

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان-
Université ABOU BEKR BELKAID



Faculté de Technologie
Département d'Hydraulique

Mémoire de projet de fin d'Etudes
pour l'obtention du Diplôme de
Mastère en hydraulique
Option : *Technologies de traitement des eaux*

THEME

*Prétraitement des eaux moyennement saumâtre par
filtration sur sable et filtration sur support*

Soutenue publiquement le : 05 /10 /2013

Présenté par :

M^{elle} : SEBIH Wahiba

Devant les membres du jury :

Président : *Mr.A.SEDDINI, (Pr)*

Dép. d'hydraulique

Encadreur : *Mr.A.CHIBOUB FELLAH, (Pr)*

Dép. d'hydraulique

Examineur : *Mr.A.BOUANANI, (Pr)*

Dép. d'hydraulique

Examineur : *Mr.C.BENTALHA (M.A.A)*

Dép. d'hydraulique

Année : 2013/2014

Remerciements

J'exprime en premier lieu mes gratitudee à la compassion du dieu, qui me donne la volonté, la patience et le courage pour réaliser ce travail.

Mes premiers remerciements iront à mon encadreur Mr A.CHIBOUB FELLAH « professeur au département d'hydraulique » qui m'a fait bénéficiaire de ses expériences et pour la confiance qu'il m'a accordé en acceptant de m'encadrer et pour tous ses conseils et précieuses orientations.

Je tiens à remercier Mr. A.SEDDINI « professeur au département d'hydraulique » d'avoir accepté de présider le jury de ce modeste travail.

Mes remerciements s'adressent également au Mr A. BOUANANI « Professeur au département d'hydraulique » et Mr C. BENTALHA « Maître-assistant classe A au département d'hydraulique » pour avoir accepté de l'examiner.

Je remercie également les responsables de laboratoire de traitement des eaux de la faculté de technologie qui m'ont beaucoup aidé aux cours des expériences.

Je remercie les responsables de la station de sekkak, pour leur aide concernant les informations et les appareils de mesure.

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce modeste travail.

Pour terminer, je remercie tous les enseignants du département Hydraulique qui ont fait de leurs mieux et ont donné le meilleur d'eux même pour assurer notre formation.

DEDICACES



Je dédie ce modeste travail

A mes très chers parents,

Qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.

A mon très cher frère Abdelkrim

A mes très chères sœurs Amina, Meriem

A mon grand père et ma grande mère

A mes oncles et mes tantes

A toute ma famille

**A mes très chers amis (es) : Rafika, Hamid, Wafa,
houđa,**

A tous mes amis(es) de ma promotion de 77E



Résumé

Parmi les étapes les plus importantes dans la chaîne de traitement des eaux, on trouve l'étape de la filtration. Dans ce modeste travail nous avons utilisé deux types de matériau filtrant, le sable et les plaques de cellulose.

L'importance de cette étape, nous a conduit à faire des expériences pour la comparaison entre les deux modes de filtration les plus utilisés, qui sont : la filtration sur sable et la filtration sur support, afin de trouver la méthode qui offre une bonne qualité de l'eau filtré.

Les expériences sont effectuées au laboratoire, sur les pilotes TE 400 et TE 500, à partir des eaux saumâtres turbides préparés avec des variations des concentrations de la bentonite et du sel. D'après les analyses physico-chimiques on remarque une diminution de la turbidité, une très faible réduction de la conductivité, et une très faible influence sur le pH et cela pour les deux types de filtration.

Mots clés : eau, traitement, filtration, sable, support, bentonite, turbidité, pH, conductivité.

Abstract

Among the most important steps in the chain of water treatment, there is the step of filtration. In this modest work we used two types of filter material, sand and cellulose plates.

Experiments are conducted in the laboratory, the pilot TE 400 and TE 500, from turbid brackish prepared with varying concentrations of bentonite and salt.

The main goal of this study is to find the method that offers a good quality filtered water. According to the physico-chemical analysis we notice a decrease in turbidity, a very small reduction in conductivity, and a very small influence on the pH and that the two types of filtration.

Keywords: water treatment, filtration, Sand, support, bentonite, turbidity, pH, conductivity.

تلخيص

من بين المراحل الهامة في سلسلة تصفية المياه الصالحة للشرب نجد مرحلة الترشيح.

في هذا العمل المتواضع استخدمنا نوعين من مواد التصفية : الرمل و صفائح السيليلوز.

اظهرت التحاليل انخفاض ملحوظ في عكرة المياه وفيما يخص معدل ملوحة وحموضة المياه

المعالجة لم نلاحظ اي تأثير لهذه العملية على هذين العاملين.

كلمات البحث : معالجة المياه ، الترشيح ، الرمل ، التعكر ، البنتونيت، درجة الحموضة ، الموصلية.

Liste des tableaux

Partie théorique

Chapitre I: Généralité sur l'eau

Tableau I.1: les principales maladies d'origine hydrique et leurs agents pathogènes.....	(6)
Tableau I.2: classification des eaux d'après leur pH.....	(8)
Tableau I.3 : TH en fonction du type d'eau.....	(9)
Tableau I.4 : Critères de l'Union Européenne de l'eau de boisson.	(11)
Tableau I.5 : lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable. ...	(11)
Tableau II.1 : Différents types de dégrillage en fonction de l'espacement des barreaux. ...	(16)
Tableau II.2: Dérivés des sels d'aluminium et de fer.	(21)
Tableau II.3 : Le temps mis par ces particules pour chuter naturellement d'un mètre dans l'eau.	(22)
Tableau II.4: Temps de désinfection pour différents types de micro-organismes pathogènes avec de l'eau chloré.	(24)

Partie expérimentale

Chapitre V : Résultats et interprétations

Tableau V.1 : les valeurs de débits du filtre seul.....	(66)
Tableau V.2 : les valeurs de débits (une couche de tissu + un nombre de filtre).	(67)
Tableau V.3 : les valeurs de débits (deux couches de tissu + un nombre de filtre).	(67)
Tableau V.4 : les valeurs de débits (quatre couches de tissu + un nombre de filtre).	(68)
Tableau V.5 : l'évolution de la turbidité en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour les filtres seuls.....	(69)
Tableau V. 6: le rendement en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour les filtres seuls.	(70)
Tableau V.7 : l'évolution de la turbidité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour une couche de tissu + un nombre de filtre.....	(71)
Tableau V.8 : le rendement en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour (une couche de tissu+un nombre de filtre).	(72)
Tableau V.9 : l'évolution de la turbidité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour deux couches de tissu + un nombre de filtre.....	(73)
Tableau V. 10: le rendement en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour deux couches de tissu + un nombre de filtre.	(74)
Tableau V.11 : l'évolution de la turbidité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour quatre couches de tissu + un nombre de filtre :.....	(75)
Tableau V.12 : l'évolution de pH en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour les filtres seuls.	(76)
Tableau V.13 : l'évolution de pH en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour une couche de tissu + un nombre de filtre.	(77)
Tableau V.14: l'évolution de pH en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour deux couches de tissu + un nombre de filtre.	(78)

Tableau V.15 : l'évolution de pH en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour quatre couches de tissu + un nombre de filtre.	(79)
Tableau V.16 : l'évolution de la conductivité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour les filtres seuls.	(80)
Tableau V.17 : l'évolution de la conductivité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour une couche de tissu + un nombre de filtre.....	(81)
Tableau V.18 : l'évolution de la conductivité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour deux couches de tissu + un nombre de filtre.	(82)
Tableau V.19 : l'évolution de la conductivité en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour quatre couches de tissu + un nombre de filtre.....	(83)
Tableau V.20 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(84)
Tableau V.21 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(84)
Tableau V.22 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(85)
Tableau V.23 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(86)
Tableau V.24 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(86)
Tableau V.25 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(87)
Tableau V.26 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu :	(88)
Tableau V.27 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(88)
Tableau V.28 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(89)
Tableau V.29 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(90)
Tableau V.30 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(91)
Tableau V.31 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(91)
Tableau V.32 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu :	(92)
Tableau V.33 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(93)
Tableau V.34 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(93)
Tableau V.35 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(94)
Tableau V.36 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(95)
Tableau V.37 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(96)
Tableau V.38 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(96)
Tableau V.39 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(97)

