dépassant le niveau préconisé peut indiquer que l'eau aura un goût, une odeur ou une apparence désagréable ou d'autres caractéristiques.

La concentration du fer doit être inférieure ou égale à 0,5 mg/l ; celle du manganèse doit être inférieure ou égale à 0,1 mg/l.

➤ **Plomb (Pb) :**

Entraine le saturnisme (érosion des canalisations d'eau potable en plomb). Le plomb est utilisé dans l'industrie : batteries, alliages, traitement de surfaces, munitions etc. sa teneur dans les eaux de surface doit être inférieure ou égale à 0,05 mg/l.

➤ **Cyanure :**

C'est un composé chimique très toxique. Il existe à l'état naturel à très faible concentration mais aussi industriel. Sa présence dans l'eau est due à plusieurs facteurs dont sa large utilisation dans les activités minières. À très forte quantité, le cyanure peut tuer toutes les bactéries, ce qui empêchera le processus de dégradation.

Sa concentration dans les eaux de surface doit être inférieure ou égale à 0,05 mg/l.

. I.2.2.4. 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.

L'eau potable provient à 66 % d'une nappe souterraine (ce qui rend particulièrement sensible cette pollution) et à 34 % de fleuves, rivières et lacs. D'une eau superficielle

L'eau de surface doit répondre à des critères de qualité reflétant deux grandes préoccupations.

- La santé publique : il faut fournir aux utilisateurs une eau « sûre », autrement dit une eau qui ne transmette pas de maladies et qui soit garantie contre les risques immédiats (contaminations biologiques par exemple) ou à long terme (contaminations chimiques), qu'ils soient réels ou potentiels.
- Le plaisir : il faut offrir une eau agréable à boire, c'est-à-dire conforme aux préférences locales, en termes d'odeur, de couleur et de goût comme dans beaucoup d'autres pays, les ressources en eau pouvant être utilisées directement pour l'alimentation et l'hygiène corporelle se réduisent progressivement. Dans la grande majorité des cas, les eaux prélevées

dans le milieu naturel doivent subir un traitement pour devenir potables. Ce constat s'applique particulièrement aux eaux de surface, dont la qualité nécessite généralement un traitement plus poussé que les eaux souterraines.

- **Le circuit de l'eau potable**

Pour avoir de l'eau potable au robinet 24h/24h, il faut tout d'abord que cette eau soit prélevée dans la nature, dans un fleuve, une rivière ou dans le sous-sol (une nappe phréatique). Cette eau n'est souvent pas potable en l'état, elle nécessite un traitement pour pouvoir être consommée par l'Homme.

Une fois traitée, elle est stockée dans un château d'eau puis transportée dans des tuyaux vers les habitations (maisons, immeubles, mais aussi écoles, commerces, entreprises,...).

Après le Captage puis acheminement jusqu'à l'usine de potabilisation. Et Voici les étapes d'une usine de traitement d'une **eau potable** : 1) le dégrillage 2) le tamisage 3) la floculation 4) la décantation 5) l'ozonation 6) la filtration sur charbon actif 7) la désinfection finale 8) le stockage dans des châteaux d'eau.



Figure I.1: le circuit de l'eau potable

I.3 .Étapes d'une filière classique de traitement d'une potable

I.3.1 Les différents Procédés de traitement :

Généralement La filière classique de traitement, quelle que soit l'origine de l'eau, est constituée d'une désinfection (c'est une étape obligatoire) précédée au plus par trois types de traitement : étapes de prétraitement, étapes de clarification et étapes d'affinage.

Le traitement des eaux brutes après leur captage dépend de leur qualité et de leurs constituants, critères qui varient dans le temps. L'eau puisée dans l'environnement doit donc être analysée en continu avant de subir le traitement de potabilisation approprié.

Classement des différents procédés de base :

- physiques (dégrillage, tamisage, décantation, filtration, flottation).
- physico-chimiques (coagulation/floculation) .
- chimiques (oxydation, échange d'ion sur résine, procédés de neutralisation ou d'acidification).
- biologiques (cultures bactériennes appropriées) .

Les eaux de surfaces sont généralement rendues potables en suivant une filière plus complète que les eaux souterraines, en utilisant, par exemple, les procédés suivants :

1. Dégrillage ;
2. Tamisage ;
3. Floculation, décantation ;
4. Filtration sur sable ;
5. Ozonation ;
6. Filtration sur charbon actif ;
7. Chloration.

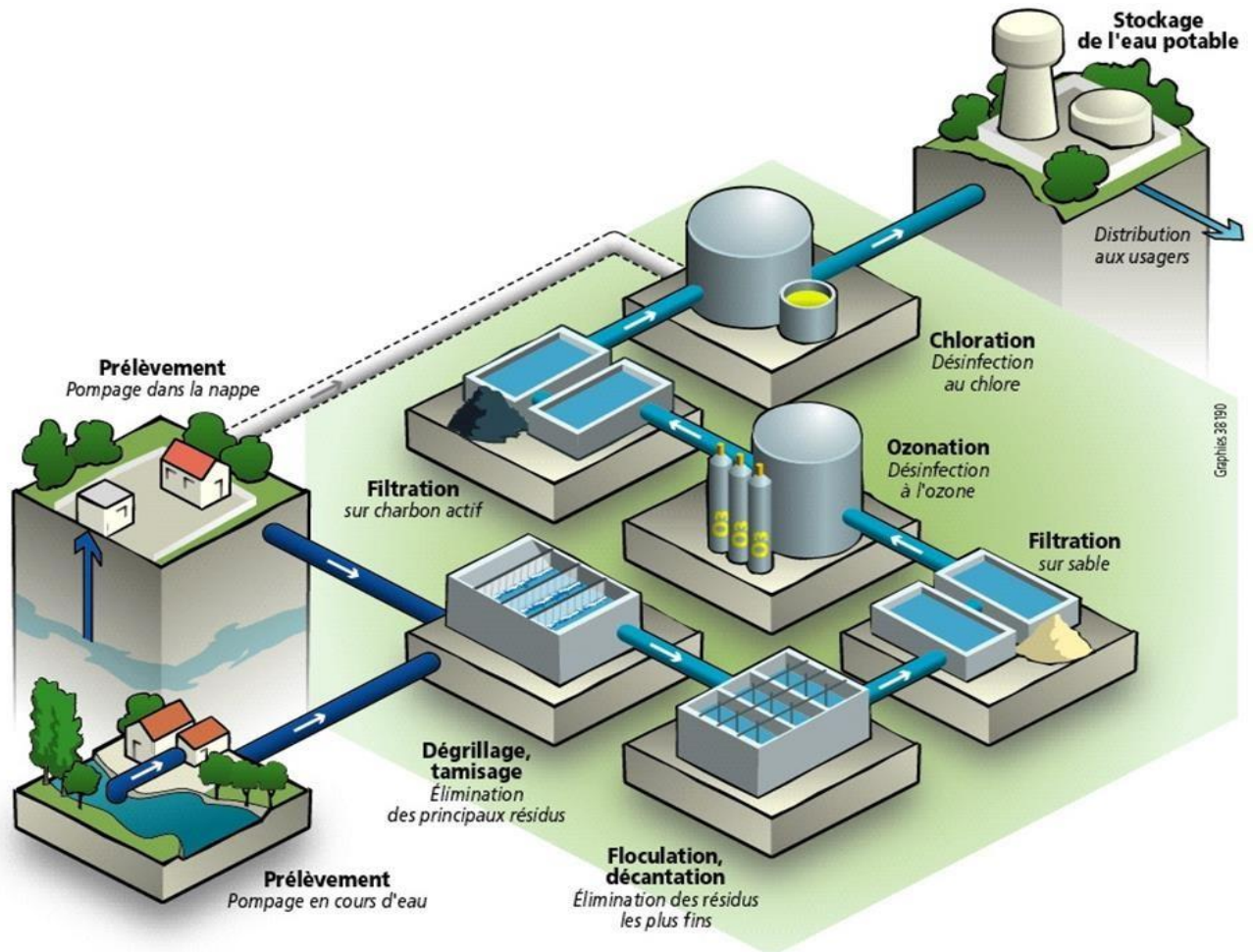
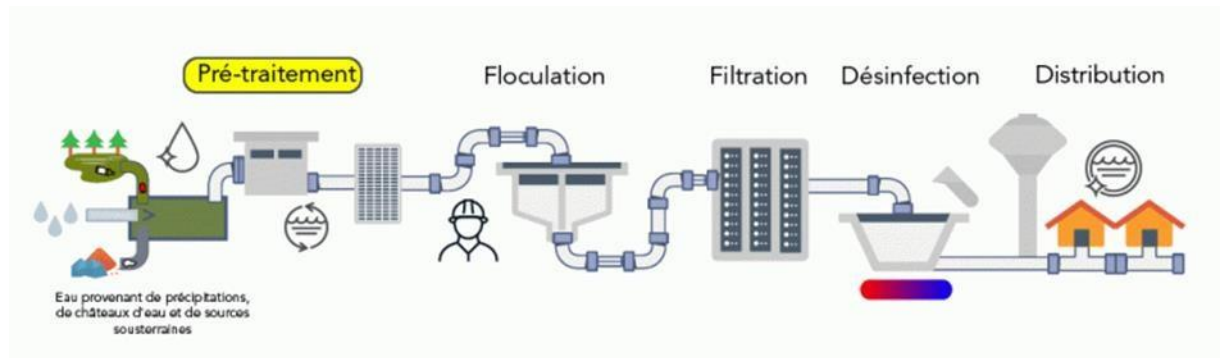


Figure I .2. Etapes d'une filière classique de traitement d'une potable

I.3.2. l'étape de production de l'eau potable

- 1) Captage : Captage puis acheminement jusqu'à l'usine de potabilisation.
- 2) Dégrillage : Passage à travers des grilles pour arrêter les corps flottants et les gros déchets.
- 3) Tamisage : Filtrage plus fin destiné à arrêter les déchets plus petits, sable, plancton...

4) Flocculation – Décantation : Déversage d'un produit coagulant pour regrouper les impuretés en petits paquets (les floccs) et éliminer 90% les matières en suspension.

5) Filtration : Filtrage des particules en suspension invisibles mais encore présentes, réalisé sur des matériaux classiques (sable) ou adsorbants (charbon actif en grain ou en poudre). Certaines installations utilisent des membranes capables de filtrer les particules d'une taille infime (microfiltration, ultrafiltration, nanofiltration).

6) Désinfection – Ozonation : Neutralisation de virus et bactéries pathogènes puis injection d'ozone (gaz). Parfois, on utilise les ultraviolets.

7) Traitement spécifique : Adsorption sur charbon actif. Traitement d'affinage permettant d'éliminer les matières organiques et améliorant les qualités organoleptiques de l'eau (saveur, odeur, limpidité).

8) Chloration : Ajout d'une infime quantité de chlore pour préserver la qualité de l'eau tout au long de son parcours dans les canalisations pour atteindre les robinets.

9) Stockage : Une fois rendue potable, l'eau est envoyée dans des réservoirs où elle est stockée avant d'être acheminée par un réseau de canalisations souterraines dans les habitations.

I.3.2.1. Les prétraitements

✓ **Le dégrillage et le tamisage** (réservés aux eaux de surface) ce sont des procédés physiques. Les gros déchets sont retenus par une simple grille, les plus fins dans des tamis à mailles fines.

✓ **Dégrillage**

Le placement des grilles empêche l'endommagement des rotors et des pompes par les déchets grossiers. Les grilles sont composées de barres verticales contre lesquelles les branches, chiffons, cannettes, papiers, plastiques.

On trouve généralement dans les installations de traitement aussi bien des grillages épais (60 - 100 mm) que fins (10 - 25 mm), lesquels sont utilisés en combinaison. Dans certaines situations des dérailleurs fins (2 - 10 mm) sont utilisés comme alternative pour un prétraitement de décantation, ce qui peut représenter une grande économie de surface. Un nettoyage fréquent du dégrilleur est recommandé, de manière automatique ou manuelle.

- ✓ **Le tamisage** est le second procédé de prétraitement mécanique permettant une séparation plus fine que le dégrillage des déchets contenus dans les eaux brutes. La filtration est réalisée par un entrefer de 6mm à 0,25mm à l'aide de tôle perforée ou tôle grillagée (aussi appelé maille johnson).
- ✓ **La peroxydation** : C'est un procédé chimique qui utilise le chlore (ou l'hypochlorite de sodium), l'ozone, le dioxyde de chlore ou le permanganate de potassium. Il est destiné à permettre l'élimination du fer et du manganèse (notamment pour les eaux souterraines), de la couleur et des algues (essentiellement pour les eaux superficielles).

La préoxydation, ou oxydation par l'ozone, permet de :

- éliminer l'azote ammoniacal, le fer et le manganèse
- réduire les goûts, les couleurs et les odeurs
- améliorer les performances du traitement ultérieur de clarification
- maintenir la propreté des installations.

I.3.2.2 .Clarification

C'est une étape Indispensable pour les eaux provenant de plateaux calcaires. Qu'elle s'agisse d'eaux de surface ou souterraines, cette étape assure l'élimination des particules en suspension (sable, limon, débris organiques...), des matières colloïdales (argiles fines, bactéries...) et d'une partie des matières dissoutes (matières organiques, sels...). Cette étape elle permet d'obtenir une eau limpide par élimination des matières en suspension, et donc de la turbidité.

La clarification peut combiner les procédés suivants :

- **La coagulation-floculation** : l'adjonction d'un coagulant provoque la déstabilisation des colloïdes (particules solides de si petite taille qu'elles se répartissent de façon homogène) et forme des agrégats de taille suffisante pour être séparés de l'eau. Les réactifs utilisés sont le sulfate d'alumine, le chlorure ferrique ou le sulfate ferreux. La floculation, elle, a pour objectif d'accroître la cohésion des particules par agitation de l'eau et conduit à la formation d'amas de plus en plus volumineux appelés « floes »
- **La séparation solide/liquide par décantation ou flottation** : l'extraction des floes se fait soit par décantation ou à l'inverse par flottation. Ils sont ensuite récupérés par raclage.

- **La filtration** : c'est l'élimination des particules invisibles, en suspension. Elle s'effectue le plus souvent sur une couche de sable et sera d'autant plus efficace que les grains seront fins. L'usage d'une couche de sable très fin, permet un écoulement plus lent pour favoriser le développement d'un biofilm (voile d'algues ou de bactéries) à la surface du sable. L'activité épuratrice de ce bio film permet la dégradation de la matière organique.

La filtration permet de retenir les matières en suspension qui n'ont pas été piégées lors des étapes précédentes ou qui ont été formées lors de la préoxydation. Elle est réalisée sur matériaux classiques (sable) ou sur membranes (cas des eaux souterraines karstiques). La plus répandue est la filtration sur *lit de sable* (lit filtrant) : une couche de sable retient les particules et laisse passer l'eau filtrée. Le filtre peut jouer un double rôle suivant les conditions d'exploitation : d'une part, il retient les matières en suspension par filtration et d'autre part, il constitue un support bactérien permettant un traitement biologique, c'est à dire une consommation des matières organiques et de l'ammoniac, ou du fer et du manganèse, par les bactéries qui sont développées sur le sable.

Le filtre à sable nécessite un nettoyage périodique afin d'éliminer les matières retenues entre les grains qui ralentissent le passage de l'eau. La filtration sur lit de sable, efficace, simple et peu coûteuse, s'est imposée, en raison des énormes volumes d'eau à filtrer.

La *filtration sur membranes* (microfiltration notamment) est de plus en plus fréquemment utilisée, mais elle reste encore onéreuse. Elle est fondée sur l'utilisation de membranes de faible épaisseur, comportant des pores réguliers de très petites dimensions. Ces membranes, sortes de barrières physiques, peuvent être d'origine organique ou minérale.

I.3.2.3. L'affinage

Pour éliminer les matières organiques. Ces traitements améliorent les qualités organoleptiques de l'eau (saveur, odeur, limpidité) :

Les traitements d'affinage de l'eau font intervenir des procédés d'ozonation, de filtration sur charbon actif ou de filtration sur membranes (ultrafiltration ou nanofiltration).

- **L'affinage** a pour effet l'oxydation et la biodégradation des matières organiques et l'élimination ou l'absorption de certains micropolluants. En outre, il améliore les qualités organoleptiques de l'eau (saveur, odeur, limpidité).

- L'ozone, En plus de sa puissante capacité désinfectante (élimination des virus et des spores bactériennes), l'ozone peut également oxyder certains micropolluants organiques (pesticides, composés aromatiques, etc.) et transformer la matière organique naturelle (ex. puis éliminé par du charbon actif biologique) pour augmenter sa biodégradabilité.
- **L'adsorption sur charbon actif** : phénomène par lequel des molécules de gaz ou de liquides se fixent sur les surfaces. Les charbons actifs sont capables de fixer les composés organiques dissous qui ont échappé aux traitements physico-chimiques ainsi que certains micropolluants (hydrocarbures, pesticides, métaux lourds...) On les obtient par traitement spécial de charbons naturels (anthracite, tourbe) ou de végétaux (bois, noix de coco)
- Le stripping : application d'un contre-courant de gaz d'entraînement pour extraire les gaz dissous dans l'eau et retenir les composés volatils (benzène, trihalométhane, composés soufrés responsables d'odeurs...)
- **Filtration par membranes**

L'utilisation de **membranes** présentant un seuil de coupure très faible (ultrafiltration ou nano filtration) commence à être pratiquée en traitement d'affinage. Elles permettent de retenir des molécules de taille importante (ultrafiltration) à petite (ultrafiltration couplée à une injection de charbon actif en poudre, nano filtration), comme les pesticides.

L'eau circule sous pression à travers des membranes, constituées de longues fibres creuses et poreuses d'1 mm de diamètre sur 1,30 m de long et assemblées en faisceaux dans une cartouche cylindrique. Elles peuvent être de nature organique (polymère de synthèse) ou de nature minérale (type céramique).

Il existe quatre procédés membranaires classés selon le diamètre des pores sur les parois des fibres :

- Les membranes de microfiltration (de l'ordre de 100 nanomètres) permettent la rétention des bactéries, des parasites, des levures, des particules à l'origine de la turbidité (eau trouble en raison de matières en suspension).
- Les membranes d'ultrafiltration (de l'ordre de 10 nanomètres) arrêtent en plus les virus, les colloïdes.
- Les membranes de nano filtration (de l'ordre de 1 nanomètre) retiennent le calcium et la plupart des pesticides.

- Les membranes plus denses (de l'ordre de 0,1 nanomètre) stoppent aussi les ions métalliques. Cette dernière technique est appliquée au dessalement de l'eau de mer et à la production d'eau ultra pure et d'eau de processus.

I.3.2.4. La désinfection : Pour neutraliser les virus et bactéries pathogènes.

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant distribution. Elle permet d'éliminer les micro-organismes pathogènes de l'eau.

Commune à tous les traitements de l'eau, la désinfection est réalisée par des agents désinfectants (chlore, dioxine de chlore ou ozone), par traitement aux ultra-violetts ou par procédés physiques comme la filtration sur membranes. Comparée au chlore, l'ozone permet une bonne désinfection, sans risque de sous-produits chlorés ni de défaut de goût, mais il n'est pas pérenne. Une fois traitée, l'eau doit voyager dans les canalisations pour atteindre les robinets. Si aucune désinfection finale n'était prévue, la qualité de l'eau du robinet pourrait se dégrader. C'est pourquoi on ajoute une infime quantité de chlore (équivalente à une goutte pour 1000 litres) pour détruire les dernières bactéries et préserver la qualité de l'eau tout au long de son parcours dans les canalisations.

Pour que la désinfection soit totalement efficace, il convient de maintenir un résiduel de désinfectant dans l'eau distribuée jusqu'au robinet du consommateur. Lorsque la désinfection finale est réalisée par l'ozone (qui présente un faible pouvoir rémanent), par les UV ou par les membranes, une légère injection de réactifs chlorés (chlore, eau de Javel ou dioxyde de chlore) est nécessaire.

Bien que les eaux souterraines soient souvent naturellement exemptes de microorganismes, la désinfection prévient le risque d'une contamination par infiltration dans la ressource et dans le réseau.

