

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : Hydraulique et technique des eaux

Présenté par : **-Elaggoune Abdelghani**

-Grini Abdelaali

**Thème : Optimisation de la Filtration sur Sable : cas de la
Station de Traitement de l'Eau Potable
de Hammam Debagh Guelma**

Sous la direction de : Mme BEB MESSAOUDA

Juin 2016

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier Allah de nous 'avoir donné le courage, la volonté et la patience pour achever ce travail.

Nous avons l'honneur et le plaisir de présenter notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à notre encadreur Mme BEB Messaouda, pour sa précieuse aide, ses orientations ainsi pour son engagement sérieux, responsable et le temps qu'elle nous a accordé pour notre encadrement : Merci.

Tout le personnel de la station de traitement de Hammam Debagh, pour leur accueil sympathique et leur Coopération professionnelle tout au long de stage.

On tient à remercier aussi, toute l'équipe Pédagogique de la Faculté des Sciences et Techniques Département Génie-Civil et hydraulique de l'université de Guelma et les intervenants Professionnels responsables de la formation.

Enfin, nous tenons à remercier profondément toutes les personnes, de près ou de loin, qui ont contribué à l'achèvement de ce travail.

Dédicaces

Au nom d'Allah le clément et le miséricordieux et de fidélité,

Je dédie ce présent mémoire :

**A mes deux êtres les plus précieux et plus chers au monde : mon père & ma mère,
Sources de mes joies, secrets de ma force - que Allah les protège - ;**

**Vous serez toujours le modèle Papa, dans ta détermination, ta force et ton honnêteté ;
Maman dans ta bonté, ta patience et ton dévouement pour nous.**

Merci pour tous vos prières et sacrifices pour que vos enfants grandissent et prospèrent.

**Merci de trimer sans relâche, malgré les péripéties de la vie, et au bien être de vos
enfants. Merci d'être tout simplement mes parents. C'est grâce à vous j'ai pu affronter
les difficultés.**

C'est à vous que je dois cette réussite et je suis fier de vous l'offrir.

**A mes sœurs, en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte
pour elles. Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, santé et de réussite.**

A mes frères Bilal, Houssam, qui m'ont accordé une attention que je n'oublierais jamais.

**A mes petits loulous (Foufa, Bizou, Sendousa, Ayoub, Selsabil, Rita..) mes cousins qui
me fait sentir la joie (Fayçal, Midou, Abd elhak, et).**

A toute ma famille et les liens.

A mon binôme Elaggoune Abdelghani.

**A mes chères amis ; Abdou, Minou, seifou, Hamada, Houssam, Youns, Marwan,
Brahim, Raouf, Abdellah, Tarek, Ishak, Monsef, Salh, Jamal, Sousou, Ranya...**

Avec eux j'ai passé mes superbes moments.

Ainsi que tous mes amis du département de génie civil et spécialement la promo 2016.

A tous ceux qui me sont chers

Allawa Baklawa

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de ma mère et de mon père

A ma femme pour son soutien et ses encouragements

A mon fils Ahmed Yacine

A mes frères et mes sœurs et à toute ma famille

A tous ceux qui me sont chers

Elhaggoune Abdelghani

RESUME

Les eaux de surface du barrage de Hammam Debagh constituent l'une des principales sources d'approvisionnement en eau potable de la population de la ville de Guelma. Dans ce travail, nous sommes intéressés plus particulièrement à l'évolution des divers paramètres physico chimiques des eaux de la station de traitement de Guelma au cours des différentes étapes de traitement en utilisant des méthodes statistiques multi variées, l'Analyse en Composantes Principales (ACP), la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) et aussi des essais concernant la granulométrie, l'efficacité de lavage des filtres pour une éventuelle optimisation des six filtres de la station. Les résultats statistiques montrent d'une part que la filière (filtration) révèle une dépollution très importante par rapport aux éléments contenus dans les eaux brutes et d'autre part, nous avons procédé à la caractérisation des matériaux filtrants par une étude granulométrique afin d'identifier les différents paramètres pouvant orienter le choix des sables à adopter. Ainsi, nous avons réalisé une série d'essais au laboratoire en proposant des scénarios différents dans le but d'optimiser l'opération de lavage des filtres par l'augmentation de la durée de l'étape de lavage et une limitation du temps de l'étape de rinçage à onze minutes.

Mots clés : Eau potable, traitement, qualité de l'eau, optimisation, lavage des filtres.

ABSTRACT

Surface waters of Hammam Debagh damp are one of the main sources of drinking water to the population of the city of Guelma. In this work, we are interested specifically on the evolution of different physico-chemical parameters of the waters from the treatment station Guelma through different phases using various multi statistical methods; the Principal Component Analysis (ACP), the Ascending Hierarchical Classification (CHA) and also testing for the particle size, the filter backwash efficiency for possible optimization of six filters of the station. First, the statistical results show that the chain filtration reveals a major abatement on the elements contained in the raw water. Second, we precede the characterization of filter materials by a particle size study to identify the different parameters that can guide the choice of sands to be adopted. Thus, we conduct a series of tests in the laboratory by providing different scenarios in order to optimize the filter washing operation by increasing the washing step time and a limitation of the time of rinsing step to eleven minutes.

Keywords: drinking water treatment, water quality, optimization, filter washing

ملخص

تعتبر المياه السطحية لسد حمام دباغ من اهم المصادر الرئيسية للمياه الصالحة للشرب لسكان مدينة قالمة.

يهتم هذا العمل و بشكل خاص بتطور مختلف المعايير الفيزيائية و الكيميائية لمياه محطة المعالجة بقالمة هذا عن طريق استخدام اساليب احصائية متعددة منها تجميع و تحليل المكونات الاساسية (ACP) و تجميع التصاعدي الهرمي (CHA) واختبار أيضا لحجم الجسيمات، وكفاءة الغسيل العكسي للمصفاة و تعظيم الاستفادة الممكنة من المرشحات الستة مرشحات . أظهرت النتائج الإحصائية أولا أن سلسلة التصفيات كشفت عن تنظيف كبير وارد في الماء الخام. ثانيا اقدمنا على توصيف مواد التصفية من دراسة حجم الجسيمات لتحديد المعايير التي تحدد نوع الرمال المختارة. وهكذا أجرينا سلسلة من الاختبارات في المختبر من خلال تقديم سيناريوهات مختلفة من أجل تحسين عملية تصفية

الغسيل عن طريق زيادة خطوة وقت الغسل تحديد وقت خطوة الشطف عشر دقائق

TABLE DES MATIERES

RESUME

LISTE DES FIGURES.....	I
LISTE DES PHOTOS.....	II
LISTE DES TABLEAUX.....	III
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS.....	VI
RESUME.....	V
INTRODUCTION GENERALE.....	P 1 ,2

CHAPITRE 1 : CLARIFICATION

1.1. Introduction.....	p 3
1.2. Coagulation / Flocculation.....	p 4
1.2.1. La coagulation.....	p 5
1.2.2. La flocculation.....	p 5
1.3. Décantation ou Flottation.....	p 7
1.4. Filtration	p 11
1.5. Conclusion	P 12

CHAPITRE 2 : PRINCIPES ET CARACTERISTIQUES DE LA FILTRATION

2.1. Introduction.....	p 13
2.2. Principes et Définitions.....	p 13
2.3. Mécanismes Physiques de Capture des Particules.....	p 14
2.4. Caractéristiques du Sable de Filtration.....	p 15
2.5. Les pertes a L'acide.....	p 20
2.6. La pertes de Charge.....	p 21
2.7. Régulation.....	p 24

2.8. Plancher de Filtrée (Fond de Filtre).....	p 24
2.9. Hauteur de la Couche Filtrante.....	p 25
2.10. Hauteur D'eau au Dessus du Media.....	p 26
2.11. Vitesse de Filtration.....	p 26
2.12. Les Lavages.....	p 26
2.13. Critères de conception des filtres.....	p 27
2.14. Conclusion.....	p 27

CHAPITRE 3 : PROCEDES DE POTABILISATION

3.1. Introduction.....	p 28
3.2. Les ouvrage de la station.....	p 29
3.3. Les procédés de traitement.....	p 30
3.3.1. La phase pré-oxydation.....	p 31
3.3.2. La phase Coagulation-floculation.....	p31
3.3.3. La phase décantation.....	p 32
3.3.4. Bassin de filtration	p 32
3.3.5 Réservoir de stockage.....	p 33
3.3.6. Station de pompage.....	p 34
3.4. Les analyse effectuées dans le laboratoire de la station.....	p 34
3.5. Conclusion.....	p 38

CHAPITRE 4 : ANALYSE DES RESULTATS

4.1. Introduction.....	P 39
4.2. Présentation des résultats des analyses.....	P 39
4.3. Analyse en composantes principales (ACP).....	p 48

4.3.1. Résultats de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) des eaux brutes.....	p 49
4.3.2. Résultats de l'Analyse en Composantes Principales Normées (ACP) des eaux traitées.....	p 55
4.4. Résultats de l'Analyse en Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)...	p 58
4.5. Conclusion.....	p 60

CHAPITRE 5 : ESSAI D'OPTIMISATION AU LABORATOIRE

5.1. Introduction.....	p 61
5.2. L'analyse Granulométrique	p 61
5.2.1. Principe	p 61
5.2.2. Mode opératoire	p 62
5.2.3. Les paramètres granulométriques	p 62
5.2.4. Résultats de l'analyse granulométrique et interprétations.....	p 63
5.3. Essai d'optimisation du lavage.....	p 74
5.4. Essai de l'efficacité du lavage.....	p 79
5.4.1. Méthode de travail.....	p 79
5.4.2. Essai au laboratoire.....	p 80
5.4.3. Test au laboratoire et pour chaque échantillon prélevé.....	p 81
5.4.4. Résultats d'analyse.....	p 81
5.3.5. Conclusion.....	p84

***CONCLUSION GENERALE.....P 85**

***BIBLIOGRAPHIE..... P 86**

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Schéma d'une unité de clarification.....	p 3
Figure 1.2 : Présentation de coagulation floculation.....	p 4
Figure 1.3 : Décanteur.....	p 8
Figure 1.4 : Flottateur.....	p 8
Figure 2.1 : Mécanismes physiques de capture des particules.....	p 14
Figure 2.2 : Courbe de répartition granulométrique	p 18
Figure 2.3 : Evolution de la turbidité et de la perte de charge en fonction du temps.....	p 21
Figure 2.4 : Répartition des pressions.....	p 22
Figure 4.1 : Evolution spatio-temporelle de la conductivité de la station de traitement de l'eau potable de Guelma.....	p 43
Figure 4.2 : Evolution spatio-temporelle de la température de la station de traitement de l'eau potable de Guelma.....	p 44
Figure 4.3 : Evolution spatio-temporelle des MES de la station de traitement de l'eau potable de Guelma.....	p 44
Figure 4.4 : Evolution spatio-temporelle de la turbidité de la station de traitement l'eau potable de Guelma.....	p 45
Figure 4.5 : Evolution spatio-temporelle des TDS de la station de traitement l'eau potable de Guelma.....	p 46
Figure 4.6 : Evolution spatio-temporelle du PH dans la station de traitement l'eau potable de Guelma.....	p 47
Figure 4.7 : Valeurs propres en fonction des facteurs principaux.....	p 51
Figure 4.8 : Projection des variables dans l'espace des axes F1et F2 des eaux brutes.....	p 54
Figure 4.9 : Projection des mois de mesure des eaux brutes sur le plan factoriel F1-F2....	p 55
Figure 4.10 : Projection des variables dans l'espace des axes F1et F2 des eaux filtrées....	p 56
Figure 4.11 : Projection des mois de mesure des eaux filtrées sur le plan factoriel F1-F2..	p 57

Figure 4.12 : Dendrogramme des paramètres physico-chimiques des eaux brutes.....	p 59
Figure 4.13 : Dendrogramme pour la classification des mois d'analyse des eaux de la station	p 59
Figure 5.1 : la courbe de fréquence du sable « filtre-1-».....	p 64
Figure 5.2 : La courbe cumulative du sable « filtre-1- ».....	p 64
Figure 5.3 : la courbe de fréquence du sable « filtre-2-».....	p 65
Figure 5.4 : La courbe cumulative du sable « filtre-2- ».....	P 66
Figure 5.5 : la courbe de fréquence du sable « filtre-3-».....	p 67
Figure 5.6 : La courbe cumulative du sable « filtre-3- ».....	p 68
Figure 5.7 : la courbe de fréquence du sable « filtre-4-».....	p 69
Figure 5.8 : La courbe cumulative du sable « filtre-4- ».....	p 69
Figure 5.9 : la courbe de fréquence du sable « filtre-5-».....	p 70
Figure 5.10 : La courbe cumulative du sable « filtre-5- ».....	p 71
Figure 5.11 : la courbe de fréquence du sable « filtre-6-».....	p 72
Figure 5.12 : La courbe cumulative du sable « filtre-6- ».....	p 73
Figure 5.13 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre 1.....	p 76
Figure 5.14 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre 2.....	p 76
Figure 5.15 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre 3.....	p 77
Figure 5.16 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre 4.....	p 77
Figure 5.17 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre 5.....	p 78
Figure 5.18 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre 6.....	p 78
Figure 5.19 : Courbe Turbidité avant et après lavage.....	p 83

LISTE DES PHOTOS

Photo 2.1 : Microscopie des grains du sable «capture des particules».....	p 13
Photo 2.2 : Plancher des filtres avec buselures.....	p 25
Photo 2.3 : Une buselure.....	p 25
Photo 3.1 : Vue aérienne de la station de traitement de l'eau potable Hamamm Debagh wilaya de Guelma (photo Google earth).....	p 28
Photo 3.2 : Barrage de Bouhamdane	p 29
Photo 3.3 : Plan des ouvrages de la station de traitement Hammam Debagh	p 30
Photo 3.4 : Bassin de mélange.....	p 31
Photo 3.5 : décanteur circulaire statique	p 32
Photo 3.6 : les filtres à sable	p 32
Photo 3.7 : Dalle de béton avec les buselures des filtres	p 33
Photo 3.8 : Réservoir de stockage.....	p 33
Photo 3.9 : Station de pompage	p 34
Photo 3.10 : Turbidimètre	p 34
Photo 3.11 : PH-mètre.....	p 35
Photo 3.12 : Appareil à multifonctions	p 35
Photo 3.13 : Burette de la méthode volumétrique	p 36
Photo 3.14 : Rompe	p 36
Photo 3.15 : Etuve pasteur.....	p 37
Photo 3.16 : Spectro-photomètre	p 37
Photo 5.1 : Implantation des points.....	p 79
Photo 5.2 : Profondeurs en fonction de la hauteur totale de sable.....	p 80

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Le temps de décantation de différentes particules.....	p 7
Tableau 1.2 : Différents types de décanteurs.....	p 9,10
Tableau 2.1 : La nature de différents médias et leurs fonctions principales.....	p 16
Tableau 2.2 : Composition chimique du sable.....	p 17
Tableau 2.3 : La qualité d'un sable du point de vue friabilité.....	p 20
Tableau 4.1 : Eaux brutes de la station d'étude de Hammam Debagh.....	p 40
Tableau 4.2 : Eaux décantées de la station d'étude de Hammam Debagh.....	p 40
Tableau 4.3 : Eaux filtrées de la station d'étude de Hammam Debagh.....	p 41
Tableau 4.4 : Les résultats des statistiques descriptives des différents paramètres.....	p 42
Tableau 4.5 : Matrice de corrélation, des paramètres physico-chimiques des eaux brutes de la station Hammam Debagh.....	p 50
Tableau 4.6 : Valeurs propres et les pourcentages exprimés pour les axes principaux des eaux brutes.....	p 51
Tableau 4.7 : Corrélation entre les variables et les facteurs des eaux brutes.....	p 52
Tableau 4.8 : Contributions des variables des eaux brutes.....	p 52
Tableau 4.9 : Cosinus carrés des variables des eaux brutes.....	p 53
Tableau 4.10 : Valeurs propres et pourcentages exprimés pour les axes principaux des eaux traitées	p 55
Tableau 4.11 : Corrélations entre les variables et les facteurs.....	p 56
Tableau 4.12 : Cosinus carrés des eaux filtrées.....	p 57
Tableau 5.1 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable « filtre-1- ».....	p 63
Tableau 5.2 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable « filtre-2- ».....	p 65

Tableau 5.3 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable « filtre-3- ».....	p 67
Tableau 5.4 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable « filtre-4- ».....	p 68
Tableau 5.5 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable « filtre-5- ».....	p 70
Tableau 5.6 : résultats de l'analyse granulométrique du sable « filtre-6- ».....	p 72
Tableau 5.7 : Turbidité en fonction du temps.....	p 75
Tableau 5.8 : Turbidité en fonction de la hauteur avant lavage point A.....	p 81
Tableau 5.9 : Turbidité en fonction de la hauteur avant lavage point B.....	p 81
Tableau 5.10 : Turbidité en fonction de la hauteur avant lavage point C.....	p 82
Tableau 5.11 : Turbidité en fonction de la hauteur après lavage point A.....	p 82
Tableau 5.12 : Turbidité en fonction de la hauteur après lavage point B.....	p 82
Tableau 5.13 : Turbidité en fonction de la hauteur après lavage point C.....	p 82
Tableau 5.14 : Résultats de la turbidité.....	p 83
Tableau 5.15 : Gamme de la turbidité	p 84

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CU : Coefficient d'uniformité

d10 : Le diamètre effectif

M (mat) : la masse de matériau

MES : Matière en suspension

NTU : Néphélobimétrie turbidité unité

PH : Potentiel d'hydrogène

TE : Taille effective

V (app) : le volume apparent

V (pores) : volume des pores

V (réel) : le volume réel

ρ (absolu) : la masse volumique absolue

ρ (app) : La masse volumique apparente

ρ (réel) : La masse volumique réel

INTRODUCTION
GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

En Algérie, les eaux de surface constitue une part importante des ressources hydrauliques et sont de plus en plus utilisées ces dernières années notamment au Nord du territoire car les réservoirs souterrains montrent une tendance à l'épuisement. Les eaux de surface sont souvent disponibles en plus grande quantité que les eaux souterraines mais elles sont aussi plus vulnérables aux sources de pollution naturelles et anthropiques. La majorité des grandes municipalités du monde s'alimentent en eau potable à partir d'une eau de surface.

Ces municipalités optent habituellement pour un traitement conventionnel. Il existe plus de quatre-vingt stations de traitement importantes, de différentes conceptions et qui sont en majeure partie des constructions récentes. La chaîne de traitement conventionnelle comprend la plupart du temps les sept étapes suivantes : dégrillage, coagulation, floculation, décantation, filtration sur lit de sable, désinfection et ajustement de pH. Cette chaîne de traitement a été conçue à la base pour la réduction de la turbidité et l'inactivation des microorganismes pathogènes [DES_97].

Par ailleurs, il convient de signaler que la pluviométrie en Algérie est très variable selon les saisons ce qui influe sur la qualité et la quantité des eaux à traiter et par la suite ça se répercute sur les modalités pratiques à mettre en œuvre pour le fonctionnement des stations [ACH_97].

Notre étude a pour objectif l'amélioration de la qualité des eaux du barrage Bouhamdane, destinées à l'alimentation en eau potable de la ville de Guelma, par le biais de l'optimisation du traitement de ces eaux. On s'intéressera plus particulièrement à l'élimination de différents micropolluants minéraux et organiques au cours de la phase de clarification des eaux.

Notre travail consistera essentiellement à étudier l'évolution des divers paramètres de qualité des eaux de la station de traitement de Guelma au cours des différentes étapes de traitement. Les essais porteront sur des échantillons d'eaux brutes, décantées et traitées de la station de traitement de la ville de Guelma alimentée par le barrage Bouhamdane. Quelques essais porteront aussi sur les six filtres de la station pour lesquelles nous devons déterminer les conditions optimales du traitement.

Cette étude se présente en deux parties :

La première partie comporte deux chapitres, consacrée à une synthèse bibliographique. Dans le premier chapitre, une présentation de la clarification qui est une étape importante pour l'élimination des matières en suspension, des matières colloïdales et des macromolécules susceptibles d'augmenter la turbidité. Le deuxième chapitre présente les principes et les caractéristiques de la filtration.

La deuxième partie est axée sur l'expérimentation, et elle sera présentée en trois chapitres. Le premier consiste en la présentation des données au cours des différents traitements appliqués sur les eaux du barrage Bouhamdane, la description de la station de production d'eau potable et les différentes étapes de traitement. Dans le second chapitre de cette deuxième partie du mémoire, nous présenterons les résultats de l'analyse en composantes principales des eaux brutes et les eaux traitées, il s'agira de voir s'il existe une corrélation entre les différents paramètres sur l'élimination de plusieurs contaminants (matière en suspension, matières organiques.....). Afin d'améliorer les résultats obtenus, nous avons réalisé d'autres essais sur la filtration en troisième chapitre qui sera consacré à la présentation des résultats relatifs aux essais réalisés sur l'optimisation des filtres de la station de Hammam Debagh et pour les quelles nous déterminerons les conditions optimales du déroulement de la phase de filtration (mode de lavage des filtres, conditions de lavage....).

CHAPITRE I

LA CLARIFICATION

1.1. INTRODUCTION :

L'eau brute captée en milieu naturel n'est pas toujours potable. Elle doit alors être acheminée par des canalisations jusqu'à une usine spécialisée dans le traitement de l'eau, qui la rend "potable", c'est à dire consommable sans risque. Avant d'arriver à nos robinets, l'eau captée doit subir une série d'opérations afin de répondre à toutes les exigences de qualité.

La clarification représente une étape très importante dans le traitement de l'eau, elle est définie par l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les matières en suspension MES (minérales et organiques) d'une eau brute ainsi que les matières organiques dissoutes, suivant les concentrations de l'un et de l'autre des différents polluants, on peut être amené à pratiquer des opérations de plus en plus complexes qui vont de la simple filtration avec ou sans réactif jusqu'à la coagulation – floculation – décantation ou flottation – filtration. (Voir fig. 1)

LA CLARIFICATION = Coagulation - Floculation - Décantation - Filtration

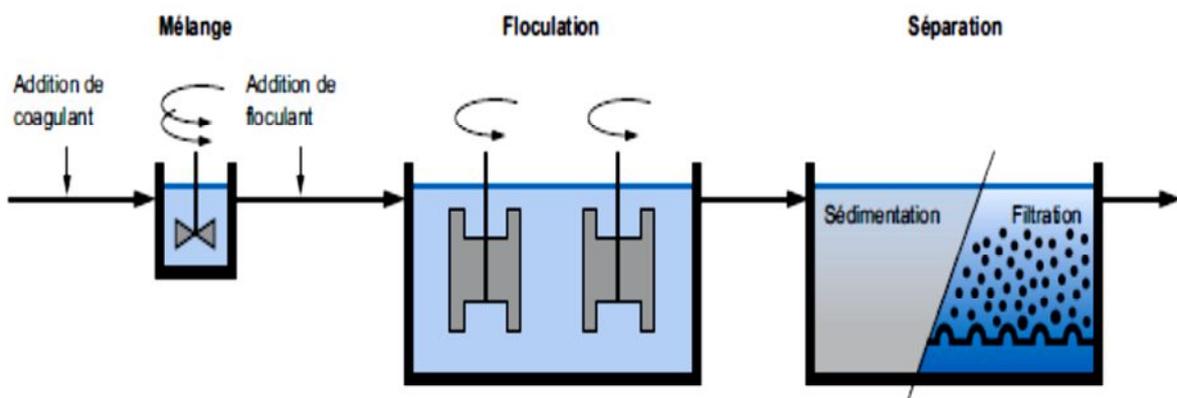


Figure. 1 : Schéma d'une unité de clarification

La clarification peut combiner les procédés suivants :

1.2.COAGULATION/FLOCCULATION :

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres [LOU_09].

Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation. La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques. La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation (voir fig. 2).

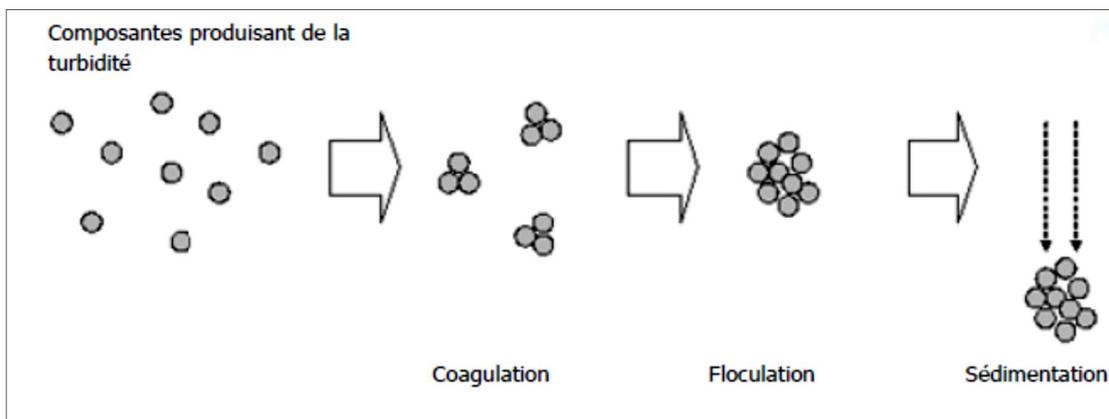


Figure. 2 : Présentation de la coagulation / floculation

Pour déterminer correctement le type de coagulant et la dose optimale pour une eau donnée, il faut obligatoirement effectuer des essais : de “ **JAR-TEST** ”.

L'utilisation d'un seul coagulant ne permet pas, dans tous les cas, d'obtenir une bonne coagulation-floculation. L'utilisation d'un aide-coagulant permet d'améliorer les performances. Les adjuvants les plus utilisés sont la silice activée et les polyélectrolytes. Ils agissent par adsorption et pontage entre les particules.

1.2.1. LA COAGULATION :

Le mot " coagulation " vient du latin " **coagulare** " qui signifie " agglomérer".

La coagulation résulte de l'addition de réactifs chimiques dans des dispersions aqueuses, afin d'assembler en agrégats plus gros, les fines particules dispersées.

La charge électrique et la couche d'eau qui entourent les particules hydrophiles tendent à éloigner les particules les unes des autres, et par conséquent, à les stabiliser dans la solution.

Le but principal de la coagulation est de déstabiliser ces particules pour favoriser leur agglomération.

❖ Les différents types de coagulants :

Les coagulants sont des produits qui neutralisent les charges de surface des matières colloïdales. Les coagulants principalement utilisés pour déstabiliser les particules colloïdales sont à base de sels d'Aluminium ou de fer hydrolysable au pH voisin de la neutralité.

Les coagulants les plus utilisés dans le traitement des eaux sont le sulfate d'Aluminium et le chlorure ferrique. Néanmoins, ces dernières années, des polymères d'Aluminium susceptibles d'être utilisés comme coagulants et ayant une plus grande efficacité, ont été développés tels que le polychlorure d'Aluminium.

a) Le sulfate d'Aluminium : Commercialisé sous la forme solide $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$.

b) Le chlorure ferrique : Ce sel se trouve sous forme $FeCl_3 \cdot 6H_2O$.

c) Les polymères d'Aluminium: La formule générale de ces produits $Al_n(OH)_m Cl_{3m-n}$.

1.2.2. LA FLOCCULATION :

La floculation est l'agrégation des particules déstabilisées, par collision les unes aux autres qui conduit à la croissance en taille et à la diminution en nombre des particules en solution.

Les processus préalables à la floculation sont la coagulation, les oxydations chimiques ou biologiques qui détruisent les "colloïdes protégés", le changement des

conditions générales tels que le pH et la T°, et enfin, l'utilisation de réactifs auxiliaires (par exemple : les adjuvants de floculation). La coagulation demeure l'étape préparatoire la plus importante pour la floculation.

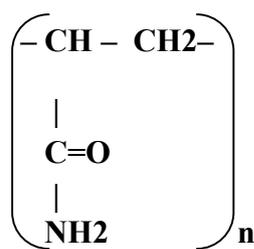
❖ **Les différents types de floculants :**

On appelle adjuvant de floculation (ou floculant), des corps utilisés en quantités plus faibles que les réactifs coagulants. Ils modifient nettement le comportement de ces derniers en ce qui concerne la rapidité de la formation des floes, la dimension des floes, leur densité, leur vitesse de sédimentation et leur comportement ultérieur dans les filtres.

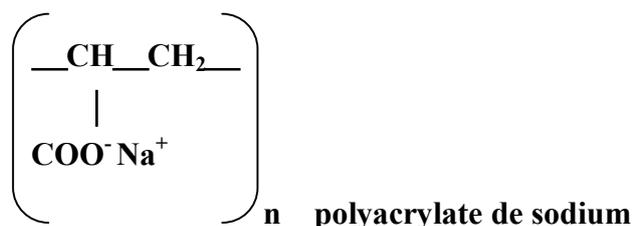
Les polyélectrolytes sont des polymères de haut poids moléculaire ayant une structure linéaire qui leur donne la propriété d'être soluble dans l'eau. Ils présentent périodiquement sur leur chaîne des groupements chimiques fonctionnels, ionisables. Ces molécules réagissent avec la matière colloïdale dans l'eau par la neutralisation des charges ou par le pontage (enchaînement) des particules individuelles. Le but étant de former un précipité ou floe qui soit visible et insoluble.