Tableau V.40 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.....	(98)
Tableau V.41 : le rendement en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.....	(99)
Tableau V.42 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.....	(100)
Tableau V.43 : le rendement en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres $C_B=0.20$ g/l.	(100)
Tableau V.44 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.	(101)
Tableau V.45 : le rendement en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.	(102)
Tableau V.46 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.	(103)
Tableau V.47 : le rendement en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.	(104)
Tableau V.48 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.	(105)
Tableau V.49 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.....	(105)
Tableau V.50 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.....	(106)
Tableau V.51 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.....	(107)
Tableau V.52 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.	(108)
Tableau V.53 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.	(108)
Tableau V.54 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.	(109)
Tableau V.55 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.	(110)
Tableau V.56 : L'analyse granulométrique du sable.....	(112)
Tableau V.57 : pertes de charges selon le temps (5g/l de sel+ 0.6g/l de la bentonite et Q=50 l/h) au niveau de la colonne de filtration.	(115)
Tableau V.58 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et Q=100 l/h) au niveau de la colonne de filtration.	(116)
Tableau V.59 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et Q=150 l/h) au niveau de la colonne de filtration.	(117)
Tableau V.60 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et Q=200 l/h) au niveau de la colonne de filtration.	(117)
Tableau V.61 : l'évolution de la turbidité en fonction du temps et le débit.....	(119)
Tableau V.62 : donne le rendement de la filtration en fonction du temps et du débit	(120)
Tableau V.63 : l'évolution de pH en fonction du temps et le débit a plusieurs instants.	(121)
Tableau V.64 : l'évolution de la conductivité en fonction du temps et le débit	(122)
Tableau V.65 : l'évolution de la température en fonction du temps et le débit.	(123)
Tableau V.66 : l'évolution de la turbidité, pH, Conductivité selon les deux types de filtration.	(124)

Liste des figures

Partie théorique

Chapitre II: Les étapes et les procédés de traitement des eaux

Figure II.1 : Dégrilleur courbé.	(17)
Figure II.2 : Tamis rotatif.	(17)
Figure II.3 : Dessableur.	(18)
Figure II.5 : Le décanteur lamellaire.	(22)
Figure II.6 : schéma d'un système de désinfection UV	(25)
Figure II.7 : Localisation des UV-C dans le Spectre électromagnétique.	(25)
Figure II.8 : Schéma distillation simple effet.	(28)
Figure II.9 : Principe de fonctionnement du procédé d'osmose inverse.	(29)
Figure III.1 : schéma d'une filtration conventionnelle.	(32)
Figure III.2 : schéma d'une filtration direct.	(33)
Figure III.3 : Schéma d'une filtration en ligne.	(33)
Figure III.4 : Schéma d'une filtration sur support.	(38)
Figure III.5 : Filtre à disques empilés.	(39)
Figure III.6 : Filtre-presse.	(40)
Figure III.7 : Plaque support équipée de bougies.	(41)
Figure III.8 : Schéma d'un filtre lent sur sable.	(43)
Figure III.9 : exemple d'un filtre en phase de filtration et en phase de lavage.	(44)
Figure III.10 : Schéma d'un filtre rapide sur sable.	(46)
Figure III.11 : élément d'un filtre.	(47)
Figure III.12 : Filtres sous pression.	(49)
Figure III.13 : les diatomées.	(51)

Partie expérimentale

Chapitre IV: Procédure expérimentale et les appareillages de mesure

Figure IV.1 : pilote TE 500 de la filtration sur support.	(56)
Figure IV.2 : structure du pilote de la filtration sur support TE 500.	(58)
Figure VI.3 : les vannes de pilote TE 500.	(58)
Figure IV.4 : pilote TE 400 de la filtration sur sable.	(61)
Figure IV.5 : structure du pilote de la filtration sur sable TE 400.	(63)
Figure IV.6 : Turbidimètre.	(64)

Figure IV.7 : les pH-mètres.	(64)
Figure IV.8 : les conductimètres.	(65)

Chapitre V : Résultats et interprétations

Figure V.1 : l'évolution de la turbidité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (les filtres seuls).	(69)
Figure V.2 : l'évolution de la turbidité en fonction de nombre de filtre (NDF) (les filtres seuls).	(69)
Figure V.3 : le rendement $R(\%)$ en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (Lesfiltresseuls).	(70)
Figure V.4 : le rendement $R(\%)$ en fonction de nombre de filtre (NDF) (les filtres seuls).	(70)
Figure V.5 : l'évolution de la turbidité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (une couche de tissu+un nombre de filtre).	(71)
Figure V.6 : l'évolution de la turbidité en fonction de nombre de filtre (NDF) (une couche de tissu+un nombre de filtre).	(71)
Figure V.7 : le rendement en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (une couche de tissu+un nombre de filtre).	(72)
Figure V.8 : le rendement en fonction de nombre de filtre (NDF) (une couche de tissu+un nombre de filtre).	(72)
Figure V.9 : l'évolution de la turbidité en fonction de la concentration de la bentonite C_B (Deux couches de tissu + un nombre de filtre).	(73)
Figure V.10 : l'évolution de la turbidité en fonction de nombre de filtre NDF (Deux couches de tissu + un nombre de filtre).	(73)
Figure V.11 : le rendement ($R\%$) en fonction de la concentration de la bentonite (CB) (deux couches de tissu + un nombre de filtre).	(74)
Figure V.12 : le rendement ($R\%$) en fonction de nombre de filtre NDF (deux couches de tissu + un nombre de filtre).	(74)
Figure V.13 : l'évolution de la turbidité en fonction de la concentration de la bentonite (quatre couches de tissu + un nombre de filtre).	(75)
Figure V.14 : l'évolution de la turbidité en fonction de nombre de filtre NDF (quatre couches de tissu + un nombre de filtre).	(75)
Figure V.15 : l'évolution de pH en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (les filtres seuls).	(76)
Figure V.16 : l'évolution de pH en fonction de nombre de filtre (NDF) (les filtres seuls). ..	(76)
Figure V.17 : l'évolution de pH en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (1 couche de tissu + un nombre de filtre).	(77)
Figure V.18 : l'évolution de pH en fonction de nombre de filtre (NDF)(1couche de tissu+un nombre de filtre)	(77)
Figure V.19 : l'évolution de pH en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (2 couches de tissu + un nombre de filtre).	(78)
Figure V.20 : l'évolution de pH en fonction de nombre de filtre (NDF) (2 couches de tissu + un nombre de filtre).	(78)
Figure V.21 : l'évolution de pH en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (4 couches de tissu + un nombre de filtre)	(79)

Figure V.22 : l'évolution de pH en fonction de nombre de filtre (NDF)(4 couches de tissu + un nombre de filtre).	(79)
Figure V.23 : l'évolution de la conductivité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (les filtres seuls).	(80)
Figure V.24 : l'évolution de la conductivité en fonction de nombre de filtre (NDF) (les filtres seuls).	(80)
Figure V.25 : l'évolution de la conductivité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (1 couche de tissu + un nombre de filtre).	(81)
Figure V.26 : l'évolution de la conductivité en fonction de nombre de filtre (NDF) (1 couche de tissu + un nombre de filtre).	(81)
Figure V.27 : l'évolution de la conductivité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (2 couches de tissu + un nombre de filtre).	(82)
Figure V.28 : l'évolution de la conductivité en fonction de nombre de filtre (NDF) (2 couches de tissu + un nombre de filtre).	(82)
Figure V.29 : l'évolution de la conductivité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (4 couches de tissu + un nombre de filtre).	(83)
Figure V.30 : l'évolution de la conductivité en fonction de nombre de filtre (NDF) (4 couches de tissu + un nombre de filtre).	(83)
Figure V.32 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(84)
Figure V.33 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(85)
Figure V.34 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(85)
Figure V.35 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(86)
Figure V.36 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(87)
Figure V.37 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(88)
Figure V.38 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(89)
Figure V.39 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(89)
Figure V.40 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(90)
Figure V.41 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(91)
Figure V.42 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(92)
Figure V.43 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(92)
Tableau V.44 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu :	(93)
Figure V.45 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(94)
Figure V.46 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(95)
Figure V.47 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(95)