La désinfection peut être effectuée :

- ❖ **Par des procédés chimiques :** oxydation chimique avec des agents chlorés (chlore gazeux, eau de Javel, bioxyde de chlore) et ozone, ou rayonnements ultraviolets,
- ❖ **Par des procédés physiques** comme la filtration sur membranes.

Pour que la désinfection soit totalement efficace, il convient de maintenir un résiduel de désinfectant dans l'eau distribuée jusqu'au robinet du consommateur. Lorsque la désinfection finale est réalisée par l'ozone (qui présente un faible pouvoir rémanent), par les UV ou par les

membranes, une légère injection de réactifs chlorés (chlore, eau de Javel ou dioxyde de chlore) est nécessaire.

I.3.2.4.1. La désinfection par oxydation chimique :

La chloration est actuellement le procédé de désinfection le plus fréquemment rencontré, à la fois pour le prix de revient du chlore et pour sa simplicité de mise en œuvre. Le chlore gazeux est injecté à des doses précises ; un temps de contact suffisant doit être respecté afin d'assurer une efficacité maximale de l'oxydation.

L'eau de Javel est souvent utilisée sur de petites installations ; ses avantages et inconvénients sont les mêmes que le chlore gazeux (à pH identique). Le bioxyde de chlore, sous forme liquide, évite la formation de ces composés organo-chlorés. C'est pourquoi il peut être préféré dans certains cas. Cependant, il est beaucoup moins utilisé, plus onéreux, et d'une mise en œuvre plus complexe. De plus, il génère dans les eaux désinfectées des ions chlorites (et parfois chlorates), qui font l'objet d'une référence de qualité du nouveau décret, 2001-1220.

L'ozone est très fréquemment utilisé par les usines de production d'eau potable à partir d'eaux de surface, pour son grand pouvoir désinfectant, notamment vis à vis des virus et des spores bactériennes, et ses autres propriétés en traitement d'affinage. Cependant, fabriqué sur le site, l'ozone est coûteux et sa mise en œuvre est relativement complexe. Ce traitement produit en outre des ions bromates (nouvelle limite de qualité du décret n°2001-1200) à partir des ions bromure naturellement présents dans les eaux.

Le traitement final prend également en compte la protection des réseaux et des tuyauteries. La mise à l'équilibre calco-carbonique permet d'éviter les problèmes d'entartrage ou de corrosion des tuyauteries, l'eau doit être la plus proche possible de l'équilibre en bicarbonate de calcium, CO₂ et carbonate de calcium. Les eaux insuffisamment minéralisées dites agressives sont neutralisées ou reminéralisées. Alors que les eaux trop minéralisées dites incrustantes sont soumises à une décarbonatation.

I.4. Les traitements spécifiques de l'eau potable pour éliminer les derniers polluants

Alors que la majorité des polluants visés par les normes de qualité de l'eau du robinet sont éliminés à l'une ou l'autre des étapes du traitement, d'autres exigent cependant des traitements spécifiques.

- **Les métaux lourds**

La plupart des métaux lourds trouvés dans les ressources en eau proviennent des rejets industriels excepté le fer et le manganèse présents dans la nature. Généralement présents sous forme ionique, ils sont liés à des matières organiques. Pour les éliminer au cours de la phase de décantation/filtration, il faut les rendre insolubles. A cet effet, la technique utilisée consiste à augmenter le pH avant filtration en même temps qu'on utilise un oxydant afin de les transformer en hydrates insolubles. Le chrome exige une étape supplémentaire de traitement pour passer sous sa forme insoluble et être éliminé.

- **Le fer et le manganèse**

Ces métaux, dont la présence est la plus fréquente, notamment dans les eaux souterraines, font de plus en plus fréquemment l'objet d'un traitement biologique, fondé sur la capacité de certaines bactéries à produire des enzymes qui favorisent l'oxydation de ces métaux par l'oxygène de l'air. Cette oxydation permet de les éliminer par décantation ou par filtration.

- **L'ammonium**

Cet ion a pour origine la décomposition naturelle des matières organiques d'une part et l'emploi d'engrais d'autre part.

Les différents procédés de traitement homologués par le ministère de la santé :

- Dénitratation par résines échangeuses d'ions : l'eau à traiter traverse des résines. Les ions nitrates sont échangés par des ions chlorures fixés sur la résine. L'eau dénitratée est mélangée à de l'eau brute dans une proportion qui permet de respecter les objectifs de qualité ;
- Dénitrification biologique : elle utilise des micro-organismes cultivés en usine et qui agissent comme dans le milieu naturel, en transformant les nitrates en azote gazeux.

- **La famille des triazines**

Parmi les très nombreux pesticides utilisés par l'agriculture (mais aussi par les particuliers, les collectivités locales...), les pesticides azotés de la famille des triazines sont les plus préoccupants. Les traitements « classiques » éliminent 50 % de l'atrazine (pourtant interdite depuis 2003) et de la simazine. Pour atteindre le taux fixé par les normes, il faut recourir à des traitements spécifiques. On élimine ces pesticides en le traitant soit par adsorption sur charbon actif.

- **Les micropolluants organiques**

Cette catégorie comprend notamment les solvants chlorés, comme le trichloréthylène par exemple, et les hydrocarbures. Deux groupes de procédés sont utilisés pour les éliminer :

- Le « stripping » (ou aération forcée des molécules volatiles) consiste à transférer dans l'air les composés organiques devenus volatils. Cette opération peut être effectuée en simple cuve d'aération, mais on obtient de meilleurs résultats dans un appareil spécifique, nommé tour d'aération. L'air ainsi chargé d'éléments indésirables est ensuite filtré avant d'être rejeté dans l'atmosphère ;
- L'adsorption sur charbon actif (en poudre avant la phase de floculation, en grains comme matériau filtrant), qui permet d'éliminer un plus grand nombre de micropolluants que le stripping, mais dont le coût est supérieur..

Conclusion :

Au terme de cette revue bibliographique et à travers des observations et des études, il apparait que l'eau quelle que soit son origine souterraine ou superficielle est un milieu complexe et caractérisé par plusieurs paramètres /caractéristiques (physique et chimiques, biologiques et organoleptiques). Notamment les eaux de surface pouvant renfermer de nombreuses particules minérales et/ou organique à l'état de suspension ou sous forme dissoute et a des teneurs variables, selon l'origine et le parcours de l'eau aussi que sur l'exploitation éventuelle aux déférentes pollutions de l'environnement. Selon sa composition, la consommation de l'eau sans aucun traitement peut exposer la santé des êtres humains à des risques sanitaires (toxiques et infectieux). Par conséquent, des opérations d'analyses et de traitement sont très importants et indispensables en vue de détermination les corrections éventuelles à lui appliquer de manière à le rendre conforme aux normes de potabilité ; c'est l'objectif de traitement de l'eau.

Chapitre II : Description du bassin versant barrage

Fontaine des Gazelles

Introduction :

Ce chapitre est consacré à une description générale de bassin versant ou se situé le barrage nommé barrage du Fontaine de Gazelle, l'un des réservoirs de stockage des eaux superficielles de la région d'étude afin de déterminer sont caractéristiques d'une manière générale.

Nous allons présenter les différentes caractéristiques hydrologiques, géologiques et géotechniques qui définissent le site de l'aménagement de Fontaine des Gazelles

II. 1 .Présentation du barrage de Fontaine de Gazelle :

II.1.1 Situation géographique du barrage Fontaine de Gazelle :

Le barrage de Fontaine de Ghazal a été construit sur la vallée du Hay Le bassin versant de Oued EL-Hai, appartient au grand bassin du Chott Melrhir. Ce bassin s'étale sur une superficie de 1660 km². Le barrage de Fontaine de Ghazal est situé à 35 km au nord-est de la ville de Biskra. Il est limite au Nord par la daïra de Batna, celle de Merouana, au Sud par la Wilaya de Biskra, à l'Ouest par la daïra de N'Gaous et les de Merouana, au Sud par la Wilaya de Biskra, à l'Ouest par la daïra de N'Gaous et les Tamarins et Barika, a l'Est par Tazoult, Arris et Menaâ. Il prend naissance dans les monts de Batna ;Chaaba et Ain touta et a pour affluents principaux :Oued Tilatou, Oued Fadhala qui convergeant pour former Oued El Hai. (Fig n° II-1) En fin se jette dans la plaine de loutayaa travers un réseau hydrographique forme essentiellement par Oued El-Hai et alimentant le barrage des fontaines des Gazelles.

La limite de la zone d'étude par rapport aux coordonnées géographiques est donnée suivant la carte topographique de Batna et Barika à l'échelle, 1/200.000 : Latitude : 35° 5 53 et 35° 35' 21 Nord, Longitude : 5° 30' et 6° 17' 36 Est sur le plan administratif ; il s'étale sur deux wilayas celle de Batna avec une superficie de 1314 km² et celle de Biskra de l'ordre 346 km² [13] .

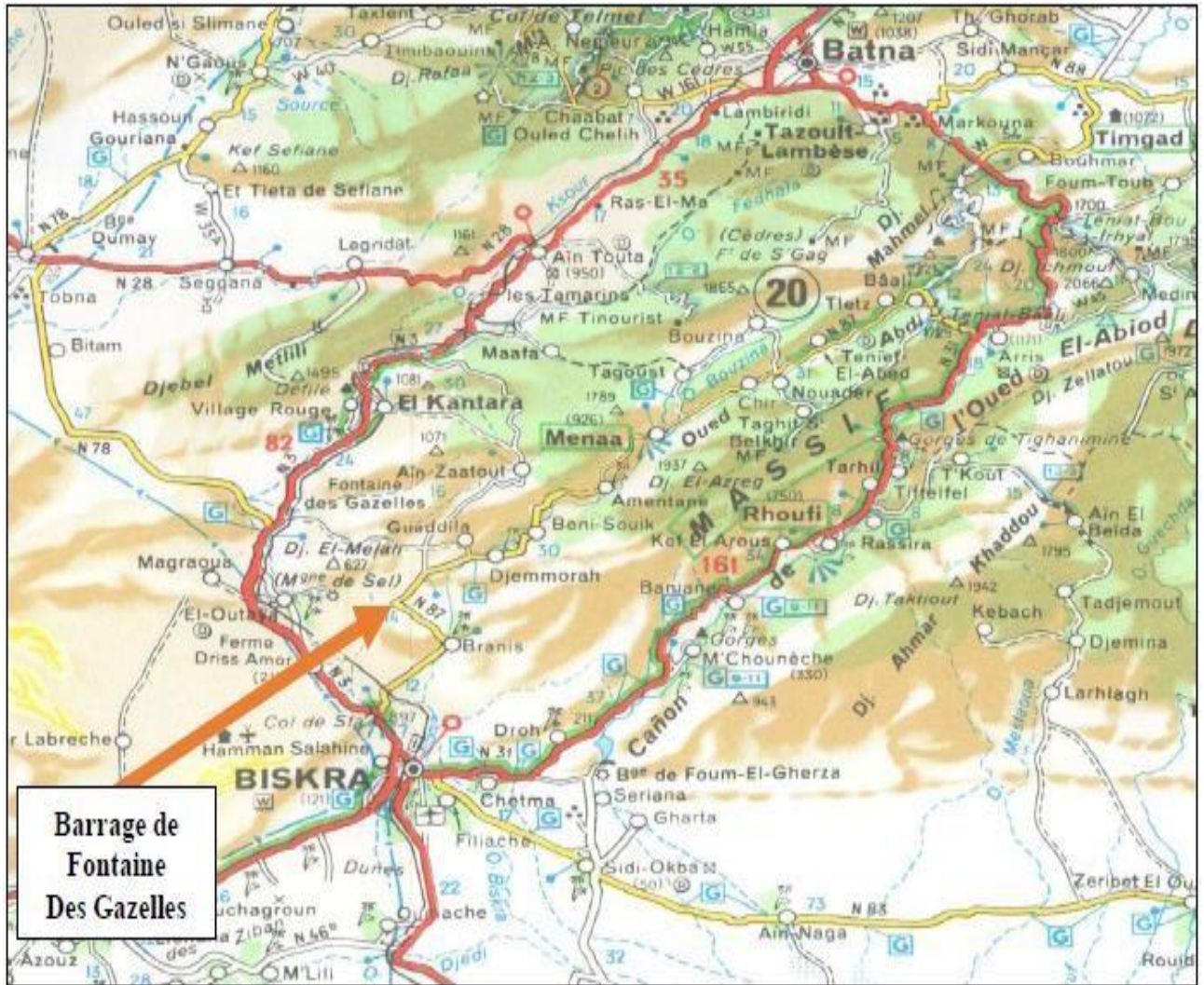


Figure II-1 : Situation géographique du barrage de fontaine des gazelles (ANBT, 2004) ,[13]

II.2.2 Présentation du bassin versant l'oued El Haï :

Le bassin versant de l'oued El Haï se situe dans le piedmont sud des Aurès ; il fait partie du grand bassin hydrographique de Chott Melghir, avec une surface d'environ 1660 km² et possède un périmètre de 193 km. . Il est limité au Nord par le bassin versant des hauts plateaux constantinois, à l'Est par le bassin versant de l'oued Abdi et à l'ouest par le bassin versant de Chott El Hodna.

Il prend son origine sur les flancs de l'Atlas saharien, qui à son tour prend sa naissance du confluent de deux oueds : oued Fedhala issu du djebel Ich Ali (1815m) et l'oued Tiltatou qui descend des monts de Bellezma (2091m), et coule sur une longueur de 73,43 km. [14]

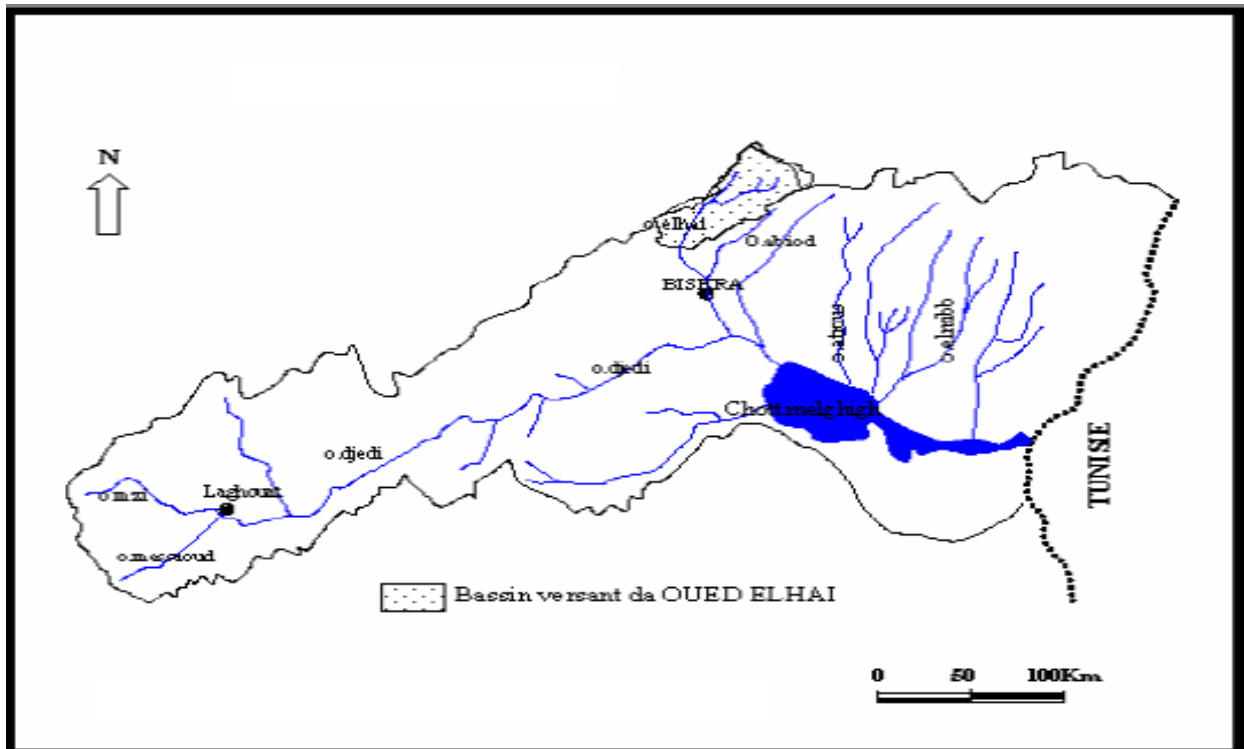


Figure II-2: Carte de localisation du bassin versant d'Oued El-Hai [15] .

II.3. Historique

Selon les données présentées par l'Agence Nationale des Barrages et du Transfert (ANBT) sur la construction du barrage on cite :

- Début de construction : 1986
- Année de mise en Eau : 2000

Inauguré par son excellence le président de la république en date du 08/06/2001.

- Date de début d'exploitation : Janvier 2006 (ANBT, 2004) , [16] .

Bureaux d'étude : [16] ,

- A.P.D : **HYDROCONSULT** Tchecoslo .
- Etude : **IL F** Autriche 1986-1990 .
- Etude : **TRACTEBEL** Belgique 1993-2000 .
- **Suivi des travaux :** Agence Nationale des Barrages et Transferts (ANBT) .

Entreprises de réalisation : [16]

- 1986 à 1990 **ENERGOPROJEKT** Yougoslavie.
- 1992 à 2000 **HYDROTECHNIQUE** Algérie
- Hydromécanique : **ENCC** Cote rouge Algérie

II.4. Les caractéristiques générales de barrage. [17].

Selon l'agence nationale des barrages) , (ANBT, 2021) :

a. La digue :

- Type en terre avec recharge alluvionnaire et noyau central en argile
- Hauteur hors sol : 42,50ml
- Longueur en crête : 370,00ml

b. Evacuateur de crues :

- Crue de projet : 3000 m³/s fréquences 10.000 ans.
- Type d'évacuateur des crues : Labyrinthe.
- Largeur du front déversant 25 ml.
- Largeur en crête : 08,50 ml.

c. Vidange de fond :

- Diamètre intérieur : 01,00 ml- Longueur : 200,00 ml.
- Débit à évacuer : 20 m³/s (retenue normale) .
- Débit à évacuer par prise : 10 m³/s.

d. Tour de prise :

- Type : circulaire.
- Nombre de prise 04, diamètre1200 mm/prise.

II.4.1. Caractéristiques physiques du bassin versant l'oued El Hai :

Les caractéristiques physiques du bassin versant sont tirées de la monographie des grands barrages, et les caractéristiques physiques du bassin versant sont regroupées dans le tableau suivant **Tableau II-1 : [18]**

Tableau II-1 : Les caractéristiques physiques du bassin versant [18]

Caractéristiques	valeur donnée
Surface de BV	1 660 km ²
Périmètre de BV	193 km.
Longueur de Talweg principal	73.43 km
Coefficient de compacité de graveleuse	1,32
Altitude moyenne	1039.83 m

Altitude minimale	350 m
Altitude maximale	2091 m
H50%	980 m
H5%	1690 m
H95%	520 m
Pente moyenne	28.71
Ig	15.93

II.4.2. Caractéristiques hydrologiques :

Le barrage de fontaine des gazelles qui se situe dans le versant l'oued El Hai (ANBT, 2004).

Il a les caractéristiques hydrologiques suivantes :

- Oued nommé de : Oued El- Hai.
- Capacité initiale : 55,50 hm³.
- Apport moyen annuel : 20,60 hm³.
- Volume Mort : 7.00 hm³.
- Volume régularisé : 14.00 hm³.
- Envasement annuel : 0,25 hm³/an.
- Surface du bassin versant : 1 660 km². [16]

II.5. Le Réseau Hydrographique :

D'après [16] : En général le réseau hydrographique de Oued El-Hai, dans sa plus grande partie est caractérisé par un écoulement périodique durant les saisons pluvieux

- En général le réseau hydrographique de Oued El-Hai, dans sa plus grande partie est caractérisé par un écoulement périodique durant les saisons pluvieux
- La partie Nord-Est ; Amont de Oued Fedhala caractérisé par des affluents alimentés par des sources naturelles ; comme Oued Bouaioun et Oued Tafrenet.
- Par contre, la partie Aval ; où les affluents sont à écoulement périodique surtout pendant les averses, parmi les principaux affluents ; Oued Hassi ben tamtam ; Oued Elmelah ; Oued Agroum et Oued Boubiada ; qui traverse la ville d'Elkantara.