Bien que les polyélectrolytes soient des matériaux organiques synthétiques, il existe une variété infinie de produits d'origine naturelle. Les polyélectrolytes diffèrent du point de vue chimique par leur taille moléculaire et le caractère ionique de leurs groupements actifs. Ils sont classés en trois catégories :

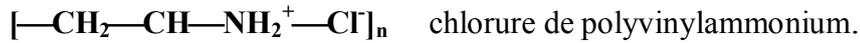
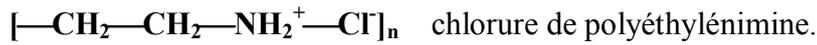
a) **polymères non ioniques** : La formule générale du polyacrylamide est :



b) **polyélectrolytes anioniques** : Portant sur leur chaîne des groupements négativement.



c) **polyélectrolytes cationiques** : Portant sur leur chaîne des charges positives.



1.3. DECANTATION OU FLOTTATION :

Ce sont des procédés physiques intervenant après la coagulation-floculation de la gravité (voir tableau.1). L'eau coagulée et floculée entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les floes se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée en surface (voir fig. 3).

Le tableau 1 indique le temps de décantation de différentes particules en fonction de leur dimension, de leur densité et de la température de l'eau (15°C). On observe, qu'à densité égale, les particules plus petites ont une durée de chute plus longue.

Tableau. 1 : Le temps de décantation de différentes particules

Type de particules	Diamètre en mm	Temps de chute		
		Densité de 2.65	Densité de 2.0	Densité de 1.1
Gravier	10	0.013 s	0.02 s	0.20 s
Sable grossier	1	1.27 s	2.09 s	20.90 s
Sable fin	0.1	2.11 mn	3.48 mn	34.83 mn
Glaise	0.01	3.52 h	5.80 h	2.42 j
Bactéries	0.001	14.65 j	24.19 j	241.9 j
Colloïdales	0.000 1	4.12 a	6.66 a	66.59 a
Colloïdales	0.000 01	412.2 a	665.9 a	6659 a
Colloïdales	0.000 001	41222.7 a	66590 a	665990 a

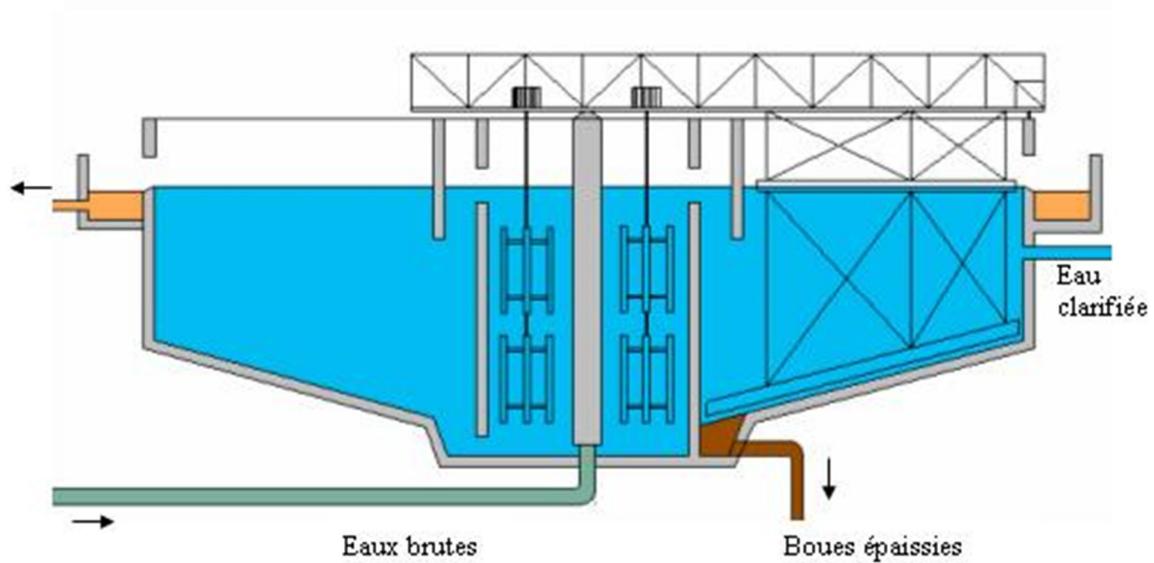


Figure. 3 : Le décanteur

A l'inverse, la flottation consiste à favoriser la clarification par entrainement des particules en surface, grâce à la génération de bulles d'air, qui s'accrochent aux matières en suspension et aux floes. Les flottants sont récupérés en surface par bras racleur voir (fig. 4).

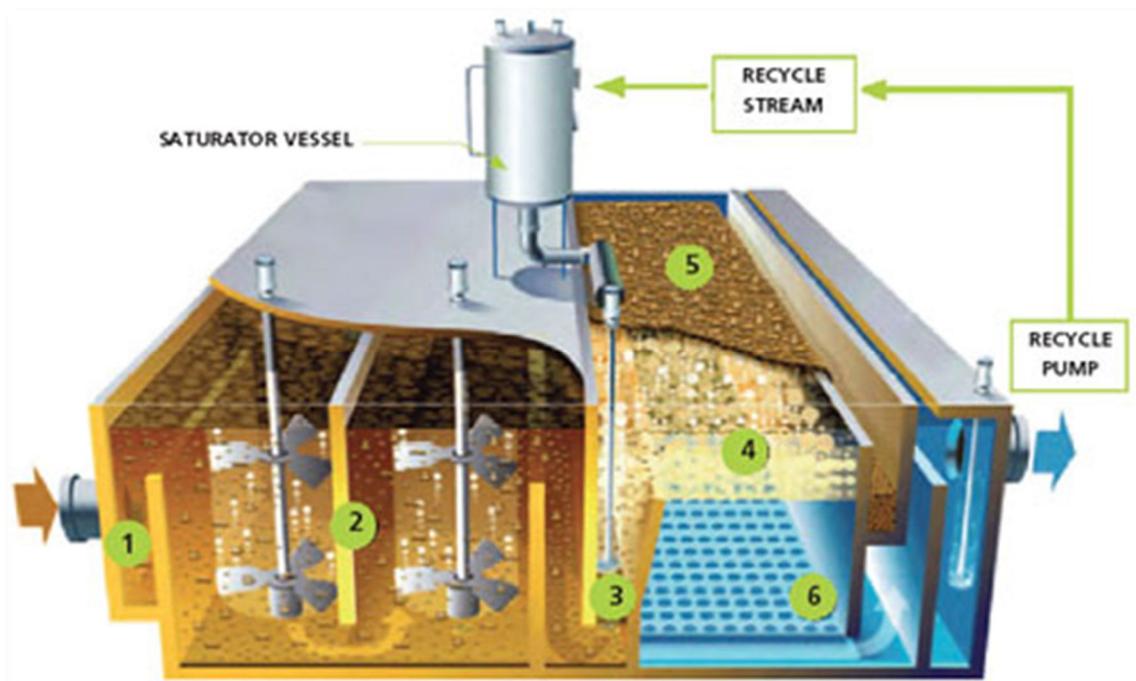


Figure. 4 : Le flotateur

❖ Différentes types de décanteurs :

Les décanteurs peuvent être classés suivant leurs principes de fonctionnement en plusieurs types (voir tableau. 2).

Tableau. 2 : Différents types de décanteurs

Différents types de décanteurs			
Types de décanteurs	Exemple de décanteur	Principe de fonctionnement	Principales caractéristiques
Décanteurs statiques A flux vertical	Cylindro-conique	Il est basé sur la création d'un lit de boues. Ce dernier favorise la floculation et joue le rôle de filtre. Pour maintenir sa voile de boue en équilibre, on utilise des ouvrages à section non constante	On le trouve généralement à des installations fonctionnant à faible débit. Il n'est pas très performant en ce qui concerne les vitesses ascensionnelles atteintes, les faibles concentrations en boues et la qualité de l'eau clarifiée.
Décanteur statique A flux horizontal	Longitudinal	L'eau est introduite dans l'ouvrage horizontalement	C'est un ouvrage relativement ancien. Occupant généralement une surface très étendue. Il constitue la majorité des décanteurs statiques. L'extraction automatique des boues est difficile
Décanteurs a voile de boues A lits de boues	Pulsator	Il repose sur le maintien, par des chasses d'eau, d'un lit de boue en suspension pour favoriser la floculation.	Il est très faible, souple d'emploi. La haute concentration du lit de boue, son rôle tampon retardent les effets qui incombent à un mauvais ajustement du taux de coagulant ou floculant, une variation du pH de l'eau brute
Décanteurs a voile de boues A recirculation de boue *par hydro éjecteur *turbine *hélice *pompe à émulsion	Circulator Accelator Tuebocirculator Claricontact	Le rôle de cette recirculation est d'accroître la masse de contact au sein du décanteur : la probabilité de chocs entre particule augmente ce qui permet de diminuer le temps nécessaire à la floculation	Comparés aux décanteurs statiques, ils autorisent des vitesses ascensionnelles supérieures et assurent un meilleur épaissement des boues. Cette recirculation des boues rend plus performante la floculation (durée efficacité).
Décanteurs à floes lest	Cyclofloc	L'idée a été d'alourdir le floc, par recirculation de micro sable pour accroître sa vitesse de sédimentation	La présence en recirculation d'une quantité suffisante de micro sable peut permettre de faire face à toute variation brutale de la qualité de l'eau brute.

<p>Décanteurs Lamellaires *Co-courant *contre-courant *alimentation latérale</p>	<p>Claribloc</p>	<p>Des lamelles, inclinées à 55° -60° par rapport à l'horizontale, augmentent la surface de décantation et favorisent l'évacuation et la concentration des boues</p>	<p>L'implantation des lamelles permet d'augmenter la capacité des ouvrages, les débits d'alimentation, tout en améliorant la qualité de l'eau clarifiée</p>
<p>Décanteurs combinés Lit de boues + lamelles</p>	<p>Le pulstube</p>	<p>Le fonctionnement de ce décanteur est semblable à celui de PULSATOR sauf qu'il possède des lamelles dans la zone de clarification</p>	<p>Ces lamelles permettent de limiter l'expansion de lit de boue tout en améliorant la qualité de l'eau décantée.</p>
	<p>Superpulsator</p>	<p>Les lamelles ne sont pas disposées au dessus du voile de boue pour améliorer le pouvoir de séparation de l'ensemble mais dans le voile de boue lui-même ce qui permet d'en améliorer la stabilité et d'en augmenter la concentration.</p>	<p>Le lit de boue étant très concentré, il agit comme un filtre à impuretés.</p>
<p>Décanteurs combinés Recirculation de boues+ Lamelles</p>	<p>Sedipac-rps</p>	<p>Dans ces décanteurs on combine les procédés de recirculation des boues aux lamelles</p>	<p>Ce procédé permet une floculation rapide et une bonne qualité de l'eau clarifiée. Il permet d'atteindre des vitesses exceptionnelles et des concentrations en boues importantes.</p>
<p>Décanteurs combinés Recirculation de sable+ Lamelles</p>	<p>Actiflo</p>	<p>Ce décanteur associe 2 techniques : la floculation lestée éprouvée sur le procédé CYCLOFLOC et la décantation lamellaire.</p>	<p>C'est un appareil très compact (temps de séjour de l'eau =30min) il peut s'adapter aux changements de la qualité de l'eau brute.</p>
	<p>Le fluorapid</p>	<p>C'est un appareil original car il utilise propriétés du microsable mais mis en œuvre cette fois se forme de lit fluidisé traversé par l'eau de bas en haut et surmonté d'une nappe de modules lamellaires.</p>	<p>C'est un appareil très compact, fonctionnant à des vitesses ascensionnelles élevées. le processus de coagulation, floculation, décantation se déroule en une quinzaine de minutes. Il est aussi caractérisé par sa régularité de fonctionnement, apportée par le pouvoir tampon du microsable.</p>
<p>Décanteurs combinés Recirculation de boues épaissies+ Lamelles</p>	<p>Densadeg</p>	<p>Dans ce cas, ce ne sont plus les boues floculées qui sont recirculées mais les boues épaissies. Elles entraînent une variable densification du floc dont l'aptitude à la décantation est accrue.</p>	<p>C'est un décanteur très compact, rapide, souple d'emploi. Les boues extraites sont très concentrées, les volumes de boue obtenus sont donc faibles. L'eau décantée est de très grande qualité</p>

1.4.FILTRATION :

C'est un procédé physique disposé généralement après la décantation ou la flottation (notamment dans le cas des eaux de surface). Ce procédé peut être toute fois situé directement après une coagulation (cas des eaux souterraines karstiques) ou après une pré-oxydation (cas des eaux souterraines contenant du fer, du manganèse ou de l'arsenic).

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 pré-oxydation. 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 couteuse, 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 [HOU_12].

❖ Les différents types des filtres :

Les filtres peuvent être **ouverts** ou **fermés**. On distingue :

- a) **Les filtres à sable rapides** : les plus utilisés en eau potable avec des vitesses de 5 à $10 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, ils s'appliquent à des eaux préalablement traitées.
- b) **Les filtres à sable lents** : la filtration lente ($0,08$ à $0,4 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$) constitue à elle seule un traitement quasi complet de l'eau brute, grâce au développement d'une biomasse importante.
- c) **Les filtres sous pression** : Le principe de fonctionnement est le même que celui des filtres rapides. Le plancher et le matériel filtrant sont situés dans des cylindres

supportant des pressions allant jusqu'à 1000 kPa. Leur exploitation est plus difficile que celle des filtres ouverts. Leur utilisation est limitée aux petites installations.

- d) Les filtres à terre de diatomée :** Ils permettent une bonne clarification des eaux de turbidité faible et éliminent efficacement les MES et les microorganismes, sans nécessité de coagulation. Pour des eaux plus chargées, ils se colmatent très rapidement. Les filtres sous pression et à terre de diatomées sont surtout utilisés pour le traitement des eaux des piscines.

1.5. CONCLUSION :

Ce premier chapitre a servi d'introduction au domaine lié à notre étude. Nous avons décrit les différentes étapes de la clarification dans une chaîne de traitement d'eau potable qui est une étape la plus importante et la plus courante pour l'élimination des matières en suspension, des matières colloïdales et des macromolécules susceptibles pouvant augmenter la turbidité et provoquer aussi des couleurs indésirables. Nous avons détaillé, plus particulièrement, les procédés de coagulation floculation, décantation et de filtration, sur lesquels porte spécifiquement notre étude.

Le chapitre suivant est consacré à la filtration sur sable, Nous verrons en détail les différentes caractéristiques des filtres à sable et leurs principes de fonctionnement.

CHAPITRE II

**PRINCIPES ET
CARACTERISTIQUES
DE LA FILTRATION**

2.1. INTRODUCTION :

La filtration est la barrière ultime et obligatoire de la filière de traitement des eaux dans la majeure partie des cas. Elle vise à réaliser ou à compléter, à travers un lit filtrant, la réduction des particules en suspension, des coliformes, des virus, des parasites ainsi que la turbidité. C'est le procédé qui consiste à faire passer un liquide qui contient des matières solides en suspension à travers une masse filtrante poreuse pour retenir les particules en suspension. Les filtres à sables nécessitent des caractéristiques et des mesures spéciales.

2.2. PRINCIPES ET DEFINITIONS :

La filtration est un procédé de séparation qui utilise le passage d'un mélange solide- liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les particules solides (voir photo.1), et laisse passer le liquide. On rencontre deux types de particules:

- ↳ Les Floccs résiduels non retenus dans la zone de décantation/flottation.
- ↳ Les Micro floccs spécialement créés au contact du média filtrant (coagulation directe).

La filtration de clarification fait intervenir différents mécanismes notamment :

- Rétention physique (décantation, interception)
- Support de développement biologique



**Photo. 1 : Photo microscopique des grains de sable
« Capture des particules »**

2.3. MECANISMES PHYSIQUES DE CAPTURE DES PARTICULES :

Il existe plusieurs mécanismes de transport différents susceptibles d'amener des particules en suspension en contact avec la structure fixe du milieu filtrant (voir fig. 1). Les principaux mécanismes sont :

- ❖ **Rétention de surface:** Effet de tamis (blocage) Pour les particules grossières retenues en surface.
- ❖ **Rétention dans la masse:** Filtration en profondeur, pour les plus fines.
 - Interception
 - Sédimentation
 - Diffusion

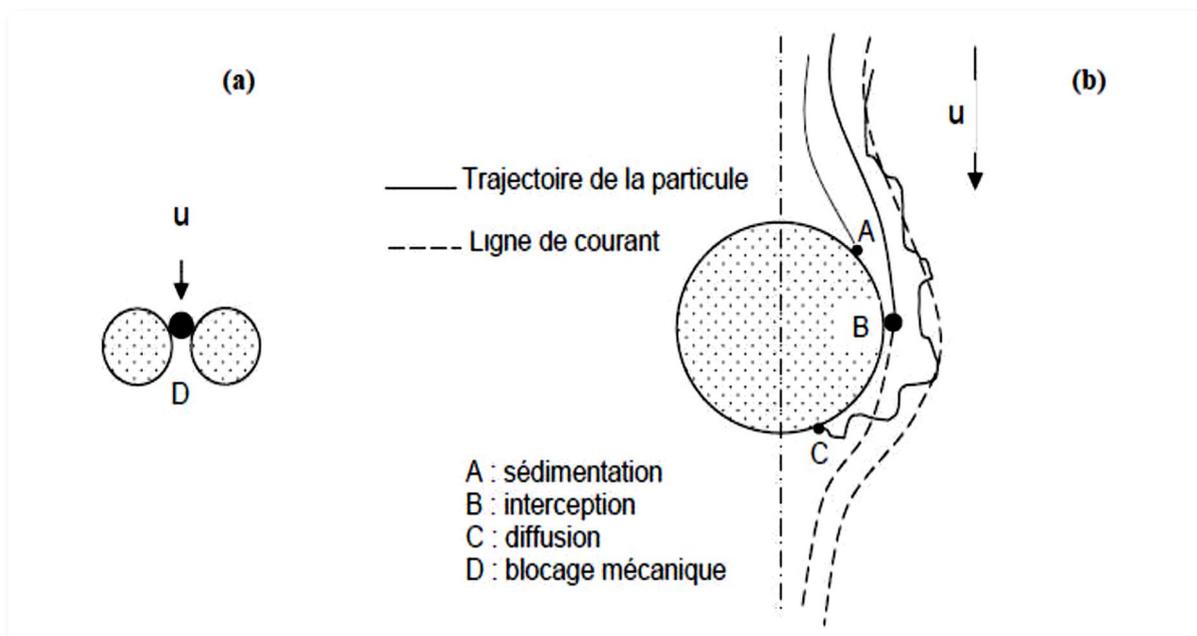


Figure. 1 : Mécanismes physiques de capture des particules

2.3.1. L'INERTIE :

Lorsque la particule s'approche des grains de sable, en raison de l'inertie de la particule, celle-ci n'a pas le temps de s'adapter à l'écoulement. Il en résulte la capture de la particule par le grain de sable.

2.3.2. L'INTERCEPTION :

Lorsque les particules suivent les lignes de courants, selon la taille de la particule et la déformation des lignes de courant, celles-ci peuvent entrer en contact avec les gains de sables, l'effet intercepteur est indépendant de la masse ou de la densité de la particule, mais dépend de sa taille.

2.3.3. LA DIFFUSION :

En dessous d'une certaine masse de particules et vitesse de filtration, les particules les plus fines sont soumises à des mouvements irréguliers dus à l'énergie thermique des molécules qui les entourent et s'écartent de leurs trajectoires moyennes et elles arrivent en contact avec les grains de sable.

2.4. CARACTERISTIQUES DU SABLE DE FILTRATION :**2.4.1. FORME ET ORIGINE :**

Le sable peut être extrait de rivières ou provenir de régions côtières (mers et océans) ou de carrières

Les formes des grains de sable sont comme suit:

- Forme ronde pour les sables de rivières roulés
- Forme anguleuse pour les matériaux concassés

Une forme ronde des grains améliore la qualité du traitement et les grains de sable s'imbriquent mieux les uns sur les autres que les grains anguleux, ce qui diminue les espaces entre grains; et donc améliorent l'effet tamisage. On préférera donc un sable de rivière roulé par rapport à un sable de carrière broyé [HER_06].

Il existe plusieurs types de matériaux de filtration dus à leurs natures et leurs fonctions principales (voir tableau. 1).

Tableau. 1 : La nature des différents médias et leurs fonctions principales

Matériaux	nature	Fonction principale
Sable	Matériau naturel à base de grains de quartz (tamisé après lavage et séchage).	-rétention des MES non retenues par l'étape de décantation. -support de développement de bactéries permettant l'élimination par voies biologique de certains composés (NH_4^+ , Fer, Mn). -protection des ouvrages situés en aval vis à vis du passage de microorganismes déjà évolués.
Anthracite	Matériau inerte (charbon de nature minéral) grains durs et anguleux.	-idem sable mais surtout rôle dans la rétention des MES -utilisé le plus souvent en bicouches en association avec le sable.
Charbon actif en grains (CAG)	Matériau à base de carbone obtenue par calcination et activation de bois, houille, tourbe ou noix de coco.	-amélioration des qualités organoleptiques de l'eau traitée (adsorption de composés sapides liés à la présence d'hydrocarbures, phénols, algues). -support de développement de bactéries permettant l'élimination par voie biologique de certains composés (NH_4^+ , Fer, Mn). -barrière de protection vis-à-vis de pollution accidentelles ou chroniques (pesticides par exemple) -action de déchloration si chloration élevée en amont de filtration. -utilisé seul ou en bicouche avec du sable.
Pierre poncée	Silicate d'aluminium d'origine volcanique (matériaux très poreux).	-idem sable -utilisé le plus souvent en bicouches en association avec le sable.
Grenat	Matériau à base de silicate naturel très dure (6 à 7,5) et de densité de (3,6 à 4,3).	idem sable. -utilisé le plus souvent en bicouches en association avec le sable.
Illinite	Matériau à base de silicate naturelle très dure (6 à 7,5) et de densité de (3,6 à 4,3).	idem sable. -utilisé le plus souvent en bicouche en association avec le sable.
Neutralité	Matériau à base de carbonate de calcium.	- utilisation spécifique pour mise en équilibre d'eaux agressives. -barrière physiques médiocre.
Dioxyde de Manganèse	Matériau minéral naturel (pyrolusite=dioxyde de Fer et de Silice).	-utilisation spécifique pour l'élimination du Fer et du Manganèse (adsorption+oxydation catalytique) -utilisé souvent en bicouche avec du sable.
Zéolite	Matériau a des aluminosilicates hydratés (naturel ou synthétiques).	-idem sable - utilisé comme échangeurs de cation, tamis ou adsorbant. -utilisé le plus souvent dans la filtration des eaux de piscine.
Billes de verre	Matériaux fabriqué à partir de verre recyclé	-idem sable.
Pouzzolane	Roche volcanique servant pour la fabrication de ciment.	-idem sable. -utilisé le plus souvent en bicouches en association avec le sable.

2.4.2. COMPOSITION CHIMIQUE :

Pour le sable de filtration des eaux potables, la teneur en silice doit être la plus élevée possible et en tout cas supérieure à 80%. Le tableau suivant (Tableau. 2) présente un exemple des caractéristiques de deux types de sable, sable forme ronde (sable de rivière) et sable anguleux (site de Tébessa).

Tableau. 2 : Composition chimique du sable

Élément chimiques	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
Sable de rivière %	87.00	6.61	0.11	0.07	0.45	1.10	3.51	0.03
Sable de matériaux concassés Tébessa %	97.59	0.37	0.39	0.05	0.17	0.05	0.17	0.50

Suivant les teneurs en silice présentées dans le tableau précédant, les deux types de sable conviennent au traitement des eaux potables.

2.4.3. GRANULOMETRIE :

En général, la granulométrie du sable pour le traitement des eaux potables se trouve entre (0.7-1.5 mm).

la courbe de répartition granulométrique (voir fig. 2) est obtenue en faisant passer l'échantillon de sable à travers une série de tamis normalisés mesurant la masse retenue sur chacun d'eux et en calculant la masse des matériaux qui a traversé chaque tamis, en exprimant le résultat en pourcentage de la masse totale de l'échantillon analysé. La répartition granulométrique permet de déduire les deux valeurs clés caractérisant le sable qui sont :

- ↪ la taille effective (TE)
- ↪ le coefficient d'uniformité (CU).

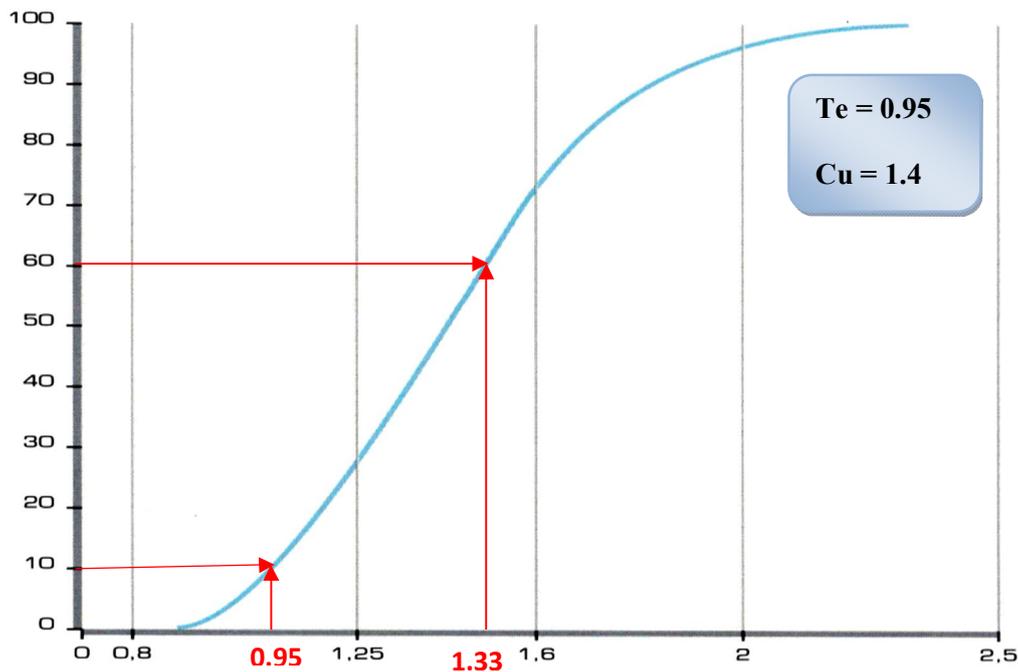


Figure. 2 : Courbe de répartition granulométrique

2.4.3.1. La taille effective :

Le diamètre effectif (d_e ou d_{10}) ou taille effective (TE) et le coefficient d'uniformité (CU) sont les caractéristiques granulométriques les plus importants caractérisant un média filtrant. La taille effective TE correspond à l'ouverture des mailles théoriques du tamis qui laisse passer 10 % de la masse de l'échantillon (grains de sable) donc 90 % de la masse ont un diamètre supérieur à TE. Plus la taille effective est faible, la qualité de l'eau filtrée sera meilleure mais le colmatage sera rapide.

En général, la taille effective du sable pour le traitement des eaux potables la plus couramment utilisée est de 0.95 mm.

2.4.3.2. Le coefficient d'uniformité :

Si l'homogénéité des tailles n'est pas respectée, le lavage classe les grains selon leurs tailles, les grains les plus gros se trouvant au fond du filtre et les plus fins en surface. Dans ce cas, l'encrassement de surface entraîne un cycle de filtration plus court.

Le coefficient d'uniformité est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 60% des particules et celui qui laisse passer 10% :

$$CU = D60 / D10 \quad \text{ou} \quad CU = D60 / TE$$

Le coefficient d'uniformité doit être inférieur à 1,5. Plus la valeur de CU se rapproche de 1, l'homogénéité du lit filtrant est très bien, ce qui permet de réduire les pertes de charge et d'obtenir une rétention en profondeur des matières en suspension.

2.4.3.3. Choix de la granulométrie d'une couche filtrante unique :

- ❑ $d_{10} \sim 0.9 - 1.35 \text{ mm}$ → Granulométrie couramment utilisée en Europe dans des systèmes à couches homogènes.
- ❑ $d_{10} \sim 1.35 - 2.5 \text{ mm}$ → Dégrossissage des eaux industrielles ou traitement tertiaire des eaux usées. Utilisation comme couche support de matériaux de $0.4 - 0.8 \text{ mm}$.
- ❑ $d_{10} \sim 3 - 25 \text{ mm}$ → Utilisé comme couche de support.

2.4.3.4. La masse volumique apparente :

La masse volumique apparente dépend de la composition chimique du sable, mais aussi de sa granulométrie. Plus la taille effective est importante, plus la masse volumique apparente est moins grande.

La masse volumique apparente c'est le rapport entre la masse du matériau et le volume apparent de l'ensemble des grains :

$$\rho (\text{app}) = M (\text{mat}) / V (\text{app})$$

$\rho (\text{app})$: La masse volumique apparente

$M (\text{mat})$: la masse de matériau

$V (\text{app})$: le volume apparent

Pour le sable cette valeur varie de 1,4 à 1,6 kg/l.

2.4.3.5. La masse volumique réelle :

C'est le rapport entre la masse du matériau et le volume réel des grains (somme des volumes élémentaires des grains y compris le volume des pores fermés).

$$\rho (\text{réelle}) = M (\text{mat}) / V (\text{réel})$$

Pour le sable cette valeur varie de 2,5 à 2,65 kg/l.

2.4.4. LA FRIABILITE :

La friabilité permet de choisir les matériaux susceptibles d'être utilisés en filtration, sans risque de production de grains fins par les opérations de lavage.