Figure V.48 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(96)
Figure V.49 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(97)
Figure V.50 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(97)
Figure V.51 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.	(98)
Figure V.52 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.....	(99)
Figure V.53 : le rendement en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.	(100)
Figure V.54 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.....	(101)
Figure V.55 : le rendement en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.	(102)
Figure V.56 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.....	(102)
Figure V.57 : le rendement en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.	(103)
Figure V.58 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.....	(104)
Figure V.59 : le rendement en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.	(105)
Figure V.60 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.	(106)
Figure V.61 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.	(106)
Figure V.62 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.....	(107)
Figure V.63 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.	(108)
Figure V.64 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.	(109)
Figure V.65 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.	(109)
Figure V.66 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.	(110)
Figure V.67 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.	(110)
Figure V.68 : la courbe granulométrique du sable.	(113)
Figure V.69 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+0.6g de la bentonite et $Q=50$ l/h) au niveau de la colonne de filtration.....	(116)
Figure V.70 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et $Q=100$ l/h) au niveau de la colonne de filtration.....	(116)
Figure V.71 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et $Q=150$ l/h) au niveau de la colonne de filtration.....	(117)
Figure V.72 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et $Q=200$ l/h) au niveau de la colonne de filtration.....	(118)

Figure V.73 : l'évolution de la turbidité en fonction du temps pour les débits 50l/h, 100l/h, 150l/h et 200l/h.	(119)
Figure V.74 : l'évolution de la turbidité en fonction du débit à plusieurs instants.....	(119)
Figure V.75 : le rendement de la filtration en fonction du temps.....	(120)
Figure V.76 : le rendement de la filtration en fonction du débit.	(120)
Figure V.77 : l'évolution de pH en fonction du temps pour les débits 50l/h, 100l/h, 150l/h et 200l/h.....	(121)
Figure V.78 : l'évolution de pH en fonction du débit à plusieurs instants.	(121)
Figure V.79 : l'évolution de la conductivité en fonction du temps pour les débits 50l/h, 100l/h, 150l/h et 200l/h.....	(122)
Figure V.80 : l'évolution de la conductivité en fonction du débit à plusieurs instants.	(122)
Figure V.81 : l'évolution de la température en fonction du temps pour les débits 50l/h, 100l/h, 150l/h et 200l/h.....	(123)
Figure V.82 : l'évolution de la température en fonction du débit à plusieurs instants.	(123)
Figure V.83 : l'évolution de la turbidité selon le temps pour les deux types de filtration.	(124)
Figure V.84 : l'évolution de la turbidité selon les deux types de filtration.	(124)
Figure V.85 : l'évolution de pH selon le temps pour les deux types de filtration.....	(125)
Figure V.86 : l'évolution de pH selon les deux types de filtration.....	(125)
Figure V.87 : l'évolution de la conductivité selon le temps pour les deux types de filtration.	(126)
Figure V.88 : l'évolution de la conductivité selon les deux types de filtration.....	(126)

Liste des abréviations

B.C.I : bentonite charge industrielle.

CAG : Charbon Actif en Grain.

C_B : concentration de la bentonite charge industrielle.

COA : Carbone Organique Assimilaire.

Cond : la conductivité (ms/cm).

COT : Carbone Organique Total.

Cs : concentration de sel (g/l).

Cu : coefficients d'uniformités.

d : la densité.

D₁₀ : La taille effective (mm).

MES : Matières En Suspension.

NDF : nombre des filtres.

NTU : Unité Néphélométrique de Turbidité.

OMS : Organisation Mondiale de la Santé.

P : la pression (bar).

pH : potentiel Hydrogène.

Ppm : Particule Par Million.

Q : débit (l/h).

S.cm⁻¹ : siemens par centimètre

T : température (°C).

t : le temps (min).

THM : les trihalométhanes.

TUR : La turbidité (NTU).

UCV : Unité de Couleur Vraie.

UV: Ultra Violet.

ΔH : la chute totale de pression à travers la couche filtrante (pertes de charges totales) en (m.c.e).

Sommaire

Introduction général	(1)
----------------------------	-----

Partie théorique

Chapitre I : Généralité sur l'eau

I. Introduction	(3)
II. Ressources hydriques naturelles	(3)
II.1. Eaux de pluie	(3)
II.2. Eaux de surface	(3)
II.3. Eaux souterraine	(4)
II.4. Eaux des mers et océans	(4)
III. Les principaux polluants des eaux naturelles	(5)
III.1. Polluants physiques	(5)
III.2. Les micropolluants	(5)
III.3. Nitrates et Nitrites : (NO_3^- et NO_2^-)	(6)
III.4. Polluants microbiologiques	(6)
IV. Les paramètres de la qualité des eaux	(7)
IV.1. les paramètres organoleptiques	(7)
IV.1.1. La couleur	(7)
IV.1.2. Goût et odeur	(7)
IV.1.3. La turbidité	(8)
IV.2. Les paramètres physico-chimiques	(8)
IV.2.1. Température	(8)
IV.2.2. Le pH	(8)
IV.2.3. La conductivité	(8)
IV.2.4. Les matières en suspension	(9)
IV.3. Les paramètres indésirables	(9)
IV.4. Les paramètres toxiques	(10)
IV.5. Les paramètres microbiologiques	(10)
V. Les normes de potabilité de l'eau	(10)
V.1. Les normes biologiques	(10)
V.2. Normes pour les paramètres physiques et chimiques	(11)
VI. Conclusion	(14)

Chapitre II: Les étapes et les procédés de traitement des eaux

II. Objectifs du traitement des eaux	(15)
III.1. Dégrillage	(16)
III.1.1. Grilles manuelles	(16)
III.1.2. Grilles mécaniques	(16)
III.2. Le tamisage	(17)
III.3. Dessablage	(18)
III.3.1. Principe	(18)
IV. Pré-oxydation.....	(18)
V. Traitement physico-chimique	(19)
V.1. La coagulation-floculation	(19)
V.1.1. La coagulation	(19)
V.1.2. La Floculation	(19)
V.1.3. Technologie de la coagulation – floculation	(20)
V.1.4. Coagulants – floculant	(20)
V.1.4.1. Choix du coagulant	(21)
V.2. Décantation	(21)
V.2.2. Les types de décanteur	(22)
V.3. La filtration	(23)
VI. Traitement de finition	(23)
VI.1. Désinfection	(23)
VI.2. Critères permettant de choisir le désinfectant.....	(23)
VI.3. Désinfectants	(24)
VI.3.1. Le Chlore	(24)
VI.3.2. Hypochlorite de sodium NaOCl	(24)
VI.3.3. Le dioxyde de chlore	(24)
VI.3.4. L’ozone	(25)
VI.3.5. Ultra-violet.....	(25)
VII. Amélioration de la qualité de l’eau	(25)
VII.1. Adsorption	(26)
VII.1.1. Affinage de l’eau –filtration sur charbon actif	(26)
VII.2. Défférisation-Démanganisation	(26)
VII.2.1. Défférisation	(26)
VII.2.1.2. Elimination biologique du Fer	(26)
VII.2.2. Démanganisation	(27)
VII.2.2.1. Elimination physico-chimique du manganèse.....	(27)
VIII.1. L’échange ionique	(27)
VIII.2. La distillation	(28)
VIII.3. L’osmose inverse	(28)
VIII.4. La congélation	(29)
IX. Conclusion	(29)