II.6. Géomorphologie :

Autre paramètre très important lors du choix de site et de type des barrages c'est ce qu'on appelle la géomorphologie, Selon [19]. Les caractéristiques du Bassin versant où se situe le barrage de la fontaine des gazelles sont :

a) La Plaine d'El Outaya :

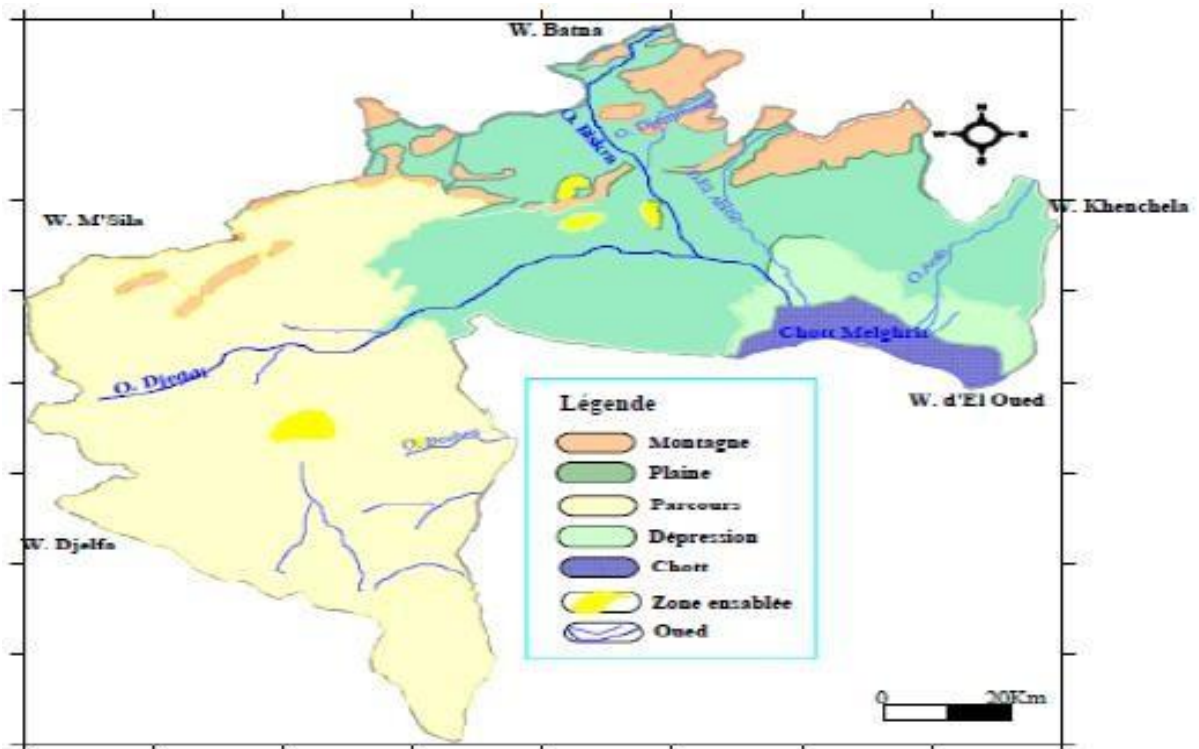
Selon [24], (Figure II-3), le relief de la région de Biskra est constitué de quatre grands ensembles géographiques répartis comme suit :

b) **Montagnes** : situées au nord de la région presque dépourvues de toutes végétations naturelles (El Kantara, Djemoura et M'chounech).

c) **Plateaux** : à l'ouest, ils s'étendent du nord au sud englobant presque la région des zibans occidentaux (Ouled Djellal, Sidi Khaled et une partie de Tolga).

d) **Plaines** : Deux plaines se distinguent ; l'une entre Batna et Ain Touta avec environ 36 Km de longueur et une largeur variant entre 6 à 8Km, et l'autre au sud ; c'est la plaine entre El-Kantara jusque au site du barrage «fontaine des gazelles » le long de Oued El-Hai.

e) **Dépressions** : Dans la partie sud-est de la wilaya de Biskra (Chott Melghir).



II.7. Hydrologie :

Le barrage, Fontaine des gazelles est alimenté principalement par Oued El Hai ainsi que par oued Tamtam et oued El Melah et actuellement utilisé pour l'irrigation du périmètre d'El Outaya à des fins agricoles. Le dénivelé entre le barrage de Fontaine des Gazelles et le périmètre d'El Outaya est de 164 m ; la cote du barrage est à 384 m alors que le périmètre est 220 m. L'amenée d'eau au périmètre se fait donc par gravité [21]. Ce milieu joue un rôle écologiques il constitue non seulement de site de reproduction et d'hivernage d'oiseaux d'eau mais il joue également un rôle pour un nombre plus important d'oiseaux qui s'y nourrissent et s'y reposent lors de leurs migrations annuelles entre l'Afrique et le nord de l'Europe [22] .

II.8. Hydro climatologie du bassin versant l'oued El Hai :

II.8.1. Température :

La température est l'un des éléments les plus importants du climat et la grande majorité des êtres vivants ne peuvent vivre que dans la plage de température comprise entre 0 et 50 ° C, [14] .

Les valeurs des températures mensuelles (minimales et moyennes) dans notre région au cours de la période 2010-2019 sont enregistrées dans le tableau ci-dessous.

(Tableau. II-2).

(Tableau II-2) : Les valeurs de température mensuelles (minimale, maximale et moyenne) dans la période (2010-2019).

Moins	janv	févr	Mars	Avril	Mai	Juin	juill	Aout	sep	oct	Nov	Dec
M(C°)	18,02	19 ,1	23,11	28,13	29,42	37 .77	41, 33	40,12	35,39	29,64	22,59	16,8
m(C°)	7,14	7,93	11,50	15,60	19,56	24,66	28,37	27,69	21,49	18,33	12,10	7,16
T(C°)	12,58	13,51	17, 3	21,86	24,49	31,21	34,85	33,90	28,44	23,98	17,34	11,99

M : température maximale

m : température minimale

T : température moyenne

La figure ci-dessous représente l'évolution de la température (minimale, moyenne et maximale pour la période (2010 -2019)

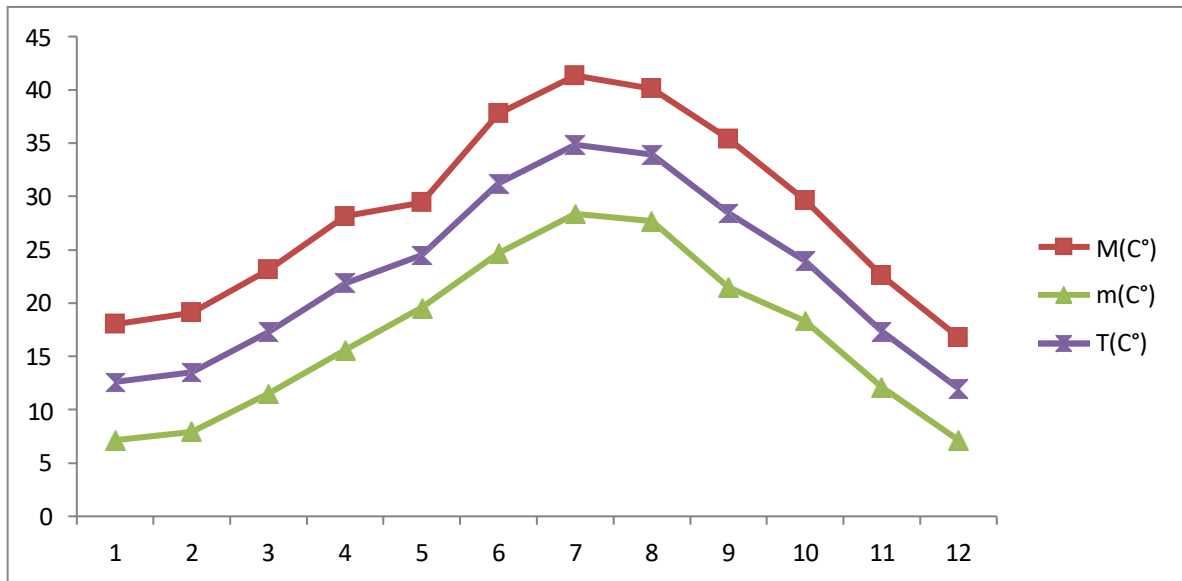


Figure II-4 : Variation de la Température moyennes, maximales, minimales de Biskra (2010-2019).

On remarque d'après les données du tableau , que la période la plus chaude dont elles renferment les mois de juin, juillet, août et septembre avec des températures mensuelles moyennes respectivement : 37,77, 41,33, 40,12 et 35,39, tandis que le mois le plus froid est janvier avec une température mensuelle moyenne égale à : 7,14° C . Ces données caractérisent la période Monitoring (2010-2019), (Figure -4).

II.8.2. Précipitations

Le terme « précipitations» englobe toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, que ce soit sous forme liquide (pluie) ou sous forme solide (neige, grêle) avec une série d'observations relativement longue, relevée sur la station de Biskra (2010-2019). [14] les moyennes de précipitation de Biskra (2010-2019) sont regroupées dans le (Tableau II-3). (Tableau II-3). Les moyennes de précipitation de Biskra (2010-2019).

Moins	J	F	M	A	Mai	J	ju.	A	S	O	N	D	Somme
P (mm)	18,108	5 ,182	15,873	19,86	13,48	7 .54	0 ,5 3	2,464	16,94	29,362	10,97	3,326	135,659

Figure II-5 représenté la répartition des moyennes de précipitation dans la région de Biskra durant la période de (2010-2019).

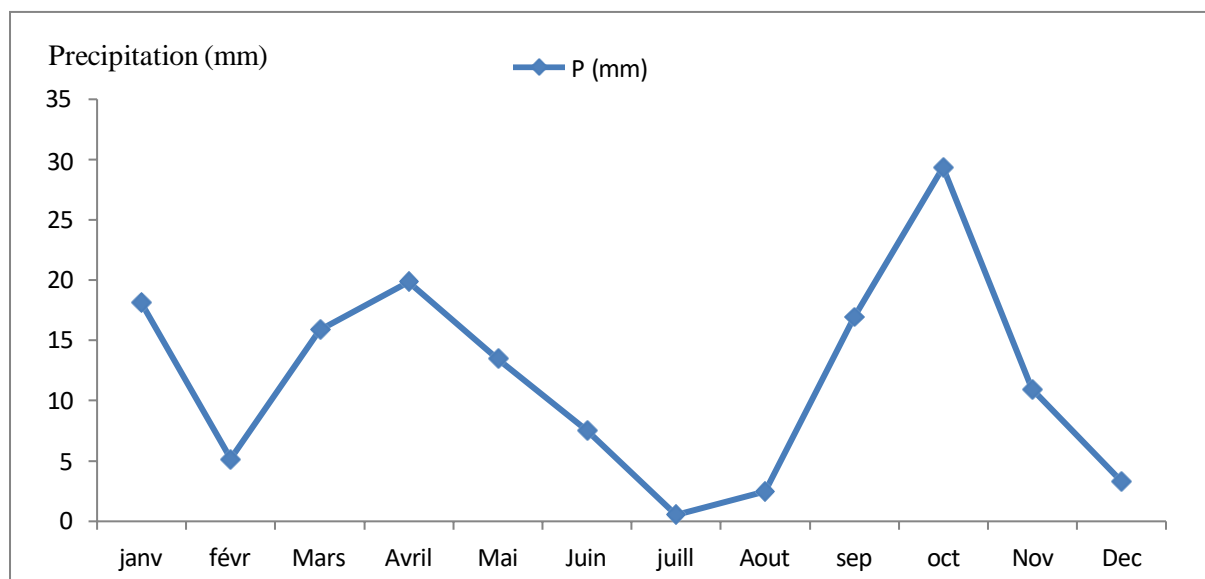


Figure II-5 : Précipitations moyennes mensuelles de Biskra (2010 -2019).

II.8.3. Humidité de l'air :

L'humidité de l'air. Elle s'exprime le rapport en pourcentage de la pression partielle de la vapeur d'eau dans l'air (P_a), à la pression de vapeur saturante (P_r) dans les mêmes conditions de mesure de température lue au thermomètre sec et en pression. [14] . Les Moyennes mensuelles de l'humidité relative de la région de Biskra (2010-2019) sont regroupées dans le (Tableau II-4).

(Tableau II-4). Moyenne mensuelle de l'humidité relative de Biskra (2010-2019)

Moins	J	F	M	A	Mai	Ju	juil.	Aout	sep	oct.	Nov.	Déc.
Humidité (%)	54,37	48,75	42,59	40,41	35,21	29,4	26,1	31,4	37,52	45,47	53,52	53,7

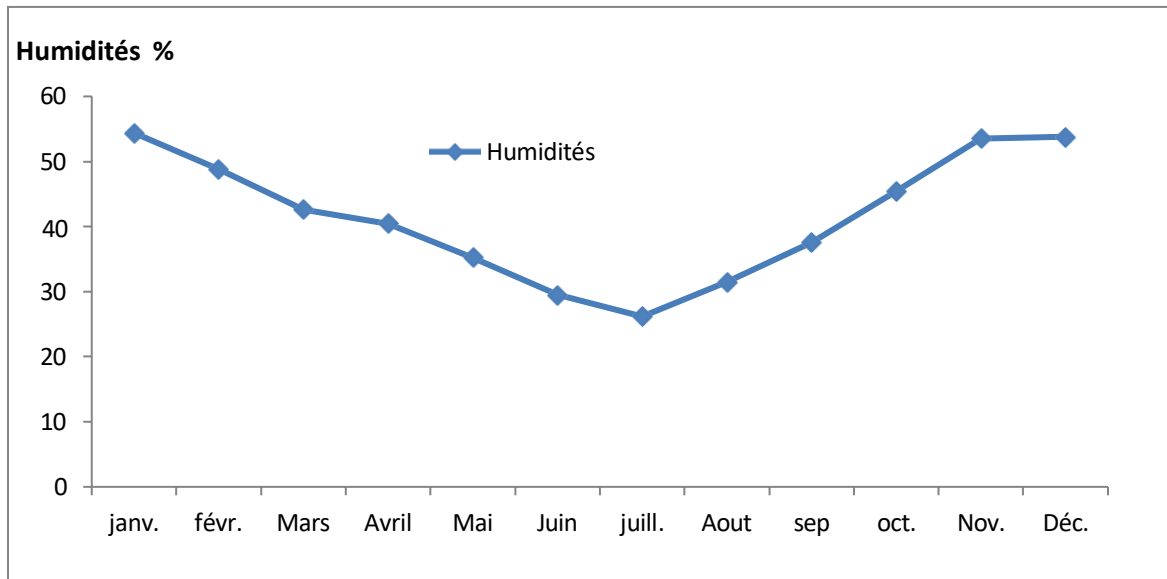


Figure II-6 : Moyennes mensuelles de l'humidité relative de Biskra (2010-2019).

L'humidité varie considérablement tout au long de l'année en raison de l'influence des températures élevées et de la grande capacité calorifique, pour la période donnée elle est estimée de 26,16 % en juillet qui représente le tau minimale de l'année et atteindre à son taux maximale à 56,78 % en décembre, ce qui est relativement faible de façon générale.

II.9 La Lithologie :

C'est très important de savoir la nature des formations géologique et leurs résistances à l'agressivité climatique. Sur la base de l'esquisse géologique des Aurès, nous avons réalisé la carte lithologie [14].

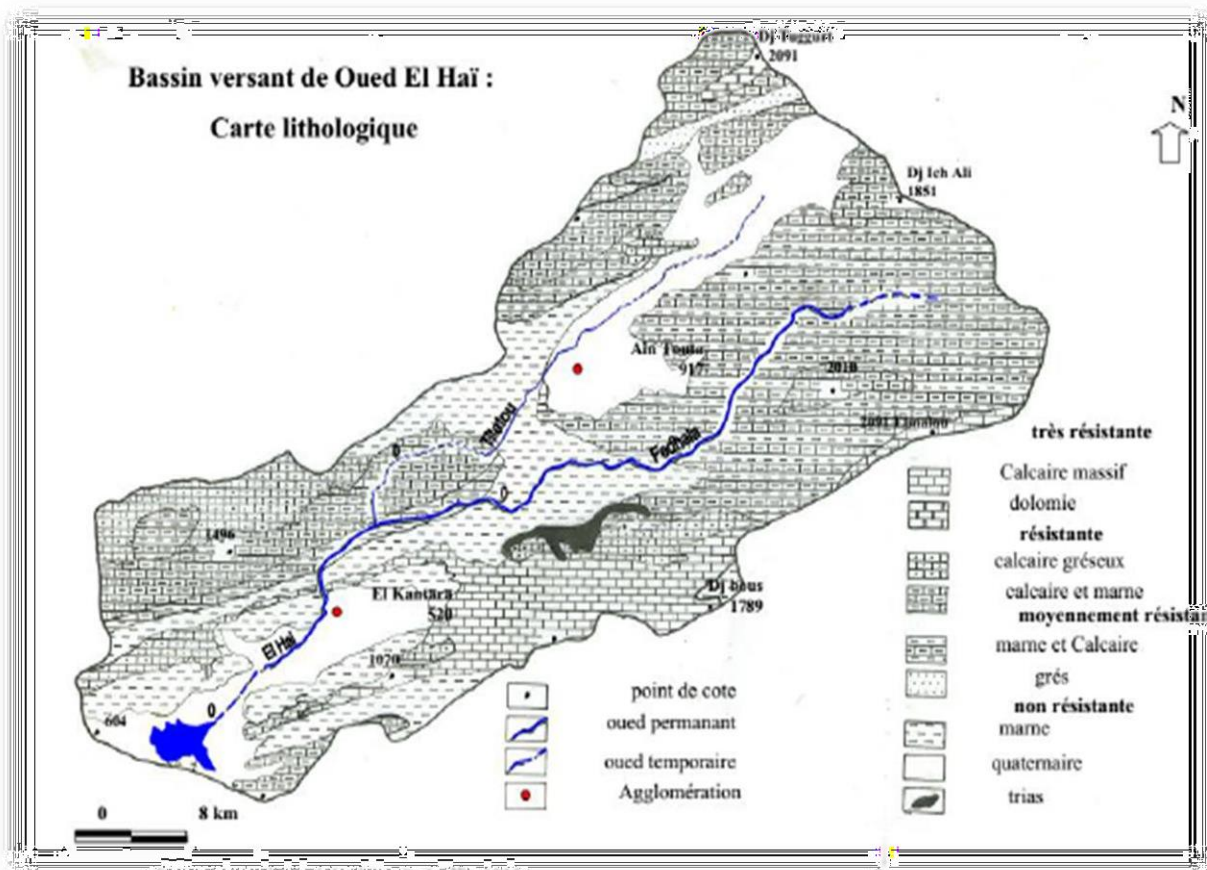


Figure II-7 : Carte lithologique Bassin versant de Oued El Haï [14] .

Le classement des formations selon leurs résistances à l'érosion et ses répartitions spatiales sont illustrés dans le tableau (Tableau II-5) ci-dessous :

(Tableau II-5) : Le classement des formations selon leurs résistances [23] .

Formations	La résistance	Surface	
		Km ²	%
-calcaire massif -dolomie - grés	Très résistante	216,63	13,05
-calcaire gréseux -calcaire et marne	Résistante	396,24	23,87
-marne et calcaire	Moyennement résistante	511,94	30,84
-quaternaire-marne-gypse	Non résistante	535,19	32,24

Conclusion :

Dans ce chapitre après avoir donné un aperçu générale sur la description du bassin versant de Oued El Haï ou se situé du barrage fontaine des gazelles ce dernier qui représente un réservoir de stockage des eaux naturelles superficielles en plus il représente la source de nôtres échantillonnages ; à travers cette partie de travail nous avons montré et donnée des informations des statistiques concernant du bassin versant Oued El Haï ainsi du barrage fontaine des gazelles et ces caractéristiques générales. La géomorphologie de bassin versant de l'oued El Haï, la lithologie de bassin versant l'oued El Haï ont été présenté.