Le sable de filtration doit être peu friable, afin de produire le moins de grains fins possible par attrition lors des lavages, car elles pourraient se trouver en surface et provoquer un encrassement rapide du lit filtrant. Le test de friabilité s'effectue en introduisant dans un cylindre du sable et des billes en acier, et en faisant tourner à 25tr/mn pendant 15 mn pour un premier volume de l'échantillon, puis pendant 30 mn pour un deuxième volume, ce qui correspond respectivement à 750 et 1500 impacts. Puis on procède à l'établissement des courbes de répartition granulométrique de l'échantillon avant et après les deux types de broyage [MAU_05].

$$\text{La perte en \% (m/m)} = (100/90) \cdot (x - 10)$$

x étant le % de passant après concassage ayant une taille correspondant au d10 avant concassage.

La qualité d'un sable du point de vue de sa friabilité est donnée par le tableau suivant :

Tableau. 3 : La qualité d'un sable du point de vue de sa friabilité

Qualité	750 impacts	1500 impacts
Très bon	<10%	<20%
Bon	10 – 15 %	20 – 25 %
Médiocre	15 - 20 %	25 - 35 %
Inacceptable	> 20 %	> 35 %

2.5. LES PERTES A L'ACIDE :

Il est bien évident qu'on ne peut tolérer une perte à l'acide importante quand l'eau est susceptible de contenir du gaz carbonique agressif ou toute acidité minérale.

Les pertes de masse dans l'acide chlorhydrique en solution à 20% doit être au maximum de **2%** en 24 h, ce paramètre est important surtout afin de ne pas entraîner des pertes dans le cas où l'eau est agressive.

2.6. LA PERTE DE CHARGE :

Pour réserver un encrassement acceptable, il faut augmenter la hauteur des couches. Le temps pendant lequel on maintient un filtrat clair (temps t_1 voir fig. 3) est proportionnel à la hauteur de la couche.

Pour pouvoir profiter de l'encrassement de la quasi-totalité de la hauteur prévue, il faut disposer d'une perte de charge telle que le temps t_2 mis pour l'atteindre soit peu inférieur au temps t_1 . Cette valeur de la perte de charge représente la limite maximale, au delà de laquelle on obtiendra rapidement la crevaison de la masse filtrante. Cette valeur limite est d'autant plus élevée que le sable est plus fin.

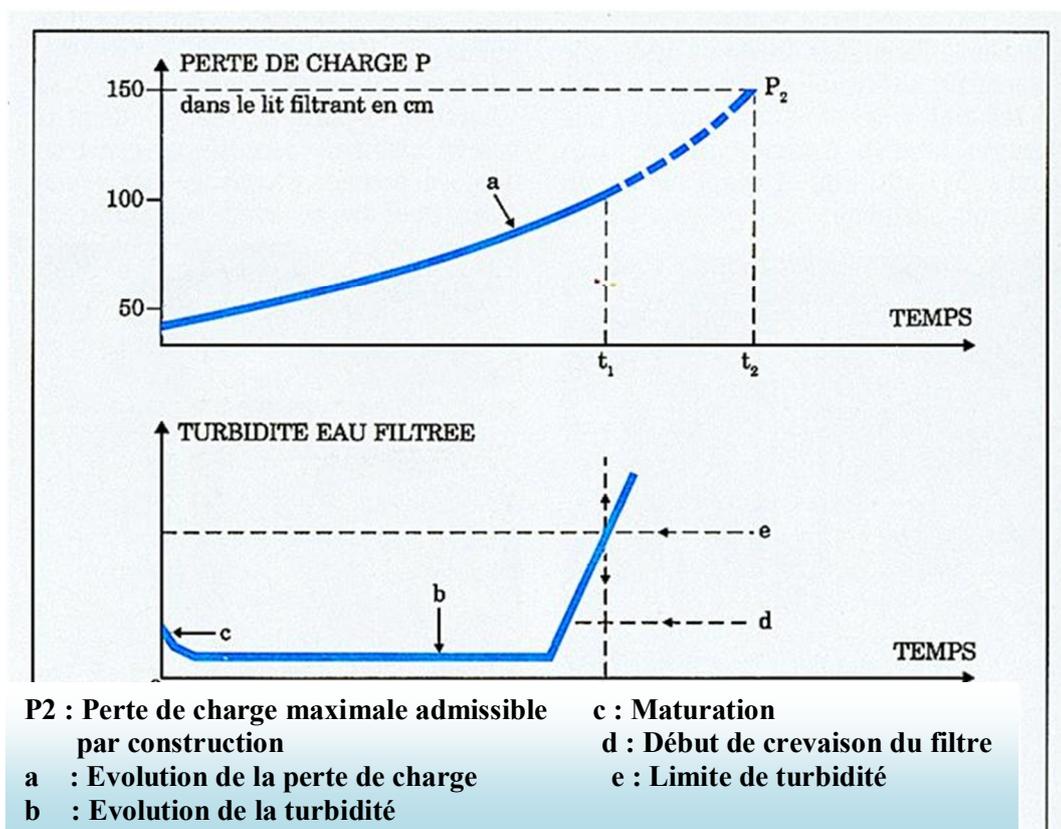


Figure. 3 : Evolution de la turbidité et la perte de charge en fonction du temps

Le graphique du bas représente l'évolution de la turbidité en fonction du temps. Si on se fixe comme limite maximale tolérable une turbidité e , cette turbidité est atteinte au bout du temps $t_1 < t_2$. Ceci montre que le filtre est mal conçu et que sa hauteur de couche est insuffisante pour pouvoir disposer de la perte de charge maximale; cette hauteur doit être augmentée jusqu'à ce que t_1 soit supérieur à t_2 .

Les graphiques de la figure. 4 représentent un filtre ouvert. Sur le graphique de droite sont portées en ordonnées, les hauteurs de prise de pression A, B, C, D comptées au dessus du plancher du filtre, et en abscisses les pressions représentées en hauteur d'eau avec la même échelle qu'en ordonnées. Tous les points représentatifs de la pression statique aux différents niveaux du filtre sont sur la droite A'd₀.

La hauteur minimale de sable et la perte de charge minimale à prévoir avant encrassement sont donc respectivement BC et C0C2.

Enfin, l'expérience montre que les valeurs de t₁ correspondant à différentes hauteurs d'un sable défini sont sensiblement proportionnelles aux épaisseurs correspondantes.

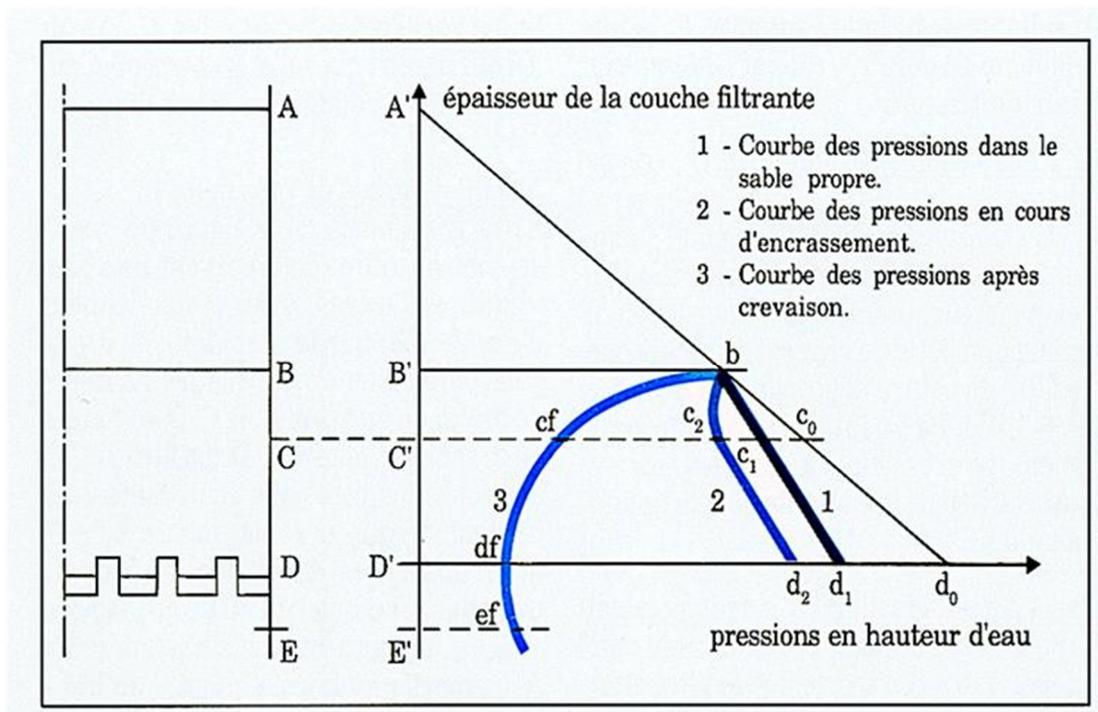


Figure. 4 : Répartition des pressions

Il est possible d'estimer la perte de charge dans un filtre en opération à l'aide de différents modèles (Carmen-Kozeny, Fair-Hatch, etc.). Un bon système de filtration doit optimiser les pertes de charge.

La **loi de Kozeny-Carman** est dérivée de la loi de Poiseuille. C'est une loi semi empirique utilisée pour décrire les phénomènes de filtration.

$$v = \frac{\Delta(P)}{\eta L} \frac{\epsilon^3}{ks^2(1-\epsilon)^2}$$

Avec:

- v , vitesse du flux en fut vide (en absence du milieu poreux) (m/s)
- $\Delta(P)$, différence de pression aux deux extrémités du milieu poreux (Pa)
- η , viscosité dynamique de la phase fluide (Pa.s)
- L , longueur du milieu poreux (m)
- ϵ , porosité du lit poreux
- K , constante de Kozeny (comprise entre 3 et 6 en général)
- S , surface spécifique des particules composant le lit

Comme la loi de Poiseuille, elle indique que la vitesse du flux v est directement proportionnelle à la chute de pression $\Delta(P)$ le long du medium et à la surface du lit poreux (filtre) S , et inversement proportionnelle à la viscosité du fluide η et à l'épaisseur du lit poreux L . Pour caractériser le matériel composant le lit, deux nouvelles variables (ϵ et S) sont introduites en remplacement du rayon capillaire de la loi de Poiseuille. Le paramètre K est utilisé pour décrire la géométrie du milieu.

Une forme simplifiée peut être utilisée pour mesurer la vitesse de sédimentation des particules dans une suspension, la sédimentation étant considérée comme la conséquence de la pénétration du liquide dans les pores des particules (qui les alourdit et entraîne leur chute).

$$v = \frac{\Delta(P) g}{k \eta S_v^2 L} \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)}$$

Avec:

- v , vitesse de sédimentation de la particule liée à leur vitesse de migration du liquide à l'intérieur des pores des particules (m/s)

- , $\Delta(\rho) = \rho_p - \rho_f$ différence de densité entre la particule (phase dispersée) et le fluide (phase continue)
- η , viscosité de la phase liquide
- S_v^2 , surface spécifique de la couche solide (cm^2/cm^3)
- g , accélération (m/s^2)
- k , constante de Kozeny ($k=5$ en général)
- ε , facteur de porosité de la phase solide
- $1-\varepsilon$, proportion de la phase dispersée (phase solide dans une suspension)

2.7. REGULATION :

Les variations brusques de débit provoquent des coups dans la filtration et un détachement des particules, et pour éviter cet inconvénient le filtre doit avoir une technique de régulation.

La régulation peut se faire par l'amont (canal d'eau décantée) ou par l'aval (canal d'eau filtrée) ou par les deux à la fois.

2.8. PLANCHER DES FILTRES (FOND DE FILTRE) :

Les planchers des filtres (voir figure.6) sont en dalle de béton avec des buselures (voir fig. 7) dont la densité est 50 au m^2 , en plancher perforé, plancher en propylène perforé ou en plancher inox.



Photo. 2 : Plancher des filtres avec buselures

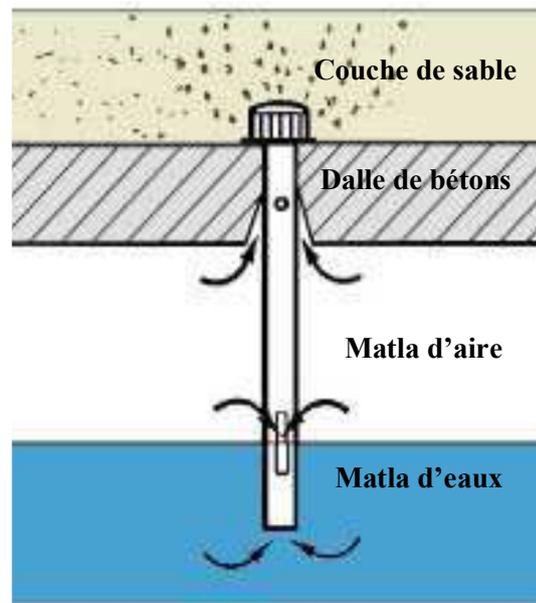


Photo. 7 : Une buselure

2.9. HAUTEUR DE LA COUCHE FILTRANTE :

Plus la hauteur est importante, plus la qualité de l'eau filtrée sera meilleure. En général, on choisira une hauteur de couche supérieure ou égale à 1000 fois la taille effective du sable (par exemple 950 mm de hauteur pour un sable ayant un TE de 0.95 mm pour la filtration de l'eau potable).

2.10. HAUTEUR D'EAU AU DESSUS DU MEDIA :

Plus elle sera importante, plus les cycles entre deux lavages seront longs et moins de risque de mise en dépression, et donc de dégazage, seront importants.

2.11. VITESSE DE FILTRATION :

La vitesse de filtration définit le type de filtration mis en jeu (rapide ou lent) :

Vitesse de filtration est donnée par la formule suivante :

$$V_F \text{ (en m/h)} = \text{débit en m}^3/\text{h} / \text{surface filtrante en m}^2$$

- **Filtres lents**: sont des techniques anciennes et efficaces mais qui se traduit par des ouvrages de très grande taille (des filtres de l'ordre d'un terrain de foot)

$$V_F = 0.5 \text{ à } 15 \text{ m/j (à retenir ordre de grandeur de } V_F \text{ m/jour)}$$

- **Filtres rapides** : ce sont les filtres les plus communément rencontrés

$$V_F = 5 \text{ à } 20 \text{ m/h (à retenir ordre de grandeur de } V_F \text{ m/h)}$$

- **Filtres sous pression** : sont des filtres fermes et compacts en acier où la vitesse peut atteindre les 25 l/h en monocouche ou en bicouche.

2.12. LES LAVAGES :

Le lavage des filtres se fait selon trois procédures :

- Une seule phase : eau seule
- Deux phases séparées : air et eau séparément
- Plusieurs phases : air et eau en combinaison
- Phase air : pour briser le feutrage de surface phase brève (30 s) et (4 à 6 mn à) pour la variante 3
- phase air +eau : pour mieux agiter les grains, détisser le média filtrant et éviter une expansion totale débit eau :

$$5 \text{ à } 10 \text{ m/h (3 à 5 mn) et débit air : } 50 \text{ à } 60 \text{ Nm}^3/\text{m}^2/\text{h}$$
- Phase eau seule : pour mettre en expansion le filtre et rincer le filtre (15 à 20 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$) pendant 5 à 12 mn) on peut aller jusqu'à (20 à 40 $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{h}$).

Les pertes en eau de lavage ne doivent pas dépasser les 3% du volume filtrée (une moyenne de 1 à 2 %).

Le type de lavage doit être en accord avec la nature du média

L'efficacité du lavage varie avec le type de lavage :

- Meilleur phase de lavage pour l'élimination des MES = air et eau simultanés
- Lavage recommandé pour la filtration bicouche = air et eau séparés

2.13. CRITERES DE CONCEPTION DES FILTRES :

Le nombre minimal de filtres pour de petites installations (<90 l/s) est de 2 ;

Pour les autres :

$$N = 1.2Q^{0.5}$$

N = nombre de filtres

Q = débit journalier max

2.14. CONCLUSION :

Le sable filtrant doit correspondre à certaines exigences physicochimiques, pour garantir une turbidité dans les normes, et ainsi pour garantir la potabilité d'une eau, les pertes en eau de lavage ne doivent pas dépasser les 3%, d'où une optimisation de lavage est nécessaire.

CHAPITRE III

PROCEDES DE POTABILISATION

3.1. INTRODUCTION :

La station de traitement concernée par cette étude, est la station de production d'eau potable d' Hammam Debagh ; wilaya de Guelma (voir photo. 1). Au cours de ce chapitre, nous essayons de faire une brève description de la station de production d'eau potable avec les différents procédés de traitement.

Le site de la station de traitement des eaux sis sur la rive droite d'Oued Bouhamdane, est situé à HAMMAM DEBAGH, à environ 1 km au NORD-OUEST de l'agglomération chef-lieu de commune et à 40 m de Oued Bouhamdane.

La station de traitement Hammam Debagh est à 01 km du barrage Bouhamdane et à 20 km de la ville de Guelma.

La station de traitement de l'eau potable est limitée comme suit:

- Au NORD, par Oued Bouhamdane.
- Au SUD, par l'administration de l'ANBT.
- L'EST par le terrain de football.
- L'OUEST par le barrage de HAMMAM DEBAGH



Photo. 1 : Vue aérienne de La station de traitement de l'eau potable de Hammam Debagh wilaya de Guelma (photo Google Earth)

La station est alimentée par le barrage Bouhamdane (voir photo. 2) qui, Possède une capacité théorique de 220 millions de m³ permettant une régularisation annuelle de 55 à 60 millions de m³. Il est situé dans la wilaya de Guelma 20 kilomètre à l'ouest de la ville de Guelma, il est implanté à 1 kilomètre à l'amont de la station de traitement Hammam Debagh.

Le barrage est destiné à l'irrigation du périmètre de Guelma-Bouchegouf et à l'alimentation en eau de la ville Guelma et les différentes communes de la wilaya. Il est formé d'une digue du type en terre composée d'un noyau argileux vertical et une tour de prise située en rive gauche comporte trois prises d'eau haute, moyenne et basse, le bassin versant du barrage s'étend sur 1070Km.



Photo. 2 : Barrage Bouhamdane

3.2. LES OUVRAGES DE LA STATION :

La chaine de traitement comprend les différents ouvrages suivant (voir photo. 3):

- ✓ Un bassin de mélange d'une capacité de 545 m³ : pour but de décharger les colloïdes et la formation des floes.
- ✓ Un décanteur 3200 m² : qui a pour but de permettre le dépôt des particules en suspension dans l'eau.

- ✓ Un ouvrage de filtration composé de six filtres : les filtres à sable pour éliminer la turbidité résiduelle et les bactéries nuisibles.
- ✓ un réservoir d'eau traitée, 300 m³ : pour alimenter la station de pompage
- ✓ Une station de pompage d'une capacité de 500l/s.
- ✓ Une chambre d'évacuation des boues.
- ✓ Un bâtiment de réactifs.
- ✓ Un bâtiment administratif et un laboratoire.

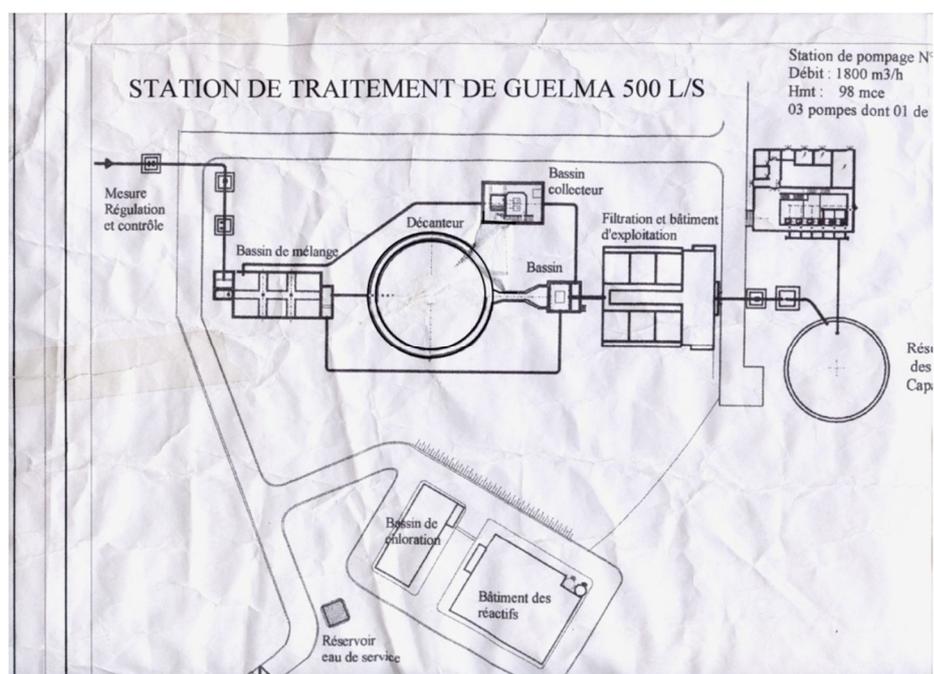


Photo. 3 : Plan des ouvrages de la station de traitement : Hammam Debagh

3.3. LES PROCEDES DE TRAITEMENT :

La chaîne de traitement des eaux arrivant du barrage est constituée par les étapes de traitement suivantes :

- pré-oxydation.
- Coagulation-floculation
- décantation
- Filtration sur sable
- désinfection
- Stockage et distribution

➤ **La phase pré-oxydation:**

La pré-oxydation se fait à l'entrée du bassin de mélange par l'injection d'hypochlorite de sodium à une concentration de 48°, cette opération sert à la destruction des germes pathogènes et oxyder les algues, les matières organiques et métaux lourds (fer, manganèse...). La dose optimale est déterminée au laboratoire par le break-point.

➤ **La phase Coagulation-floculation :**

La coagulation se fait dans la première partie du bassin de mélange (voir photo. 4) par l'injection de sulfate d'alumine avec un mélange rapide et dans la deuxième partie du bassin de mélange se fait l'injection du polymère avec un mélange lent, les dose optimale est déterminée au laboratoire par jar-test.

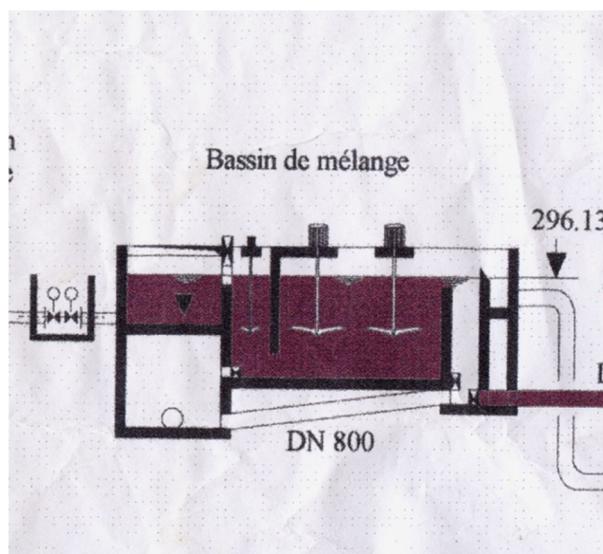
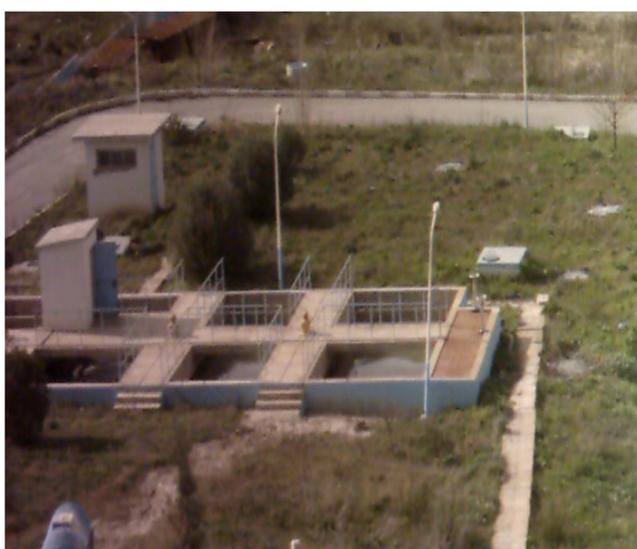


Photo. 4 : Bassin de mélange

➤ **La phase décantation :**

La décantation de floes se fait dans le décanteur circulaire statique conique à flux horizontal (voir photo. 5) qui permet la séparation liquide- solide.

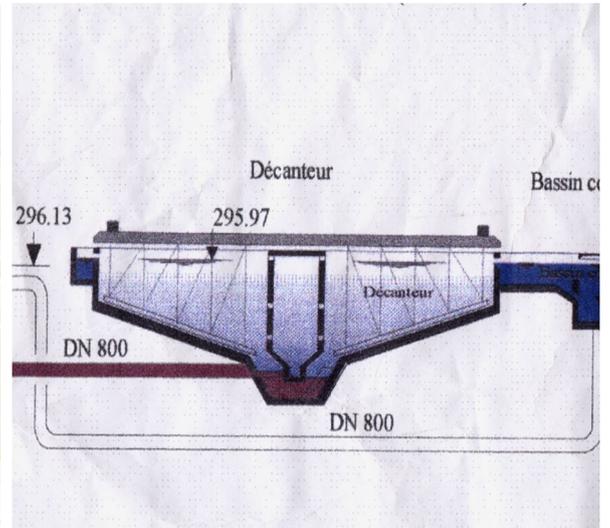


Photo. 5 : décanteur circulaire statique

➤ **Bassin de filtration :**

Le bassin de filtration comprend six batteries de filtration (voir photo. 6). Les planchers des filtres sont en dalle de béton avec des buselures (voire photo. 7), la couche de sable a une hauteur de (1à1.2 m). L'opération de lavage des filtres est basée sur l'indicateur de colmatage (turbidité et perte de charge).

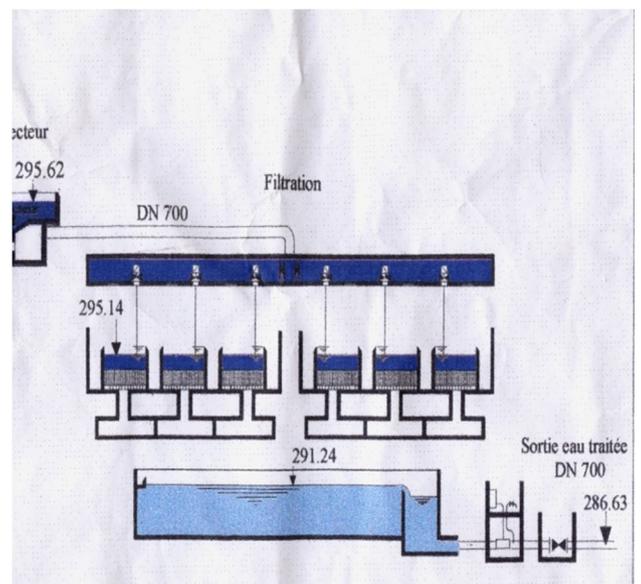


Photo. 6 : Les filtres à sable



Photo. 7: Dalle de béton avec les buselures des filtres

➤ **Désinfection**

La désinfection est l'étape finale du traitement. Elle assure la désactivation des germes pathogènes et des virus dans l'eau. Elle consiste à ajouter une dose de chlore ou de l'eau de javel à l'eau filtrée, avant l'alimentation des réservoirs de stockage et ceci en détruisant les germes pathogènes et en fournissant un taux de stérilisation libre pour garantir une désinfection totale de l'eau et une protection durant son stockage et son adduction.

➤ **Réservoir de stockage :**

Une station de traitement de l'eau potable doit disposer d'une réserve assurant un approvisionnement de quelques heures pour éviter une pénurie en eau en cas de problèmes techniques. Le réservoir de stockage de la station a une capacité de 3000m³ (voir photo. 8) dans le but de stocker l'eau traitée et alimenter la station de pompage.



Photo. 8 : Réservoir de stockage

➤ **Station de pompage :**

La station de pompage est de capacité de 500 l/s, sert à pomper l'eau traitée vers Guelma et Hammam Debagh (voir photo. 9).

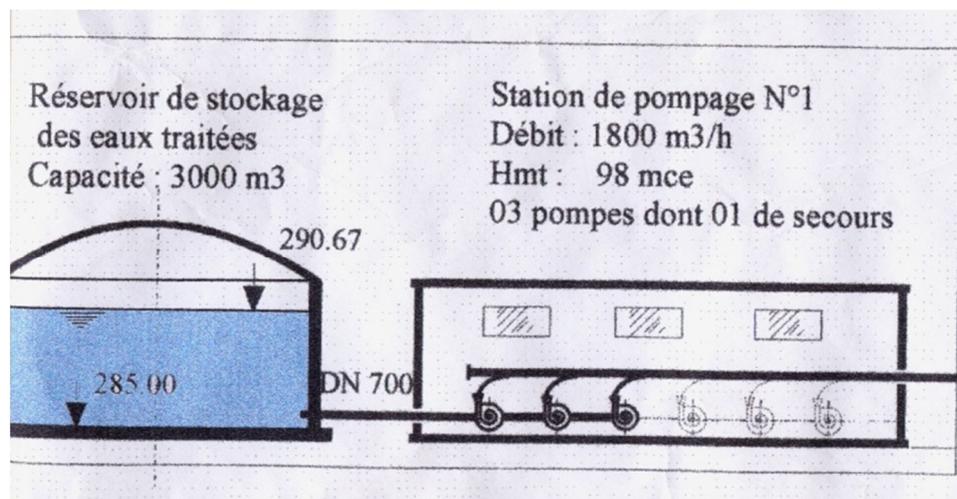


Photo. 9 : Station de pompage

3.4. LES ANALYSES EFFECTUÉES DANS LA STATION:

Pour la réalisation de cette étude, nous nous sommes basés sur plusieurs analyses de l'eau brute, décantée filtrée durant l'année 2015.