Chapitre III : Généralité sur la filtration

I. Introduction	(30)
II. définition de la filtration	(30)
III. Utilisation de la filtration	(30)
IV. Matériaux filtrants	(31)
IV.1. Nature du milieu filtrant	(31)
V. Type de système de filtration	(32)
V.1. Filtration physico-chimique	(32)
VI.1.1. Filtration conventionnelle.....	(32)
V.1.2. Filtration direct.....	(32)
V.1.3. Filtration en ligne.....	(33)
V.2. Filtration physique	(33)
V.3. Filtration biologique.....	(33)
V.4. Filtration par adsorption.....	(33)
VI. Choix du mode de filtration	(34)
VII. Mécanisme de filtration.....	(34)
VII. 2. Mécanisme de fixation	(35)
VII.3. Mécanisme de détachement	(35)
VIII. Les paramètres d'évaluation des performances de la filtration	(35)
IX. Caractéristiques des matériaux filtrants.....	(35)
IX.1. Diamètre effectif et coefficient d'uniformité	(35)
IX.2. Densité relative du sable.....	(35)
IX.3. Masse unitaire sèche	(36)
IX.4. Porosité	(36)
IX. 5. La perméabilité	(37)
X. Les modes de filtration	(37)
X.1. La filtration sur support	(37)
X.1.2. Les types de la filtration sur support	(38)
X.1.2.1. Filtration sur support à mailles	(38)
X.1.2.2. Filtration sur support épais	(40)
X.1.2.3. Filtration sur support à pré couche	(41)
X.2. filtration sur lit filtrant	(42)
X.2.1. Filtration lente	(42)
X.2.1.1. Période de maturation (ou d'ensemencement)	(43)
X.2.1.2. Nettoyage des filtres lents.....	(43)
X.2.1.3. Avantage de la filtration lente.....	(44)
X.2.1.4. Inconvénients de la filtration lente	(45)
X.2.2. La filtration rapide	(45)
X.2.2.3. Fonctionnement d'un filtre à sable rapide	(47)
X.2.2.4. Variation de la turbidité et des pertes de charge	(47)
X.2.2.5. Les particules qui sont enlevées dans l'eau durant la filtration	(47)
X.2.2.6. Avantages et inconvénient de la filtration rapide	(48)
X.2.2.7. Colmatage des matériaux filtrant.....	(48)

X.2.2.8. Lavage des filtres	(48)
X.2.3. Filtres sous pression.....	(49)
X.2.3.1. Les inconvénients des filtres sous pression	(49)
X.2.4. Filtration sur charbon actif	(50)
X.2.4.1. Charbon actif en grains (CAG)	(50)
X.2.4.2. Types des Filtres à charbon actif	(50)
X.2.4.3. Contaminants supprimés par un filtre à charbon actif	(51)
X.2.5. Filtration sur terre diatomée.....	(51)
XI. Conclusion	(52)

Partie expérimentale

Chapitre IV : Procédure expérimentale et les appareillages de mesure

I. introduction.....	(53)
II. Filtration sur support.....	(53)
II.1. Présentation du banc d'essai	(53)
II.2. Objectifs principaux de l'expérimentation	(54)
II.3. Description technique de l'appareil	(54)
II.3.1. Construction et instrumentation du pilote TE 500.....	(54)
II. 4. Mode opératoire	(56)
II.5. Procédure générale de lavage.....	(57)
III. Filtration sur sable	(58)
III.1. Présentation du banc d'essai	(58)
III.2. Objectifs principaux de l'expérimentation	(59)
III.3. Description technique de l'appareil.....	(59)
III.3.1. Construction et instrumentation du pilote TE 400.....	(59)
III.3.2. Listes des vannes	(59)
III.4. Mode opératoire	(60)
III.4.1. Filtration gravitaire	(60)
III.4.2. Procédure générale de lavage	(61)
IV. Mode opératoire des appareils d'analyse physico-chimique.....	(63)
IV.1. Mesure de la turbidité	(63)
IV.2. Mesure du pH	(64)
IV.3. Mesure de la conductivité.....	(65)
IV.4. La température.....	(65)

Chapitre V : Résultats et interprétations

I. Introduction	(66)
-----------------------	------

II. La filtration sur support :	(66)
II. 1. Etude expérimentale de la filtration sur support :	(66)
II. 1.1. Les filtres seuls	(66)
II. 1.2. Une couche de tissu + un nombre de filtre	(67)
II.1.3. Deux couches de tissu + un nombre de filtre	(67)
II.1.4. Quatre couches de tissu + un nombre de filtre	(68)
II. 2. La variation en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite	(68)
II.2.1. La turbidité	(69)
II.2.2. Le pH.....	(76)
II.2.3. La conductivité.....	(80)
II.3. La variation en fonction de type des filtres	(84)
II.3. 1.Turbidité	(84)
II.3.2. Le pH	(91)
II.3.3. La conductivité	(94)
II.4. L'influence du débit et de la pression sur la qualité physico-chimique des eaux	(98)
II.4.1. Turbidité.....	(98)
II.4.2. Le pH.....	(105)
II.4.3. La conductivité.....	(108)
III. La filtration sur sable	(111)
III.1. Etude granulométrique de sable.....	(111)
III.1.1. Analyse granulométrique par tamisage.....	(111)
III.1.1.1. principes de l'essai et matériels utilisés	(111)
III.1.1.2. Mode opératoire	(111)
III. 1.2. L'interprétation des résultats	(112)
III.1.2.1.Tracé de la courbe granulométrique	(112)
III. 2. La masse volumique apparente.....	(114)
III. 3. La masse volumique réelle	(114)
III. 4. La densité.....	(115)
III. 5. Pertes de charges selon le temps dans le filtre.....	(115)
III.5.1. L'influence de la variation du débit.....	(115)
III. 6. Analyse physico-chimique.....	(118)
III.6.1. Variation des différents paramètres physico-chimique selon le temps et le débit:..	(119)
VI. Comparaison des paramètres physico-chimique des deux types de filtration:.....	(124)
VI.1. Turbidité	(124)
VI.2. le pH	(125)
VI.3. Conductivité :	(126)

*Introduction
Générale*

Introduction générale

Indispensable à la vie, l'eau douce est une ressource dont la disponibilité a depuis toujours guidé le développement des formes de vie sur terre. Elle a également conditionné, et conditionne encore dans une large mesure, la présence et les activités humaines. Le développement économique s'accompagne aujourd'hui d'une augmentation de la consommation d'eau douce qui suscite l'apparition de problèmes liés à la disponibilité ou à la qualité de la ressource. L'eau ou plutôt le manque d'eau apparaît ainsi comme l'un des problèmes les plus cruciaux du XXI^e siècle. La problématique de l'eau est un problème de quantité et de qualité, c'est -à-dire de ressource et de pollution [1], [2].

Les besoins en eau potable augmentent régulièrement avec l'accroissement démographique et l'industrialisation dans de nombreux pays émergents. Souvent réputée être liée au tiers monde, la problématique de l'eau potable s'est généralisée au point que les pays développés comme les Etats-Unis et l'Australie commencent à ne plus négliger la préservation de cette ressource naturelle. Le principal problème de l'accès à l'eau potable est dû à une mauvaise répartition dans le monde mais aussi à une pollution continue des ressources en eau par l'industrie, l'agriculture et les rejets urbains [3].

Les eaux captées dans la nature ne présentent souvent pas les qualités physiques, chimiques et biologiques désirables, propres à la consommation. C'est le rôle du traitement que leur conférer les propriétés souhaitables. Ce traitement varie selon l'origine et la qualité de l'eau. Mais tous obéissent au même principe : on élimine les éléments indésirables contenus dans l'eau par étapes successives, jusqu'aux organismes microscopiques comme les virus et les microbes.

Le choix d'une filière de traitement dépend des caractéristiques des eaux brutes ainsi que des normes de qualité à atteindre. C'est pourquoi, produire de l'eau potable oblige à déployer des technologies de plus en plus sophistiquées, mais sans jamais perdre de vue le rapport coût/efficacité [4].

La qualité des eaux destinées à la production des eaux potables est très variable et son traitement ne peut se faire qu'avec une succession de traitements appropriés à sa nature et à son degré de pollution. L'un des principaux indices de pollution concerne la turbidité [5].

La turbidité d'une eau est le paramètre qui prend en compte toutes les matières, colloïdales et les substances insolubles qui peuvent être d'origine minérale ou organique. Elle prend en compte aussi toutes les particules en suspension qui existent naturellement dans l'eau, comme le limon, l'argile, les matières organiques et inorganiques en particules fines, le plancton et d'autres microorganismes [6].

Les eaux saumâtres sont généralement des eaux souterraines et/ou superficielles. Les eaux saumâtres d'origine souterraines sont de faible turbidité et ne nécessitent pas un traitement chimique comme la coagulation-floculation qui augmente le coût du traitement. Une filtration sans traitements physico-chimiques préalable peut souvent s'avérer suffisante pour éliminer la faible concentration des matières en suspensions ou/et colloïdales sans recours aux traitements précités [7].

De plus, la clarification ou l'élimination de la turbidité se fait souvent soit par des procédés uniquement physiques comme la décantation et la filtration, soit combinés avec des procédés chimiques (coagulation-floculation). Ces procédés sont souvent accompagnés d'une étape de filtration dans la chaîne de traitement.