D'autre part nous avons présenté

Les paramètres et les facteurs qui affectent sur la quantité et la qualité des eaux du surfaces du barrage fontaine des gazelles à titre d'exemple tels que ; Les régimes hydrologiques, le réseau hydrographique, la température et l'humidité relatif, la nature géologique, les précipitations, la climatologie ont été présentées.

Chapitre III : Procédé de la coagulation floculation :

Introduction :

La couleur et la turbidité d'une eau de surface sont dues à la présence de particules de très faible diamètre : les colloïdes. Leur élimination ne peut se baser sur la simple décantation. En effet, leur vitesse de sédimentation est extrêmement faible. Le temps nécessaire pour parcourir 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 prend en compte leur agglomération en agrégats éliminés par décantation et/ou filtration.

III.1. Définition

La coagulation et floculation sont des processus souvent indissociables. En effet, la coagulation, en diminuant les forces de répulsion entre les particules, favorise les collisions et la formation d'agrégats ; et la floculation, en permettant la croissance des agrégats accélère la séparation des phases. Ils éliminent près de 80% des matières en suspension. [25].

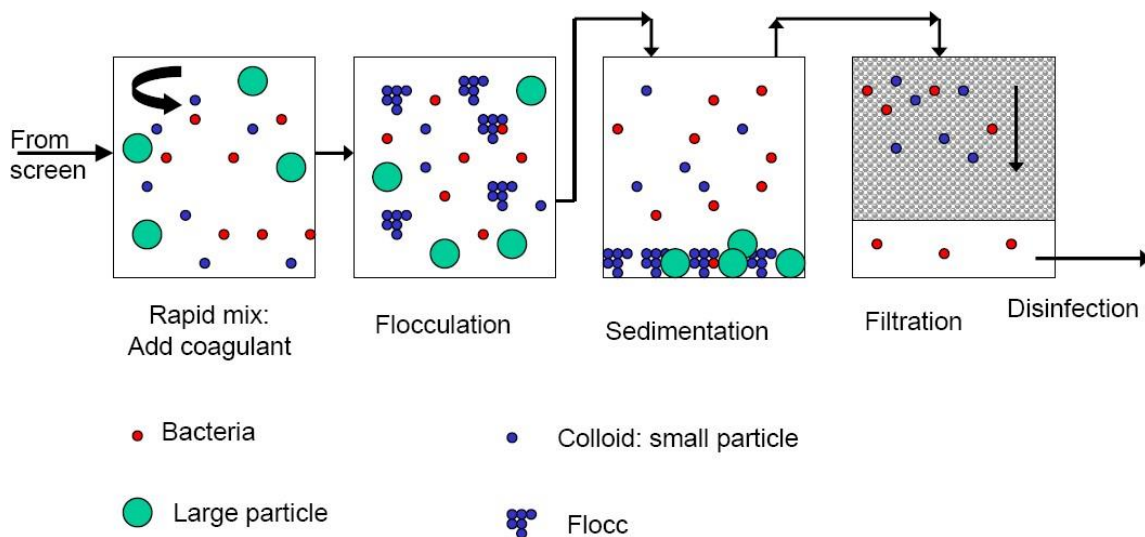


Figure III.1 : Processus de coagulation Floculation [25].

III.1.1 . La coagulation

La coagulation est la déstabilisation des particules colloïdales par l'addition d'un réactif chimique, le coagulant, qui apporte au milieu des cations multivalents, libres ou liés à une macromolécule organique. Ces cations sont attirés et adsorbés sur la couche de Stern. Le potentiel Zêta s'annule ou voisine le zéro avec la neutralisation de toutes les charges avoisinantes. Il faudra donc que le coagulant se disperse dans l'eau pour obtenir une répartition homogène avant toute précipitation d'hydroxyde. Cela demande une forte agitation en temps courte ou, en d'autres termes, utiliser un gradient de vitesse très élevé. [26] .

III.1.2 . La floculation :

La floculation est le phénomène de formation de flocons de taille plus importante (agglomération des colloïdes). On utilise, pour se faire, des floculants ou adjuvants de floculation. Contrairement à l'étape de coagulation, la floculation nécessite une agitation lente.

Les floculants 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. [2]

III.1.3 . La Décantation :

C'est un procédé utilisé pratiquement dans toutes les stations de traitement des eaux [27], et la décantation est une technique de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc, après l'étape de coagulation-floculation. Cette technique est très répandue dans les usines d'épuration et de traitement des eaux [28].

III.2. Mécanisme de la coagulation floculation :

❖ La coagulation :

Représente l'ensemble des phénomènes physico-chimiques visant à déstabiliser une solution de particules très petites de charge négative, appelées colloïdes ($\emptyset < 1\mu\text{m}$), et favoriser leur agglomération. Généralement les particules colloïdales possèdent une charge électrique négative et identique ce qui les amène à se repousser et ne pas former de floccs facilement décantables. Elle permet la neutralisation de la surface de la Charge des colloïdes par l'addition ions à charge positive, sels métalliques ou minéraux. [25].

❖ La floculation :

C'est l'ensemble des phénomènes physico-chimiques menant à l'agrégation de particules stabilisées pour former des flocons ou flocs. Après coagulation, les particules possèdent une énergie cinétique supérieure à celle qui est nécessaire pour vaincre les forces électrostatiques de répulsion ; le phénomène est réversible, c'est-à-dire que l'on peut casser ces agrégats, par exemple en agitant fortement le liquide, pour retrouver la solution de colloïdes initiale. [25]

❖ La décantation :

Quant à elle, a pour but d'éliminer les particules en suspension dont la densité est supérieure à celle de l'eau. Les particules s'accumulent au fond du bassin de décantation d'où on les extrait périodiquement. L'eau clarifiée, située près de la surface, est dirigée vers l'unité de filtration.

Le temps de décantation des particules coagulées dépend du type de particules, du diamètre des particules et de leur surface spécifique, Il est donc impossible que certaines particules notamment les colloïdes et les particules à surface spécifique très élevée décantent naturellement. Pour obtenir la décantation de ces particules, il faudrait assembler un très grand nombre de colloïdes en agrégats d'au moins 10 à 100µm. [25]

III.3. Rôle de la coagulation-floculation :

Les procédés de coagulation et de floculation facilitent l'élimination de MES et des colloïdes en les rassemblant sous forme de floc dont la séparation est ensuite effectuée par des systèmes de décantation, flottation et/ou filtration (voir décantation et filtration, de même que flocculateur - décanteurs - flottateurs-et les filtres) ;Ils constituent les traitements de base appliqués pour corriger tout ou partie des défauts de l'eau liée aux fractions particulières inertes (limons, argiles, colloïdes) ou vivantes (micro-algues planctoniques ; micro invertébrés, en particulier les kystes des protozoaires parasites : amibes, Giardia, Cryptospridium...; bactéries).

Ils assurent aussi l'élimination de la fraction « flocculable » des matières organiques macromolécules, en particulier la plupart des acides humiques responsables de la couleur), de certains métaux lourds, plus généralement de la fraction des micropolluants associée à ces MES et macromolécules colloïdales dont les virus, pratiquement toujours portés par les MES et colloïdes de l'eau [29].

III.4. Matières en suspension et colloïdales :

Généralement, les particules sont toujours présentes dans l'eau naturelle et dans les eaux superficielles, en particulier. Ce sont des particules d'origine minérale, organique ou biologique. Leurs tailles sont comprises entre quelques centièmes de micromètres et quelques millimètres. [30]

On appelle « colloïdes » ou « particules colloïdales », les particules en suspension dont la taille s'étend de quelque 0,01 μm à quelques μm . Celles dont la taille est plus importante sont plutôt appelées « matières en suspension ». La limite entre les deux classes n'est pas précise car elle dépend de la méthode de détermination des matières en suspension (décantation, centrifugation, filtration). La méthode peut dépendre, quant à elle, outre de la taille, de la nature des particules notamment de la densité et de la forme. Cette classification résulte de la taille des particules.

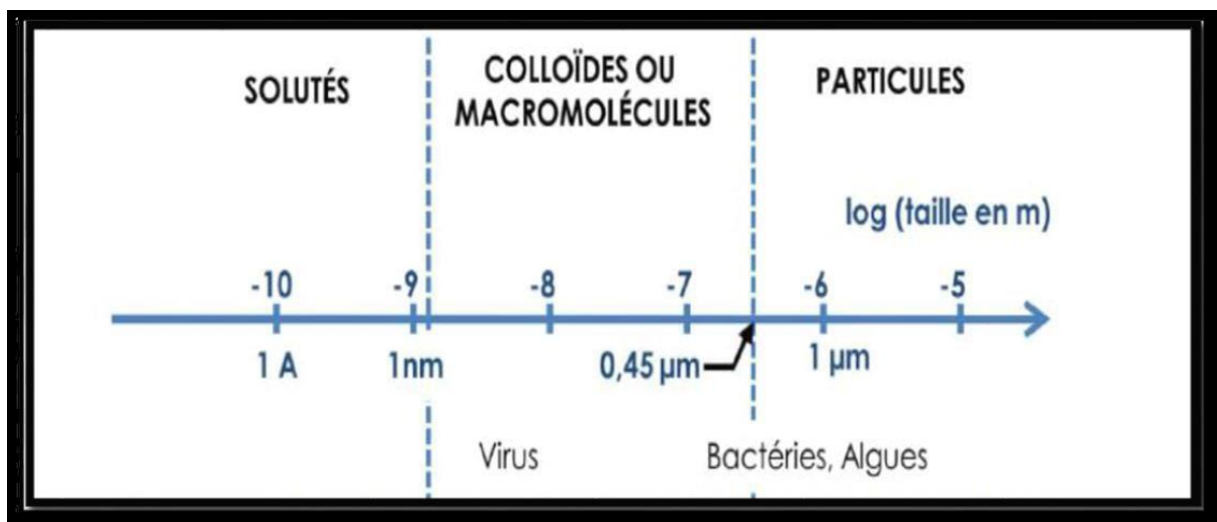


Figure III 2 : Nature et gamme de taille des particules colloïdales dans l'environnement [30].

III.5. Les différents types des particules colloïdales :

a) Les particules colloïdales hydrophiles

Les macromolécules organiques (protéines, sucres) constituent les particules hydrophiles. Elles présentent des groupements électro-négatifs de type R - NH₂, R -OH, R COOH. Ces radicaux créent des liaisons hydrogènes avec les molécules d'eau, Il est à noter que les colloïdes de nature hydrophile sont responsables de la coloration des eaux. [31] .

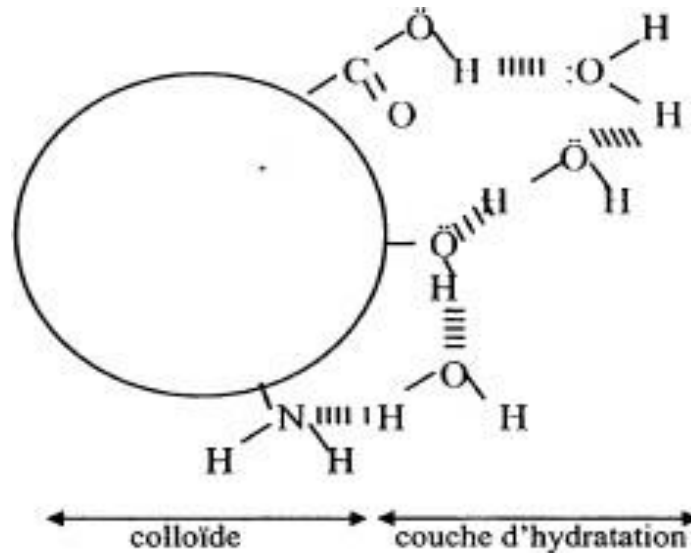


Figure III. 3 : Représentation du colloïde hydrophile. [31] .

b) Les colloïdes hydrophobes :

Les colloïdes hydrophobes sont en général de nature minérale. Ils n'ont aucune affinité pour les molécules d'eau. La formation d'une couche d'hydratation est impossible. Leur surface présente des charges négatives qui engendrent une répulsion mutuelle empêchant toute agglomération. Ce type de particules est en partie responsable de la turbidité. Peu de colloïdes sont exclusivement hydrophiles ou hydrophobes. Il s'agit en fait d'un degré d'hydratation plus ou moins important autorisé par la présence de groupements fonctionnels de hydrophile [31] .

III.6. Structure des colloïdes

Les colloïdes sont généralement chargés négativement. Afin de neutraliser cette charge négative de surface, des ions positifs présents dans l'eau brute ou ajoutés sont attirés et forment une couche autour du colloïde. Diverses théories expliquent ce phénomène. [02] .

❖ Théorie de la double couche :

Le terme de double couche électrique, ou plus simplement de double couche, encore connu sous l'appellation de modèle de Stern-Gouy-Chapman suppose un arrangement des ions en deux couches distinctes au voisinage de la particule colloïdale. Ce modèle initiatique de double couche a été proposé par Helmholtz et de Gouy (Hunter, 1981; van de Ven, 1989).

Les théories de Helmholtz et de Gouy Chapman ont permis de mettre au point la théorie de la double couche suivant le modèle de STERN (Figure III 4), [32] .

II.9.1. Théorie de Helmholtz : La première couche est supposée rigide et constituée d'ions positifs fixés et recouvre intégralement la surface du colloïde et assure la neutralité de l'ensemble. Encore appelée couche fixe ou couche de Stern, son épaisseur est faible

II.9.2. Théorie de Gouy-Chapman : une couche d'ions positifs est inégalement répartie autour du colloïde ; la neutralité est obtenue à une plus grande distance. Cette couche est appelée couche diffuse, est composée d'ions (co-ions et contre-ions) dont la distribution est déterminée à la fois par les interactions électrostatiques avec la surface de la particule et les mécanismes de diffusion liés à l'agitation thermique. Cette diffusion tend à rétablir l'équilibre ionique entre la couche diffuse et la solution.

II.9.3. Théorie de Stern. Le plan séparant la couche fixe de la couche diffuse est appelé plan de Stern. Cette distribution ionique entraîne une variation du potentiel électrique en fonction de la distance de la surface.

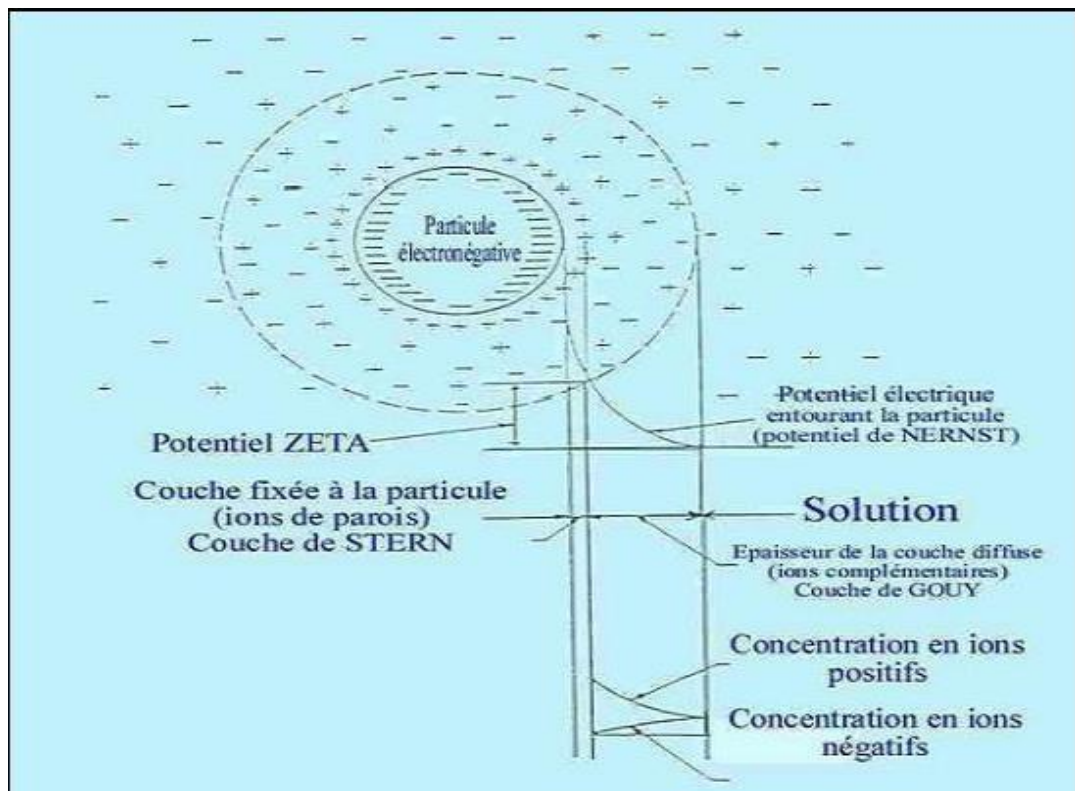


Figure : III.4 : Distribution ionique autour d'une particule colloïdale (d'après le modèle de Gouy-Chapman-Stern [32])

III.7. Les coagulants :

Les sels minéraux sont aujourd'hui le coagulant le plus utilisé dans le monde. Plusieurs agents chimiques peuvent être employés dans le procédé de coagulation floculation.

Les coagulants les plus efficaces sont des sels de métaux, à bases d'aluminium ou de fer. [02]

❖ Coagulants minéraux

- Sels d'aluminium : sulfate d'aluminium, chlorure d'aluminium, aluminat de sodium, sulfate d'aluminium + chaux, sulfate d'aluminium + carbonate de sodium, polymère d'aluminium : polychlorure basique d'aluminium,
- Sels de fer : chlorure ferrique, chlorure ferrique + chaux, sulfate ferrique, sulfate ferrique + chaux, chlorosulfate ferrique, sulfate ferreux, sulfate ferreux + chlore, sulfate ferreux + chaux
- Autres coagulants minéraux : produits mixtes Al^{3+}/Fe^{3+} , sulfate de cuivre, ozone, chlore....).[33] .

❖ Coagulants organiques de synthèse :

Méla mine formaldéhyde (ou méla mine formol), épichlorhydrinediméthylamine, polychlorure de diallyldiméthylammonium). [33]

Toutefois, le **Tableau III .1** , présente les avantages et les inconvénients de différents coagulants.

Tableau III .1 : Avantages et inconvénients de divers coagulants chimiques [32]

Produits	Avantages	Inconvénients
Chlorure ferrique ou sulfate ferrique	<ul style="list-style-type: none"> * le meilleur pour éliminer les matières organiques * bas prix * les concentrations élevées de résidus de fer sont faciles à détecter 	<ul style="list-style-type: none"> * un mauvais dosage produit une coloration rougeâtre et une concentration élevée de résidus de fer * la forte concentration de résidus de fer risque de boucher les filtres et de tacher la lessive * très acide (le port d'un équipement de protection complet est de rigueur)

		* boue inesthétique (brune) *élimination plus faible du COD
Sulfate d'aluminium	*relativement peu coûteux * moins acide (il faut quand même porter un équipement de protection)	* les erreurs de dosage produisent une grande quantité de résidus d'aluminium, posant un risque potentiel pour la santé.
Polychlorure d'aluminium	*taux de résidus plus faible que le sulfate d'aluminium *moins d'impact sur le pH et l'alcalinité	*coûte trois fois plus cher que les autres coagulants

✓ Paramètres liés aux choix du coagulant :

- Température de l'eau.
- Caractéristiques des eaux brutes (dont l'équilibre calco-carbonique).
- Paramètres physico-chimiques à inclure ou éliminer prioritairement (turbidité et/ou Matières Organiques, métaux lourds par exemple).
- Gestion de l'exploitation (stocks, automatisme, etc...).
- Coût du produit.
- Choix imposé ou "considération esthétique". [32]

III.8. Les flocculant :

Le principal agent flocculant d'origine minérale employé dans le domaine du traitement des eaux est la silice activée Ce composé offre de bons rendements lorsqu'il est associé au sulfate d'aluminium en eau froide. Un inconvénient accompagne l'utilisation de la silice, elle doit être préparée juste avant son utilisation, vu sa faible stabilité. [33]

Bien d'autre flocculant existant et peuvent donner des résultats beaucoup plus satisfaisante dans le traitement des eaux.