Les paramètres d'analyse sont les suivants :

- **Turbidité** : ce paramètre est effectué à l'aide de l'appareil TURBIDIMETRE de marque HACH par une lecture directe, l'unité de ce paramètre est NTU (voir photo. 10).



Photo. 10 : Le turbidimètre

- **Potentiel hydrogène (PH)** : effectué à l'aide de l'appareil PH-METRE de marque WTW par une lecture directe, sans unité (voir photo. 11).



Photo. 11 : Le PH-mètre

- **Température, Conductivité, Teneur en sels dissouts, Salinité**: Elles sont effectuées à l'aide d'un appareil multifonctions de marque WTW par une lecture directe, (voir photo. 12).



Photo. 12 : Appareil multifonctions

- **TH, TA, TAC, HCO₃⁻, Ca²⁺, Mg²⁺ Cl⁻, MO** : Les analyses de ces paramètres sont effectuées par la méthode volumétrique (voir photo. 13).



Photo. 13 : Burette de la méthode volumétrique

- **M.E.S à 105°C** : L'analyse est effectuée par la rompe de filtration (voir photo. 14).



Photo. 14 : Rompe

- **Résidu sec à 105 °C** : Ce paramètre est effectué dans une étuve à 105 °C pendant 24H (voir photo. 15).



Photo. 15 : L'étuve pasteur

- **Nitrites, Nitrates Sulfates, Ammonium, Fer dissous, Ortho phosphate** : L'analyse de ces paramètres est effectuée par l'appareil spectrophotomètre de marque HACH (voir photo. 16).



Photo. 16 : Le spectrophotomètre

- ✚ Les protocoles utilisés pour les analyses sont présentés en annexe.

5.5. CONCLUSION :

Dans ce chapitre une description des différents ouvrages de la station a été faite ainsi que les procédés de traitement pour la production de l'eau potable de la station de Hammam Debagh d'une part et d'autre part les différentes méthodes d'analyse et les appareils utilisés dans le laboratoire.

CHAPITRE VI

ANALYSE DES RESULTATS

4.1. INTRODUCTION :

Ce chapitre a pour objectif de regrouper en un premier lieu les résultats des analyses effectuées dans le laboratoire d'analyse et de caractérisation des échantillons de l'eau brute, décantée et filtrée au niveau de la station de traitement de l'eau potable de Guelma. En second lieu les données collectées ont été traitées en utilisant une combinaison de deux méthodes statistiques multi variées l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA)) afin d'avoir la liaison entre les paramètres des analyses physiques. et ceci à travers les résultats des analyses suivis de discussions et interprétations des résultats obtenus.

4.2. PRESENTATION DES RESULTATS DES ANALYSES :

Dans les Tableaux (1,2 et 3) sont regroupés les résultats des analyses des eaux brutes, décantées et des eaux traitées. Les analyses ont été réalisées au niveau du Laboratoire de la station de traitement.

Notre base de données provient de la station de traitement de l'eau potable de Hammam Debagh des eaux du barrage Bouhamdane dans la Wilaya de Guelma.

Tableau. 1 : Eaux brutes de la station d'étude Hammam Debagh

Mois	unités	Janvier	Février	Mars	Avril	mai	juin	juillet	aout	septembre	octobre	novembre	décembre
<i>Paramètres</i>													
Turbidité	NTU	11.2	23.2	12.7	16.1	5.19	8.72	8.95	9.25	7.23	11.4	12.2	8.01
PH		-	8.1	8	8.12	7.92	7.74	7.87	7.57	7.87	7.99	7.99	8.35
Température	(°C)	10.2	8.7	8.8	11.8	13.4	14.6	17.9	17	13.7	14.4	13.1	12.6
Conductivité	µs/cm	471	378	338	384	418	450	526	457	558	571	585	667
TDS	mg/l	321	268	239	251	262	273	295	262	267	274	273	314
Sal		0.1	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1
TH	°F	22	21	21	21	20.2	18.2	20.2	18.4	18.6	21.6	21.2	23.8
TA	°F	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3
TAC	°F	12	10.8	11.3	11.5	11.6	12	13.7	12.2	12	12.2	14	13.7
HCO3-	mg/l	146.4	131.76	137.86	140.3	141.52	146.4	167.14	148.84	146.4	148.84	170.8	167.14
Ca2+	mg/l	61.15	53.31	50.17	49.39	53.66	48.86	53.66	49.66	49.66	55.26	57.67	64.08
Mg2+	mg/l	22.10	16.93	16.46	16.46	16.52	14.58	16.52	14.58	15.06	18.95	16.52	18.95
Cl-	mg/l	85.2	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	85.2
Oxydabilité KMnO4	mg/l	4	4.5	4.3	6	3.1	3.5	6	5.2	6.7	5.5	6.7	1.5
M.E.S à 105°C	mg/l	4.5	8	4	8	2	3	4	4.5	3	4.5	5	5.5
Nitrites	mg/l	-	0.15	0.01	0.04	0	0	0	0.01	0	0	0	0.01
Nitrates	mg/l	3.393	7.26	1.536	1.753	1.246	1.938	1.663	1.795	1.251	1.122	1.608	1.51
Sulfates	mg/l	85	85	70	95	110	70	35	105	60	35	40	125
Ammonium	mg/l	0.065	0.15	0.21	0.20	0.02	0.01	0	0	0.014	0.02	0.018	0.04
Fer dissous Fe2+	mg/l	0.16	0.17	0.11	0.36	0.05	0.05	0.08	0.12	0.05	0.11	0.13	0.07
Ortho phosphate	mg/l	0.076	0	0.23	0.370	0.239	0.036	0.059	0.048	0.094	0.10	0.103	0.101
Résidu sec à 105 °C	mg/l	408.5	298.5	404	455.5	334	327	375	308.5	354	434	344	523.5

Tableau. 2 : Eaux décantées de la station d'étude Hammam Debagh

Mois	unités	Janvier	Février	Mars	Avril	mai	juin	juil	aout	sept	octo	nov	dec
<i>Paramètres</i>													
Turbidité	NTU	8,55	14,41	19,9	14,62	5,65	8,16	6,92	9,68	8,46	11,6	11,7	9,69
PH		7,43	7,68	7,76	7,76	7,87	7,78	7,78	7,79	7,94	7,95	8,03	8,24
Température	(°C)	10.2	8.7	8.8	11.8	13.4	15.5	18.6	12.2	14	12.6	13.1	12.7
Conductivité	µs/cm	434	386	365	389	432	471	537	413	562	578	598	664
TDS	mg/l	306	275	251	257	271	279	298	268	274	276	279	314
Sal		0,1	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1

Tableau. 3 : Eaux filtrées de la station d'étude Hammam Debagh

Mois	unités	Janvier	Février	Mars	Avril	mai	juin	juillet	aout	septembre	octobre	novembre	décembre
<i>Paramètres</i>													
Turbidité	NTU	1.76	4.01	5.11	2.36	2.71	3.09	2.35	4.5	3.13	3.25	2.95	1.67
PH		-	7.8	7.46	7.96	7.98	7.70	7.87	7.91	7.88	7.97	7.98	7.87
Température	(°C)	10.3	8.6	9	11.3	12.2	14.8	17.5	14.9	12.7	12.6	12.8	13
Conductivité	µs/cm	478	386	347	387	411	444	508	438	561	576	570	672
TDS	mg/l	324	276	244	254	266	274	290	264	268	277	269	317
Sal		0.1	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.1
TH	°F	22	21	21	21	20.2	18.2	20.2	18.4	18.6	21.6	21.2	23.8
TA	°F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TAC	°F	12.5	10.8	11.1	11.5	11.6	12	13.7	12.2	12	12.2	14	14
HCO3-	mg/l	152.5	131.76	135.42	140.3	141.52	146.4	167.14	148.84	146.4	148.84	170.8	170.8
Ca2+	mg/l	61.15	53.31	49.39	49.39	53.66	48.86	53.66	49.66	49.66	55.26	57.67	64.08
Mg2+	mg/l	22.10	16.93	15.06	16.46	16.52	14.58	16.52	14.58	15.06	18.95	16.52	18.95
Cl-	mg/l	85.2	71	71	71	71	71	71	71	71	71	71	85.2
Oxydabilité KMnO4	mg/l	3.2	4	4	2	2.5	2.7	5.5	5	6	5	6.2	14.2
M.E.S à 105°C	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Nitrites	mg/l	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrates	mg/l	2.365	8.42	1.735	0.891	1.891	1.746	1.668	1.608	1.441	1.46	1.251	1.78
Sulfates	mg/l	105	100	80	115	115	85	45	115	70	50	65	135
Ammonium	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fer dissous Fe2+	mg/l	0.06	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0.02	0
Ortho phosphate	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Résidu sec à 105 °C	mg/l	357	317	534	454.5	32605	320	382.5	314.5	310.5	389.5	307.5	500.5

Le Tableau 4 présente les résultats maximaux, minimaux, de quelques paramètres physico chimiques à partir des prélèvements effectués entre janvier et Décembre 2015.

Tableau. 4 : Les résultats des statistiques descriptives des différents paramètres

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Turbidité	12	5,190	23,200	11,179	4,752
PH	12	7,570	8,350	7,959	0,195
Température	12	8,700	17,900	13,017	2,872
Conductivité	12	338,000	667,000	483,583	98,838
TDS	12	239,000	321,000	274,917	24,062
TH	12	18,200	23,800	20,600	1,623
TAC	12	10,800	14,000	12,250	1,020
HCO3-	12	131,760	170,800	149,450	12,447
Ca2+	12	48,860	64,080	53,878	4,939
Mg2+	12	14,580	22,100	16,969	2,140
Cl-	12	71,000	85,200	73,367	5,527
M.E.S à 105°C	12	2,000	8,000	4,667	1,826
Fer dissous Fe2+	12	0,050	0,360	0,122	0,086
Ortho phosphate	12	0,000	0,370	0,121	0,106
RS à 105 °C	12	298,500	523,500	380,542	66,926

Les figures (1 à 6) présentent l'évolution des différents paramètres mesurés en continu, de la qualité de l'eau au cours du temps en respectant les normes. L'Algérie s'est basée sur les normes internationales, pour établir ses propres normes (**Normes algériennes du ministère des ressources en eau depuis 22 mars 2011**) [JOU, 2011].

On peut dire que c'est une combinaison de différentes normes qui existe sur le plan international [MAH_14]. Les mesures sont affichées en fonction de leur date d'acquisition. On remarque aussi que les paramètres telles que la turbidité, sont fortement dépendants des phénomènes saisonniers. On voit ici tout l'intérêt de disposer d'au moins un an d'archives de données pour déterminer un modèle de prédiction fiable capable de fonctionner sur une année complète.

4.2.1. LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE :

La conductivité électrique est probablement l'une des plus simples et des plus importantes pour le contrôle de la qualité des eaux usées. Elle traduit le degré de minéralisation globale, elle nous renseigne sur le taux de salinité. L'analyse des résultats (fig. 1) montre que la concentration de la conductivité dans les eaux de la station de Guelma varie entre 338 mg/l et 667 mg/l à l'entrée et entre 347 mg/l et 672 mg/l à la sortie, ces concentrations sont inférieures à la norme algérienne fixée à 2800 $\mu\text{s}/\text{cm}$, alors que la France l'a fixée à 1000 $\mu\text{s}/\text{cm}$. On peut dire que c'est une eau minéralisée.

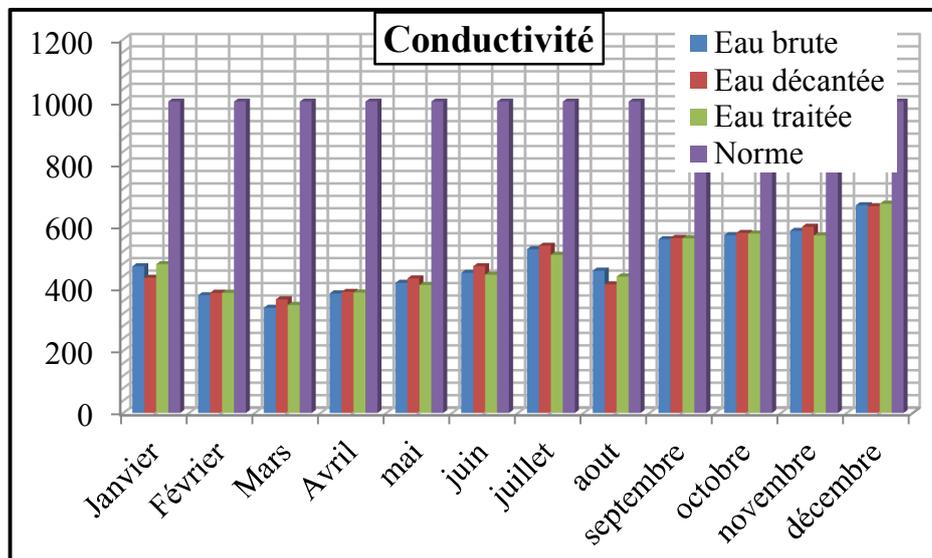


Figure. 1 : Evolution spatio-temporelle de la conductivité de la station de traitement de l'eau potable de Guelma

4.2.2. TEMPERATURE DE L'EAU (T°C) :

En effet la température est un facteur écologique très important qui a une grande influence sur la propriété physicochimique des eaux, elle a tendance à augmenter avec les saisons. Un réchauffement ou bien un refroidissement peut perturber fortement le phénomène de traitement de l'eau potable.

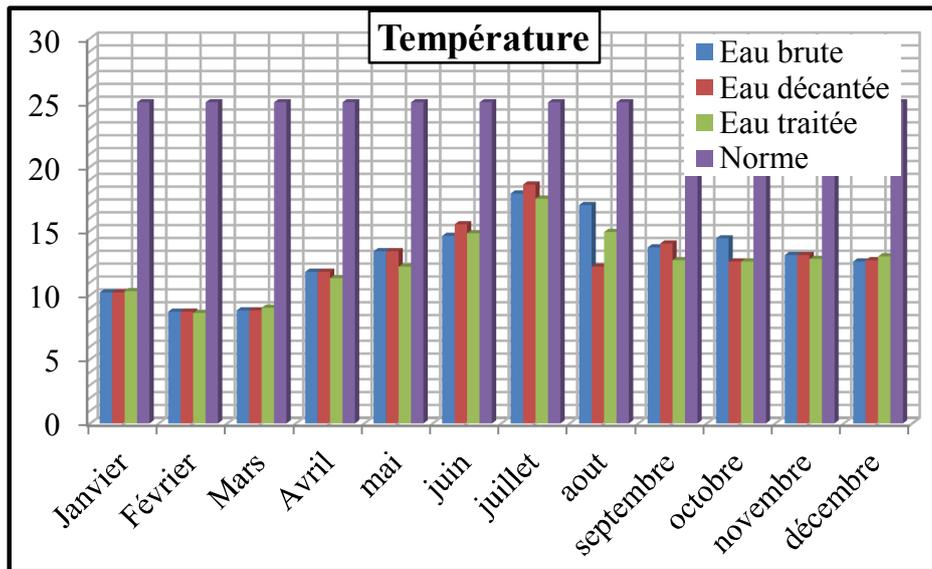


Figure. 2 : Evolution spatio-temporelle de la température de la station de traitement de l'eau potable de Guelma.

4.2.3. LES MATIERES EN SUSPENSION (MES) :

Les matières en suspension, représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont en fonction de la nature des terrains traversés, de la station, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets, etc. L'analyse des résultats (fig. 3) montre que la concentration des MES dans les eaux de la station de Guelma varie entre 2 et 8 mg/l à l'entrée et entre 0 et 1 mg/l à la sortie.

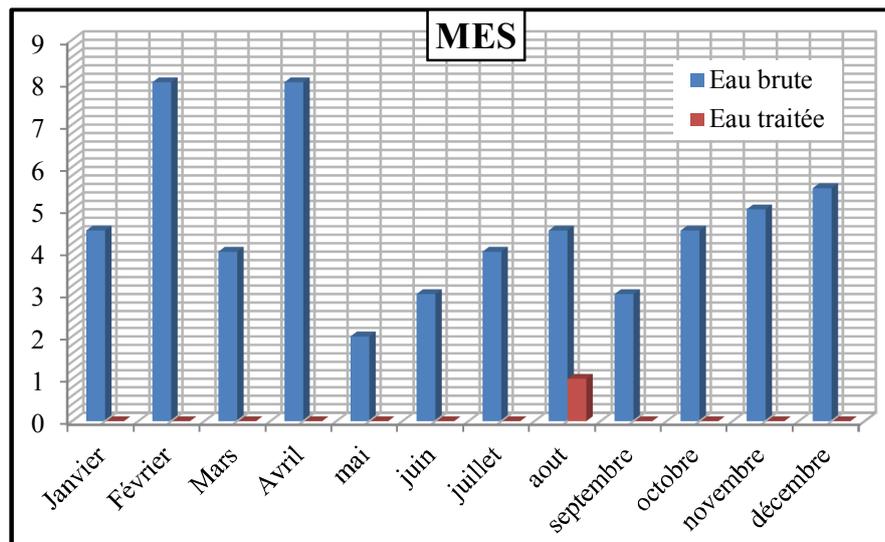


Figure. 3 : Evolution spatio-temporelle des MES de la station de traitement de l'eau potable de Guelma

4.2.4. TURBIDITE :

L'évolution de la turbidité au cours du temps est également présentée sur (la Fig. 4) On constate de fortes variations de la turbidité durant les mois janvier, février, mars et avril L'analyse des résultats montre que la concentration de la turbidité dans les eaux de la station de Guelma varie entre min de 5,19 mg/l et un max de 23,2 mg/l à l'entrée et entre un min de 1,67 mg/l et un max de 5,11 mg/l à la sortie, ces concentrations sont inférieures à la norme algérienne fixée à 5 NTU.

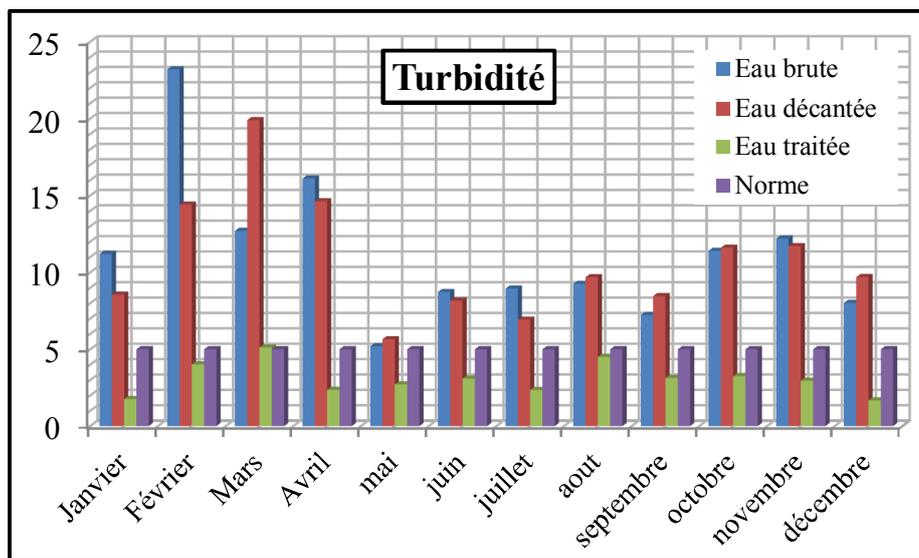


Figure. 4 : Evolution spatio-temporelle de la turbidité de la station de traitement l'eau potable de Guelma

4.2.5. LES SOLIDES DISSOUS TOTAUX (TDS) :

Les solides dissous totaux représentent une évaluation totale des sels minéraux contenus dans l'eau (en solution). Cette valeur traduit une évaluation totale sur le taux de minéraux qui ont été dissous dans l'eau. Toutes les valeurs sont largement inférieures à la norme qui est 1000mg/l. (voir fig. 5)

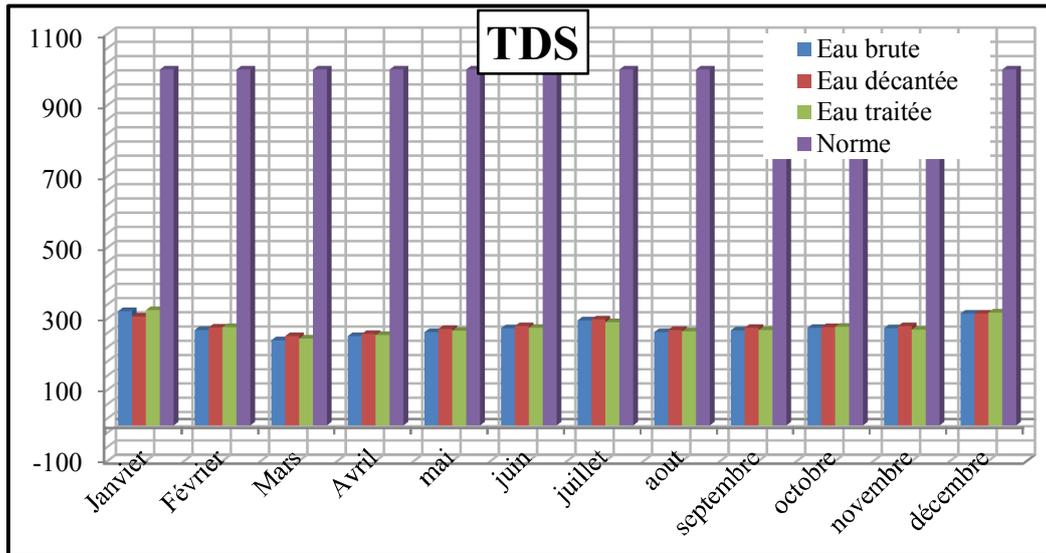


Figure. 5 : Evolution spatio-temporelle des TDS de la station de traitement de l'eau potable de Guelma.

4.2.6. POTENTIEL EN HYDROGENE :

Le pH est la variable la plus importante à prendre en considération au moment de la coagulation. Pour chaque eau, il existe une plage de pH pour laquelle la coagulation a lieu rapidement, plage qui est fonction du coagulant utilisé, de sa concentration et de la composition de l'eau à traiter. Pour les sels de fer et d'aluminium, les plages de pH optimales s'étendent respectivement de 4 à 6 et de 5 à 7. Pour certaines eaux, il faut parfois corriger le pH à l'aide de divers produits (acide, chaux ou soude). Pour abaisser le pH, il est plus avantageux, dans certains cas, d'augmenter la quantité de coagulant. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimique suit les normes, inférieur à 9.5. (voir fig. 6)

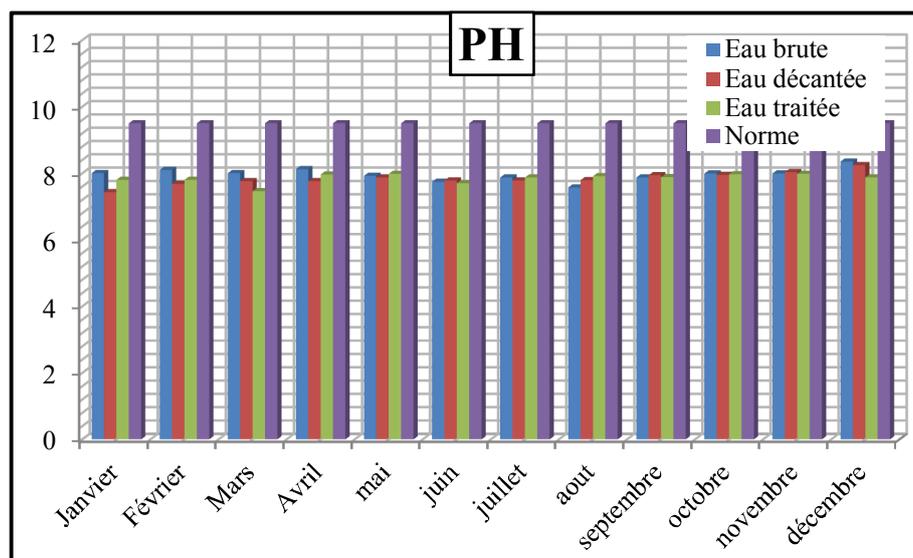


Figure. 6 : Evolution spatio-temporelle du PH dans la station de traitement de l'eau potable de Guelma

Les résultats concernant les mesures de la dureté de l'eau de la ville de Guelma ont montré que toutes les valeurs de ce paramètre sont conformes aux normes Algériennes 2011 qui exigent une concentration maximale admissible de 200mg/l. Une eau trop douce peut présenter des inconvénients pour la santé suite à la dissolution de métaux des canalisations tels que le fer ou le plomb, qui seront alors ingérés par notre organisme. Mais cependant, l'eau potable issue de cette station présente une qualité minéralogique acceptable.

L'optimisation des étapes de clarification s'avère donc nécessaire. A travers cette recherche nous nous sommes particulièrement intéressés à la turbidité et la matière organique du fait que ces deux paramètres constituent le problème le plus important de cette station.

Dans le souci d'étudier tout paramètre influant sur le rendement de la clarification nous nous sommes intéressés à la turbidité pour améliorer l'étape de la filtration.

Afin d'optimiser la clarification, il faut tenir compte de plusieurs variables en interrelation, comme le pH, les sels dissous, la température et la turbidité. Pour cela, une analyse statistique à l'aide de composantes principales sera effectuée.

4.3. ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) :

L'analyse en composantes principales est une analyse multidimensionnelle des données, une méthode factorielle et linéaire qui traite des caractères numériques (dans notre cas, les résultats des analyses chimiques). Elle permet de mettre en évidence les ressemblances chimiques entre les différentes eaux et/ou les différents pôles d'acquisition de la minéralisation.

Dans le but d'établir une relation entre les différents paramètres physico chimiques et de réduire le nombre des variables. L'ensemble des données collectées sur les eaux de station de traitement a fait l'objet d'une analyse statistique. Nous avons effectué un traitement statistique ACP (Analyse en Composantes Principales) sur l'ensemble des paramètres physicochimiques des eaux brutes, eaux décantées et eaux traitées de la station d'étude entre Janvier et Décembre 2015 suivi d'une analyse ACH (classification hiérarchique ascendante).

L'analyse en composantes principales (ACP) est effectuée sur les moyennes mensuelles des analyses physicochimiques.

L'approche de la statistique multi variée a été réalisée à partir d'une Analyse en Composantes Principales Normées (ACP) et d'une Classification Hiérarchique Ascendante (CHA). Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque [DEM_13]. Elle permet de mettre en évidence les ressemblances entre deux ou plusieurs variables chimiques au cours de leur évolution.

Ainsi pour le traitement des données par l'analyse en composantes principales, 22 variables ont été traitées, qui concernent les paramètres physico chimiques suivants :

Turbidité, PH, Température, Conductivité, TDS, Sal, TH, TA, TAC, HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl⁻, Oxydabilité, KMnO_4 , M.E.S à 105°C, Nitrites, Sulfates, Ammonium, Fer dissous Fe^{2+} , Ortho phosphate, Résidu sec à 105 °C.

L'utilisation de l'analyse en composantes principales (ACP) pour l'étude globale des eaux brutes, décantées et traitées de la station de traitement, permet une différenciation sur leurs particularités chimiques, une détermination de leurs variations de l'ensemble des facteurs suivant les axes principaux.

4.3.1. RESULTATS DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES (ACP) DES EAUX BRUTES :

Les résultats de l'Analyse en Composantes Principales sont présentés sous forme de tableaux et graphiques. La liaison existant entre toutes les variables prises deux à deux et les coefficients de corrélation entre ces différentes variables ont été donnés par la matrice de corrélation (tableau. 5).

Dans les Tableaux. 6 et 7, ont été reportées les corrélations entre les variables pour les 2 premières composantes principales. On peut observer qu'il existe une forte corrélation entre des variables.

L'analyse de cette matrice montre une bonne corrélation positive (supérieure à 0,7) entre :

- Température avec la Turbidité et le PH.
- TDS avec la Conductivité.
- TH avec PH.
- TAC avec la Conductivité.
- HCO³⁻ avec la Conductivité.
- Ca²⁺ avec PH, Conductivité, TDS et TH.
- Mg²⁺ avec TDS et TH.
- Cl avec TDS et TH, Ca²⁺ et Mg²⁺
- Fer dissous avec la Turbidité et **M.E.S.**
- RS avec PH et TH.