Le but de ce projet consiste donc à faire une étude sur le prétraitement des eaux moyennement saumâtres par filtration sur sable et filtration sur support à l'aide des pilotes TE 400 et TE 500. Pour ce faire, ce présent travail est subdivisé principalement en deux parties :

1) Une partie théorique comportant trois grands chapitres :

- ❖ *Chapitre I* : Aperçu général sur l'eau et les normes de potabilité.
- ❖ *Chapitre II* : Les différents procédés de traitement des eaux brutes.
- ❖ *Chapitre III* : présente une étude bibliographique sur la filtration.

2) Une partie pratique subdivisée à son tour en deux parties :

- ❖ *Chapitre IV* : procédure expérimentale et les appareillages de mesure.
- ❖ *Chapitre V* : Résultats et interprétations.

Partie théorique

Chapitre I:
Généralité sur l'eau

CHAPITRE I**GENERALITES SUR L'EAU****I. Introduction :**

L'eau recouvre 70% de la superficie du globe, mais 97 % de cette eau est salée et non potable. L'eau douce, elle, représente 3% de l'eau totale de notre planète. Dans ce faible pourcentage, les rivières et les lacs représentent 0,3%, alors que tout le reste est stocké dans les calottes polaires glacières. La classification des eaux diffère d'une référence à une autre. Souvent, cette classification est effectuée suivant leurs origines et leurs utilisations [8], [9].

L'eau potable est une eau qui est apte à être consommée par l'être humain. Sa pollution peut être causée par des microorganismes, des substances toxiques, des contaminants biogénétiques (engrais), de la matière organique...etc. Ces éléments sont soit naturellement présents dans l'environnement, soit le résultat des activités humaines, d'une façon ou d'une autre, la qualité de l'eau potable est alors dégradée [2].

II. Ressources hydriques naturelles :**II.1. Eaux de pluie :**

Les eaux de pluie sont des eaux de bonne qualité pour l'alimentation humaine. Elles sont saturées d'oxygène et d'azote et ne contiennent aucun sel dissous, comme les sels de magnésium et de calcium ; elles sont donc très douces. Dans les régions industrialisées, les eaux de pluie peuvent être contaminées par des poussières atmosphériques [6].

II.2. Eaux de surface :

Ce type d'eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leur parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rencontrés et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur [10], [11].

Toutes les eaux de surface sont donc susceptibles d'être contaminées par des microorganismes pathogènes. Elles contiennent aussi :

- ❖ des MES (matières naturellement décantables et colloïdes stables) ;
- ❖ des êtres vivants microscopiques (virus, bactéries, micro algues, micro-invertébrés) ;
- ❖ des macromolécules colorées (acides humiques).

C'est la raison pour laquelle ces eaux sont rarement potables sans traitements [12], [13].

II.3. Eaux souterraines :

L'eau souterraine est l'eau qui existe dans les pores, les fissures des roches et dans les sédiments sous la terre. Elle est naturellement alimentée par la surface, grâce aux précipitations, aux cours d'eau et aux infiltrations d'eaux provenant des rivières [14].

La composition chimique d'une eau issue du milieu naturel est très variable. Elle dépend de la nature géologique du sol d'où elle provient et aussi des substances réactives qu'elle aurait pu rencontrer lors de l'écoulement. Ainsi, la composition quantitative et qualitative de l'eau souterraine en matières en suspension et en matières dissoutes, de nature minérale ou organique, détermine sa qualité [15].

L'eau souterraine, bien qu'elle soit cachée et invisible, est fragile et souvent vulnérable aux nombreuses sources de contamination découlant des activités humaines, les activités industrielles et agricoles [16].

Cette eau souterraine peut contenir des éléments dont les concentrations peuvent dépasser les normes de potabilité, notamment le fer, le manganèse, l' H_2S , le fluor, l'arsenic... Toutes les eaux présentant ces dépassements doivent être traitées avant distribution [12].

Les eaux souterraines constituent ainsi une ressource importante pour la collectivité et les écosystèmes, dont la qualité, dans une perspective de développement durable, se doit d'être protégée [17].

II.4. Eaux des mers et océans :

L'eau de mer est l'eau salée des mers et des océans de la Terre. Ceux-ci occupent un volume estimé à 1 340 millions de km^3 , ce qui représente 96,4 % de la capacité des grands réservoirs d'eau à la surface de la Terre. Ce volume n'inclut pas les eaux souterraines (aquifères), dont 85 % en volume sont salées à différents degrés [18].

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de l'ordre de 35 g/l, Le chlorure de sodium (NaCl) représente 78% de cette salinité soit : en moyenne 27 g/l d'eau de mer.

Le chlorure de sodium (NaCl) n'est qu'un des nombreux sels composant L'eau de mer.

Les autres constituants en quantité notable sont les suivants [19], [20] :

- ✓ Chlorure de magnésium $MgCl_2$ (env. 3,8g/l) ;
- ✓ Sulfate de magnésium $MgSO_4$ (env. 1,7 g/l) ;
- ✓ Sulfate de calcium $CaSO_4$ (env. 1,3g/l) ;
- ✓ Sulfate de potassium K_2SO_4 (env. 0,9g/l).

II.5. Les eaux saumâtres :

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres ont une salinité comprise entre 1et 10 g/l. Ce sont parfois des eaux de surface, mais le plus souvent des eaux souterraines. Elles sont soit chargées en sels issus de certains sels présents dans les sols traversés soit deviennent saumâtres suite aux infiltrations des eaux de mer vers les nappes dans les zones côtières. Leur composition dépend ainsi de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO_3 , le CaSO_4 , le MgCO_3 et le NaCl [21].

III. Les principaux polluants des eaux naturelles :**III.1. Polluants physiques :**

La pollution physique représente les éléments solides entraînés par l'eau. Ils se subdivisent en plusieurs catégories selon leur nature et leur dimension.

- **Les éléments grossiers :**

Leur dimension est suffisamment grande pour être retenue par de simples grilles. Dans les eaux de surface, ces éléments sont en général : les brindilles, les feuilles, les arbres...etc.

- **Les sables :**

Les sables sont des particules minérales d'une certaine dimension. Ils sont généralement à base de silice ou de composition minérale équivalente. Leur masse spécifique est de 2,5 à 2.6 g/cm^3 , ce qui permet leur élimination par simple décantation [22].

- **Les matières en suspension (MES) :**

Ce sont des matières insolubles, fines, minérales ou organiques, biodégradables ou non. Leur principal effet est de troubler l'eau. Les MES rencontrées dans les eaux (essentiellement superficielles) sont très diverses tant par leur nature que par leur dimension. Elles sont constituées de quartz, d'argiles, de sels minéraux insolubles, de particules organiques composées de micro-organismes [23].

III.2. Les micropolluants :

Le terme micropolluants désigne un composé minéral ou organique dont les effets sont toxiques à très faible concentration (les teneurs sont évaluées en $\mu\text{g/litre}$).

Ces micropolluants contaminent les cours d'eau par apport direct, par ruissellement et/ou par érosion. On distingue aussi des apports ponctuels avec des sources clairement identifiées (rejets industriels, pollution accidentelle, rejets des eaux usées domestiques) et des sources diffuses, liées aux activités agricoles ou aux pluies (les pesticides, épandus sur de très larges surfaces, sont transportés dans l'atmosphère et retombent avec les pluies).

Parmi les micropolluants, on peut citer les métaux lourds, les pesticides, les hydrocarbures, les solvants chlorés [23].

III.3. Nitrates et Nitrites (NO₃⁻ et NO₂⁻) :

Les principales sources de pollution sont l'utilisation des engrais, la fabrication d'explosifs, l'industrie chimique et alimentaire. Les nitrates se transforment en nitrite dans l'estomac. Ces nitrites peuvent provoquer la transformation de l'hémoglobine du sang en méthémoglobine, impropre à fixer l'oxygène. Ce phénomène est à l'origine de cyanoses, notamment chez les nourrissons qui peuvent provoquer des maladies cancérogènes et des troubles graves, allant jusqu'à la mort [24], [25].

III.4. Polluants microbiologiques :

Il s'agit surtout des germes pathogènes apportés par la pollution fécale (coliformes et streptocoques), mais aussi des organismes dont l'eau est l'habitat naturel (micro algues planctoniques ou phytoplancton, ou zooplancton, bactéries de l'environnement). Ces microorganismes sont à l'origine des maladies hydriques, telle que la typhoïde due à des salmonelles et au choléra [26], [27].