Flocculant : polymère de haut poids moléculaire à structures linéaires et solubles dans l'eau.

Les flocculants existent sous forme solide, en billes ou en solution.

- Polymères non-ioniques, anioniques (-) ou cationiques (+)
- Les particules vont se retrouver piéger dans les mailles du flocculant pour ainsi créer des floes.

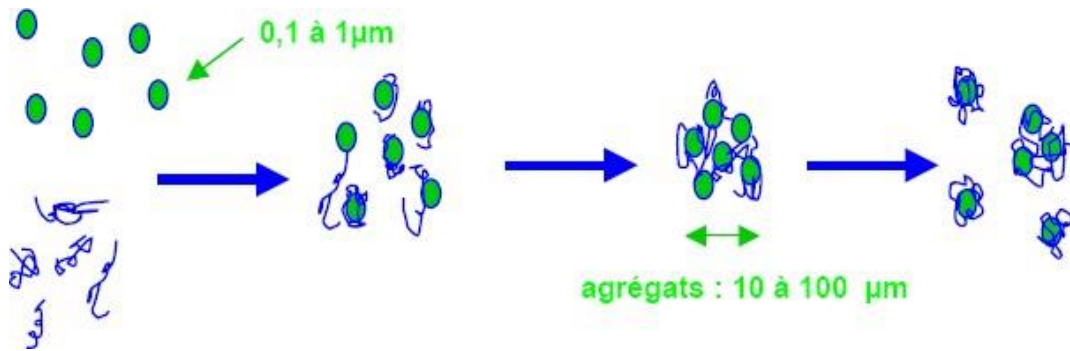


Figure III 5 : Les différentes étapes du processus de floculation [34].

a) Les flocculant : minéraux :

Ce sont des composés colloïdaux agissant soit par adsorption, soit par neutralisation de charges sur les produits en suspension. Ils comprennent la silice activée ou la silicoaluminates. En amont d'une décantation ou d'une filtration, certains produits sont utilisés pour charger une eau brute qui ne contient pas assez de MES. Ce ne sont pas des flocculants mais ils participent à la croissance du floc et sa densification ; ce sont par exemple :

- Certaines argiles (bentonine, kaolin),
- Carbonate de calcium en poudre,
- Charbon actif en poudre,
- Sable fin. [35].

➤ Charbons actifs :

Le principal adsorbant utilisé en pratique est le charbon actif. Il est obtenu à partir de matières organiques (bois, tourbe) carbonisées, puis activées (dégagement des cavités remplies de goudron lors de la carbonisation). Le charbon actif peut être obtenu soit sous forme de poudre avec des pores de quelques μm de dimension, soit sous forme de grain. Il peut être régénéré selon trois procédés de désorption : à la vapeur, thermique et chimique [36].

b) Les flocculant : naturels :

- Amidons : à base de maïs et de pomme de terre ;
- Alginates : tirés des algues et sont de caractère anionique
- Polysaccharides : tirés du fruit du caroubier, non ionique, utilisés en milieu acide.
- Figuier de Barbarie : cactus (*Opuntia ficus indica*) [34].

c) Les floculats organiques :

C'est Sont des polymères hydrosolubles pouvant avoir une charge anionique, cationique ou neutre. Ils agissent par adsorption, on en distingue les dérivés amylics et les polysaccharides tels que l'alginate de sodium, la pectine ou le carraghénane. [25].

➤ Alginate de sodium :

L'alginate est un polysaccharide linéaire, anionique, constitué des sels de deux acides uroniques ; sa structure chimique est voisine de celle de l'acide pectique des végétaux supérieurs [25] .

Il existe sur le marché une diversité d'alginate de sodium qui se différencie au niveau proportion des deux acides uroniques constitutifs et de leur répartition le long de la macromolécule, de leur masse moléculaires .

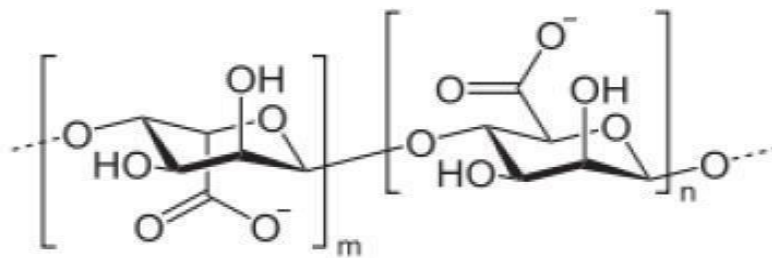


Figure III. 6 : Alginate de sodium [25] .

➤ Le carraghénane :

Le carraghénane est un polysaccharide (galactane) extrait d'algues rouges servant d'agent d'épaississement et de stabilisation dans l'industrie alimentaire. Il porte le code E407 de la classification des additifs alimentaires.

Les carraghénane permettent de former des gels à chaud (jusqu'à 60 °C) et présentent donc un intérêt par rapport aux gélatines animales traditionnelles. La formule chimique est présentée dans la **Figure III.7** Leur encombrement stérique et leurs propriétés hydrophiles leur permettent d'accroître fortement la viscosité du milieu sans former de réseau tridimensionnel. [02] .

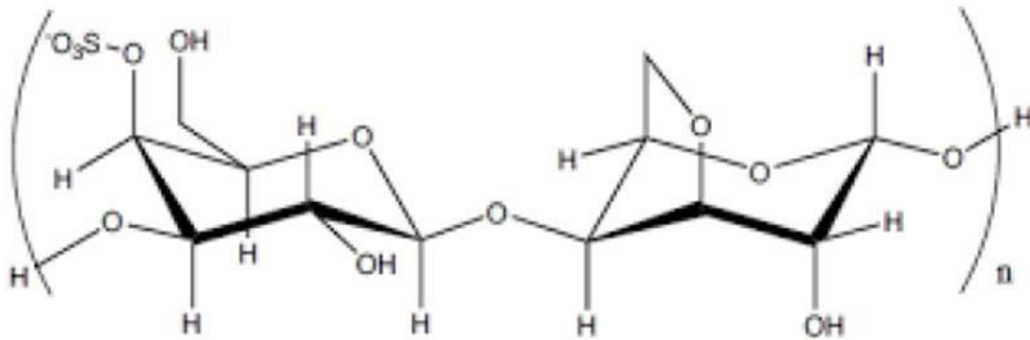


Figure III.7 : La formule chimique Le carraghénane [02] .

➤ **Pectine**

Ce d'origine végétale, ils sont présents en grande quantité dans les parois primaires des dicotylédones sont des substances, et en particulier dans les parois végétales de nombreux fruits. Les molécules d'acides uroniques possèdent des fonctions carboxyliques, ces dernières confèrent aux pectines la capacité d'échanges ioniques, elles se caractérisent aussi par leur facilité de dégradation. La pectine est soluble dans l'eau, formant une solution colloïdale.

L'acidité du milieu neutralise les fonctions acides, permettant ainsi le rapprochement des chaînes et l'établissement de liaisons hydrogène, la formation de ces liaisons est favorisée par la réduction de l'activité de l'eau. [37]

➤ **Bentonite :**

Est une argile en partie amorphe avec une composition variable elle contient plus de 75% de montmorillonite et d'autres minéraux d'argile tels que l'illite la kaolinite. Les bentonites se caractérisent par une capacité élevée d'adsorption et d'échange ionique.

Elles forment avec l'eau des solutions colloïdales qui flocculent lorsque les charges de surface sont neutralisées par des ions. [36] .

III.9. Facteurs influençant sur la coagulation-floculation :

Le processus de coagulation est complexe et peut être affecté par plusieurs facteurs, notamment les effets de la température, du pH et de l'alcalinité. Outre la dose de coagulant, la concentration en particules colloïdales, la couleur, la présence d'anions Les cations, l'intensité de mélange et le potentiel zêta sont importants.[02] .

a) Influence de la température :

La température joue un rôle important .dans une réaction chimique, La floculation est accélérée par l'élévation de température. La floculation des eaux froides est donc plus lente et moins complète que celle des eaux chaudes.

De plus, à mesure que la température diminue, la viscosité de l'eau augmente (la valeur de la viscosité passe de 1 à 2 entre 25 et 0°). Cette viscosité entrave le phénomène de décantation.

D'autre part, 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. [32]

b) Influence de la turbidité :

La turbidité affecte également 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 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. [32]

c) Influence du pH :

Le pH a une influence primordiale sur la coagulation. En ajoutant le coagulant modifie souvent le pH de l'eau.

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 [25] .

d) 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 restalinisation des particules et 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 se déterminer facilement. Pratiquement, la dose optimale de coagulant peut être déterminée soit par l'emploi de la mesure du potentiel zêta (nécessite un matériel très coûteux), soit par un test au laboratoire, connu sous le nom de "Jar-Test".[32]

e) Influence de la vitesse d'agitation :

Le temps et de la vitesse d'agitation sont des paramètres importants dans la formation des coagulants et floculants.

La coagulation nécessite une vitesse rapide, afin de bien mélanger l'eau et que les colloïdes et les cations métalliques se rencontrent et se neutralisent. Alors que la floculation nécessite une vitesse relativement lente, afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floes déjà formés [25].

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le procédé de coagulation-floculation comme une technique alternative aux traitements des eaux d'une façon générale ;et notamment des eaux de surface. Le procédé de la coagulation-floculation est essentiel dans l'étape de clarification des eaux ; c'est une technique qui se soit pratiqué comme une étape de prétraitement ou étape de finition .Elle est utilisée unique ou par combinaison avec des autres procédés. Cette technique est utilisée pour séparer les matières en suspensions ainsi que les matières colloïdales dans l'eau.

Cette méthode dépend de nombreux facteurs afin d'obtenir une eau prête à être envoyé au décanteur pour une clarification finale avant les utilisées ou le réutilisées ou bien avant de les rejettent dans l'environnement.

L'objectif principal de ce processus est d'éliminer ou de réduire certains des facteurs qui affectent la qualité de l'eau (turbidité et couleur),

Les Facteurs influençant sur la coagulation-floculation ont été présenté tels que : l'effet de la température, du pH, de la dose coagulant, du floculant, l'effet de la vitesse et du temps d'agitation.

Chapitre IV : Matériels et méthodes

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous y présentons le matériel et les méthodes utilisés pour effectuer les essais expérimentaux pour atteindre nos objectifs. En effet plusieurs dispositifs et appareillages ont été utilisés et par conséquent des plusieurs paramètres ont été mesurés et calculés par les matériels et les méthodes adéquates.

Nous définissons les réactifs de coagulants utilisés qui devront permettre de juger de l'efficacité du procédé de traitement étudié. Nous décrivons la méthode de coagulation-floculation basée sur les essais de jar-test pour étudier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau du barrage du Fontaine de Gazelle de la wilaya de Biskra.

Nous y présentons aussi la préparation et la caractérisation des coagulants et des flocculants utilisés.

L'appareillage d'expérimentation (jar-test), la procédure expérimentale, le mode prélèvement des échantillons, et les méthodes de dosage et les appareils de mesures et les analyses seront démontrée.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier les paramètres influençant le fonctionnement de la technique (C-F), tels que, le temps et la vitesse d'agitation, le temps de décantation, la dose optimale des coagulants (Sulfate d'aluminium et Chlorure ferrique) et d'un flocculant chimique (argile et charbon actif CAP), le pH initial et sur l'élimination/ réduction de la matière organique, la turbidité, le couleur, et d'autres paramètres tels que la DBO₅.

IV.2. Procédure expérimentale :

Pour objet de poursuivre le phénomène de la coagulation-floculation et l'amélioration l'efficacité des paramètres qui effectuent sur cette phénomène, Des séries d'essais sur Jar test en laboratoire ont été effectuées (Figure. IV.1). Par définition le Jar Test est un appareil couramment utilisé pour les essais de coagulation-floculation. Il est composé de 6 postes à vitesse réglable de 0 à 250 tr/min, un régulateur de vitesse et une minuterie. Les vases de floculation utilisés sont des béciers de forme haute de 95 mm de diamètre utile et d'une capacité de 1 L. Les agitateurs sont des pales rectangulaires de 2 x 5,5 cm et placées à 4 cm du fond du bécier.

IV.2.1. Mode opératoire en Jar-test :

Le déroulement de notre travail expérimental passe par les étapes suivantes :

- 1- Remplir les béchers (1 L ou 800 mL) par l'eau brute à traiter ;
- 2- A $t = 0$, ajouter le coagulant le plus rapidement possible avec une pipette et de façon identique dans chaque vase. Ajouter des doses croissantes de façon à encadrer la dose optimale présumée.
- 3- Mettre en route les agitateurs (100 – 200 tr/min pendant 2 à 3 min) : c'est la phase de coagulation (agitation rapide)
- 4- Après 2 min, ajouter le floculant en mettant une dose constante. Après 3 min, réduire la vitesse à 30 – 60 tr/min ; c'est la phase de floculation (agitation lente) ;
- 5- Laisser 15 à 30 min d'agitation lente, et laisser décanter tout en ayant arrêté et lever les pales ;
- 6- Après 10 – 60 min de décantation, prélever une quantité suffisante du surnageant (l'eau claire) dans chaque bécher, mesurer les paramètres de rendement choisis (pH, Turbidité ...)



Figure. IV.1 : Appareil du Jar test

Remarque

Pour l'étude du temps et de la vitesse d'agitation pour les deux phases (coagulation et floculation), une solution de l'échantillon d'étude (Turbidité 45 NTU) et une dose de 100 mg/L du sulfate d'aluminium ont été utilisées. Pour objectif de déterminer le temps optimal et nécessaire des deux phénomènes ainsi pour déterminer la vitesse d'agitation optimale pour les deux phénomènes (coagulation et floculation).

IV.3. Prélèvement des échantillons :

Selon le type et le but de l'analyse, les échantillons ont été prélevés à partir des plusieurs points de la partie amont du barrage du Fontaine de Gazelle.

Afin de réaliser une analyse physico-chimique, le prélèvement d'échantillons a été fait manuellement à l'aide d'une tige spéciale. Ces échantillons ont été versés dans des récipients ouverts et préservés dans des endroits bien protégés loin de tous facteurs de pollution. Les échantillons ont été prélevés sur deux étapes (mois de mars et mois d'avril) la première a été le 19 03 2022.

IV.4. Appareils de mesures et Analyses :

IV.4.1. Potentiel d'Hydrogène (pH) :

Les pH des échantillons prélevés sont mesurés par un pH mètre "Hanna, pH210" muni d'une électrode en verre contenant une solution de KCl de concentration 4M. Le pH initial a été varié entre 3.5 et 10.6 en utilisant une solution de HCl (0,1 N) ou une solution de NaOH (2N).

Les valeurs du pH des échantillons prélevés ont été mesurées par le pH-mètre de type "Hanna, pH210" équipé par une électrode en verre contenant une solution de KCl de concentration 4M. D'après les expériences préliminaires le pH initial a été varié entre 3.5 et 7.6 .pour l'ajustement du pH on à utiliser une solution Hcl (0,1 N) ou Hydroxyde de sodium NaOH (2N). Il est recommandé de déterminer le pH de l'eau afin de ne pas altérer l'équilibre.

La valeur du pH est lue directement sur l'afficheur de l'appareil pH-mètre, Le dispositif a été calibré à l'aide de trois solutions tampons de pH (pH = 4, 7 et 9).

Les ions sont générés en raison du transport ou du séjour plus ou moins prolongé de l'échantillon de l'eau dans un flacon.

➤ Mode opératoire :

L'étalonnage étant réalisé et l'appareil ayant acquis son régime de marche, l'électrode est plongée dans la solution à mesurer. La valeur du pH est lue directement sur l'écran de l'appareil de pH mètre.



Figure. IV.2 : Microprocesseur pH Mètre "Hanna pH 210"

➤ Température :

La valeur de la température est lue directement sur l'écran du pH-mètre pH 510 qui permet, en même temps, la mesure de la température de l'eau (multi-paramètres).

➤ Salinité

Pour la mesure de la salinité, nous avons suivi la méthode électrochimique de résistance à l'aide du conductimètre

IV.4.2. Mesure de la turbidité

La turbidité et l'absorbance sont mesurées sur le surnageant clair. Nous avons utilisé un appareil de type Hanna instruments "HI88703" comportant une diode infrarouge de longueur d'onde 890 nm et un détecteur de lumière réfléchi qui est un appareil à lecture directe pour la mesure de la turbidité. La mesure est basée sur l'absorption par les particules en suspension. L'unité utilisée pour la turbidité est la Néphélométrie Turbidity Unit (NTU). Le rendement d'élimination des paramètres étudiés (Turbidité, DBO5) Y (%) est déterminé par la relation suivante :

$$Y(\%) = \frac{(Y_i - Y_f)}{Y_i} \times 100$$

Y_i et Y_f : représentent les concentrations de la solution avant et après traitement par C-F



Figure. IV.3: Turbidimètre Hanna "HI88703"

IV.4.3. La spectrophotométrie

➤ Mesure de l'absorbance :

L'absorbance des différents prélèvements se mesure sur le surnageant clair. Ces mesures se font en spectrométrie UV visible de marque UV-2401PC après la prise de ligne de base avec de l'eau déminéralisée. L'absorbance permet d'estimer la coloration des effluents de façon indirecte .[12]

La technique de spectrophotométrie est basée sur la propriété de la matière et plus particulièrement de certaines molécules, il consiste à absorber certaines longueurs d'ondes du spectre UV-visible. Elle permet de réaliser des dosages grâce à la relation de proportionnalité entre l'absorbance et la concentration. [2]

➤ Mode d'opérateur :

La mesure de l'absorbance sur spectrophotomètre se réalise selon les actions suivantes :

- Mettre en marche le spectrophotomètre on/off.
- Sélectionner le mode absorbance (λ). (290)
- Introduire la cuve de référence (blanc) dans la porte cuve, et mettre à zéro l'absorbance.
- Programmer la longueur d'onde désirée.
- Enlever la cuve de référence.
- Introduire une à une les cuves des échantillons à mesurer et lire l'absorbance.
- De temps à autre passer la balance pour vérifier le calage de l'appareil

L'absorbance des différents prélèvements se mesure sur le surnageant clair. Ces mesures se font en spectrométrie UV .



Figure.IV.4 : Dispositif représentant le spectrophotomètre utilisé

IV.4.4. la conductivité (CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) :

La conductivité électrique d'une eau augmente avec la teneur en sels électrolytables dissous, la valeur de la CE est lue directement sur l'écran du conductimètre. Hanna, EC214 conductimètre "



Figure.IV.5 : Conductimètre " Hanna, EC214 "

V.4.5. Autres équipements :

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

- Une balance électronique.
- Les béchers.
- Pipette, pissette.
- Erlenmeyer pour la préparation de la solution.



Figure. .IV.6: la balance de laboratoire utilisé.



Figure IV.7 : différents béchers utilise (1000 ml / 500 ml /100 ml)

IV.4.6. Mesure de la demande biochimique en oxygène DBO₅

La demande biochimique en oxygène (DBO) est une expression qui exprime la quantité d'oxygène utilisée pour détruire la matière organique décomposable par des processus biochimiques. La mesure de la DBO₅ est réalisée suivant d'une méthode manométrique basée sur le principe du respiromètre WARBURG (par prise de mesures de pression en système clos), au cours de laquelle la respiration de la biomasse est mesurée directement par l'appareil. Un volume d'échantillon a été placé dans un flacon avec un couvercle en verre dépoli. à bouchon rodé. [10]

IV.4.6.1 Principe de la méthode manométrique

Une quantité d'eau est versée dans une bouteille d'incubation de 510 ml, fermée avec un bouchon muni d'un capteur de pression (oxytop). Le volume choisi est fonction de la gamme de mesures souhaitée. L'appareil de mesure, de type OxiDirect (BSB BOD), est placé dans un réfrigérateur maintenu à 20 °C. On suit ensuite, en fonction du temps, soit tous les jours pendant 5 jours pour la DBO₅, la consommation d'oxygène, qui se traduit par une diminution de la pression d'air. L'oxydation des matières organiques provoque la formation de CO₂ qui

sera piégé par une solution de l'hydroxyde de potassium (KOH) qui se trouve dans le joint caoutchouc du flacon. Ainsi il se développe une dépression dans la bouteille.