Tableau. 5 : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques des eaux brutes de la station Hammam Debagh

Variables	Turbidit	PH	Tempér	Condu	TDS	TH	TAC	HCO3-	Ca2+	Mg2+	Cl-	M.E.S à 105°C	Fer dissous Fe2+	Ortho phosphate	RS à 105
Turbidité	1	0,335	-0,600	-0,445	-0,228	0,229	-0,432	-0,432	-0,092	0,105	-0,155	0,855	0,646	-0,025	-0,112
PH	0,335	1	-0,581	0,236	0,294	0,887	0,110	0,110	0,618	0,555	0,504	0,522	0,298	0,297	0,717
Températu	-0,600	-0,581	1	0,433	0,126	-0,464	0,540	0,540	-0,178	-0,394	-0,263	-0,424	-0,351	-0,251	-0,160
Conductivi	-0,445	0,236	0,433	1	0,618	0,327	0,815	0,815	0,615	0,244	0,404	-0,166	-0,400	-0,368	0,401
TDS	-0,228	0,294	0,126	0,618	1	0,482	0,535	0,535	0,815	0,690	0,827	-0,031	-0,223	-0,475	0,370
TH	0,229	0,887	-0,464	0,327	0,482	1	0,270	0,270	0,827	0,785	0,662	0,427	0,233	0,176	0,750
TAC	-0,432	0,110	0,540	0,815	0,535	0,270	1	1,000	0,534	0,103	0,275	-0,159	-0,296	-0,251	0,293
HCO3-	-0,432	0,110	0,540	0,815	0,535	0,270	1,000	1	0,534	0,103	0,275	-0,159	-0,296	-0,251	0,293
Ca2+	-0,092	0,618	-0,178	0,615	0,815	0,827	0,534	0,534	1	0,801	0,826	0,109	-0,127	-0,217	0,527
Mg2+	0,105	0,555	-0,394	0,244	0,690	0,785	0,103	0,103	0,801	1	0,776	0,184	0,155	-0,031	0,556
Cl-	-0,155	0,504	-0,263	0,404	0,827	0,662	0,275	0,275	0,826	0,776	1	0,085	-0,036	-0,145	0,596
M.E.S à	0,855	0,522	-0,424	-0,166	-0,031	0,427	-0,159	-0,159	0,109	0,184	0,085	1	0,800	0,126	0,244
Fer dissous	0,646	0,298	-0,351	-0,400	-0,223	0,233	-0,296	-0,296	-0,127	0,155	-0,036	0,800	1	0,541	0,251
Ortho	-0,025	0,297	-0,251	-0,368	-0,475	0,176	-0,251	-0,251	-0,217	-0,031	-0,145	0,126	0,541	1	0,411
RS à 105	-0,112	0,717	-0,160	0,401	0,370	0,750	0,293	0,293	0,527	0,556	0,596	0,244	0,251	0,411	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

L'analyse des résultats de l'ACP a permis également de calculer les valeurs propres et les variances exprimées pour chaque facteur et leur cumul comme le montre le (Tableau. 6 et la Fig. 7). L'analyse sur le plan factoriel F1-F2 a mis en évidence les tendances générales.



Figure. 7 : Valeurs propres en fonction des facteurs principaux

Tableau. 6 : Valeurs propres et pourcentages exprimés pour les axes principaux des eaux brutes.

Valeurs propres :		
	F1	F2
Valeur propre	5,874	4,478
Variabilité (%)	39,157	29,853
Cumulé (%)	39,157	69,011

Tableau. 7 : Corrélation entre les variables et les facteurs des eaux brutes

	F1	F2
Turbidité	-0,144	-0,780
PH	0,668	-0,588
Température	-0,087	0,819
Conductivité	0,703	0,539
TDS	0,832	0,238
TH	0,835	-0,466
TAC	0,617	0,591
HCO3-	0,617	0,591
Ca2+	0,952	-0,017
Mg2+	0,769	-0,339
Cl-	0,839	-0,108
M.E.S à 105°C	0,144	-0,753
Fer dissous Fe2+	-0,064	-0,768
Ortho phosphate	-0,137	-0,474
RS à 105 °C	0,714	-0,287

Tableau. 8 : Contributions des variables des eaux brutes

	F1	F2
Turbidité	0,352	13,589
PH	7,588	7,718
Température	0,128	14,962
Conductivité	8,418	6,492
TDS	11,788	1,262
TH	11,858	4,845
TAC	6,480	7,797
HCO3-	6,480	7,797
Ca2+	15,435	0,006
Mg2+	10,072	2,567
Cl-	11,984	0,261
M.E.S à 105°C	0,352	12,677
Fer dissous Fe2+	0,071	13,171
Ortho phosphate	0,321	5,023
RS à 105 °C	8,674	1,834

L'analyse du plan factoriel F1 et F2 montre que plus de 69.01 % sont exprimés. Le facteur 1, est principalement bien corrélé ($\cos^2 > 0,5$ et contribution > contribution moyenne) avec les variables : conductivité, calcium, magnésium, bicarbonates, sodium,

potassium,, chlorure, et les nitrites. C'est le pôle des minéralisations. Ce facteur exprime 39.15 % de l'inertie totale Le facteur 2 représente 29.85% de l'inertie totale du nuage, il est bien corrélé avec les nitrates et les phosphates c'est le pole de pollution.

Pour confirmer le fait qu'une variable est fortement liée à un facteur, il suffit de consulter la table des cosinus : plus le cosinus est élevé (en valeur absolue), plus la variable est liée à l'axe. Plus le cosinus est proche de zéro, moins la variable est liée à l'axe (Tableau. 9).

Tableau. 9 : Cosinus carrés des variables des eaux brutes

	F1	F2
Turbidité	0,021	0,609
PH	0,446	0,346
Température	0,008	0,670
Conductivité	0,494	0,291
TDS	0,692	0,057
TH	0,696	0,217
TAC	0,381	0,349
HCO3-	0,381	0,349
Ca2+	0,907	0,000
Mg2+	0,592	0,115
Cl-	0,704	0,012
M.E.S à 105°C	0,021	0,568
Fer dissous Fe2+	0,004	0,590
Ortho phosphate	0,019	0,225
RS à 105 °C	0,509	0,082

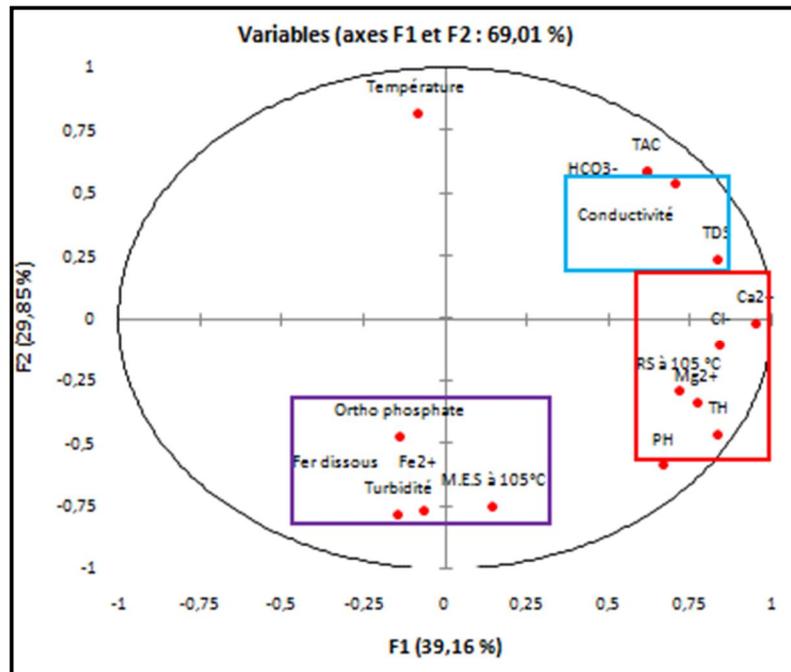


Figure. 8 : Projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2 des eaux brutes

Le cercle des corrélations est aussi utile pour interpréter la signification des axes. La figure 8 montre que le premier axe F1, qui explique 39.16 % de la variance, est exprimé par son pôle positif par le PH, TH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et Résidu sec à 105 °C, alors que le deuxième axe F2, qui représente 29.85 % de la variance, est constitué par la température dans le sens positif et la turbidité, MES, Fer dissous et les orthophosphates dans le sens négatif.

Les tendances sont particulièrement intéressantes à dégager pour l'interprétation du graphique des individus (voir Fig. 9). Le graphique correspond à l'un des objectifs de l'ACP. Il permet de représenter les individus sur une carte à deux dimensions, et ainsi d'identifier des tendances sur la base des variables mensuelles dont on dispose,

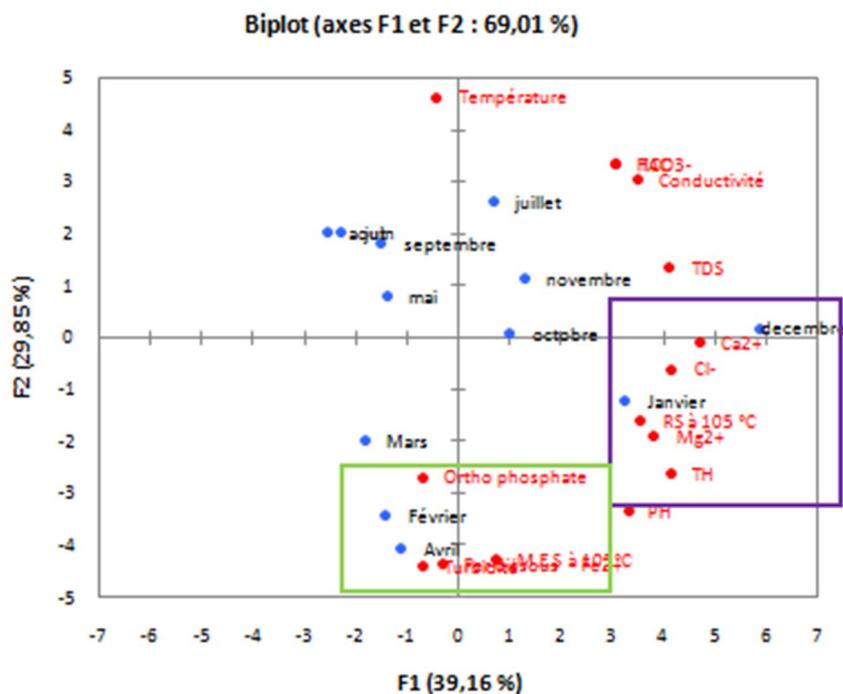
L'analyse de la projection pour les mois des eaux de surface dans le plan factoriel F1-F2 montre qu'on peut subdiviser les points de mesure en deux groupes.

-Premier groupe : (mois Janvier et Décembre)

Ce sont les eaux les plus minéralisées par rapport aux autres. Ils sont caractérisés par des teneurs moyennes en calcium, magnésium, résidus secs, dureté et le chlore.

-Deuxième Groupe : (mois de Février et Avril)

Ce sont les mois dont les eaux sont les plus polluées représente des teneurs élevées en orthophosphates, matières en suspension, et la turbidité avec une minéralisation relativement moyenne.



**Figure. 9 : Projection des mois de mesure des eaux brutes
Sur le plan factoriel F1-F2**

4.3.2. RESULTATS DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES NORMEES (ACP) DES EAUX TRAITEES :

L'ACP appliquée à 15 variables mesurées en aval (eaux filtrées) de la station de traitement de l'eau potable de Guelma, a permis d'obtenir 2 composantes principales

Tableau. 10 : Valeurs propres et pourcentages exprimés pour les axes principaux des eaux traitées

Valeurs propres :		
	F1	F2
Valeur propre	6,859	2,753
Variabilité (%)	45,726	18,354
% cumulé	45,726	64,079

La lecture du tableau montre que :

- ✓ Une valeur propre de 6.859 sur l'axe 1, explique un pourcentage le plus élevé de la variabilité des individus estimé à 45.726 % ;
- ✓ Une valeur propre de 2.753 sur l'axe 2, explique 18.354% de la variabilité ;

Alors, il est évident que nous considérons les axes 1 et 2 pour avoir 64.079% d'informations.

Tableau. 11 : Corrélations entre les variables et les facteurs

	F1	F2
Turbidité	-0,781	0,006
PH	0,395	0,269
Température	0,206	0,854
Conductivité	0,786	0,423
TDS	0,886	-0,187
TH	0,683	-0,471
TAC	0,800	0,536
HCO ₃ ⁻	0,800	0,536
Ca ²⁺	0,933	-0,244
Mg ²⁺	0,755	-0,509
Cl ⁻	0,814	-0,454
Oxydabilité KMnO ₄	0,680	0,204
Sulfates	0,131	-0,562
Fer dissous Fe ²⁺	0,543	-0,165
Résidu sec à 105 °C	-0,148	-0,176

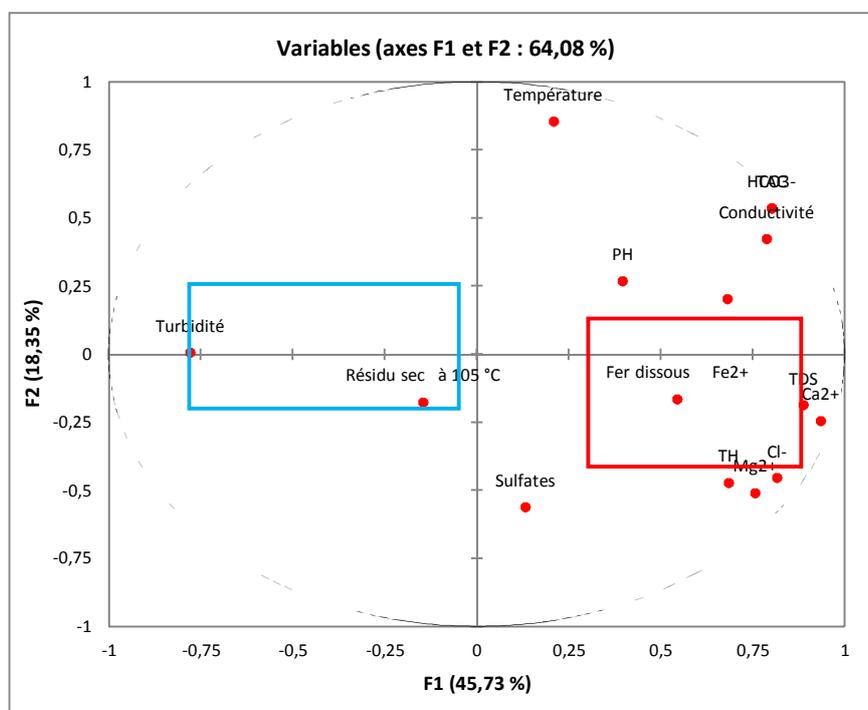


Figure. 10 : Projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2 des eaux filtrées

Tableau. 12 : Les cosinus carrés des eaux filtrées

	F1	F2
Turbidité	0,610	0,000
PH	0,156	0,072
Température	0,043	0,730
Conductivité	0,617	0,179
TDS	0,786	0,035
TH	0,466	0,222
TAC	0,641	0,287
HCO3-	0,641	0,287
Ca2+	0,870	0,060
Mg2+	0,570	0,259
Cl-	0,663	0,206
Oxydabilité KMnO4	0,462	0,042
Sulfates	0,017	0,315
Fer dissous Fe2+	0,295	0,027
Résidu sec à 105 °C	0,022	0,031

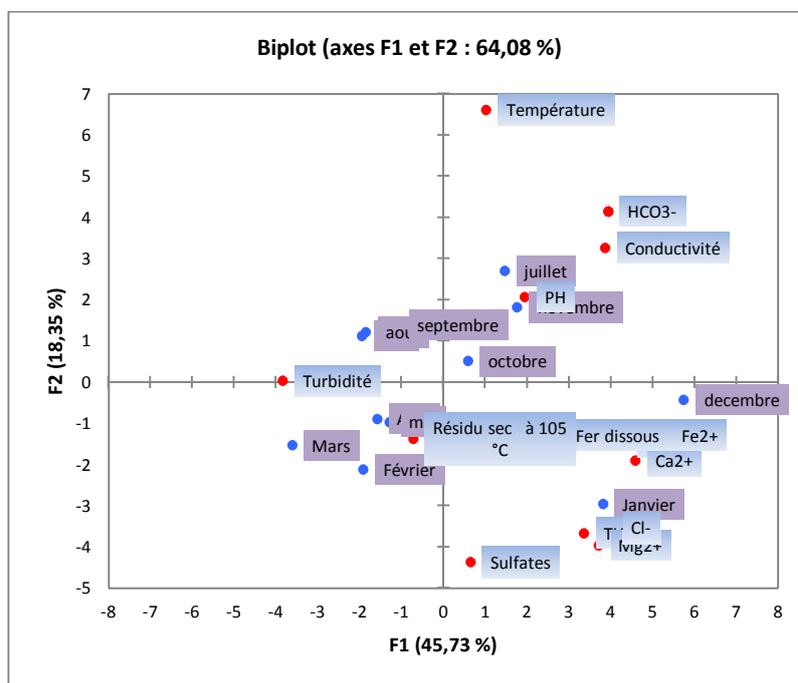


Figure. 11 : Projection des mois de mesure des eaux filtrées Sur le plan factoriel F1-F2

La structure typologique dégagée par le plan F1xF2 (Fig. 11) montre l'individualisation de deux groupements qui sont :

Groupement I, formé par le groupe turbide caractérisé par les résidus secs. -

Groupement II, formé par les autres paramètres restants, dont les eaux se caractérisent par une salinité notamment les éléments, Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} .

Ces résultats laissent constater que le deuxième compartiment de la filière (filtration) révèle une dépollution très importante par rapport aux éléments contenus dans les eaux brutes, quelque soit la charge reçue initialement par la station. L'élimination des MES, OPO_4^- , SO_4^{2-} porte probablement sur la décantation de la forme particulaire des MES au niveau du compartiment de la filière décantation. Mais on n'a pas assez de données sur les eaux décantées pour le justifier. Par contre, l'autre étape du traitement qui est la filtration a présenté une grande efficacité, ceci est expliqué par les figures 1 à 6.

4.4. Résultats de l'Analyse en Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) :

Les résultats de la Classification Hiérarchique Ascendante sont présentés par la (Fig. 12). Le dendrogramme obtenu montre trois classes statistiques distinctes. La Première classe est déterminée par: Turbidité, MES, dureté, TAC, Mg^{+2} , Température. Cette classe traduit la minéralisation temps de séjour (contact eau-sol). La deuxième classe est déterminée par la conductivité, RS et TDS, qui traduisent le phénomène d'oxydo-réduction et la salinité. La troisième classe présente les ions HCO_3^- , Ca^{+2} , Cl^- , Fe^{+2} et OPO_4^- , traduit une minéralisation liée au phénomène de pluviolessivage des sols.

L'analyse du dendrogramme permet de mettre en évidence deux phénomènes qui sont à la base du mécanisme d'acquisition du chimisme des eaux souterraines de la zone étudiée. Le phénomène majeur de la minéralisation dans la zone est l'altération par hydrolyse des silicates. Le deuxième phénomène est le phénomène d'oxydoréduction qui entraîne la précipitation du fer dans les eaux.

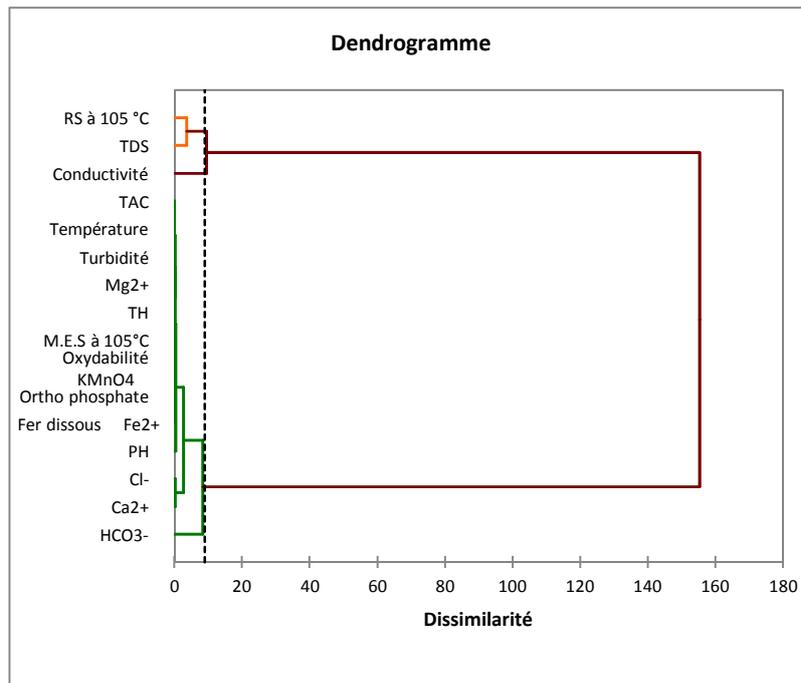


Figure. 12 : Dendrogramme des paramètres physico-chimiques des eaux brutes

La classification des points d'eau selon leur ressemblance dans le cadre d'un suivi environnemental des points d'eau étudiés mensuellement est donnée par la (fig. 13). Ce dendrogramme met en évidence deux regroupements des points d'eau étudiés. Le premier regroupement prend en compte les eaux (C2, C3) et le second contient les eaux (C1). Pour le suivi de la qualité des eaux, il est important de choisir un point de suivi dans chaque regroupement. Ainsi, deux points d'eau sont nécessaires (deux mois).

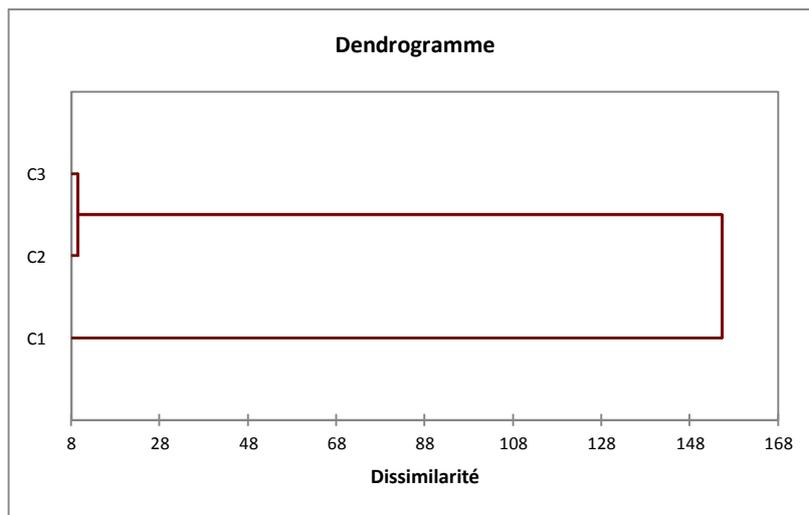


Figure. 13 : Dendrogramme pour la classification des mois d'analyse des eaux de la station

4.5. CONCLUSION :

Les résultats obtenues laissent constater que le deuxième compartiment de la filière (filtration) révèle une dépollution très importante par rapport aux éléments contenus dans les eaux brutes, quelque soit la charge reçue initialement par la station. L'élimination des MES, OPO_4^- , SO_4^{2-} porte probablement sur la décantation de la forme particulaire des MES au niveau du compartiment de la filière décantation. L'analyse en Composantes Principales et l'analyse par classification Hiérarchique Ascendante ont permis de représenter les individus sur une carte à deux dimensions, et ainsi d'identifier des tendances sur la base des variables mensuelles dont on dispose.

CHAPITRE V

**ESSAIS DE
FILTRATION AU
LABORATOIRE**

5.1. INTRODUCTION :

Notre étude s'intéresse à l'optimisation de la filtration des eaux destinées à la consommation humaine à travers le sable. La filtration sur sable est un procédé indispensable pour le traitement de l'eau potable, elle permet la clarification et l'épuration de l'eau qui contient des matières solides en suspension. Pour cela, un programme a été entrepris dans le but de réaliser des essais concernant l'analyse granulométrique, l'optimisation du lavage et l'efficacité du lavage.

L'objectif de ces analyses est l'optimisation de la filtration sur sable en fonction de leurs granulométries, de l'opération de lavage et de l'efficacité du lavage.

5.2. L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE :

La courbe de répartition granulométrique est obtenue en faisant passer l'échantillon de sable à travers une série de tamis normalisés mesurant la masse retenue sur chacun d'eux et en calculant la masse des matériaux qui a traversé chaque tamis. En général, la granulométrie du sable pour le traitement des eaux potables est entre **(0.7-1.5 mm)**.

5.2.1. PRINCIPE :

L'analyse granulométrique est une opération qui permet la détermination de la répartition des particules d'un échantillon en fonction de leurs dimensions. Celle-ci peut s'effectuer par voie sèche ou humide.

L'essai de tamisage d'un échantillon se fait à l'aide d'une série de tamis normalisés empilés les uns sur les autres. La dimension des ouvertures est décroissante du haut en bas.

Chaque tamis donne deux produits : un produit passant à travers le tamis appelé le passant et un produit restant sur la surface du tamis appelé le refus. L'ensemble des poids des fractions restantes sur chaque tamis constitue l'analyse granulométrique.

L'efficacité du tamisage dépend de plusieurs facteurs tels que :

- La masse de l'échantillon.
- La qualité de mouvement (amplitude de vibrations) ou brassage.
- Le temps de tamisage.

5.2.2. MODE OPERATOIRE :

Les différentes tailles des grains de sable d'un échantillon se déterminent en faisant passer un poids de sable (la masse = 1000g) à travers des tamis gradués à mailles de plus en plus petites, et en pesant ensuite les fractions de l'échantillon qui sont passées à travers chacun des tamis. On utilise à cet effet des séries de tamis spéciaux dont la forme permet de les poser les uns au dessus des autres, de façon à constituer un unique récipient clos. L'échantillon de sable est placé dans le compartiment supérieur sur le tamis qui a les plus grandes mailles, ensuite le tout est secoué mécaniquement (amplitude de vibrations = 20tr/min) ou manuellement jusqu'à ce que les grains de sable aient traversés tous les tamis de maille supérieure à leur taille (le temps de tamisage = 90s). Le poids de chaque fraction de l'échantillon traversant un tamis donné est calculé en pourcentage du poids total de l'échantillon utilisé.

5.2.3. LES PARAMETRES GRANULOMETRIQUES :

Les résultats obtenus par l'analyse granulométrique sont portés sur des courbes (cumulatives du sable), ainsi tracées, fournissent des renseignements précis sur l'échantillon. Ces renseignements sont exprimés sous forme de paramètres granulométriques, on distingue :

• La taille effective (TE) :

C'est la dimension de grain au-dessous de la quelle se classent en poids 10 % des grains du sable considéré. La taille effective est en fonction de la perméabilité, elle entre dans la définition de la perméabilité intrinsèque d'un matériau donné. Donc la détermination de ce paramètre est importante pour le choix du sable à utiliser.

En général, la taille effective du sable pour le traitement des eaux potables la plus couramment utilisée est de 0.95 mm.

• Le coefficient d'uniformité (Cu):

Le degré d'uniformité de la taille des grains, est le quotient de la dimension de grain au-dessous de la quelle se classent en poids 60 % des grains du sable (D_{60}), par la dimension de grain au dessous de laquelle se classent 10 % des grains (taille effective : (D_{10})).

$$C_U = \frac{\text{taille des 60\%}}{\text{taille des 10\%}}$$

$$C_U = D_{60} / D_{10} \quad \text{Ou} \quad C_U = D_{60} / TE$$

Les valeurs de D_{60} et D_{10} ont été obtenues par la méthode de l'interpolation linéaire à partir de la formule suivante :

$$f(x) = f(x_1) + \frac{(x-x_1)}{(x_2-x_1)} [f(x_2) - f(x_1)]$$

Le coefficient d'uniformité doit être inférieur à 1,5 et proche de 1.

5.2.4. RESULTATS DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE ET INTERPRETATIONS :

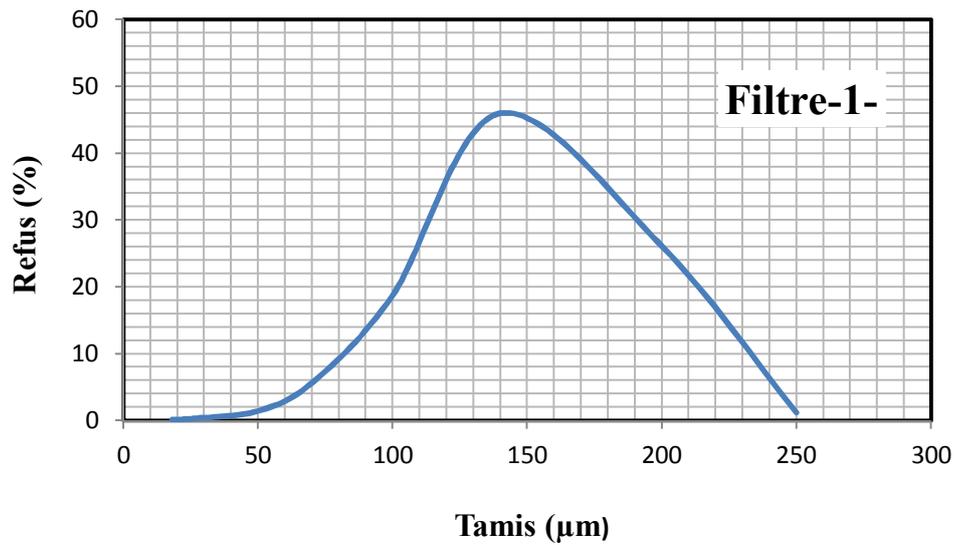
L'analyse granulométrique des différents échantillons de sable de filtration de station de traitement a été effectuée le 06/04/2016 au niveau du laboratoire pédagogique de Mécanique des Sols du Génie Civil de l'Université de Guelma par un tamisage à sec d'une masse de 1000 g [JAR_12].