Tableau I.1: Les principales maladies d'origine hydrique et leurs agents pathogènes [28].

Maladies	Agents
Origine bactérienne Fièvres typhoïdes et paratyphoïdes Dysenteries bacillaires Choléra Gastro-entérites aiguës et diarrhées	<i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella paratyphi A et B</i> <i>Shigella</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>Escherichia coli</i> entérotoxigène <i>Campilobacter jejuni / coli</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Salmonella sp.</i> <i>Shigella SP.</i> <i>Legionella pneumophila</i>
Origine virale Hépatite A et E Poliomyélite Gastro-entérites aiguës et diarrhées	Virus hépatites A et E Virus poliomyélique Virus de Norwalk Rotavirus Astrovirus Calicivirus Coronavirus Entérovirus Adénovirus Réovirus
Origine parasitaire Dysenteries amibiennes Gastro-entérites	<i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> <i>Cryptosporidium</i>

III.6. Pollution radioactive :

La contamination radioactive est la contamination générée par la radioactivité. Elle peut avoir plusieurs origines :

- Naturelle (ex : Radon)

- Industrielle :
 - ✓ Production d'électricité nucléaire, et le stockage des déchets radioactifs ;
 - ✓ Domaine médical qui crée aussi un certain nombre de déchets radioactifs ;
 - ✓ Industries créatrices de déchets radioactifs.

La pollution radioactive est nocive pour l'homme : en effet, les radioéléments ont une durée de vie plus ou moins longue et se désintègrent en émettant des rayonnements dangereux même si la quantité totale émise est assez faible. Quand des radioéléments sont fixés dans le corps humain, ils peuvent être dangereux, car ils atteignent les cellules environnantes de manière très concentrée, pouvant créer des tumeurs [29], [30].

IV. Les paramètres de la qualité des eaux potable :

Que la ressource soit superficielle (rivière, lac naturel ou artificiel) ou souterraine, l'eau brute fournie à l'utilisateur doit répondre à des critères de qualité très stricts. Fixés par le ministère de la santé, l'ensemble des caractéristiques défavorables sont les suivantes [26], [31] :

IV.1. les paramètres organoleptiques :

Il s'agit de la saveur, la couleur, l'odeur et la transparence de l'eau. Suivant leur dégradation, ces paramètres peuvent indiquer une pollution ou un mauvais fonctionnement des installations de traitement ou de distribution [2].

IV.1.1. La couleur :

La coloration d'une eau est dite vraie, ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution, elle est dite apparente quand les substances en suspension sont ajoutées à leur propre coloration. Pour l'eau potable, le degré de couleur maximale acceptable est de 15 UCV [32].

IV.1.2. Goût et odeur :

Ces deux paramètres sont regroupés et font appel aux mêmes types de traitement (adsorption, oxydation, filtration...). La saveur et l'odeur anormales sont causées par la présence dans l'eau des matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières organiques végétales, de rejets urbains ou industriels et des microorganismes vivant dans l'eau comme certaines algues ou champignons microscopiques, et aussi certains sels minéraux qui donnent des goûts particuliers à l'eau.

Les eaux de consommation doivent ainsi posséder un goût et une odeur non désagréable.

L'apparition ou le changement de goût et d'odeur peuvent être signe de pollution ou d'activité microbienne [2], [32].

IV.1.3. La turbidité :

La turbidité d'une eau est l'inverse de sa transparence, elle est déterminée par la présence de particules minérales et organiques en suspension. Une eau de consommation ne doit pas présenter une turbidité supérieure à 5 NTU [28].

IV.2. Les paramètres physico-chimiques :

IV.2.1. Température :

Il est primordial de connaître la température d'une eau, celle-ci est un paramètre important dans l'étude et la surveillance des eaux qu'elles soient souterraines ou superficielles. En effet, la température joue un rôle très important dans la solubilité des sels et des gaz. Elle influe considérablement sur la vitesse des réactions chimiques et biochimiques [9], [33].

La température optimale de l'eau de consommation varie entre 9 à 12 °C, elle ne doit pas dépasser les 15 °C [2].

IV.2.2. Le pH :

Le pH, ou potentiel d'hydrogène, mesure la concentration des ions H⁺ dans l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14 (7 est le pH de neutralité) [34].

La valeur du pH altère la croissance et la reproduction des micro-organismes existants dans une eau, la plupart des bactéries peuvent croître dans une gamme de pH comprise entre 5 et 9. La concentration en ions hydrogène des eaux potables doit être comprise entre 6,5 et 8,5 [9], [34].

Tableau I.2 : Classification des eaux d'après leur pH [35].

pH < 5	Acidité forte => présence d'acides minéraux ou organiques dans les eaux naturelles
pH = 7	pH neutre
7 < pH < 8	Neutralité approchée => majorité des eaux de surface
5,5 < pH < 8	Majorité des eaux souterraines
pH = 8	Alcalinité forte, évaporation intense

IV.2.3. La conductivité :

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. En effet, la plupart des matières dissoutes dans l'eau sont sous la forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de particules dissoutes dans l'eau. La conductivité est fonction de la température de l'eau : plus celle-ci est haute, plus la conductivité augmente. La conductivité d'une eau naturelle est comprise entre 50 et 1500 µS/cm [34], [35].

IV.2.4. Les matières en suspension :

On appelle matières en suspension les très fines particules en suspension qui peuvent être d'origine minérale (sables, argiles,...), d'origine organique (décompositions des matières végétales ou animales), des micro-organismes (bactéries, virus, plancton,...) [36]. Les matières en suspension sont en majeure partie de nature biodégradable. Elles donnent également à l'eau une apparence trouble. Elles représentent la masse de dépôt (exprimée en mg/l) obtenu sur un filtre de 0.45 µm après séchage à 105°C [23], [37].

IV.2.5. La dureté :

La dureté ou titre hydrotimétrique correspond essentiellement à la présence des ions calcium (Ca²⁺) et de magnésium (Mg²⁺). Elle est directement liée à la nature des terrains traversés. Ces ions proviennent des roches calcaires ou dolomitiques [38], [39]. La dureté s'exprime généralement en degré Français ou en milliéquivalents/l (1°F=5meq/l) [40].

Tableau I.3 : TH en fonction du type d'eau [41].

EAU	TRES DOUCE	DOUCE	MOYENNEMENT DURE	DURE	TRES DURE
TH	0 à 7	7 à 15	15 à 25	25 à 42	+ de 42

IV.3. Les paramètres indésirables :

Sont dites indésirables certaines substances qui peuvent créer soit un désagrément pour le consommateur : goût et odeur (matières organiques, phénols, fer...), couleur (fer, manganèse...), soit causer des effets gênants pour la santé (nitrates, fluor...). On surveille donc prioritairement la contamination des eaux par des matières organiques (mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium), la concentration en ammonium, la présence de nitrites et de nitrates et la concentration en fer [2], [42].

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après [43], [44], [45]:

- Nitrates 50mg/l (NO₃)
- Ammonium 0.1mg/l (NH₄)
- Hydrocarbures dissous ou émulsionnés 0.1µg/l
- Fer 200µg/l (Fe)
- Manganèse 50µg/l (Mn)
- Cuivre 2mg/l (Cu)
- Fluor 1.5mg/l (F)

IV.4. Les paramètres toxiques :

Une pollution industrielle d'un captage ou une dégradation des réseaux de distribution peut entraîner la présence d'éléments toxiques dans l'eau, dangereux pour la santé en cas de consommation régulière. Les matières toxiques sont constituées de micropolluants minéraux (métaux lourds : Chrome, Nickel..) ainsi que de substances telles que les cyanures [2].

Pour les substances suivantes, les valeurs des concentrations doivent être inférieures ou égales aux valeurs indiquées ci-après [43], [45] :

➤ Arsenic	10µg/l	(As)
➤ Cadmium	5µg/l	(Cd)
➤ Cyanures	50µg	(CN)
➤ Chrome	50µg	(Cr)
➤ Mercure	1µg	(Hg)
➤ Nickel	20µg	(Ni)
➤ Plomb	10µg	(Pb)
➤ Antimoine	5µg	(Sb)
➤ Selenium	10µg	(Se)

IV.5. Les paramètres microbiologiques :

Ce sont les paramètres les plus importants de la qualité de l'eau potable. Ils se mesurent par la présence d'organismes indicateurs de pollution appartenant au groupe des coliformes qui vivent normalement dans les intestins humains et des animaux. Les bactéries indicatrices de contamination fécale sont les coliformes connus sous le nom d'Escherichia-coli (E-coli) et des Streptocoques fécaux [46], [47].