L'ajout de l'inhibiteur de nitrification (ATH : allyle 2 thio-urée) permet de freiner la nitrification, car l'oxydation des dérivés ammoniacaux et des nitrites en nitrates absorbe également de l'oxygène. Cette amine joue un rôle d'inhibiteur. [10]

➤ Mode opératoire

- Evaluer la plage de mesure de l'échantillon à analyser et choisir le volume d'échantillon selon le tableau ci-dessous
- Mesurer exactement le volume d'échantillon à l'aide du ballon de débordement et le verser dans un flacon DBO (éventuellement utiliser un entonnoir)
- Introduire un barreau d'agitation dans le flacon DBO
- Ajouter les gouttes nécessaires d'ATH (tableau ci-après) dans le flacon
- Visser la sonde DBO sur le flacon
- Poser l'échantillon sur le support à flacons
- Mettre l'appareil en marche en appuyant sur la touche ON/OFF
- Incuber l'échantillon à 20 °C.
- Relever les valeurs après 5 jours.



Figure IV.8: DBO-mètre "OxiDirect"

Le Tableau ci-dessous permet de représenter le Volume d'échantillon en fonction de la gamme de la DBO₅ pour le dispositif utilisé de type **OxiDirect**"

Tableau II.3 : Volume d'échantillon en fonction de la gamme de la DBO₅

Gamme de la DBO ₅ (mg O ₂ /L)	Volume de l'échantillon (mL)	Dosage ATH
0 - 40	428	10 gouttes
0 - 80	360	10 gouttes
0 - 200	244	5 gouttes
0 - 400	157	5 gouttes
0 - 800	94	3 gouttes
0 - 2000	56	3 gouttes
0 - 4000	21,7	1 goutte

IV.5. Préparation des coagulants :

Les réactifs chimiques utilisés dans cette étude sont le sulfate d'aluminium (Al₂(SO₄)₃.18H₂O), les chlorures ferriques (Fe Cl₃). Le choix de ces coagulants est justifié par leurs disponibilités aux niveaux du laboratoire, et ils sont utilisés à grande échelle dans les stations de traitement des eaux en fonction de son disponibilité au marché et en fonction de son prix.

La solution mère des coagulants utiliser est préparée quotidiennement avec de l'eau distillée.

La figure nous montre les étapes à suivre pour la préparation de la solution

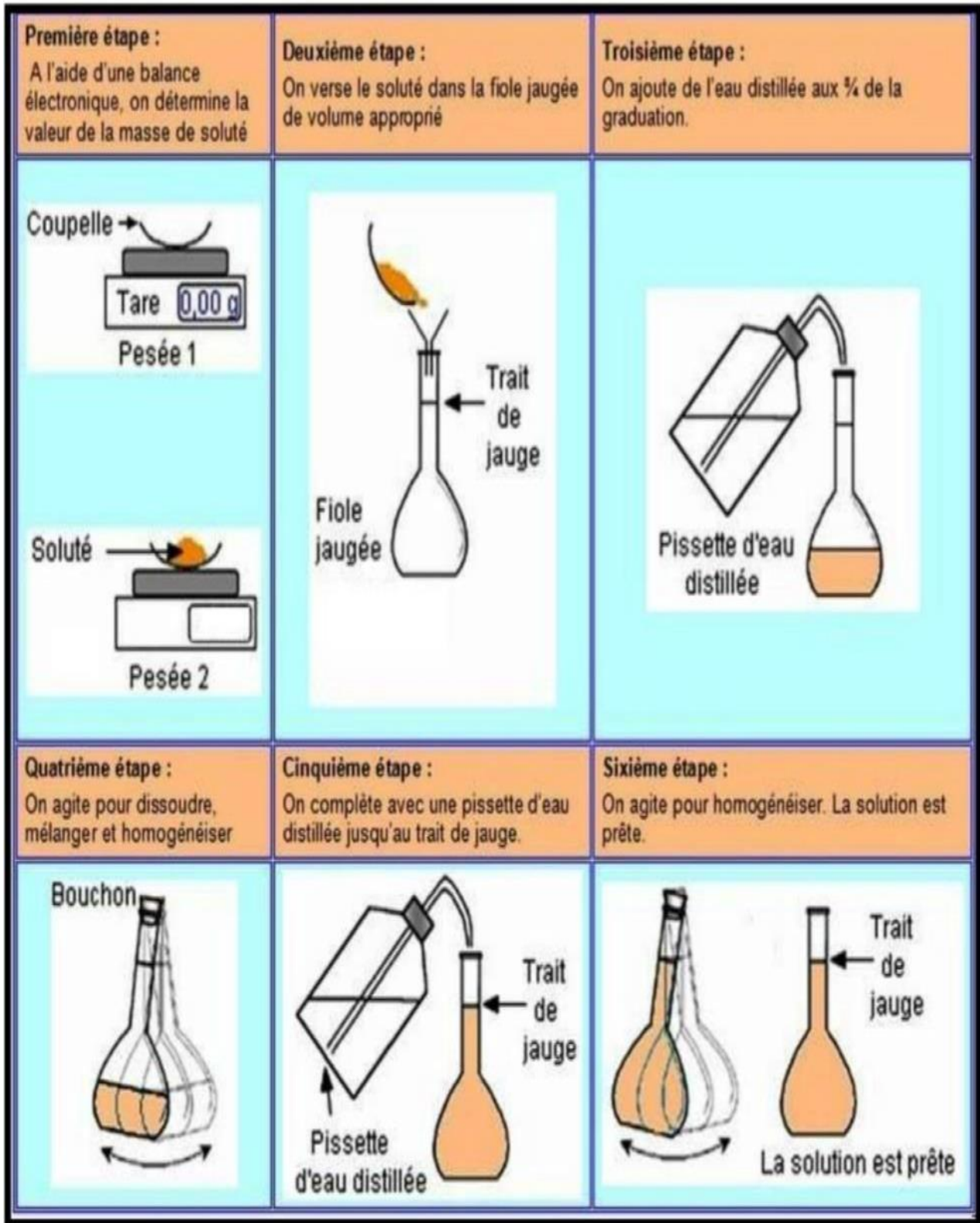


Figure. IV.9 : mode opératoire de préparation de la solution mère

IV.5.1. Préparation du sulfate d'aluminium :

On pose la capsule sur le plateau de la balance de précision. On tare la balance pour qu'elle affiche 0. Grâce à la spatule, on place la masse souhaitée de sulfate d'alumine 20g d'une pureté de 98% dans la capsule en s'aidant de la partie plus fine de cette spatule pour terminer ou pour enlever du solide si on a dépassé la masse voulue. Après on transvase le contenu de la capsule dans un bécher posé sur un agitateur magnétique et contenant un barreau aimanté ainsi que de l'eau distillée à raison de 50 à 70 % du volume final de la solution.

Ensuite on rince la capsule avec de l'eau distillée d'une pissette pendant que le barreau aimanté tourne. On verse le contenu du bécher dans une béciers de 1litre munie d'un entonnoir.

En fin on complète avec une pissette d'eau distillée jusqu'au trait de jauge, on laisse reposer, on bouche et on pose une étiquette d'identification.

IV.5.2. Dose du coagulant (Sulfate d'aluminium ⁽¹⁾ et Chlorure ferrique ⁽²⁾)

Une solution mère de 10 g/L est préparée périodiquement par dissolution du coagulant dans de l'eau distillée. Cette solution permet un ajout de faibles quantités pour les doses voulues de coagulant.

$$C_m \cdot V_m = C_f \cdot V_f \Rightarrow V_m = (C_f \cdot V_f) / C_m$$

C_m : concentration de la solution mère (mg/L),

V_m: volume à prélever de la solution mère (ml)

C_f: concentration de la solution fille (mg/L),

V_f : volume de la fiole où on va mettre le volume

Prélevé (**V_m**) ou le volume de la solution à traiter (ml).

Exemple :

Solution mère (Coagulant) : C_m = 10 g/L = 10000 mg/L (eau distillée)

C(SA)mg/l	50	100	150	200	250	300
V _M (SA)ml	1.26	2.5	3.75	5	6.25	7.5

⁽¹⁾ *Sulfate d'aluminium* : Al₂ (SO₄)₃, 18H₂O, ⁽²⁾ *Chlorure ferrique* FeCl₃, 6 H₂O

IV.6. Protocole expérimentale :

Afin d'atteindre nos objectifs, diverses expériences sont entreprises pour étudier l'influence des particules solide sur la coagulation floculation. Le protocole expérimental de chaque expérience est présenté dans ce qui suit :

IV.6.1. Effet du temps et de la vitesse d'agitation :

Le temps et de la vitesse d'agitation sont des paramètres important dans la formation des coagulants et floculant. La coagulation demande une vitesse d'agitation rapide afin que le coagulant et les particules se rencontrent et se neutralisent, alors que la floculation nécessite une vitesse relativement lente afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes sans détruire les floccs déjà formés. On cherche à obtenir au final une eau plus limpide et des floccs volumineux pour faciliter leur décantation.

Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de présenter le matériel et la procédure expérimentale suivie pour la réalisation de nos essais en laboratoire.

Chapitre V : Résultats et discussions

V.1. Introduction :

Notre travail pour ce chapitre sera destiné à pour objet de l'évaluation de la performance du technique du traitement des eaux de type physico chimique nommé procédé de coagulation floculation, pour notre cas c'est le traitement des eaux de surface.

Les travaux d'expérience ont été mise en œuvre pour examiner l'effet des paramètres de fonctionnement du procédé, tels que, la vitesse et le temps d'agitation, le temps de décantation, la dose et le type du coagulant, l'effet du floculant, l'effet du pH.

Comme échantillon, nous avons apporté de l'eau du barrage appelé Barrage de la Fontaine de gazelles, les essais ont été réalisés en laboratoire et le traitement et l'épuration des eaux du Département d'Hydraulique de l'Université Mohamed Boudiaf de M'Sila sur des échantillons d'eaux de surface turbides.

V.2. Les objectifs de travail :

L'objectif de ce travail était d'optimiser les paramètres de fonctionnement du procédé, tels que :

- ❖ La vitesse et le temps d'agitation ;
- ❖ Le temps de décantation ;
- ❖ La dose et le type du coagulant ;
- ❖ L'effet du floculant ;
- ❖ Le pH initial.

V.2. Effet du temps et de la vitesse d'agitation :

Le temps et la vitesse des agitations sont des paramètres importants et effectifs plutôt influents dans la formation des coagulants et floculats.

En effet l'étape de la coagulation besoin une vitesse rapide, afin de bien mélanger la solution et déstabiliser les colloïdes et permet pour les colloïdes et les cations métalliques se rencontrent et se neutralisent, alors que la floculation nécessite une vitesse relativement lente, afin de favoriser la rencontre et l'agrégation des colloïdes mais sans détruire les floccs déjà formés.

V.3.1. Cas de la coagulation :

D'autant que cette étape besoin d'une vitesse rapide, les vitesses étudiées sont 150, 200 et 250 tr/min. Les temps d'agitations testées sont pour 2 minutes et pour 3 minutes. Pour chaque vitesse nous avons varié la durée d'agitation. Dans cette étape la dose du coagulant utilisé de sulfate d'aluminium a été fixée à 100 mg/L. Après chaque temps d'agitation rapide, on réduit la vitesse à 45 tr/min pendant 17 min d'agitation. Après ce temps, l'appareil s'éteint, on lève les outils d'agitation et on laisse décanter pendant 60 min. Chaque 10 min, un échantillon de 25 ml de surnageant est prélevé avec une pipette dans chaque béccher, sans perturbation du liquide pour l'analyse. Les résultats obtenus sont représentés sur les figures suivantes :

(Figure V.1).

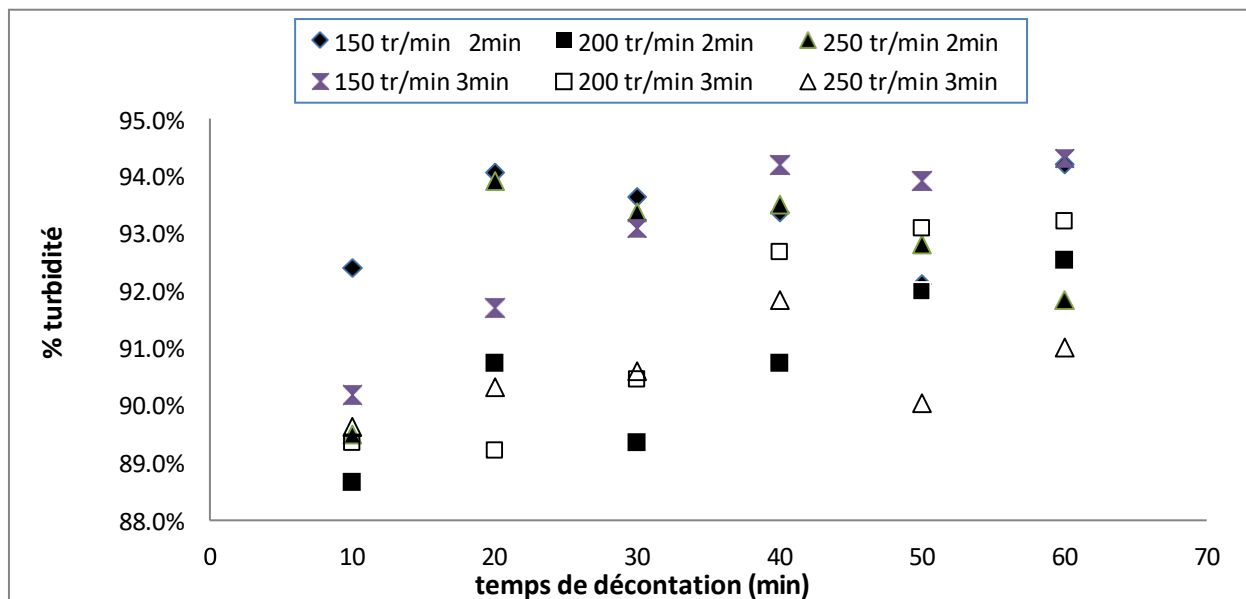


Figure V.1 : Effet du temps et de la vitesse d'agitation sur l'élimination de la turbidité (Coagulation) : C(SA) = 100 mg/L, pH initial = 8.3

D'après la **figure V.1** on voit que les résultats de 150 tr/min pendant 3 min et de 150 tr/min pendant 2 min sont proches. Pour cela et pour toutes nos expériences ultérieures de notre travail, une agitation rapide de 150 tr/min pendant 3 min sera prise comme une vitesse de la coagulation optimale. D'un autre coté les résultats expérimentaux montrent que le taux d'élimination de la turbidité augmente avec le temps de décantation

V.3.2. Cas de la floculation :

Basant sur les résultats précédents et tant que nous avons choisir une agitation rapide de 150 tr/min pendant 3 min comme une vitesse optimale de la coagulation. En fixant la vitesse de la coagulation à 150 tr/min durant 3 min d'agitation, et pour les mêmes solutions et de coagulant, on fixe l'agitateur mécanique de la floculation à la vitesse voulue (30,45 et 60 tr/min). Et pour chaque vitesse, on varie le temps d'agitation lente (17 et 20 min). Juste après l'arrêt de l'appareil et la levée des hélices d'agitation, on laisse décanter pendant 60 min.

L'analyse des échantillons prélevés nous donne la figure suivante (Figure V.2) .

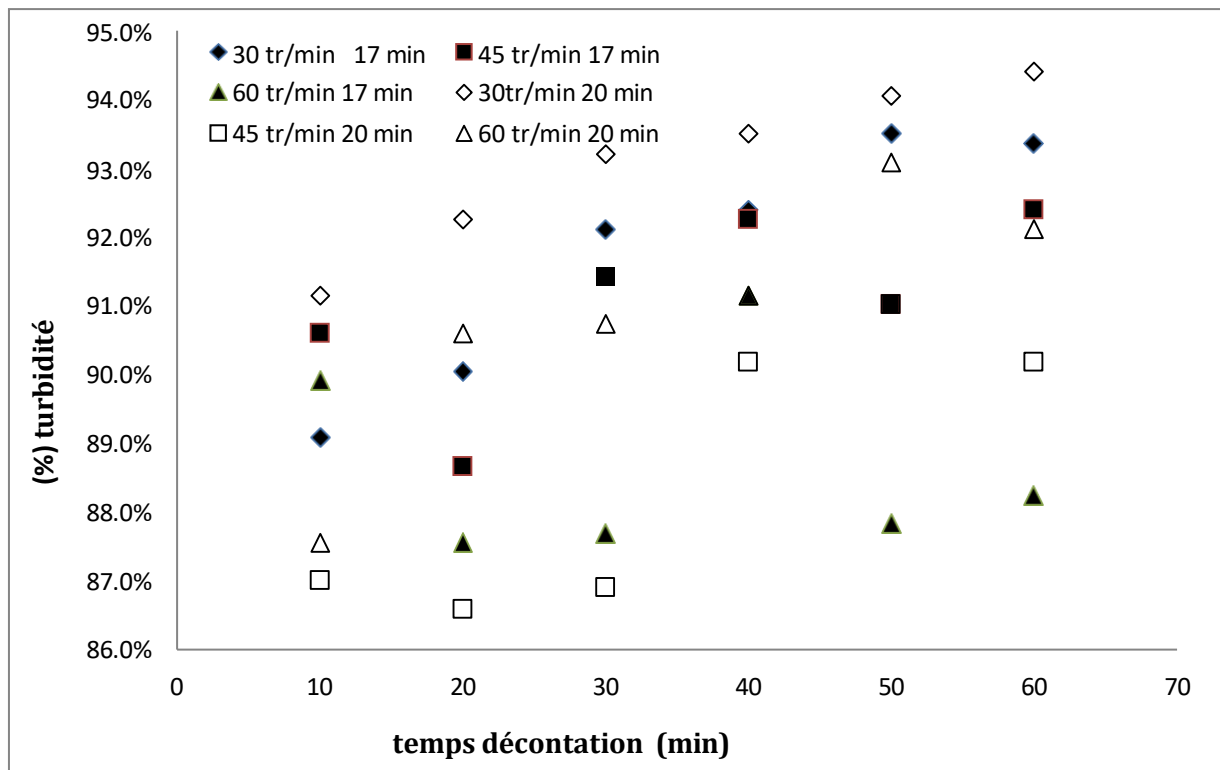


Figure V.2 : Effet du temps et de la vitesse d'agitation sur l'élimination de la turbidité (Floculation) : C(SA) = 100 mg/L, pH initial = 8.3

D'après les résultats obtenus qui montrent que les meilleurs taux d'élimination de la turbidité ont été enregistrés pour une vitesse de 30 tr/min pendant 20 min et 17 tr/min pendant 17 min d'agitation. Ces deux résultats qui sont proches. Avec un avantage pour une vitesse de 30 tr/min pendant 20 min – pour cela on opte pour une agitation lente de 30 tr/min pendant 20 min sera prise comme la vitesse de la floculation pour les prochaines expériences.

V. 4. Effet de la dose du coagulant (Sulfate d'alumine) :

V.4.1. En absence du floculant

L'effet de la dose du sulfate d'aluminium est illustré dans la **figure (V.3)**. Tous les paramètres ont été maintenus constants ($V_{\text{coag.}} = 150$ tr/min, temps d'agitation rapide = 3 min, $V_{\text{floc.}} = 30$ tr/min, temps d'agitation lente = 20 min), excepté la concentration du coagulant.