5.2.4.1. Echantillon de sable du filtre 1 :

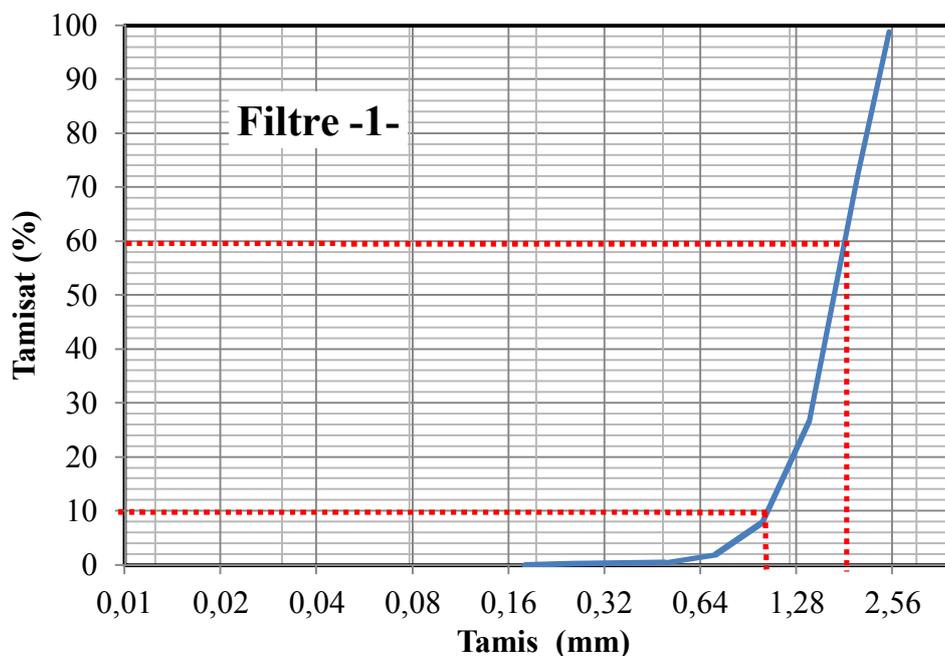
Les résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique obtenus pour l'échantillon (filtre -1-) sont représentés dans le tableau 1.

Tableau. 1 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable (filtre-1-)

Tamis (µm)	refus partiel	refus cumulé	refus %	tamisât cumulé %
250	12	12	1,2	98,8
200	261	273	27,3	72,7
140	460	733	73,3	26,7
100	188	921	92,1	7,9
71	60	981	98,1	1,9
50	14,5	995,5	99,55	0,45
25	3	998,5	99,85	0,15
18	1,5	1000	100	0
somme	1000			

La courbe de fréquence :**Figure. 1 : La courbe de fréquence du sable (filtre-1)**

La courbe de fréquence de l'échantillon du sable (Figure 1) représente la taille granulométrique dominante avec 46 %. La granulométrie abondante est de 140 μm. On remarque également la présence d'autres tailles granulométriques, les grains de taille égales à 200 μm représentent 26,1 %, celles de 100 μm se trouvent avec 18,8 % de la masse totale, et les grains de granulométrie égale à 71 μm présentent une fraction de 6 %.

La courbe granulométrique :**Figure. 2 : La courbe cumulative du sable (filtre-1-)**

La courbe cumulative du sable (Figure 2) présente une granulométrie entre 18 μm et 250 μm . avec un maximum de cumul pour le diamètre 140 μm . L'échantillon représente une taille effective de 1,045 mm, et un coefficient d'uniformité égale à 1,756.

5.2.4.2. Echantillon de sable du filtre 2 :

Les résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique obtenus pour l'échantillon (filtre-2-) sont représentés dans le tableau 2.

Tableau. 2 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable (filtre-2-)

Tamis (μm)	refus partiel	refus cumulé	refus %	tamisât cumulé%
250	2	2	0,2	99,8
200	75	77	7,7	92,3
140	690	767	76,7	23,3
100	176	943	94,3	5,7
71	38	981	98,1	1,9
50	12	993	99,3	0,7
25	5,5	998,5	99,85	0,15
18	1,5	1000	100	0
somme	1000			

La courbe de fréquence :

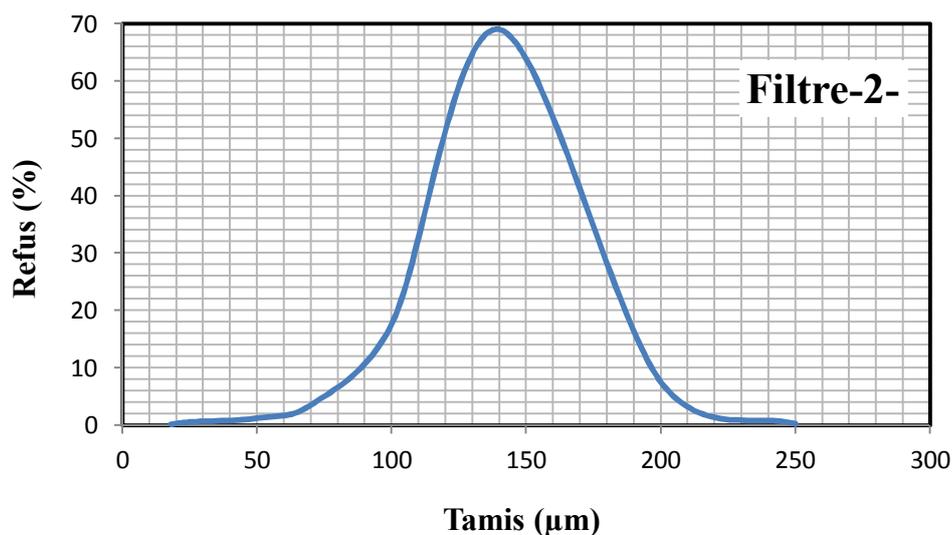


Figure. 3 : La courbe de fréquence du sable (filtre-2-)

La courbe de fréquence de l'échantillon du sable (Figure 3) représente la taille granulométrique dominante avec 69 %. La granulométrie abondante est de 140 μm . On remarque également la présence de d'autres tailles granulométriques, les grains de taille égale à 100 μm représentent 17,6 %, celles de 200 μm se trouvent avec 7,5 % de la masse totale, et les grains de granulométrie égale à 71 μm présente une fraction de 3,8 %.

La courbe granulométrique :

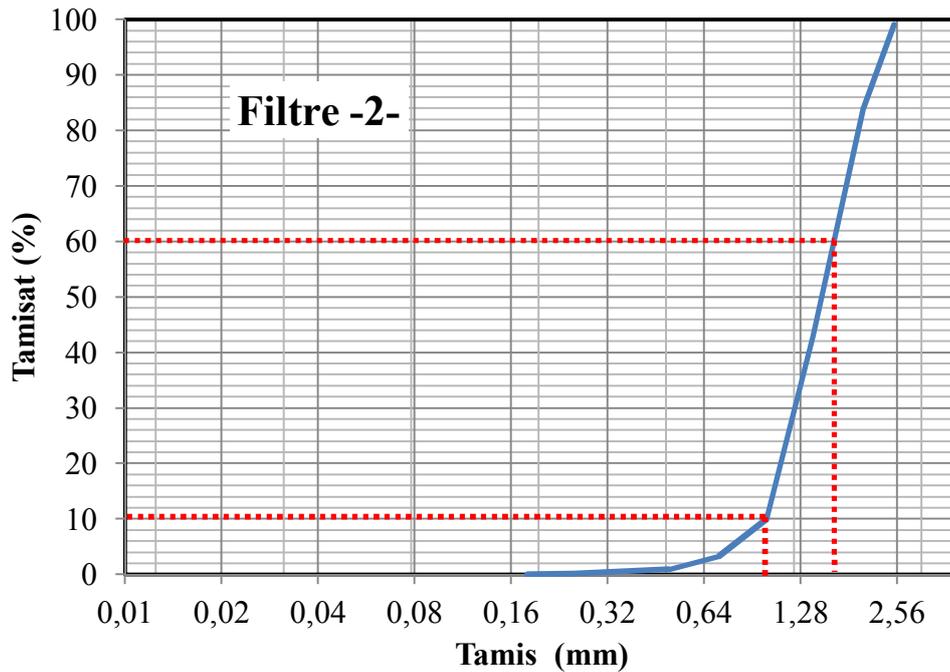


Figure. 4 : La courbe cumulative du sable (filtre-2-)

La courbe cumulative du sable (Figure 4) présente une granulométrie entre 18 μm et 250 μm , avec un maximum de cumul pour le diamètre de 140 μm . L'échantillon représente une taille effective de 1,098 mm, et un coefficient d'uniformité égale à 1,576.

5.2.4.3. Echantillon de sable du filtre 3 :

Les résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique obtenus pour l'échantillon (filtre-3-) sont représentés dans le tableau 3.

Tableau. 3 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable (filtre-3-)

Tamis (µm)	refus partiel	refus cumulé	refus %	tamisât cumulé %
250	0	0	0	100
200	194,6	194,6	19,46	80,54
140	541,6	736,2	73,62	26,38
100	196,4	932,6	93,26	6,74
71	38,5	971,1	97,11	2,89
50	23,3	994,4	99,44	0,56
25	3,7	998,1	99,81	0,19
18	1,9	1000	100	0
somme	1000			

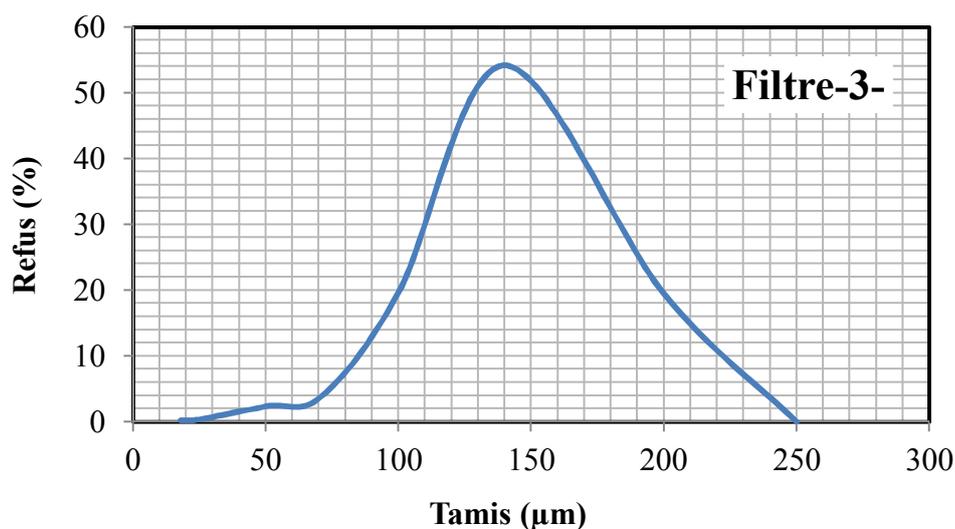
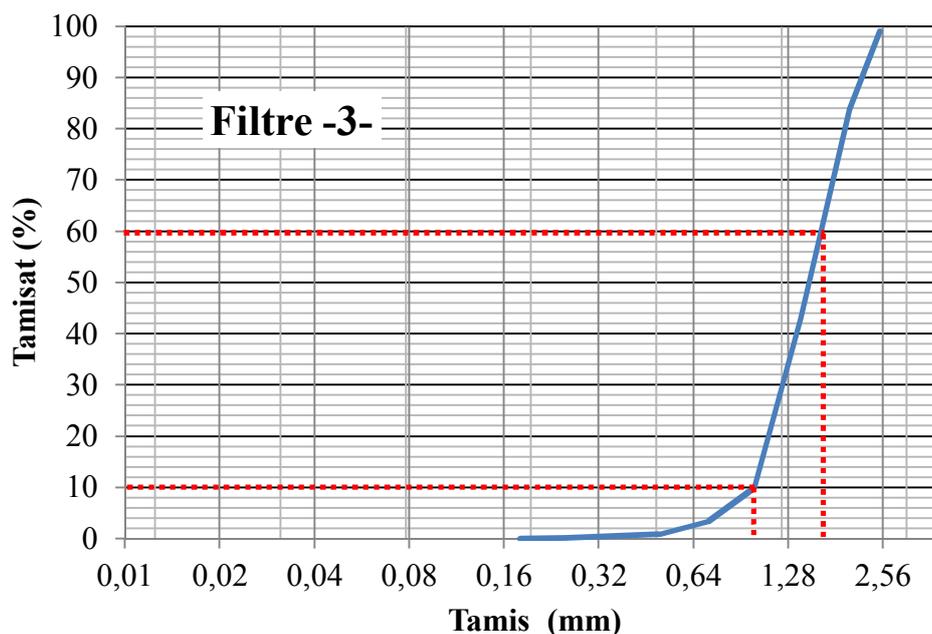
La courbe de fréquence :

Figure. 5 : La courbe de fréquence du sable (filtre-3-)

La courbe de fréquence de l'échantillon du sable (Figure 5) représente la taille granulométrique dominante avec 54,16 %. La granulométrie abondante est de 140 µm. On remarque également la présence de d'autres tailles granulométriques, les grains de taille égale à 100 µm représentent 19,64 %, celles de 200 µm se trouvent avec 19,46 % de la masse totale, et les grains de granulométrie égale à 71µm présentent une fraction de 3,85%.

La courbe granulométrique :**Figure. 6 : La courbe cumulative du sable (filtre-3-)**

La courbe cumulative du sable (Figure 6) présente une granulométrie entre 18 μm et 200 μm , avec un maximum de cumul pour le diamètre 140 μm . L'échantillon représente une taille effective de 1,066 mm, et un coefficient d'uniformité égale à 1,662.

5.2.4.4. Echantillon de sable du filtre 4 :

Les résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique obtenus pour l'échantillon (filtre-4-) sont représentés dans le tableau 4.

Tableau. 4 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable (filtre-4-)

Tamis (μm)	refus partiel	refus cumulé	refus %	tamisât cumulé %
250	5	5	0,5	99,5
200	13	18	1,8	98,2
140	590	608	60,8	39,2
100	299	907	90,7	9,3
71	63	970	97	3
50	13	983	98,3	1,7
25	15	998	99,8	0,2
18	2	1000	100	0
somme	1000			

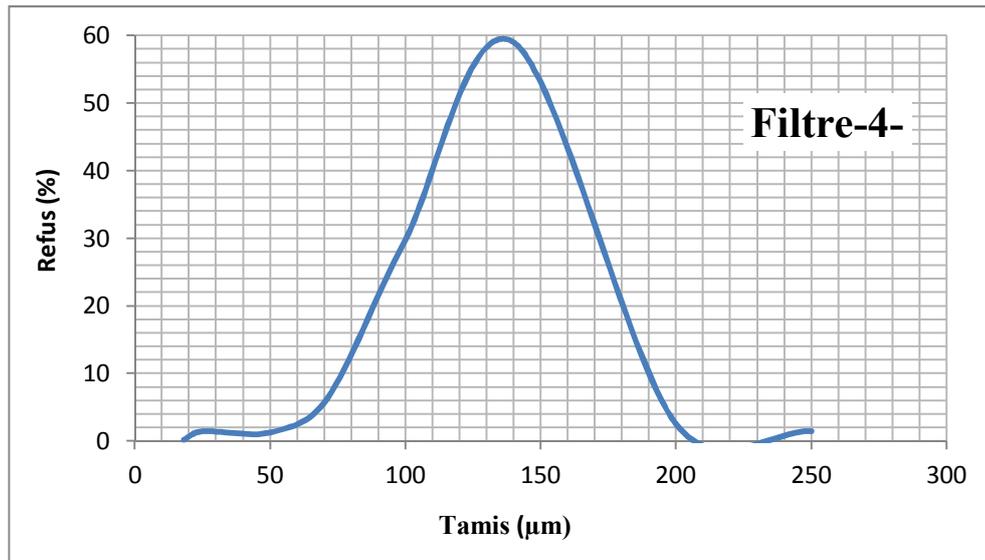
La courbe de fréquence :

Figure. 7 : La courbe de fréquence du sable (filtre-4-)

La courbe de fréquence de l'échantillon du sable (Figure 7) représente la taille granulométrique dominante avec 59 %. La granulométrie abondante est de 140 µm. On remarque également la présence de d'autres tailles granulométriques, les grains de taille égale à 100 µm représentent 29,9 %, celles de 71 µm se trouvent avec 6,3 % de la masse totale, et les grains de granulométrie égale à 25 µm présente une fraction de 1,5 %.

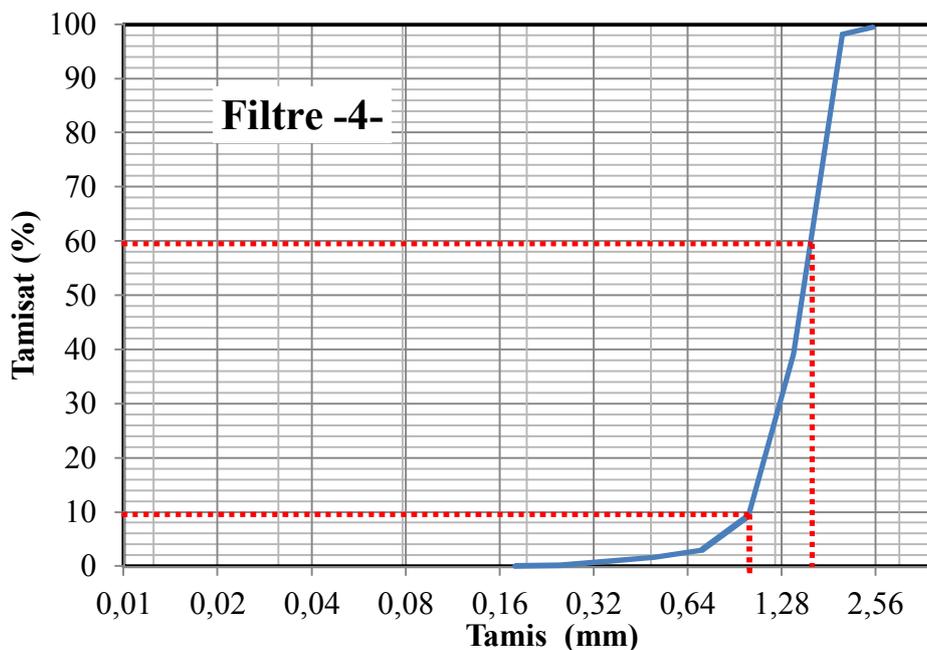
La courbe granulométrique :

Figure. 8 : La courbe cumulative du sable (filtre-4-)

La courbe cumulative du sable (Figure 8) présente une granulométrie est entre 18 μm et 250 μm , avec un maximum de cumul pour le diamètre 140 μm . L'échantillon représente une taille effective de 1,009 mm, et un coefficient d'uniformité égal à 1,597.

5.2.4.5. Echantillon de sable du filtre 5 :

Les résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique obtenus pour l'échantillon (filtre-5-) sont représentés dans le tableau 5.

Tableau. 5 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable (filtre-5-)

Tamis (μm)	refus partiel	refus cumulé	refus %	tamisât cumulé %
250	9,1	9,1	0,91	99,09
200	151,6	160,7	16,07	83,93
140	409,3	570	57	43
100	330	900	90	10
71	67	967	96,7	3,3
50	24	991	99,1	0,9
25	8	999	99,9	0,1
18	1	1000	100	0
somme	1000			

La courbe de fréquence :

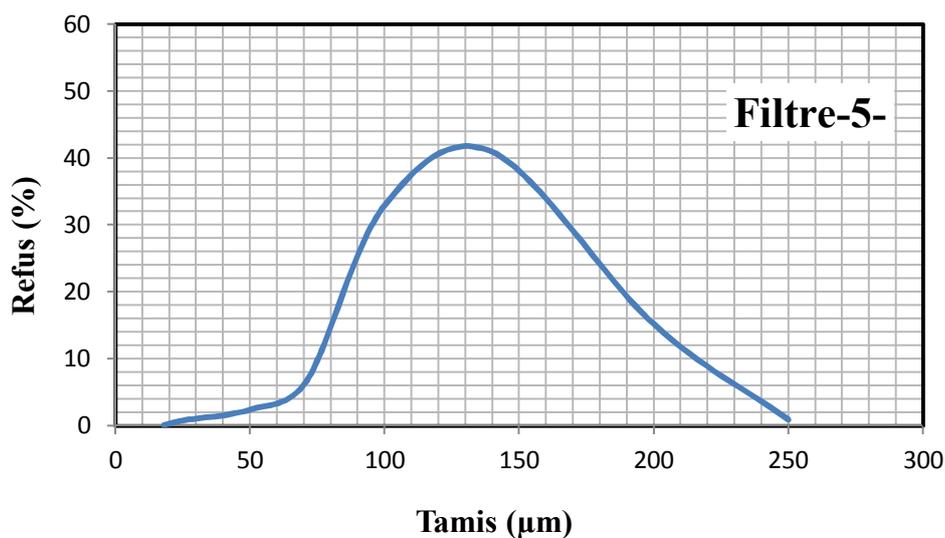


Figure. 9 : La courbe de fréquence du sable (filtre-5-)

La courbe de fréquence de l'échantillon du sable (Figure 9) représente la taille granulométrique dominante avec 40,93%. La granulométrie abondante est de 140 μm . On remarque également la présence de d'autres tailles granulométriques, les grains de taille égale à 100 μm représentent 33 %, celles de 200 μm se trouvent avec 15,16 % de la masse totale, et les grains de granulométrie égale à 71 μm présente une fraction de 6,7 %.

La courbe granulométrique

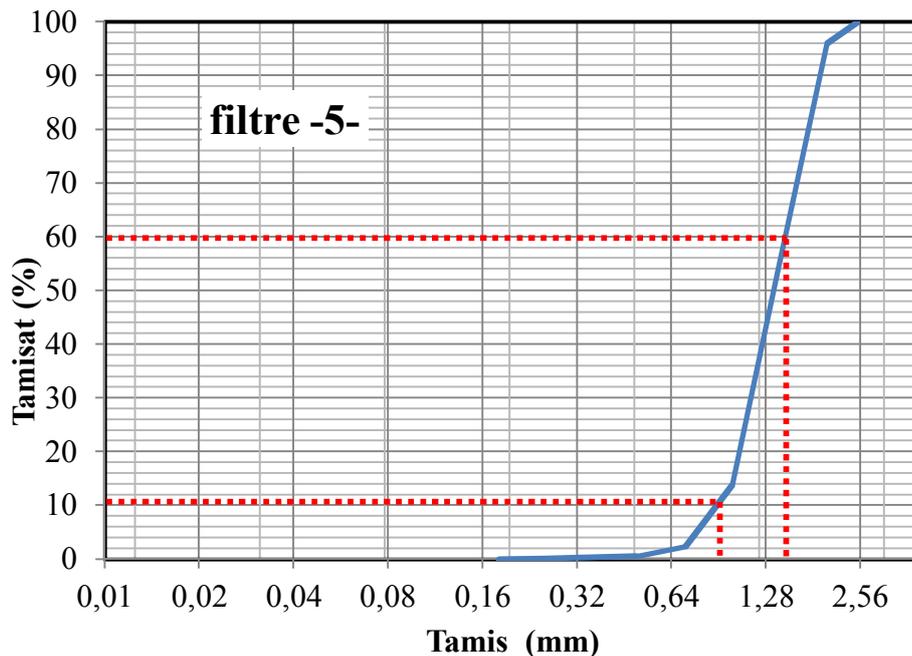


Figure. 10 : La courbe cumulative du sable (filtre-5-)

La courbe cumulative du sable (Figure 10) présente une granulométrie est entre 18 μm et 250 μm , avec un maximum de cumul pour le diamètre 130 μm . L'échantillon représente une taille effective de 1 μm , et un coefficient d'uniformité égale à 1,649.

5.2.4.6. Echantillon de sable du filtre 6 :

Les résultats expérimentaux de l'analyse granulométrique obtenus pour l'échantillon (filtre-6-) sont représentés dans le tableau 6, [HOU_12].

Tableau. 6 : Résultats de l'analyse granulométrique du sable (filtre-6-)

Tamis (µm)	refus partiel	refus cumulé	refus %	tamisât cumulé %
250	1,3	1,3	0,13	99,87
200	99	100,3	10,03	89,97
140	360	460,3	46,03	53,97
100	401	861,3	86,13	13,87
71	116	977,3	97,73	2,27
50	17,5	994,8	99,48	0,52
25	4	998,8	99,88	0,12
18	1,2	1000	100	0
somme	1000			

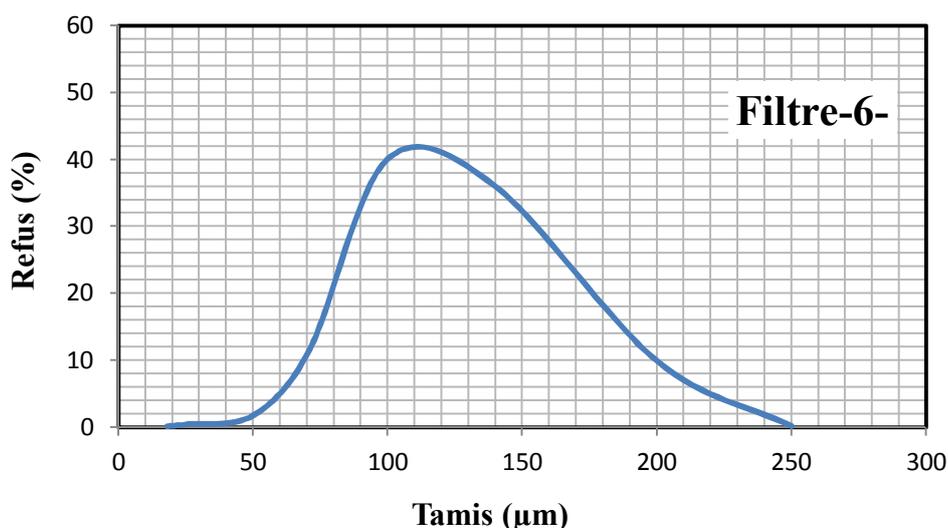
La courbe de fréquence :

Figure. 11 : La courbe de fréquence du sable (filtre-6-)

La courbe de fréquence de l'échantillon du sable (Figure 11) représente la taille granulométrique dominante avec 40,1%. La granulométrie abondante est de 100 µm. On remarque également la présence de d'autres tailles granulométriques, les grains de taille égale à 140 µm représentent 36 %, celles de 71 µm se trouvent avec 11,6 % de la masse totale, et les grains de granulométrie égale à 200 µm présente une fraction de 9,9%.

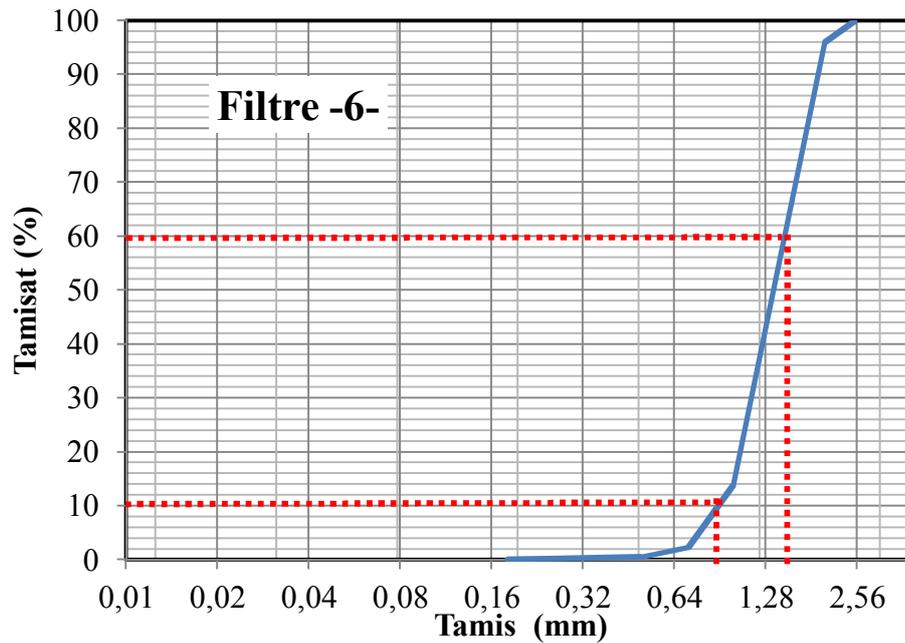
La courbe granulométrique :

Figure. 12 : La courbe cumulative du sable (filtre-6-)

La courbe cumulative du sable (Figure 12) présente une granulométrie entre $18 \mu\text{m}$ et $250 \mu\text{m}$, avec un maximum de cumul pour le diamètre $120 \mu\text{m}$. L'échantillon représente une taille effective de $0,903 \mu\text{m}$, et un coefficient d'uniformité égal à $0,775$.

Les résultats des essais montre que les différentes analyses granulométriques obtenues pour les six filtres de la station d'étude présentent une granulométrie des systèmes à couches homogènes vu que la taille effective $0,9 - 1,35 \text{ mm}$ et une granulométrie entre $0,18-2,5$ qui dépasse la granulométrie du sable pour le traitement de l'eau potable qui est de l'ordre de $(0,7-1,5 \text{ mm})$ et un coefficient d'uniformité supérieur à $1,5 \text{ mm}$.

5.3. ESSAI D'OPTIMISATION DU LAVAGE :

L'objectif de cette méthode est l'optimisation de l'opération du lavage d'un filtre dont le but de limiter le temps de lavage à une turbidité égale à 10 NTU donc limiter le volume de rinçage.

L'étape de lavage peut être optimisée par l'essai de turbidité de l'eau de lavage en fonction du temps et ceci peut être obtenu par traçage d'une courbe pour la détermination du temps optimal de rinçage comme le montre [MAU_05].

5.3.1. LES ETAPES DE LAVAGE :

Les séquences de lavage courantes des filtres sont les suivantes :

- 1 - arrêt de la filtration
- 2 – détassage : à l'air seul
- 3 – lavage : à l'air + eau à petit débit
- 4 – rinçage : à l'eau à grand débit
- 5 - reprise de la filtration.