V. Les normes de potabilités de l'eau :

Les normes, directives et objectifs ont été établis pour bien protéger la population en garantissant la distribution d'une eau qui peut être bue sans danger pour la santé.

Les normes, directives et objectifs sont considérés comme le degré minimum de qualité que doit avoir l'eau potable [48].

A partir des recommandations émises par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), des réglementations nationales et internationales ont été mises en place afin d'éviter la présence de micro-organismes et de substances chimiques indésirables dans l'eau potable [49].

V.1. Les normes biologiques :

L'eau potable ne doit contenir aucun microorganisme pathogène et doit être exempte de toute bactérie indiquant une pollution par des excréments. Une eau de bonne qualité est donc une eau satisfaisant certains critères de teneur bactérienne (Tableau 4) mesurée en termes de bactéries coliformes [50].

Tableau I.4 : Critères de l'Union Européenne de l'eau de boisson [43].

Paramètres	Limites de qualité
Escherichia coli (E. coli)	0 par 100ml
Entérocoques	0 par 100ml
Les eaux vendues en bouteille ou en conteneurs doivent respecter des valeurs inférieures ou égales aux limites suivantes :	
Escherichia coli (E. coli)	0 par 250ml
Entérocoques	0 par 250ml
Pseudomonas aeruginosa*	0 par 250ml
Numération de germes aérobies revivifiables à 22°C**	100 par ml
Numération de germes aérobies revivifiables à 37°C**	20 par ml
Bactéries sulfito-réductrices, y compris les spores	0 par 50 ml
* les analyses doivent être commencées au moins 3 jours après le conditionnement	
** les analyses doivent être commencées dans les 12 heures suivant le conditionnement	

V.2. Normes pour les paramètres physiques et chimiques :

Tableau I.5 : Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable [51], [52].

Elément/substance	Symbole/formule	Concentration normalement trouvée dans l'eau de surface	Lignes directrices fixées par l'OMS
Aluminium	Al		0,2 mg/l
Ammonium	NH ₄ ⁺	< 0,2 mg/l (peut aller jusqu'à 0,3mg/l dans une eau anaérobique)	Pas de contraintes
Antimoine	Sb	< 4 µg/l	0.02 mg/l
Arsenic	As		0,01 mg/l
Amiante			Pas de valeur guide
Baryum	Ba		0,7 mg/l
Béryllium	Be	< 1 µg/l	Pas de valeur guide
Bore	B	< 1 mg/l	0.5mg/l
Cadmium	Cd	< 1 µg/l	0,003 mg/l
Chlore	Cl		Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
Chrome	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg/l	chrome total : 0,05 mg/l
Couleur			Pas de valeur guide
Cuivre	Cu ²⁺		2 mg/l
Cyanure	CN ⁻		0,07 mg/l
oxygène dissous	O ₂		Pas de valeur guide
Fluorure	F ⁻	< 1,5 mg/l (up to 10)	1,5 mg/l
Dureté	mg/l CaCO ₃		200 ppm
Sulfure d'hydrogène	H ₂ S		0.05 à 1 mg/L
Fer	Fe	0,5 - 50 mg/l	Pas de valeur guide
Plomb	Pb		0,01 mg/l
Manganèse	Mn		0,4 mg/l
Mercure	Hg	< 0,5 µg/l	inorganique : 0,006 mg/l
Molybdène	Mb	< 0,01 mg/l	0,07 mg/l
Nickel	Ni	< 0,02 mg/l	0,07 mg/l
Nitrate et nitrite	NO ₃ , NO ₂		50 et 3 mg/l (exposition à court terme) 0.2 mg/l (exposition à long terme)
Turbidité			Non mentionnée
pH			Pas de valeur guide mais un optimum

			entre 6.5 et 9.5
Sélénium	Se	< < 0,01 mg/l	0,01 mg/l
Argent	Ag	5 – 50 µg/l	Pas de valeur guide
Sodium	Na	< 20 mg/l	Pas de valeur guide
Sulfate	SO ₄		500 mg/l
Etain inorganique	Sn		Pas de valeur guide : peu toxique
TDS			Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
Uranium	U		0.015 mg/l
Zinc	Zn		3 mg/l

Composés organiques

Groupe	Substance	Formule	Lignes directrices fixées par l'OMS	
Alcanes chlorés	Tétrachlorométhane	C Cl ₄	4 µg/l	
	Dichlorométhane	C H ₂ Cl ₂	20 µg/l	
	1,1-Dichloroéthane	C ₂ H ₄ Cl ₂	Pas de valeur guide	
	1,2-Dichloroéthane	Cl CH ₂ CH ₂ Cl	30 µg/l	
	1, 1,1-Trichloroéthane	CH ₃ C Cl ₃	Pas de valeur guide	
Alcènes chlorés	1,1-Dichloroéthène	C ₂ H ₂ Cl ₂	Pas de valeur guide	
	1,2-Dichloroéthène	C ₂ H ₂ Cl ₂	50 µg/l	
	Trichloroéthène	C ₂ H Cl ₃	20 µg/l	
	Tétrachloroéthène	C ₂ Cl ₄	40 µg/l	
Hydrocarbures aromatiques	Benzène	C ₆ H ₆	10 µg/l	
	Toluène	C ₇ H ₈	700 µg/l	
	Xylènes	C ₈ H ₁₀	500 µg/l	
	Ethylbenzène	C ₈ H ₁₀	300 µg/l	
	Styrène	C ₈ H ₈	20 µg/l	
	Hydrocarbures aromatiques polynucléaires		C ₂ H ₃ N ₁ O ₅ P _{1 3}	Non mentionné
	Benzènes chlorés	Mono chlorobenzène (MCB)		C ₆ H ₅ Cl
Di chlorobenzènes (DCBs)		1,2-Dichlorobenzène (1,2-DCB)	C ₆ H ₄ Cl ₂	1000 µg/l
		1,3-Dichlorobenzène (1,3-DCB)	C ₆ H ₄ Cl ₂	Pas de valeur guide
		1,4-Dichlorobenzène (1,4-DCB)	C ₆ H ₄ Cl ₂	300 µg/l
Trichlorobenzènes		C ₆ H ₃ Cl ₃	Pas de valeur guide	
Constituants organiques micellaires	Adipate de dioctyle		C ₂₂ H ₄₂ O ₄	Pas de valeur guide
	phthalate de Di (2-ethylhexyle)		C ₂₄ H ₃₈ O ₄	8 µg/l
	Acrylamide		C ₃ H ₅ N O	0.5 µg/l
	Epichlorhydrine		C ₃ H ₅ Cl O	0.4 µg/l
	Hexachlorobutadiène		C ₄ Cl ₆	0.6 µg/l
	Acide éthylènediaminotétracétique (EDTA)		C ₁₀ H ₁₂ N ₂ O ₈	600 µg/l
	Nitriloacétate (NTA)		N(CH ₂ COOH) ₃	200 µg/l
	Organoétains	Dialkylétains	R ₂ Sn X ₂	Pas de valeur guide
Oxyde de tributylétains (TBTO)		C ₂₄ H ₅₄ O Sn ₂	Pas de valeur guide	