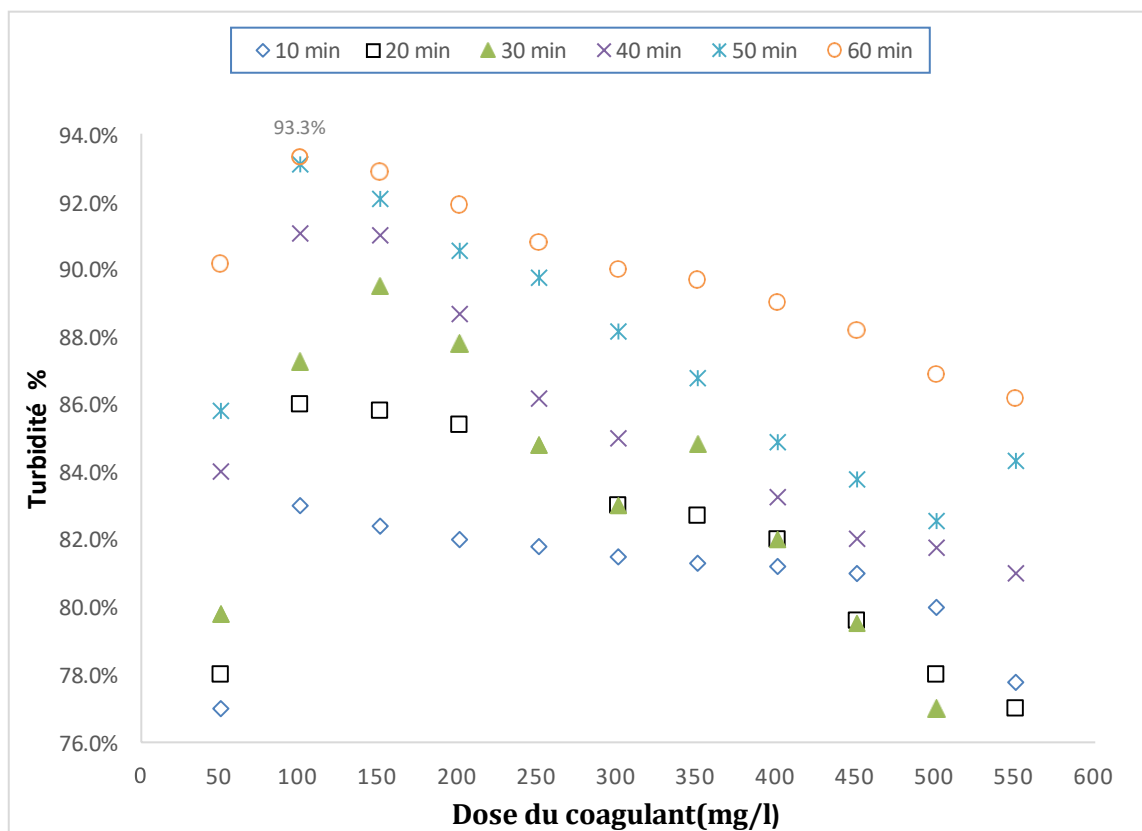


Figure V.3 : Effet de la dose du coagulant (SA) et du temps de décantation, sur l'élimination de la turbidité : pH initial = 8.2

- On voit clairement que le taux d'élimination de la turbidité augmente avec l'augmentation de la dose du coagulant et de temps de décantation pour les premières concentrations (50 – 100mg/L). -

Comme le montre cette figure, un taux maximal de ($Y_{\text{Turb}} = 93,3\%$) est enregistré pour une dose de 100 mg/L du coagulant après une heure de décantation (60 minute). Pour des doses supérieures à 100 mg/L, on voit l'effet inverse, c'est-à-dire, le taux diminue et ce en raison de la précipitation étendue de l'excès d'hydroxyde d'aluminium, qui gêne légèrement la coagulation [69]. Il est à noter que le temps de décantation a une influence sur l'abattement de la turbidité.

V.5. Effet de la dose du coagulant (Chlorure ferrique) :

V.5.1. En absence du floculant :

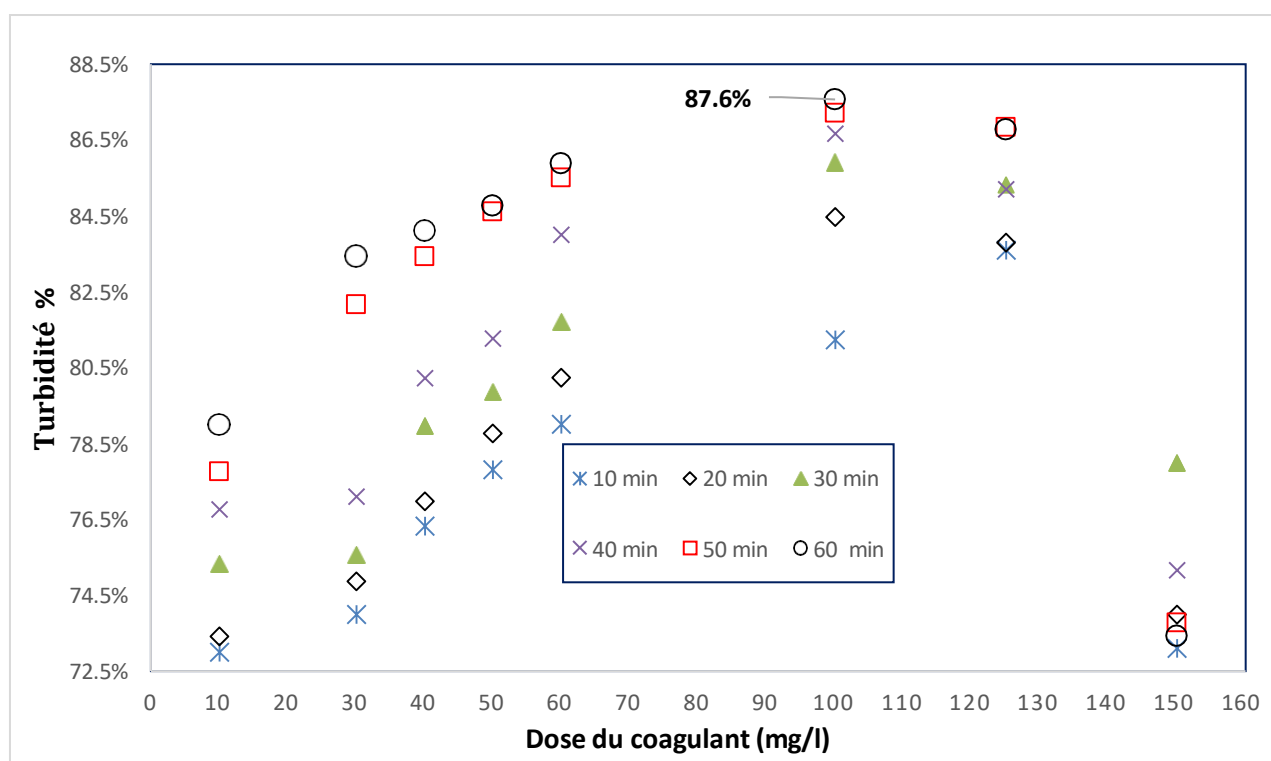


Figure V.4 : Effet de la dose du coagulant (FeCl_3) et du temps de décantation, sur l'élimination de la turbidité : pH initial = 8.5

D'après la **figure (V.4)** : on voit que l'allure des courbes d'élimination de la turbidité en fonction de la dose du coagulant est semblable à celle obtenue pour le cas de sulfate

d'alumine. Le maximum d'abattement ($Y_{Turb} = 87.6 \%$) correspondant à la plus faible valeur de la turbidité est enregistré à une dose de 100 mg/L de $FeCl_3$.

V.6. Effet du pH initial :

L'effet du pH initial est l'un des principaux paramètres jouant un rôle important dans l'efficacité de la plupart des réactions chimiques et particulièrement de la coagulation-floculation par la formation des précipités tels que, $Al(OH)_3$ et $FeCl_3$

V.6.1. En présence de sulfate d'alumine :

Pour objet d'étudier l'effet de ce paramètre, le pH initial a été varié de 2 à 12 en utilisant une solution de HCl (0.1 N) ou une solution de NaOH (2 N) , (figure (V.5))

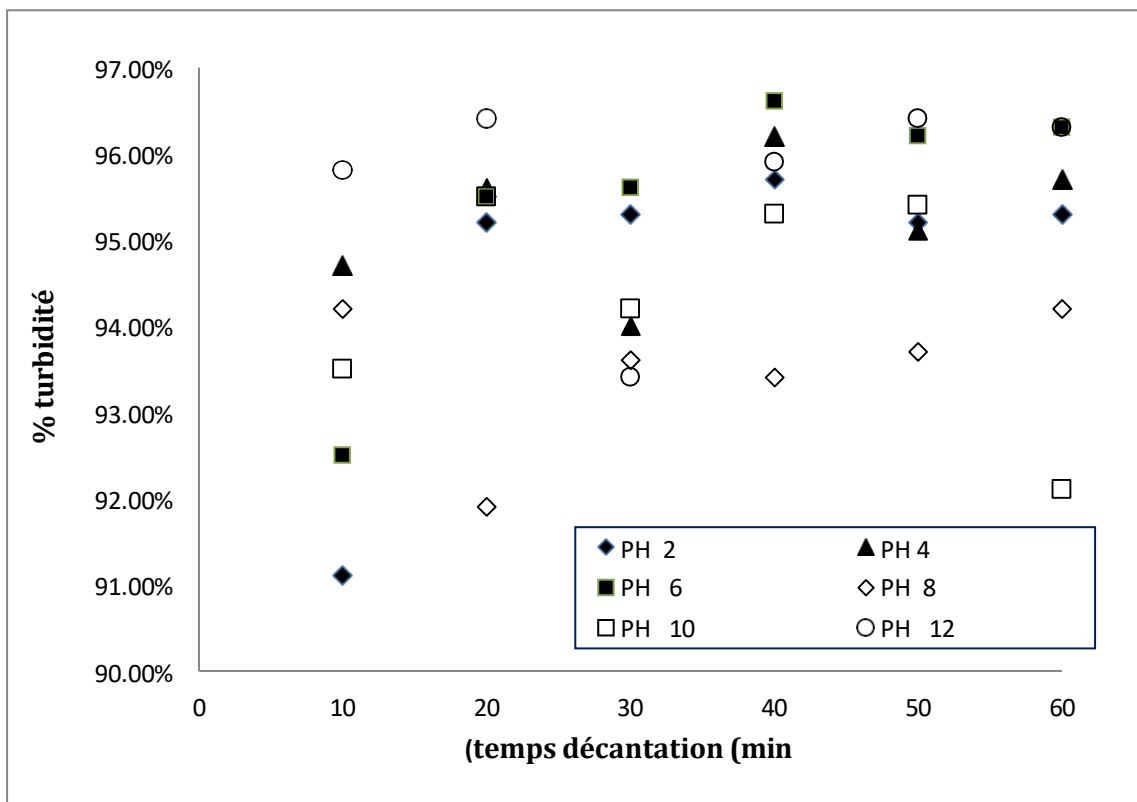


Figure V.5 : Effet du pH initial sur l'élimination de la turbidité,
C (SA) = 100 mg/L

La figure (V.5) : montre que le taux d'élimination Y_{Turb} dépasse 91 % pour les pH (2 - 12) et le maximum d'élimination de la turbidité a été observé à un pH de 6 avec $Y_{Turb} = 96,6 \%$

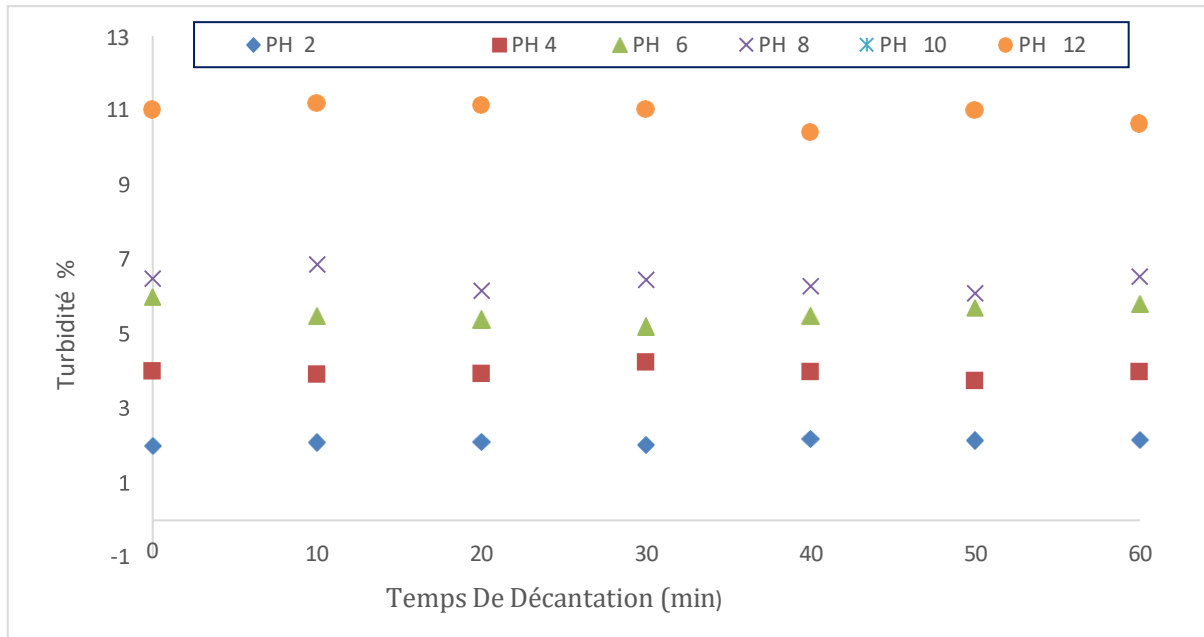


Figure V.6 : Évolution du pH au cours de la C-F en présence de SA

Le pH a changé pendant la période de traitement par C-F et son évolution dépend du pH initial.

On remarque un certain pouvoir tampon en raison d'une balance entre la production et la consommation de OH^- et du besoin de la neutralisation de la charge avant la transformation finale des composés solubles du coagulant sous forme d'hydroxyde d'aluminium ($\text{Al}(\text{OH})_3$) la figure (V.6)

V.7. Effet de la dose du flocculant :

À partir des concentrations optimales des coagulants déterminées précédemment, une série d'essais avec des différents flocculants seront réalisés. En utilise deux flocculants le charbon actif en poudre CAP et l'argile.

V.7.1 .En Présence de sulfate d'alumine et du charbon actif :

Le flocculant étudié c'est le charbon actif en poudre avec des doses croissantes, afin de voir l'effet de l'ajout du flocculant, nous avons testé les concentrations suivantes : 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 et 0.3 mg/L.

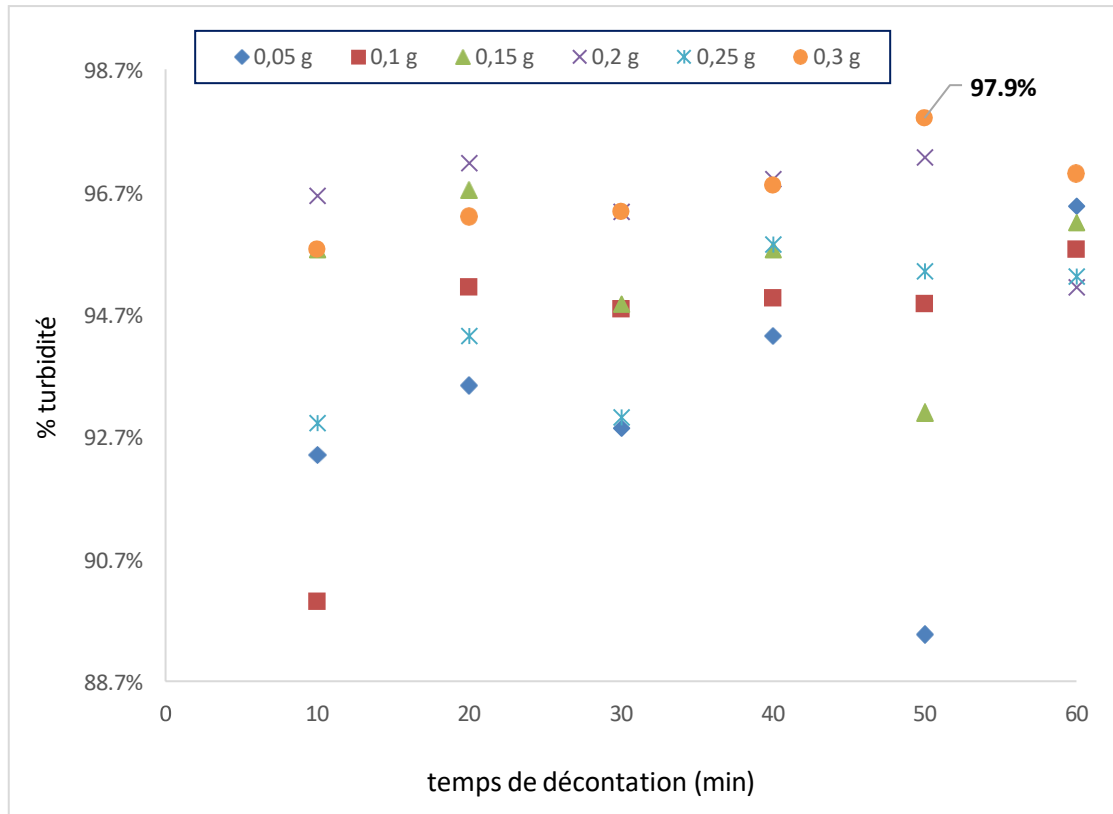


Figure V.7 : Effet De La dose du flocculant (Charbon Actif) en présence du SA sur l'élimination de la turbidité : C (SA) = 100 Mg/L, pH initial = 8,04

La figure (V.7) : montre le taux d'abattement de la turbidité en présence de sulfate d'alumine et du charbon actif. Nous avons vu que le maximum d'abattement de la turbidité est atteint à **97.9 %** qui a été observé pour une concentration de 0.20 g. Par comparaison le taux observé en absence du flocculant comme le montre la **Figure (V.3)**, on a enregistré un taux maximal de ($Y_{Turb} = 93,3\%$) après une heure de décantation (60 min). soit une augmentation d'environ **4.6 %**.

V.7.2 .En Présence de sulfate d'alumine et du l'argile :

Le flocculant étudié c'est l'argile avec des doses croissantes, afin de voir l'effet de l'ajout du flocculant, nous avons testé les concentrations suivantes : 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 et 0.3 mg/L.

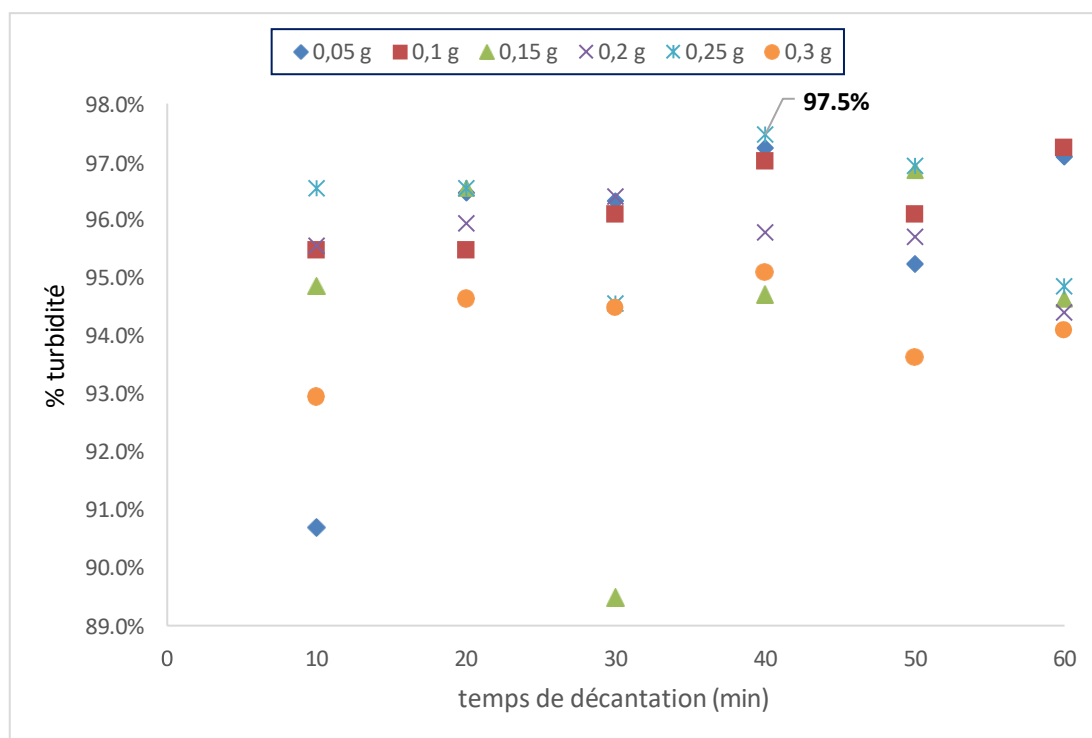


Figure V.8 : Effet de la dose du flocculant (l'argile) en présence du SA sur l'élimination de la turbidité : C (SA) = 100 mg/L

La figure (V.8) : montre le taux d'abattement de la turbidité en présence de sulfate d'alumine et l'argile. Nous avons vu que le maximum d'abattement de la turbidité est atteint à ($Y_{Turb} = 97.5\%$) qui a été observé pour une concentration de 0.25 g. Par comparaison le taux observé en absence du flocculant comme le montre la Figure (V.3), On a enregistré un taux maximal de ($Y_{Turb} = 93,3\%$) après une heure de décantation (60 minute). soit une augmentation d'environ **4.2 %**.