Matériel utilisé :

- ✓ Turbidimètre
- ✓ Vingt bécher de 500mm
- ✓ Chronomètre
- ✓ Perche de prélèvement

Mode opératoire :

1. On déclenche le procédé de lavage des filtres précédents jusqu'à l'étape de rinçage.
2. On utilise le chronomètre pour prendre des échantillons de l'eau sale de lavage (chaque minute on prend un prélèvement jusqu'à vingt minutes).
3. Le premier prélèvement doit être à la première goutte évacuée du bassin de filtration.
4. Le dernier prélèvement sera fait jusqu'à l'eau évacuée de lavage soit claire.
5. On mesure la turbidité de chaque prélèvement
6. On dessine la courbe turbidité en fonction de temps
7. On détermine le temps d'optimisation.

Le tableau 7 suivant représente la turbidité de l'eau de rinçage de chaque filtre au cours du temps :

Tableau. 7 : Turbidité en fonction de temps obtenue pour les six filtres.

Temps	Filtre 1	Filtre 2	Filtre 3	Filtre 4	Filtre 5	Filtre 6
0 min	2362	1571	1922	2384	1299	2816
1 min	1105	1055	1375	1089	1276	2184
2 min	823	596	851	934	809	1613
3 min	446	378	456	569	438	1007
4 min	271	221	272	342	260	900
5 min	171	141	163	196	174	577
6 min	112	83,3	108	127	109	236
7 min	73,8	59,8	62,5	66,4	77,7	120
8 min	39,4	32,2	36,8	43,3	49,4	88
9 min	26,9	20,4	25,4	27,8	22,7	40,5
10 min	12,3	14,3	15,8	15,2	12,5	18
11 min	10,7	9,9	10,1	10,3	9,5	10,2
12 min	6,7	9,1	9,2	8,4	8,2	8,3
13 min	5,5	8,2	7,4	5,7	6,3	7
14 min	5,3	7,5	6,6	5,1	6	5,6
15 min	4	7,1	5,7	4,9	4,8	5,1
17 min	4,5	6,8	5,3	4,0	4,6	4,6
18 min	4,3	4,8	4,6	3,9	4,6	4,4
19 min	3,75	4,5	4,5	3,8	4,3	4,5
20 min	3,2	4,4	4,5	3,5	4	4,1

Les résultats des analyses de chaque filtre sont illustrés dans les figures suivantes : Ces derniers aident à déterminer le temps de rinçage pour l'optimisation du lavage des filtres (voir les Figures. 13.à.18).

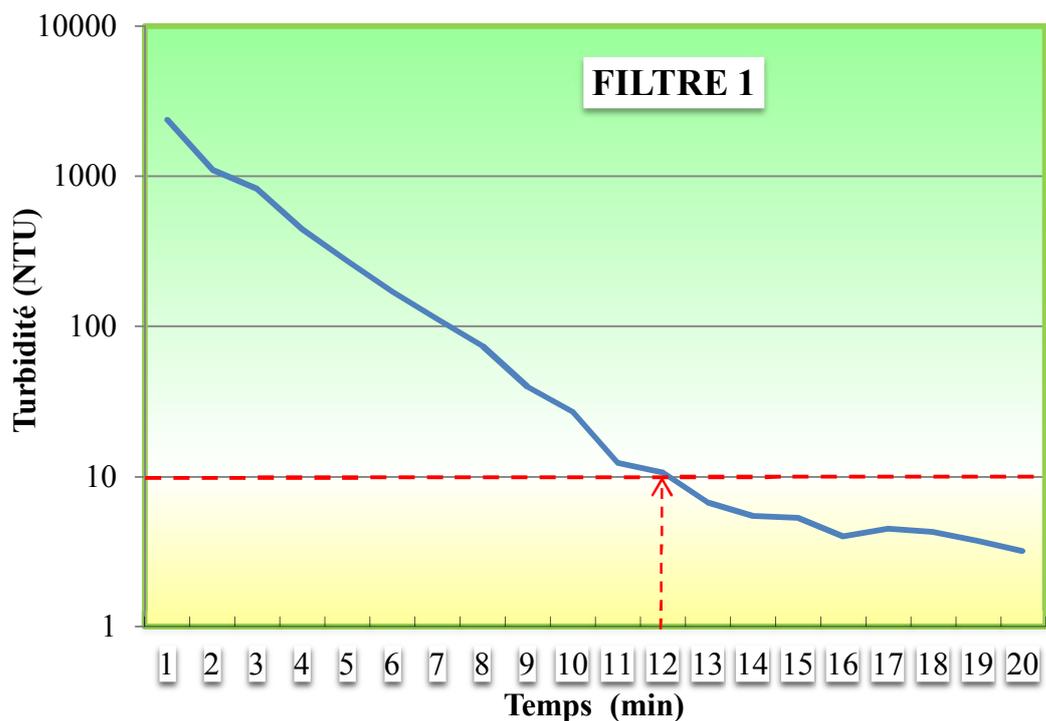


Figure. 13 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre-1.

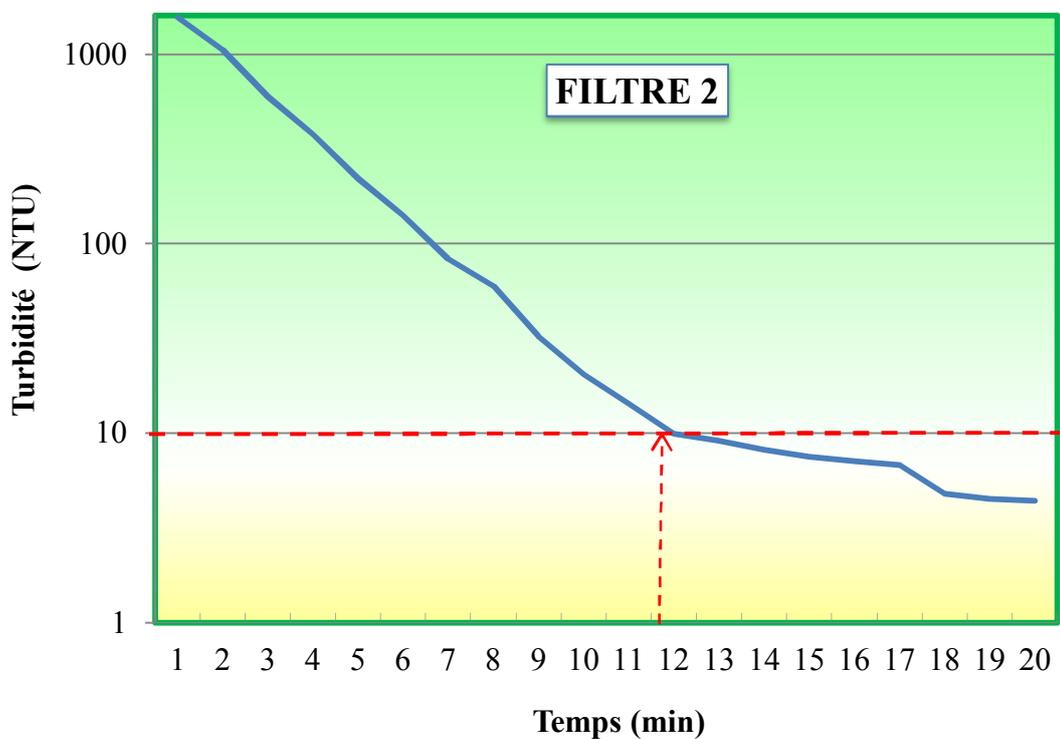


Figure. 14 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre-2-

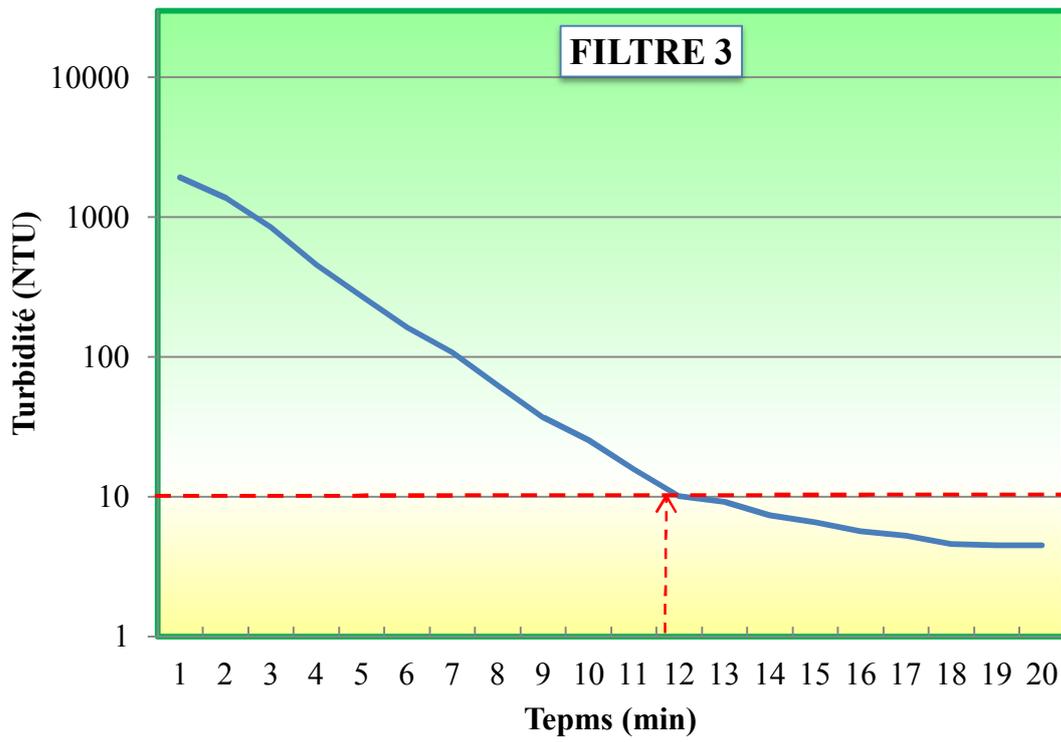


Figure. 15 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre-3.

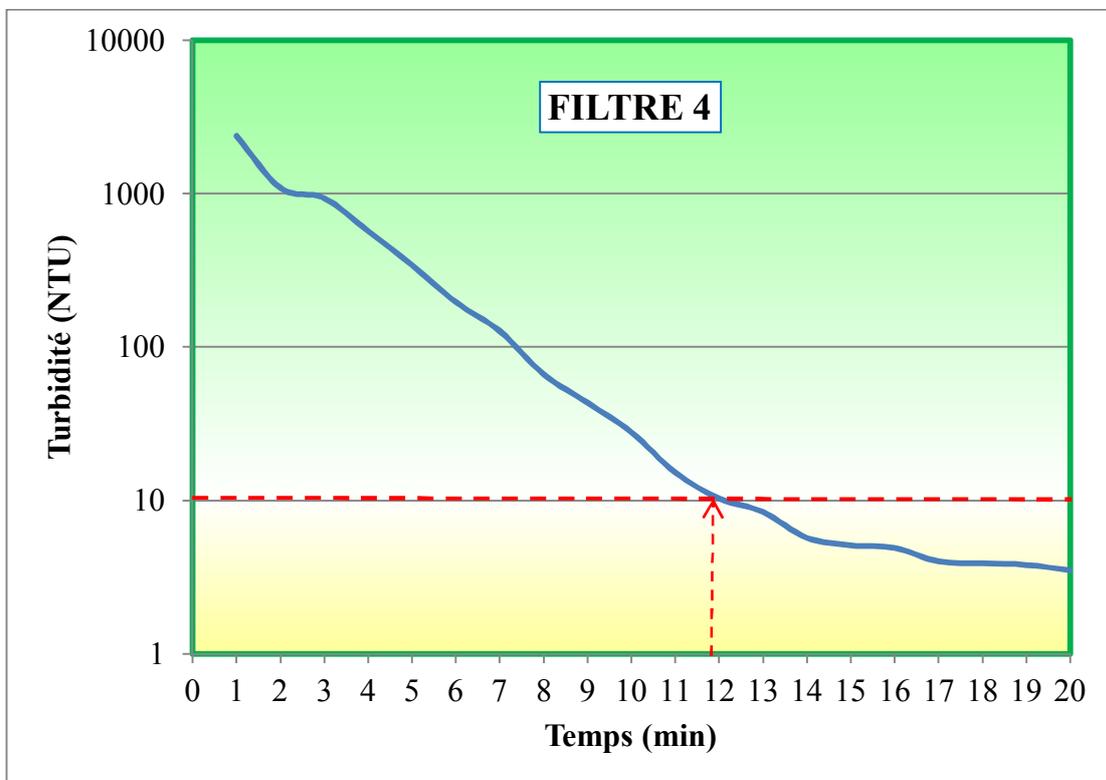


Figure. 16 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre -4.

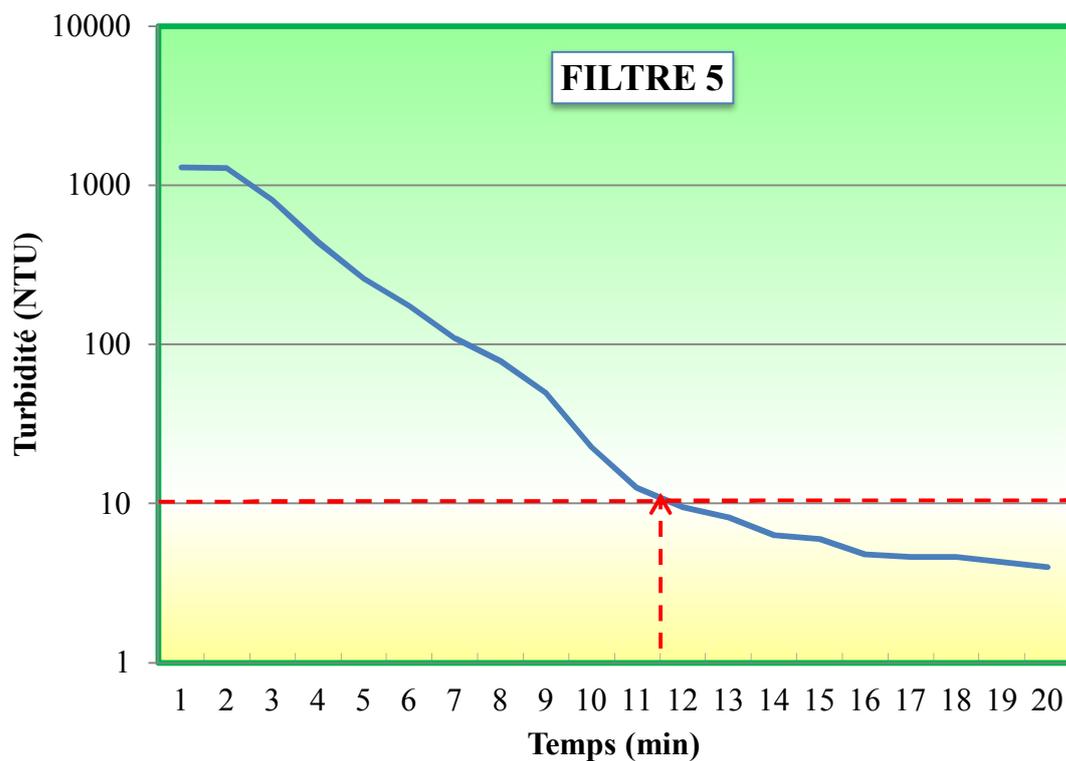


Figure. 17 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre-5.

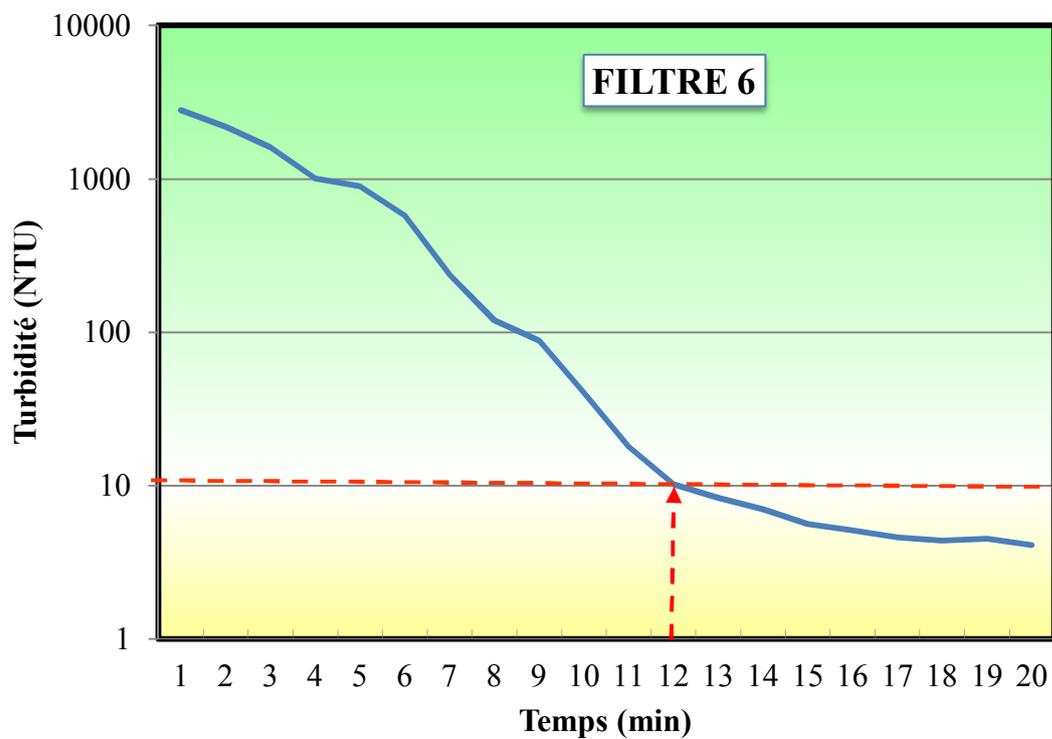


Figure. 18 : Courbe d'optimisation du lavage du filtre-6.

Les courbes de la turbidité de l'eau de lavage en fonction du temps nous révèlent que l'optimisation des filtres se fait entre 11 et 12 min.

5.4. ESSAI D'EFFICACITE DU LAVAGE :

Dans cet essai, la méthode adoptée pour une éventuelle efficacité du lavage des filtres de la station d'étude a été la méthode réalisée par le test de [KAW_00]. L'objectif de cet essai est de vérifier l'efficacité du lavage des filtres au niveau de la station de traitement de Hammam Debagh.

Les essais ont été effectués sur le filtre. N°:6 dont les dimensions et les caractéristiques sont les suivantes :

Longueur: **9 m**

Largeur : **5 m**

Profondeur: **2,50 m**

Hauteur de sable: **1,10 m**

Taille effective : 0,90 mm

Coefficient d'uniformité : à 0,77

Granulométrie : entre 18 μm et 250 μm

5.4.1. Méthode de travail :

Au début le choix a été pour le filtre N°6 qui est en instance de lavage, et ensuite :

- *Définir trois zones représentatives : A-B-C*

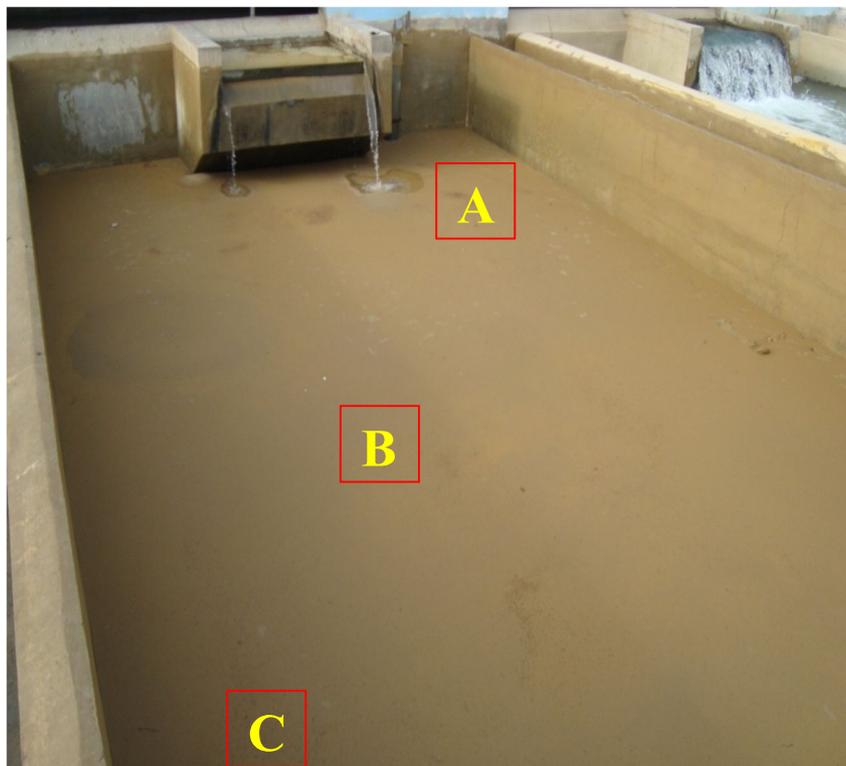


Photo. 1 : Implantation des points

- *Définir 4 profondeurs en fonction de la hauteur totale de sable*

On a défini quatre profondeurs dans la hauteur de sable : 10cm, 30cm, 50cm, 80cm.

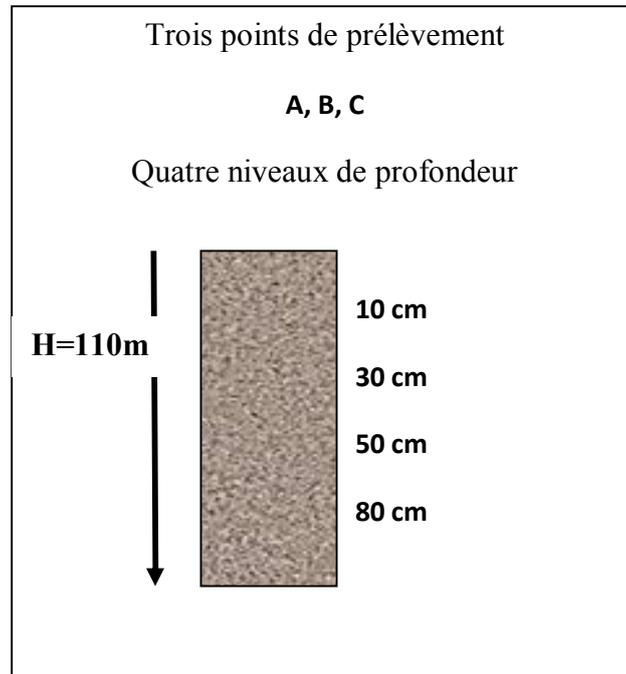


Photo. 2 : Les profondeurs de prélèvement des échantillons de sable

- *Drainer le filtre*

- Prélever au minimum 100 ml de sable pour chaque point de prélèvement
- Les conserver dans un sac hermétique annoté (sac de congélation)
- Procéder au lavage du filtre
- Réaliser les mêmes étapes

5.4.2. ESSAI AU LABORATOIRE :

Matériel

- ✓ Eprouvette de 50 ml
- ✓ Fiole de 100 ml
- ✓ Un flacon
- ✓ Chronomètre
- ✓ Bécher
- ✓ Agitateur
- ✓ Turbidimètre

5.4.3. Test au laboratoire pour chaque échantillon prélevé :

- Remplir une éprouvette de 50 ml de sable en tassant légèrement
- Remplir une fiole de 100 ml d'eau traitée
- Transvaser la totalité du sable dans un flacon
- Introduire les 100 ml de sable et fermer le flacon
- Déclencher le chronomètre et agiter vigoureusement pendant 30 secondes
- Récupérer l'eau dans un bécher
- Reproduire le test sur le même échantillon 4 fois et récupérer les eaux dans le même bécher
- Homogénéiser les 500 ml et mesurer trois fois la turbidité
- Calculer la moyenne des valeurs obtenues et la multiplier par 2 (valeur pour 100 ml de sable)
- Réaliser le graphique des profondeurs en fonction des turbidités.

5.4.4. Résultats d'analyse:

Les tableaux 8 à 10 présentent les mesures de la turbidité avant lavage pour les niveaux 10, 30, 50, 80 cm et ceci pour les trois positions choisies A, B et C selon [KAW, 2000].

Filtre. N°6 le: 15/04/2016

Tableau. 8 : Turbidité en fonction de la hauteur avant lavage point A

	point : A			moyenne
	A ₁	A ₂	A ₃	
Niveau:10cm	186	190	186	187.3
Niveau:30cm	558	598	583	579.6
Niveau:50cm	295	300	299	298
Niveau:80cm	181	182	180	181

Tableau. 9 : Turbidité en fonction de la hauteur avant lavage point B

	point : B			moyenne
	B ₁	B ₂	B ₃	
Niveau:10cm	211	215	213	213
Niveau:30cm	537	530	522	529.6
Niveau:50cm	299	295	302	298.6
Niveau:80cm	193	192	191	192

Tableau. 10 : Turbidité en fonction de la hauteur avant lavage point C

	point : C			moyenne
	C ₁	C ₂	C ₃	
Niveau:10cm	237	233	235	235
Niveau:30cm	561	570	582	571
Niveau:50cm	309	304	308	307
Niveau:80cm	191.5	189	191	190.5

Les tableaux 11 à 13 présentent les mesures de la turbidité après lavage pour les niveaux 10, 30, 50, 80 cm et ceci pour les trois positions choisies A, B et C.

Tableau. 11 : Turbidité en fonction d'hauteur après lavage point A

	point : A			moyenne
	A ₁	A ₂	A ₃	
Niveau:10cm	44,2	46,2	42,4	44,2
Niveau:30cm	57,1	58,4	58,4	57,9
Niveau:50cm	61.4	63	61.6	62
Niveau:80cm	41.5	41	40.5	41

Tableau. 12 : Turbidité en fonction d'hauteur après lavage point B

	point : B			moyenne
	B ₁	B ₂	B ₃	
Niveau:10cm	55,5	56,1	55,4	55,7
Niveau:30cm	61	63,5	63	62,5
Niveau:50cm	74.3	78.3	77.5	76.7
Niveau:80cm	56	58	57	57

Tableau. 13 : Turbidité en fonction d'hauteur après lavage point C

	point : C			moyenne
	C ₁	C ₂	C ₃	
Niveau:10cm	62	60,7	60,4	61,0
Niveau:30cm	65.4	66.2	66,6	66,1
Niveau:50cm	67.2	65.4	66	66.2
Niveau:80cm	61	62	60	61

La comparaison des résultats expérimentaux obtenus avant et après lavage d'analyse a montré une nette amélioration de la turbidité après lavage des filtres pour les différentes profondeurs comme le montre le tableau 14 :

Tableau. 14 : Résultats de la turbidité avant et après lavage des filtres.

Hauteur du sable CM	Turbidité avant lavage NTU	Turbidité après lavage NTU
10	475,3	107,2
30	1120,2	124,3
50	602,4	136,6
80	375,6	106

La figure 19 illustre les résultats des essais obtenus avant et après lavage des filtres.

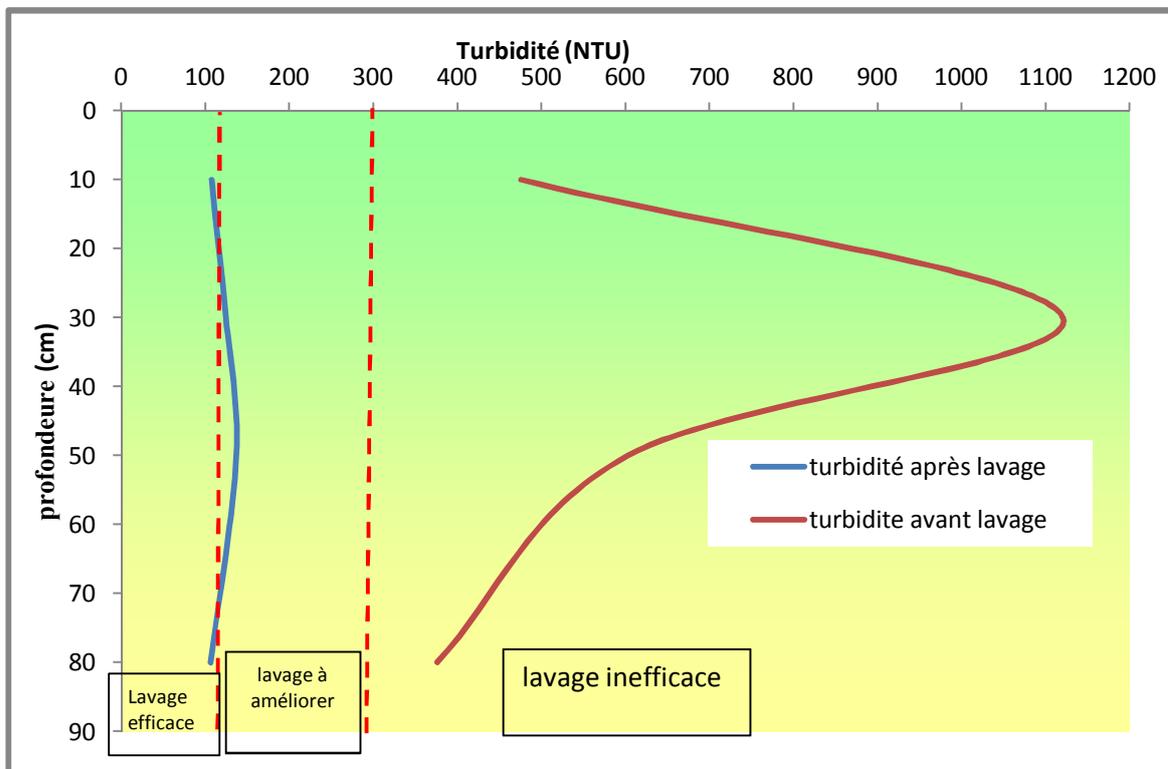


Figure. 19 : Courbe Turbidité avant et après lavage

Le tableau 15 présente les gammes de turbidités adoptées par [KAW, 2000].