V.7.3 .En Présence de Chlorure ferrique ($FeCl_3$) et du charbon actif :

Le flocculant étudié c'est le charbon actif en poudre avec des doses croissantes, Afin de voir l'effet de l'ajout du flocculant, nous avons testé les concentrations suivantes : 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 et 0.3 mg/L.

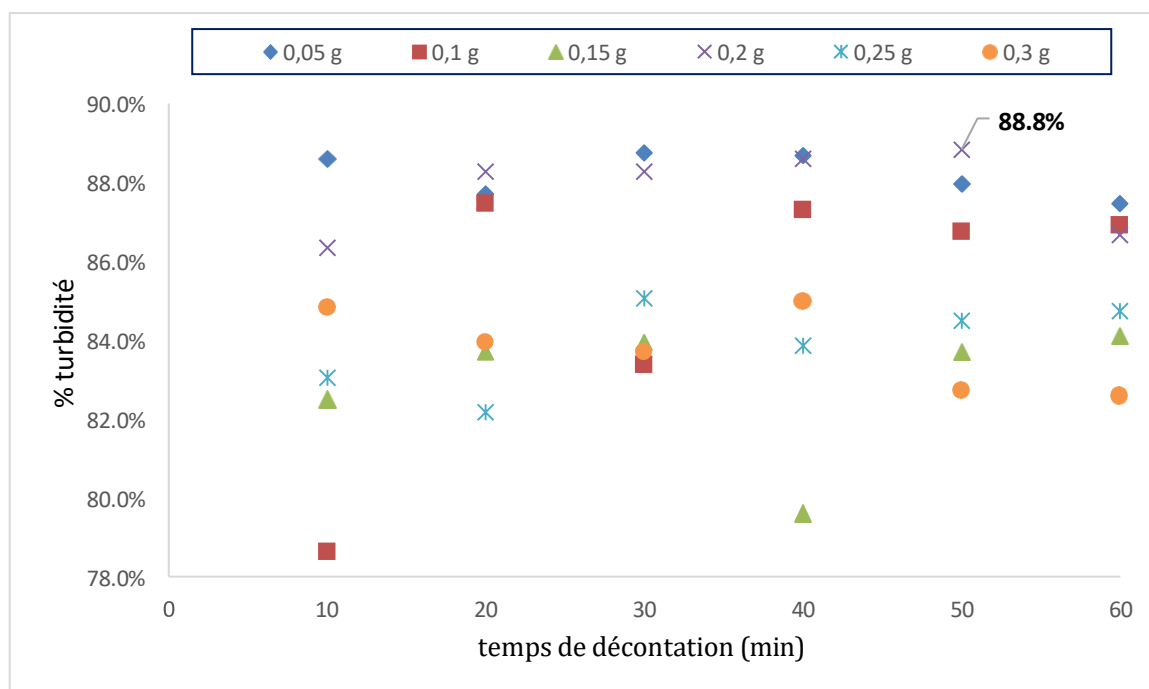


Figure V.9 : Effet de la dose du floculant (charbon actif) en présence du FeCl₃ sur l'élimination de la turbidité : C (FeCl₃) = 100 mg/L

La figure (V.9) : montre le taux d'abattement de la turbidité en présence de de Chlorure ferrique et du charbon actif. Nous avons voir que le maximum d'abattement de la turbidité est atteindre à ($Y_{Turb} = 88,8 \%$) qui a été observé pour une concentration de 0.05 g. Le taux maximum d'abattement observé en absence du floculant est de ($Y_{Turb} = 87,6 \%$), soit une réduction d'environ **1.2 %**.

V. 6.4. En Présence de Chlorure ferrique (FeCl₃) et de l'argile :

Le floculant étudié c'est l'argile en poudre avec des doses croissante, Afin de voir l'effet de l'ajout du floculant, nous avons testé les concentrations suivantes : 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 et 0.3 mg/L.

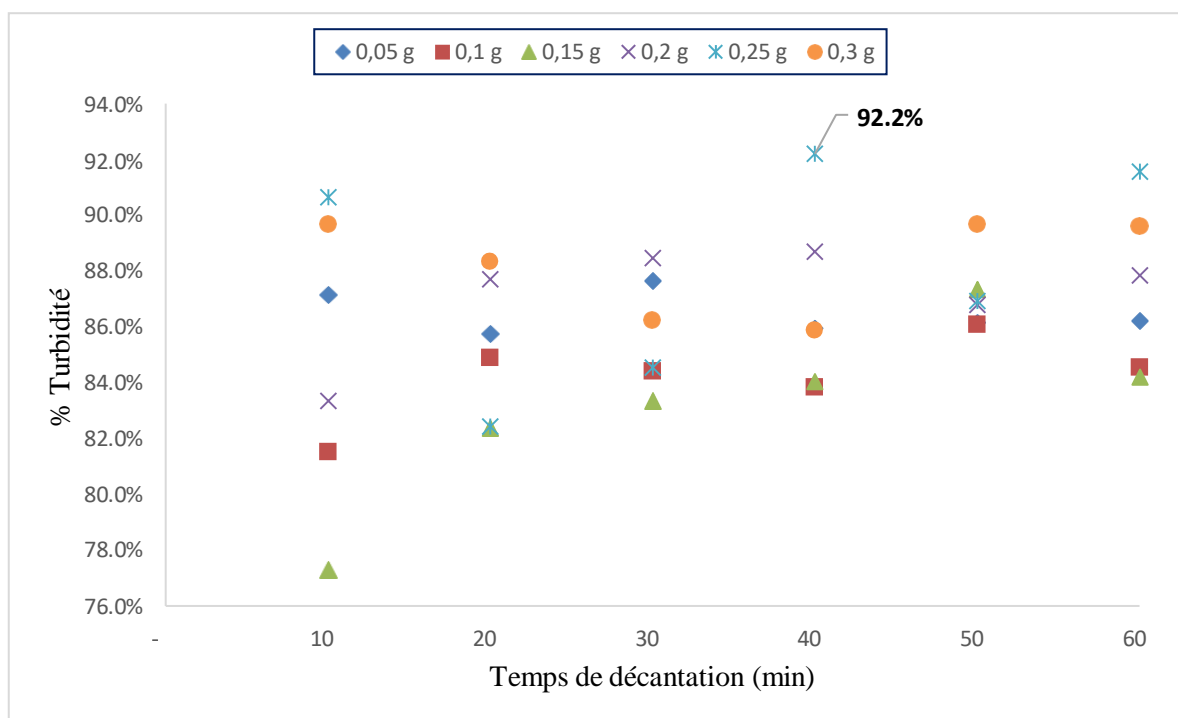


Figure V.10 : Effet de la dose du flocculant l'argile en présence du FeCl_3 sur l'élimination de la turbidité : $C(\text{FeCl}_3) = 100 \text{ mg/L}$

La figure (V.10) : montre le taux d'abattement de la turbidité en présence de Chlorure ferrique et de l'argile. Nous avons voir que le maximum d'abattement de la turbidité est atteindre à ($Y_{\text{Turb}} = 92,2 \%$) qui a été observé pour une concentration de 0.25 g. Le taux maximum d'abattement observé en absence du flocculant est de ($Y_{\text{Turb}} = 87,6 \%$). Soit une réduction d'environ **4,6 %**.

Conclusion :

Dans ce chapitre et afin d'estimer l'influence de quelques des paramètres spécifiques influençant le procédé de coagulation-floculation qui est considéré une étape importante pour le traitement des eaux particulièrement les eaux de surface soit comme étape de prétraitement ou étape de finition, une série des essais a été réalisée au niveau de laboratoire de traitement des eaux de la faculté de la technologie de l'université de M'sila. Les paramètres optimisés sont appliqués sur un échantillon réel provient du barrage de la fontaine de gazelle (W de Biskra).

Les résultats obtenus par application de cette technique permettent de montré l'efficacité de ce procédé pour un abattement efficace de la turbidité même pour des concentrations élevées. Les coagulants de sulfate d'alumine (SA) et de chlorure ferrique (FeCl_3) ont été utilisée en absence d'un flocculant et en présence d'un flocculant. Supérieure par rapport au chlorure ferrique (FeCl_3), en plus par utilisation des flocculants comme des adjuvants avec les deux coagulants les résultats obtenus montrent une amélioration de taux d'abattement de la turbidité.

Conclusion générale

L'eau est l'un des éléments que l'on trouve en plus grande abondance sur la planète Terre. Qu'elle soit sous forme liquide, solide ou gazeuse, qu'il s'agisse d'eau salée ou d'eau douce, l'eau se trouve partout sur notre planète, en plus ou moins grande abondance. Et heureusement, car l'eau est un élément essentiel à la vie, l'élément le plus étroitement lié à la possibilité du développement des différents types de vie sur la planète Terre.

L'objectif de cette étude est de traiter les eaux de surface par la technique / procédé de coagulation et floculation cette technique est effectuée par plusieurs facteurs et paramètres.

- La vitesse et le temps d'agitation ;
- Le temps de décantation ;
- Le type / la nature de l'eau à traité
- La concentration et le type du coagulant ;
- La concentration du floculant ;
- Le pH initial.

Au terme de cette étude, on peut conclure que :

- La vitesse d'agitation pour la coagulation doit être rapide en un temps de mélange très court (150 tr/ min - 3 minutes).
- La vitesse d'agitation de floculation doit être lente en un temps de mélange moyen (30 tr/min - 20 min).
- La dose optimale du coagulant testé sulfate d'aluminium est de 100 mg/L.
- La dose optimale du floculant du charbon actif en poudre pour l'élimination de la turbidité avec le sulfate d'aluminium est de 0.20 g, et celui de chlorure ferrique est de 0.05 g.
- La dose optimale du floculant naturel (argile) pour l'élimination de la turbidité avec le sulfate d'aluminium est de 0.25g et celui du chlorure ferrique est aussi de 0.25 g.

1- Par l'utilisation du le coagulant sulfate d'alumine (SA) en absence de floculant le taux d'abattement de la turbidité a enregistré un maximum environs (**93,3%**) pour une dose de 100 mg/L du coagulant après une heure de décantation (60 minute). Par contre l'utilisation du coagulant Chlorure ferrique ($FeCl_3$) en absence de floculant le taux d'abattement de la

Conclusion générale

turbidité a enregistré un maximum environs (**87,6%**) pour une dose de 100 mg/L du coagulant.

2- Par l'utilisation du flocculant du charbon active en poudre (CAP) avec le coagulant sulfate d'alumine (SA) le taux d'abattement a enregistré un maximum d'abattement de la turbidité environs (**97.9 %**) ce résultat a été marqué pour une concentration de flocculant du CAP de 0,2 g.

3- Par l'utilisation du flocculant d'argile avec le coagulant sulfate d'alumine (SA) le taux d'abattement a enregistré un maximum d'abattement de la turbidité environs (**97.5 %**).

Ce résultat a été marqué pour une concentration de flocculant d'argile de 0,25 g.

4- Par l'utilisation du coagulant Chlorure ferrique (FeCl₃) en combinaison avec du flocculant du charbon active en poudre (CAP) le taux d'abattement a enregistré un maximum d'abattement de la turbidité environs (**88,8 %**) cette résultat a été marqué pour une concentration de flocculant du CAP de 0,05 g

5- Par l'utilisation du coagulant Chlorure ferrique (FeCl₃) en combinaison avec du flocculant de l'argile le taux d'abattement a enregistré un maximum d'abattement de la turbidité environs (**92,2 %**) cette résultat a été marqué pour une concentration de flocculant de l'argile de 0,25 g.

De ce fait, le processus de C-F peut être considéré comme un processus efficace et fiable qui permettre d'obtenir un abattement significative de la turbidité dans les eaux de surface. Et comme tous les procédés l'efficacité de cette technique est conditionnée par plusieurs paramètres notamment :

- La vitesse et le temps d'agitation ;
- Le temps de décantation ;
- La concentration et le type du coagulant ;
- La concentration du flocculant ;
- Le pH initial.

À titre de perspectives, l'utilisation d'un seul technique de traitement s'avère insuffisante et nécessite de rechercher d'autres techniques pour optimiser le traitement des eaux, d'autre part la combinaison de deux techniques peuvent être plus efficace.

Conclusion générale

D'autres travaux peuvent être envisagés ultérieurement :

- Étude comparative avec d'autres techniques de traitement telles que, l'électrocoagulation, l'adsorption ...
- Chercher à l'utilisation des autres coagulants et flocculants chimiques ou bien naturels (bentonite, alginates,; chitosane...).

Références bibliographiques

[1] <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites/quelles-eaux-a-traiter-pourquoi/les-eaux-naturelles>

[2] CHENNAFI ,B ALZAHRAA ,DOAUDI A ,Traitement des Eaux de Surface du Barrage El K'sob par Coagulation Flocculation 2021

[3] Mémoire BRINIS NAFAA ,Chap 5 : Estimation de la qualité des eaux)

[4] <https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-8.htm>

[5] <https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet/la-definition-de-leau-potable/>

[6] (OMS (2002), journal officiel de la république algérienne n°27 (26 avril 2006 p10, 11, 12))

[7] BOUMATI R , SADOK F. 2017 Pretraitement des Eaux de mer par Coagulation Flocculation 2017

[8] <https://bretagne-environnement.fr/matieres-azotees-hors-nitrates-cours-eau-bretons-datavisualisation>)

[9] <https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/nitrates>

[10] MAROUF K.2018, Traitement des effluents industriels de textile par coagulation – flocculation.

[11] (HAMMADACHE Z,GUERRACHE S ,SAIB S). Evaluation du transfert des métaux lourds dans le système sol-plante (Phragmites australis) dans le bassin versant d'oued NIL la région de Jijel. Années universitaire 2015-2016

ANBT, Agence Nationale des Barrages et Trasferts .

[13] BOUHAMDA T& NAIMI N, (2014) dimensionnement D'un Évacuateur De Crues (Cas Du Barrage De Fontaine Des Gazelles -W- Biskra)

[14] HAFI T, BOUHOREIRA B, ATIA A. (2021) , Etude d'évolution de l'envasement dans le Barrage De Fontaine Des Gazelles -W- Biskra). Mémoire de Master en hydraulique OPTION: hydraulique Ouvrage , Université El-Oued

[15] ANRH ,l' Agence Nationale des Ressources Hydrauliques,

[16] Douis M , Bedjouti M ,2017 , Etude des infiltrations des eaux par les berges et le fond des barrages réservoirs en régions arides : Cas du barrage fontaine des gazelles–Biskra , Mémoire de Master en hydraulique , Faculté de Technologie ,Département d'Hydraulique et de Génie Civil, Université El-Oued

Références bibliographiques

- [17] MEROUD S ,LEBBAL Y ,2021 , Contribution à l'étude de la diversité avifaunistique dans une zone humide artificielle, cas de Barrage : Fontaine des gazelles (Biskra) , Mémoire De Master , Spécialité : Parasitologie , Département des sciences de la nature et de la vie, Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature et de la vie Université Mohamed Khider de Biskra .
- [18] Bounab A , Ouledjabalah A ,2021 , Cartographie des classes de la perméabilité et de la structure des sols Cas de Oued El Hai (Wilaya de Biskra) , Mémoire Présenté Pour L'obtention Du Diplôme De Master en Ouvrages Hydrauliques ,UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA
- [19] M^{me} Sayah Nadjette (2017/2018) ,Etude de la biodiversité du couvert végétale et cartographie de l'occupation du sol autour du barrage de Fontaines des gazelles (Biskra), MEMOIRE En vue de l'obtention du diplôme de magistère en sciences agronomiques ,Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie Université Mohamed Khider Biskra .
- [20] Sedrati N., 2011. Origines et caractéristiques physico-chimiques des eaux de la wilaya de biskra-sud est algerien. Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar-Annaba (Algérie).252p
- [21] Touati B. 2010. Les barrages et la politique hydraulique en Algérie : état, diagnostic et perspectives d'un aménagement durable. Thèse Doctorat, universitéMentouri– Constantine, 384p.
- [22] DGF (Direction Générale des Forêts), 2004. Atlas IV des zones humides algériennes d'importance internationale. Atlas 4, direction des forêts, Alger, 107p.
- [23] RERBOUDJ Abdel (2005) Essai de Quantification de L'Erosion et Perspective de la Protection du Barrage de FONTAINE DESGAZELLES Contre L'Envasement .
- [24] ANAT : Agence Nationale pour l'Aménagement du Territoire
- [25] R.Boumati, (2017). Prétraitement des eaux de mer par coagulation–floculation, chimie de l'environnement, université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [26] ZONGO, I. (2009), *Etude expérimentale et théorique du procédé d'électrocoagulation : application de traitement de deux effluents textiles et un effluent simulé de tannerie*. Thèse de Doctorat en Génie Des Procédés et De Produits, Institut national polytechnique, Lorraine
- [27] boursalil, juin 2011, « études expérimentales de la coagulation floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension » mémoire d'ingénieur d'état en géologie, département des sciences de la terre et de l'univers ; facultés des sciences de la natures et de la vie, université de tlemcen.
- [28] <https://www.lenntech.fr/decantation.htm>.,

Références bibliographiques

- [29] (Yves. mottot 2000), texte de la 279^o conférence de l'université de tous les savoirs, 5 octobre 2000
- [30] (Jean RODIER) Jean RODIER . L'Analyse de l'eau 9^{ee} édition Entièrement mise à jour ,page 47.
- [31] (CARDOT, C) CARDOT, C. *Les traitements de l'eau : Procédés physico-chimiques et biologiques*, Ellipses
- [32] Djamel AMIMEUR , (2018) Contribution à l'étude de l'élimination du plomb par coagulation floculation et par adsorption sur charbon actif . Effet de la minéralisation et des paramètres réactionnels thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de doctorat en science en hydraulique, Biskra
- [33] DEGUMENT. Mémento techniques de l'eau. Edition : techniques et documentation, paris. (2005)
- [33] Colombano S. Saada A. Guerin V. Bataillard P. Bellenfant G. Beranger S. Hube D. Blanc C. Zornig C. et Girardeau I. (2010). Quelles techniques pour quels traitements - Analyse coûts-bénéfices - Rapport final BRGM-RP-58609-FR
- [34] MERZOUK, B. (2021/2022), *Traitement et dessalement des eaux*. Cours Master I
- [35] S.EZZIANE, "Traitement des eaux de rejets de l'unité de ceramit (tenes) ", mémoire magister, université Hassiba ben bouali chlef,(2007).
- [36] BOUZIANE.N (2007). Élimination du 2-meccaptobenzo-thiazole par voie photochimique et par adsorption sur la bentonite et le CAP. Mémoire magister (30 mai 2007) ,
- [37] Sciences En cyclopédie du savoir, les polysaccharides d'algues (2002).
- [69] VERMA, A.K., BHUNIA, P. and DASH, R.R. (2014), *Chemical coagulation and sonolysis for total aromatic amines removal from anaerobically pre-treated textile wastewater: A comparative study. Adv. Environ. Res.*, 3 (4), 293-306.