Tableau. 15 : Gamme de turbidité

Gamme de turbidité	Commentaires
30 et 60 NTU	Filtre propre
60 à 120 NTU	Lit légèrement sale Lavage pouvant être amélioré
120 à 300 NTU	Lit sale Optimisation des séquences et fréquences de lavage
> 300 NTU	Lit très sale Lavage à revoir Vérification de la présence de boules de sable Surdosage en polymère et présence d'algues

Suivant le tableau précédant les résultats de la turbidité se trouvent dans l'intervalle de 96-331 NTU qui indique que le filtre est dans la gamme (sale et légèrement sale) donc le lavage peut être amélioré par l'optimisation des séquences et les fréquences de lavage.

5.5. CONCLUSION :

L'analyse des résultats des essais effectués au laboratoire a montré que la granulométrie et le coefficient d'uniformité du sable des six filtres sont supérieures à la granulométrie et le coefficient d'uniformité du sable des filtres destinés au traitement des eaux potables et l'optimisation de lavage a été obtenue pour un temps de rinçage en moyenne de 11min, ainsi les résultats obtenus des essais sur l'efficacité du lavage ont montré que le lavage peut être amélioré par l'optimisation des séquences et les fréquences de lavage.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Le but de cette étude est l'amélioration de la qualité des eaux naturelles destinées à la consommation humaine au niveau de la station de traitement de l'eau potable de Hammam Debagh (Guelma). Ce travail s'est basé d'une part sur une étude de l'évolution des divers paramètres de qualité des eaux de la station de traitement de Guelma au cours des différentes étapes du traitement et d'autre part une optimisation de l'étape de la filtration.

Les résultats obtenus de l'analyse en composantes principales et les essais d'optimisation de filtration font ressortir les conclusions et les recommandations suivantes:

- ✚ La filtration révèle une dépollution très importante par rapport aux éléments contenus dans les eaux brutes ;
- ✚ Optimisation du lavage des filtres a limité la durée du rinçage à un temps de onze (11) min ;
- ✚ Le lavage peut être amélioré par l'optimisation des séquences et les fréquences de lavage et aussi une augmentation du temps de l'étape de lavage.

En guise de recommandations un changement de la qualité du sable du point de vue granulométrie est souhaité par un sable bien adapté au traitement de l'eau potable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [DES_97] Desjardins. R. Le traitement des eaux. Edition de l'Ecole Polytechnique de Montréal. France, (1997).
- [ACH_02] Achour S., Guergazi S., Incidence de la minéralisation des eaux algériennes sur la réactivité de composés organiques vis-à-vis du chlore, Rev. Sci. Eau, 15, 3, 649-668 (2002).
- [ROD_96] Rodier J. L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, Ed. Dunod, 8ème Edition, Paris, (1996).
- [KAW_00] Kawamura. S. Integrated design and operation of water treatment facilities (Second Edition). New York, USA: John Wiley and Sons, (2000).
- [AME_09] Amel Lounnas. Amélioration des procédés de clarification des eaux, (2009).
- [NIC_11] Nicole Houel. Clarification, C.I.D.F, (2011).
- [GUE_05] Guénaëlle Mauguin, GLS. Filtres à sable optimisation de leurs performances, (2005).
- [HEC_06] Hector Ricardo Hernandez de Leon. Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable. Automatique / Robotique. INSA de Toulouse. Français, (2006).
- [MAH_14] Mahammedi Karima. Normes de qualité des eaux potables, (2014).
- [ABD_13] Abdoulaye demba n'diaye1, 4.Turbidité et matières en suspension dans l'eau (ACP), (2013).
- [HOU_2012] Houda Jarid. Optimisation de la filtration sur sable pour le traitement des eaux potables à la compagnie minière.(2012).

Sites Internet :

- ❖ <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0405/beiere/4/html/binome2/Clarification.htm>
- ❖ [pdf_Techniques_physicochimiques_applicables_dans_la_production_d-2](#)
- ❖ <http://tte.afpa.free.fr/Memotec%20-%20GLS/Memotec30-SableFiltration.pdf>
- ❖ [http:// www.gls.fr-Le sable de filtration.pdf](http://www.gls.fr-Le_sable_de_filtration.pdf)
- ❖ <https://tel.archives-ouvertes.fr>
- ❖ <http://www.gls.fr/images/ARTICLES/EIN-283-Filtres-sable-2005.pdf> Filtres à sable optimisation de leur performance.
- ❖ http://www.ebanque-pdf.com/fr_memotec-n-30-sable-de-filtration.html Le sable de filtration.
- ❖ http://eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/filtration.pdfFiltration.

ANNEXES

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	Mesure électro métrique du pH avec l'électrode de verre.	NF T90-008

- **Principe :**

Le pH est en relation avec la concentration des ions hydrogène [H⁺] présent dans l'eau ou les solutions.

La différence de potentiel existant entre une électrode de verre et une électrode de référence (Calomel - KCl saturé). Plongeant dans une même solution, est une fonction linéaire du pH de celle-ci. Le potentiel de l'électrode est lié à l'activité des ions H⁺.

- **Appareil :** pH Mètre
- **Electrode :** Electrode de pH combinée
- **Réactifs :** Tampon pH = 9
Tampon pH = 7
Tampon pH = 4
- **Mode opératoire :**

Etalonnage de l'appareil :

- Allumer le pH Mètre.
- Rincer l'électrode avec de l'eau distillée.
- Prendre dans un petit bêcher, la solution tampon pH = 7
- Régler l'agitation à faible vitesse.
- Tremper l'électrode de pH dans la solution tampon pH = 7
- Laisser stabiliser un moment jusqu'à affichage du standard 2.
- Enlever l'électrode et la rincer abondamment avec l'eau distillée.
- Ré étalonner de la même manière avec les solutions tampon pH = 9 où pH = 4.
- Puis rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.

Dosage de l'échantillon :

- Prendre environ ≈ 100 ml d'eau à analyser.
- Mettre un agitateur avec une faible agitation.
- Tremper l'électrode dans le bêcher.
- Laisser stabiliser un moment avec une faible vitesse d'agitation.
- Puis noter le pH.

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	Mesure de la conductivité électrique	NF T90-031

Définition :

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm.

Elle est l'inverse de la résistivité électrique.

L'unité de conductivité est le Siemens par mètre (S/m).

La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en microsiemens par centimètre (µS/cm). La relation entre la résistivité et la conductivité est la suivante:

$$\text{Résistivité}(\Omega.cm) = \frac{1000000}{\text{conductivité}(\mu S/cm)}$$

Principe :

Mesure de la conductance électrique d'une colonne d'eau délimitée par deux électrodes de platine (Pt) (ou couvertes de noir de platine) maintenues parallèles.

Si R est la résistance de la colonne d'eau en ohms.

S sa section en cm² et l sa longueur en cm.

La résistivité électrique en ohms-cm est

$$P = R \frac{S}{l}$$

La conductivité électrique en S/cm est :

$$V = \frac{1}{P} = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{S}$$

$\frac{l}{S}$ est appelé constante de l'élément de mesure

Matériel : Conductimètre.

Mode opératoire :

D'une façon générale, opérer de la verrerie rigoureusement propre et rincée, avant usage, avec de l'eau distillée.

Rincer plusieurs fois la cellule à conductivité, d'abord avec de l'eau distillée puis en la plongeant dans un récipient contenant de l'eau à examiner; faire la mesure dans un deuxième récipient en prenant soin que les électrodes de platine soient complètement immergées.

Agiter le liquide (barreau magnétique) afin que la concentration ionique entre les électrodes soit identique à celle du liquide ambiant. Cette agitation permet aussi d'éliminer les bulles d'air sur les électrodes.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en µS/cm.

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	TURBIDITE	NF T 90 - 033

Définition :

Réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoute.

Principe :

Comparaison de la lumière diffusée et la lumière transmise par l'échantillon d'eau et par une gamme étalon constituée de solutions de formazine.

La mesure de la lumière diffusée est significative pour les eaux de faible turbidité non visible à l'œil nu (par exemple les eaux de boisson).

La mesure de la lumière transmise est significative pour les eaux de turbidité visible à l'œil nu (par exemple les eaux polluées) et pour les eaux de faible turbidité contenant des substances qui ne diffusent pas.

Pour tout échantillon d'eau, la mesure de la lumière diffusée et de la lumière transmise permet la détection de matières non dissoutes, absorbant mais diffusant mal, qui passeraient inaperçues par la seule mesure de la lumière diffusée.

Appareillage : HACH 2100N

- Cuvette d'évaluation de la transparence constituée d'une cuvette de verre incolore de 50 mm. de diamètre.

Mode opératoire :

Remplir une cuvette de mesure propre et bien essuyer avec du papier hygiénique avec l'échantillon à analyser bien homogénéisé et effectuer rapidement la mesure, il est nécessaire de vérifier l'absence de bulle d'air avant la mesure.

Expression des résultats :

La mesure est obtenue directement en NTU.

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	Détermination de l'azote ammoniacal (NH₄⁺)	ISO N°7150

Principe : Mesure spectrométrique à environ 655nm du composé bleu formé par réaction de l'ammonium avec les ions salicylate et hypochlorite en présence de nitroprussiate de sodium.

Réactifs:

Réactif I :

- Acide dichloroisocyanurique 2 g.
- Hydroxyde de sodium (NaOH) 32 g.
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

Réactif II (coloré) :

- Trictrate de sodium 130 g.
- Salicylate de sodium 130 g.
- Nitropruciate de sodium 0.97 g.
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml

Appareillage:

Spectrophotomètre UV-Visible

Courbe d'étalonnage :

\$ fille 1 mg/l	0	1	2.5	5	25	40
Eau distillée (ml)	50	49	47.5	45	25	10
Réactif I (ml)	4	4	4	4	4	4
Réactif II (coloré) (ml)	4	4	4	4	4	4
Attendre 1 h.30						
[NH ₄ ⁺] en mg/l	0	0.02	0.05	0.1	0.5	0.8

Mode opératoire :

- Prendre 40 ml d'eau à analyser
- Ajouter 4 ml du réactif I
- Ajouter 4 ml du réactif II et ajuster à 50 ml avec H₂O distillée et attendre 1h. 30

* L'apparition de la coloration verdâtre indique la présence de : NH₄⁺ Effectuer la lecture à 655 nm.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	Dosage des nitrites (NO₂⁻)	ISO 5667

Principe: Les nitrites réagissent avec le Sulfanilamide pour former un composé diazoïque qui, après copulation avec le N1 Naphtyléthylènediamine dichloride donne naissance à une coloration rose mesurée à 543nm.

Réactifs:

Réactif Mixte :

- Sulfanilamide 40 g.
- Acide phosphorique 100 ml.
- N-1- Naphtyl éthylène diamine 2 g.
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

Appareillage:

Spectrophotomètre UV-Visible

Courbe d'étalonnage :

\$ fille 1 mg/l	0	1	2	5	20	40
Eau distillée (ml)	50	49	48	45	30	10
Réactif Mixte (ml)	1	1	1	1	1	1
Attendre 10 mn						
[NO ₂ ⁻] en mg/l	0	0.02	0.04	0.1	0.4	0.8

Mode opératoire :

- Prendre 50 ml d'eau à analyser
- Ajouter 1 ml du réactif mixte.
- Attendre 10mn.

* L'apparition de la coloration rose indique la présence des NO₂⁻.

Effectuer la lecture à 543 nm.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	DOSAGE DES NITRATES NO₃⁻ Méthode au salicylate de sodium.	T90-012

Principe :

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du paranitrosnylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

Réactifs :

- * Solution de salicylate de sodium à 0.5 % (renouveler toutes les 24 h.).
0.5 gr de salicylate de sodium dans 100 ml d'eau distillée.
- * Solution d'hydroxyde de sodium 30 %.
30 gr de NaOH dans 100 ml d'eau distillée.
- * H₂SO₄ concentré.
- * Tartrate double de sodium et de potassium.
Hydroxyde de sodium Na OH 400 g.
Tartrate de sodium et de potassium 60 g.
Eau distillée qsp 1000 ml.

Laisser refroidir avant de compléter à 1000 cc.

Cette solution doit être conservée dans un flacon de polyéthylène.

Solution mère d'azote d'origine nitrique à 1000 mg/l.

- * Nitrate de potassium anhydre 0.722 g.
Eau distillée 1000 ml.
Chloroforme 1 ml.

Solution fille d'azote d'origine nitrique à 5 mg/l.

Appareillage.

Etuve.

Spectrophotomètre U.V visible.

• Courbe d'étalonnage.

Dans une série de capsule de 60 ml, introduire successivement :

N° de capsule	B	I	II	III	IV
\$ étalon 5 mg/l.	0	1	2	5	10
Eau distillée	10	9	8	5	0
\$ de salicylate de Na	1	1	1	1	1
Correspondant en mg/l de N nitrique	0	0.5	1	2.5	5

Mode opératoire

Prendre 10 ml de l'échantillon à analyser.

Ajouter 2 à 3 gouttes de NaOH à 30 %.

Ajouter 1 ml de salicylate de sodium.

Evaporer à sec au bain marie ou à l'étuve 75 - 88° C.

(ne pas surcharger ni surchauffer très longtemps) laisser refroidir.

Reprendre le résidu avec 2 ml. H₂SO₄ laisser reposer 10 mn.

Ajouter 15 ml d'eau distillée.

Ajouter 15 ml de tartrate double de sodium et de potassium puis passer au spectro au 415 nm.

Expression des résultats :

Annexes Du Protocole D'analyse

Le résultat est donné directement en mg/l à une longueur d'onde de 415 nm.

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION 1
	Détermination des phosphates (PO₄³⁻)	ISO N° 6878

Principe :

Formation en milieu acide d'un complexe avec le molybdate d'ammonium et le tartrate double d'antimoine et de potassium. Réduction par l'acide ascorbique en un complexe coloré en bleu qui présente deux valeurs maximales d'absorption l'une vers 700 nm, l'autre plus importante à 880 nm.

Appareils : Spectrophotomètre UV. visible

Réactifs :

Réactif Mixte :

Heptamolybdate d'ammonium	13 g.	A
Eau distillée	100 ml.	
Tartrate d'antimoine	0.35 g.	B
Eau distillée	100 ml.	
Acide sulfurique pur	150 ml ©	C
Eau distillée	150 ml.	

(A + B) + C → 500 ml d'eau distillée.

Acide ascorbique à 10 %:

Acide ascorbique.....	10g.
Eau distillée	100ml.

Solution mère à 50 mg/l PO₄³⁻

Solution fille à 2 mg/l PO₄³⁻

Courbe d'étalonnage :

N° Fiole	0	1	2	3	4	5
\$ fille à 25 mg/l P	0	0.3 ml	0.6	1.2	2.4	4.8
qsp 40 ml eau distillée	40	40 ml	40	40	40	40
[c] P	0.0	0.015	0.03	0.06	0.120	0.240
[c] en PO ₄ ³⁻	0.0	0.0459	0.0918	0.1836	0.3672	0.7340
Acide ascorbique (ml)	1	1	1	1	1	1
Réactif mélangé (ml)	2	2	2	2	2	2
Attendre 10 mn.						

Mode opératoire :

40 ml d'eau à analyser.

1 ml acide ascorbique

2 ml du réactif mixte.

Attendre 10 mn le développement de la couleur bleue.

Annexes Du Protocole D'analyse

Effectuer la lecture à une longueur d'onde de 880 nm.

Expression des résultats :

Le résultat est donné directement en mg/l.

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	Détermination des matières oxydables en milieu acide (M.O)	T 90 -050

Principe:

Oxydation par un excès de permanganate de potassium, en milieu acide et à ébullition (10 mn), des matières oxydables contenues dans l'échantillon. Réduction de l'excès de permanganate par l'oxalate de sodium en excès et titrage en retour de l'excès d'oxalate par le permanganate de potassium.

Réactifs :

Solution de permanganate de potassium à 20 mmol/l:

- KMnO_4 3,1608 g. - H_2O distillée bouillante ... q.s.p 1000 ml.
Porter la solution à 90-95 °C pendant 2 heures, refroidir et laisser reposer au moins 2 jours.
Décanter la solution claire et conserver dans une bouteille en verre brun.

Solution de KMnO_4 à 2 mmol/l:

- Solution de KMnO_4 à 20 mmol/l. 100 ml. - H_2O distillée ... q.s.p 1000 ml.
Cette solution doit être conservée à l'obscurité. Bien qu'elle soit relativement stable, il est conseillé de la renouveler assez souvent et de la vérifier.

Solution d'oxalate de sodium à 0,05 mol/l :

$\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$.. 6,7 g. Eau distillée . q.s.p 1000 ml.
Cette solution est stable environ 6 mois à l'obscurité.

Solution d'oxalate de sodium à 5 mmol/l :

Introduire 100 ml de la solution d'oxalate de sodium à 0.1 N dans une fiole jaugée de 1000 ml. Compléter au volume avec de l'eau distillée.
Cette solution est stable 2 semaines.

Solution d'acide sulfurique diluée à environ 2.2 moles/l:

Ajouter lentement avec précautions 120 ml d'acide sulfurique concentré ($\rho = 1.84 \text{ g/ml}$) à 500 ml d'eau distillée. Ajouter la solution de permanganate de potassium à 0.01 N jusqu'à persistance d'une coloration rose pâle. Compléter à 1000 ml d'eau distillée dans une fiole jaugée.

Mode opératoire :

- Prendre 100 ml d'eau à analyser
- Ajouter 20 ml d'acide sulfurique dilué à 2.2 M et homogénéiser. Porter à ébullition douce puis ajouter 20 ml de la solution de permanganate de potassium à 2 mmol/l. Après 10 min, ajouter 20 ml de la solution d'oxalate de sodium à 5 mmol/l.
- Titrer après décoloration, alors que la solution est encore chaude, avec la solution de permanganate de potassium à 2 mmol/l jusqu'à apparition d'une coloration rose.

N.B : Un essai à blanc est nécessaire.

Titration de la solution de permanganate de potassium:

Ajouter 20 ml d'oxalate de sodium à 5 mmol/l. Chauffer jusqu'à 80 °C et titrer avec le permanganate de potassium à 2 mmol/l jusqu'à apparition de la coloration rose.

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	Détermination du calcium (Ca²⁺) et du magnésium (Mg²⁺)	ISO N° 6058 NF T90-003

Principe :

Titration molaire des ions calcium et magnésium avec une solution de sel disodique de l'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA) à pH 10. Le noir érichrome T, qui donne une couleur rouge foncé ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

Réactifs :

Solution d'E.D.T.A N/50 (C₁₀ H₁₄ N₂ Na₂ O₈ 2H₂O) : (0,02N ou 0,01M)

- EDTA 3,725 g. après déshydratation à 80°C pendant 2 h.
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

d'hydroxyde de sodium (NaOH) 2 N :

- NaOH (pastilles) 80 g.
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

Solution d'hydroxyde d'ammonium (NH₄OH) pH = 10,1:

- Chlorure d'ammonium 67,5 g.
- NH₄OH (25%) 570 ml
- HCl concentré PH = 10,1
- H₂O distillée q.s.p 1000 ml.

: Noir eriochrome T.

Solution étalon de référence, c(CaCO₃)=0.01mol/l

Secher un échantillon de carbonate de calcium pur pendant 2 heures à 150°C.

En introduire 1 g dans une fiole conique de 500ml et humidifier avec de l'eau. Ajouter goutte à goutte de l'acide chlorhydrique à 4mol/l jusqu'à ce que tout le carbonate soit dissous. Eviter un excès d'acide.

Ajouter 200ml d'eau et porter à ébullition quelques minutes afin d'éliminer le dioxyde de carbone. Refroidir et ajouter quelques gouttes de l'indicateur au rouge de méthyle. Ajouter une solution ammoniacale à 3mol/l jusqu'à ce que la solution devienne orange.

Transvaser la solution dans une fiole jaugée de 1000ml et compléter au volume avec de l'eau distillée.

1ml de la solution contient 0.4008mg(0.01 mmol/l) de calcium.

• Mode opératoire :

- (V₁) Ca²⁺ :
- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
 - Ajouter 2 ml de NaOH à 2 N.
 - Ajouter du Murexide.
 - Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (violet).
- (V₂) Ca²⁺Mg²⁺ :
- Prendre 50 ml d'eau à analyser.
 - Ajouter 2 ml de NH₄OH (10,1).
 - Ajouter noir eriochrome.

Annexes Du Protocole D'analyse

- Et titrer avec l'E.D.T.A jusqu'au virage (bleu).

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	Dosage de sodium et de potassium par photométrie de la flamme.	ISO 9964/3

1)- Partie théorique :

La photométrie de la flamme est un des procédés les plus rapides et sensibles connus aujourd'hui pour le dosage des éléments alcalins et alcalino - terreux .

Les éléments à analyser (sodium, potassium lithium, calcium etc ...) sont généralement sous forme de sels. L'analyse se fait en partant de leurs solutions.

2)- Partie pratique :

Mode opératoire :

Appareil Dr LANGE (JENWAY)

Il faut le suivre étape par étape :

- * Allumer l'appareil à l'aide du bouton vert (Power).
- * Ouvrir le robinet de la bouteille du gaz.
- * Allumer la flamme à l'aide du bouton noir "IGNITION" sans lâcher le doigt jusqu'à l'affichage "FLM" en rouge sur l'écran.
- * Pipeter de l'eau distillée remplie dans une cuvette.
- * Optimiser la flamme si elle est jaune à l'aide du bouton " fuel " jusqu'à ce que la couleur devienne bleu violacée.
- * Optimiser à zéro à l'aide du bouton "Blank".
- * Laisser se stabiliser 5 à 10 minutes.
- * Une fois qu'elle se stabilise à zéro, activer la cuvette d'eau distillée et la remplacer par une autre cuvette remplie par une solution étalon de Na^+ ou du K^+ à 10 mg/l.
- * Optimiser à 10 mg/l à l'aide du bouton "FINE"
- * Retirer la cuvette remplie par une solution étalon de " Na^+ " ou de " K^+ " à 10 mg/l et la remplacer par une cuvette remplie d'eau distillée et vérifier si l'écran affiche zéro (0.000).
- * Retirer la cuvette remplie par l'eau distillée et la remplacer par une cuvette remplie par une solution étalon de " Na^+ " ou de " K^+ " à 10 mg/l et vérifier si l'écran affiche (10).
- * Retirer la cuvette et la remplacer par une autre cuvette remplie d'eau distillée.
- * A la fin, passer aux échantillons inconnus jusqu'à ce que la valeur affichée sur l'écran est stable (3 essais pour chaque échantillon)

A la fin du dosage et par mise de la sécurité, il faut toujours fermer la bouteille de gaz propane en premier lieu ensuite l'appareil et la pompe.

Remarque :

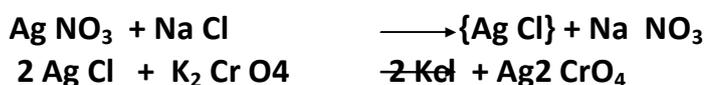
Avant de doser le sodium (Na^+) il faut toujours vérifier les valeurs de la " conductivité " car cette dernière a un rapport proportionnel à la dilution, c'est à dire plus que la conductivité est grande plus que la dilution du Na^+ est grande et vice versa. Alors pour le cas de K^+ on ne fait pas la dilution sauf que la conductivité est grande.

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	Détermination des chlorures (Cl⁻)	NF T 90 - 014

Principe :

Réaction des ions chlorure avec des ions argent pour former du chlorure d'argent insoluble qui est précipité quantitativement .Addition d'un petit excès d'ions argent et formation du chromate d'argent brun-rouge avec des ions chromates qui ont été ajoutés comme indicateur. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage , le pH est maintenu entre 5 et 9.5 afin de permettre la précipitation.



Réactifs :

Solution de nitrate d'argent à 0,01 N:

1,6987 d' AgNO₃ → 1000 ml d'eau distillée

Indicateur coloré K₂CrO₄ à 10 %:

10 g de K₂CrO₄ → Q.S.P 100 ml d'H₂O dist.

Solution de chlorures à 71 mg/l:

0.107g de NH₄Cl.....1000ml d'eau distillée.

Mode opératoire :

Prendre 5 ml d'eau à analyser,

Ajouter 2 gouttes de K₂CrO₄ (coloration jaunâtre).

Titre avec Ag NO₃ à 0,01 N jusqu'à coloration brun rougeâtre.

Expression des résultats :

$$F.G: \frac{V_{\text{AgNO}_3} \times N_{\text{AgNO}_3} \times M_{\text{Cl}}}{PE} = \frac{V_{\text{AgNO}_3} \times 0,01 \times 35,5 \times F \times 1000}{5}$$

$$F.S : \text{mg/l Cl}^- = V_{\text{AgNO}_3} \times 71 \times F.$$

V_{AgNO₃} : Volume d'AgNO₃ nécessaire pour le dosage de l'échantillon.

N_{AgNO₃} : Normalité d'AgNO₃

M_{Cl⁻} : masse des chlorures.

F : facteur de correction du titre d'Ag NO₃.

PE : prise d'essai.

Pour le F : - Prendre 5 ml de la solution mère à 71 mg/l.

- Ajouter 2 gouttes de l'indicateur coloré.

- Doser par AgNO₃ à 0,01 N jusqu'au virage.(couleur brun rougeâtre).

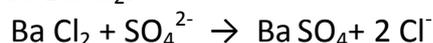
$$F = \frac{1}{V_{\text{AgNO}_3}}$$

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	Détermination des Sulfates (SO₄²⁻)	Méthode Allemande élaborée par laboratoire

Principe :

Les ions sulfates sont précipités et passés à l'état de sulfate de baryum
En présence de Ba Cl₂.



Appareil : Spectrophotomètre UV Visible

Réactifs : Solution mère de sulfates à 1 g/l à partir de Na₂SO₄

Peser 1,479 g de Na₂SO₄ 1000 ml d'eau distillée.

Solution stabilisante :

Acide chlorhydrique (c) 60 ml.
Ethanol 200 ml.
Chlorure de sodium 150 g.
Glycérol 100 ml.
Eau distillée Q.S.P. 1000 ml.

Solution de chlorure de baryum :

Chlorure de baryum 150 g.
Acide chlorhydrique..... 5 ml.
Eau distillée Q.S.P. 1000 ml.

Gamme d'étalonnage :

Prendre 8 béchers de 250 ml.
Laver très bien avec du savon et une lavette.
Rincer abondamment avec l'eau du robinet.
Rincer avec une solution acide chlorhydrique
Rincer avec l'eau du robinet puis avec de l'eau distillée.

. Remarque :

- Les échantillons troubles ou colorés doivent être filtrés sur filtre de 0,45 µm.
- Les échantillons qui contiennent plus de 70 mg/l SO₄²⁻ doivent être dilués avant détermination.

* Mode opératoire :

- * Prendre 20 ml d'eau à analyser puis compléter à 100 ml d'eau distillée.
- * Ajouter 5 ml de la solution stabilisante.
- * Ajouter 2 ml de chlorure de baryum.
- * Agiter énergiquement pendant 1 mn.
- * Passer au spectrophotomètre λ = 420 nm.

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	Détermination de l'alcalinité (HCO₃⁻)	NF T0-036

Avant propos:

L'alcalinité d'une eau correspond à la présence bicarbonates, carbonates et hydroxydes.

Principe :

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de pH = 8.3 et 4.3, le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC).

Réactifs :

- * Solution d'acide Chlorhydrique à 1 N :
- * Solution d'HCl à 0,1 N :
 - d'HCl à 1 N 100 ml.
 - H₂O distillée q.s.p 1000ml.

Électrode : Électrode de pH

Mode opératoire :

- Prendre 100 ml d'eau à analyser,
- Noter son pH puis titrer avec HCl à 0,1 N jusqu'à obtention d'un pH de 4,3.

* Remarque :

Si le pH de l'échantillon est supérieur à 8,3 ; titrer jusqu'à cette valeur (volume d'HCl obtenu correspond au CO₃²⁻) puis continuer le dosage jusqu'à pH de 4,3 noter le volume VA₂.

$$\text{mg/l CO}_3^{2-} = \text{VA}_2 \times 60$$

Annexes Du Protocole D'analyse

	METHODE D'ESSAI	
	LABORATOIRES DE L'ADE	VERSION1
	Détermination du résidu sec	Méthode élaborée par le laboratoire central

* **Principe :**

La détermination des résidus permet d'estimer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau. La détermination du résidu sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension, c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes.

Une certaine quantité d'eau est évaporée dans une capsule tarée. Le résidu desséché est ensuite pesé.

* **Matériel :**

Capsule en porcelaine.

Balance analytique.

Etuve réglable.

* **Mode opératoire :**

- * Tarer une capsule préalablement lavée, rincée à l'eau distillée et desséchée.
- * Prélever 100 ml d'eau à analyser dans une fiole jaugée et déverser la dans la capsule.
- * Porter cette dernière à l'étuve à 105° C pendant 24 heures.
- * Laisser refroidir pendant ¼ d'heure au dessiccateur.
- * Peser immédiatement et rapidement.

* **Expression des résultats :**

Les résultats sont donnés en mg/l.

$$(PP - PV) 10 \times 1000 = \text{mg/l de RS}$$

d'où PP : est le poids plein de la capsule.

PV : est le poids vide de la capsule.

* **Remarque :**

Les eaux contenant des matières en suspension (turbides) doivent être filtrées.