Pesticides

Substance	Formule	Lignes directrices fixées par l'OMS	
Alachlore	$C_{14}H_{20}ClN O_2$	20 µg/l	
Aldicarbe	$C_7H_{14}N_2O_4S$	10 µg/l	
Aldrine and dièldrine	$C_{12}H_8Cl_6$	0.03 µg/l	
Atrazine	$C_{12}H_8Cl_6O$	2 µg/l	
Bentazone	$C_{10}H_{12}N_2O_3S$	Pas de valeur guide	
Carbofuran	$C_{12}H_{15}NO_3$	7 µg/l	
Chlordane	$C_{10}H_6Cl_8$	0.2 µg/l	
Chlorotoluron	$C_{10}H_{13}ClN_2O$	30 µg/l	
DDT	$C_{14}H_9Cl_5$	1 µg/l	
1,2-Dibromo-3-chloropropane	$C_3H_5Br_2Cl$	1 µg/l	
acide 2,4-Dichlorophenoxyacétique (2,4-D)	$C_8H_6Cl_2O_3$	30 µg/l	
1,2-Dichloropropane	$C_3H_6Cl_2$	40 µg/l	
1,3-Dichloropropane	$C_3H_6Cl_2$	Pas de valeur guide	
1,3-Dichloropropène	$CH_3CHClCH_2Cl$	20 µg/l	
di bromure d'éthylène (EDB)	$BrCH_2CH_2Br$	Non mentionné	
Heptachlore and époxyde d'heptachlore	$C_{10}H_5Cl_7$		
Hexa chlorobenzène (HCB)	$C_{10}H_5Cl_7O$		
Isoproturon	$C_{12}H_{18}N_2O$	9 µg/l	
Lindane	$C_6H_6Cl_6$	2 µg/l	
MCPA	$C_9H_9ClO_3$	2 µg/l	
Methoxychlore	$(C_6H_4OCH_3)_2CHCCl_3$	20 µg/l	
Metolachlor	$C_{15}H_{22}ClNO_2$	10 µg/l	
Molinate	$C_9H_{17}NOS$	6 µg/l	
Pendimethalin	$C_{13}H_{19}O_4N_3$	20 µg/l	
Pentachlorophenol (PCP)	C_6HCl_5O	9 µg/l	
Perméthrine	$C_{21}H_{20}Cl_2O_3$	300 µg/l	
Propanil	$C_9H_9Cl_2NO$	Pas de valeur guide	
Pyridate	$C_{19}H_{23}ClN_2O_2S$	Pas de valeur guide	
Simazine	$C_7H_{12}ClN_5$	2 µg/l	
Trifluraline	$C_{13}H_{16}F_3N_3O_4$	20 µg/l	
Chlorophenoxy herbicides (excluding 2,4-D and MCPA)	2,4-DB	$C_{10}H_{10}Cl_2O_3$	90 µg/l
	Dichlorprop	$C_9H_8Cl_2O_3$	100 µg/l
	Fenoprop	$C_9H_7Cl_3O_3$	9 µg/l
	MCPB	$C_{11}H_{13}ClO_3$	Pas de valeur guide
	Mecoprop	$C_{10}H_{11}ClO_3$	10 µg/l
	2, 4,5-T	$C_8H_5Cl_3O_3$	9 µg/l

Désinfectants et désinfectant par produits

Groupe	Substance	Formule	Lignes directrices fixées par l'OMS	
Désinfectants	Chloramines	$NH_nCl^{(3-n)}$, where n = 0, 1 or 2	Non mentionné	
	Di chlore	Cl_2	5 mg/l	
	Dioxyde de chlore	ClO_2	Pas de valeur guide	
	Diode	I_2	Pas de valeur guide	
Désinfectant par produits	Bromate	$Br O_3^-$	10 µg/l	
	Chlorate	$Cl O_3^-$	70 µg/l	
	Chlorite	$Cl O_2^-$	70 µg/l	
	Chlorophenols	2-Chlorophenol (2-CP)	$C_6 H_5 Cl O$	Pas de valeur guide
		2,4-Dichlorophenol (2,4-DCP)	$C_6 H_4 Cl_2 O$	Pas de valeur guide
		2,4, 6-Trichlorophenol (2,4,6-TCP)	$C_6 H_3 Cl_3 O$	200 mg/l
	Formaldéhyde	HCHO	Pas de valeur guide	
	MX (3-Chloro-4-dichlorométhyl-5-hydroxy-2(5H)-furanone)	$C_5 H_3 Cl_3 O_3$	Pas de valeur guide	
	Trihalométhanes	Bromoforme	$C H Br_3$	100 µg/l
		Dibromochlorométhane	$CH Br_2 Cl$	100 µg/l
		Bromodichlorométhane	$CH Br Cl_2$	60 µg/l
		Chloroforme	$CH Cl_3$	300 µg/l
	Acides acétiques chlorés	Acide Monochloroacétique	$C_2 H_3 Cl O_2$	Pas de valeur guide
		Acide Dichloroacétique	$C_2 H_2 Cl_2 O_2$	50 µg/l
		Acide Trichloroacétique	$C_2 H Cl_3 O_2$	20 µg/l
	Hydrate de chloral (trichloroacétaldéhyde)	$C Cl_3 CH(OH)_2$	Pas de valeur guide	
	Chloroacétones	$C_3 H_5 O Cl$	Pas de valeur guide	
	Halogénés acétonitriles	Dichloroacétonitrile	$C_2 H Cl_2 N$	20 µg/l
		Dibromoacétonitrile	$C_2 H Br_2 N$	70 µg/l
		Bromochloroacétonitrile	$CH Cl_2 CN$	Pas de contraintes
Trichloroacétonitrile		$C_2 Cl_3 N$	Pas de valeur guide	
Chlorure de cyanogène	$Cl CN$	70 µg/l		
trichloronitrométhane	$C Cl_3 NO_2$	Pas de valeur guide		

VI. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons décrit les différentes ressources en eaux destinées à la production des eaux de consommation : les eaux souterraines, les eaux de surface, les eaux de mer et les eaux saumâtres. Les principaux polluants et les paramètres de qualité de ces eaux.

Chapitre II:
Les étapes et les
procédés de
traitement des eaux

CHAPITRE II**LES ETAPES ET LES PROCÉDES DE TRAITEMENT DES EAUX****I. Introduction :**

Les eaux captées dans la nature ne présentent souvent pas les qualités physiques, chimiques et biologiques désirables, propres à la consommation. C'est le rôle du traitement que leur conférer les propriétés souhaitables [4].

Le traitement de l'eau décrit un processus utilisé pour rendre l'eau plus acceptable pour une utilisation finale spécifique. La filière de traitement d'une station de potabilisation de l'eau dépend d'une part de l'eau brute elle-même (provenance, substances contenues, qualité intrinsèque) et, d'autre part, du cadre législatif et réglementaire régissant l'eau de boisson. De leur côté, les procédés doivent répondre chacun à des conditions particulières qui assureront leur bon fonctionnement. Tous ces éléments doivent être pris en compte dans le choix des procédés d'une chaîne de traitement [53].

II. Objectifs du traitement des eaux :

Parmi les différents objectifs, on peut citer :

- La santé publique, qui implique que l'eau distribuée ne doit apporter aux consommateurs ni substances toxiques (organiques ou minérales), ni organismes pathogènes. Elle doit donc répondre aux normes de qualité physico-chimiques et bactériologiques.
- L'agrément du consommateur différent du premier point, car une eau peut être agréable à boire tout en étant dangereuse (source polluée...). Il s'agit des qualités organoleptiques, c'est-à-dire ce qui est perçu par les sens olfactifs de l'homme, à savoir la couleur, l'odeur et le goût.
- La protection du réseau de distribution et aussi des installations des usages (robinetterie, chauffe-eau,...) contre l'entartage et/ou la corrosion [54], [55].

III. Les prétraitements physiques :

Lorsqu'elle est fortement polluée ou qu'elle varie beaucoup en qualité, l'eau brute demande souvent un prétraitement [53].

Les prétraitements sont indispensables au bon fonctionnement de la station et constituent une série d'opérations susceptibles d'alléger les eaux brutes des matières les plus grossières

d'une part ou celles pouvant gêner le processus du traitement ultérieur, d'autre part. Suivant la qualité de l'eau à traiter, plusieurs opérations peuvent être nécessaires, parmi lesquelles [56] :

III.1. Dégrillage :

Les déchets véhiculés par l'eau sont éliminés dès leur arrivée dans la station grâce au dégrillage mécanique. Les eaux passent par des grilles de plus en plus fines où les matières volumineuses et les gros déchets (branches d'arbres, bouteilles,) sont retenus. Pour ce faire, on met en place un système de grilles, dont l'espacement est d'environ 50 mm [57].

Il existe deux types de dégrillage :

- le dégrillage grossier constitué des grilles espacées de quelques millimètres pour retirer les déchets dont le volume est supérieur à 2 ou 3 cm.
- le dégrillage fin, constitué de grilles encore moins espacées, qui élimine les déchets d'un volume supérieur à 1cm [58].

Les dégrilleurs sont équipés d'un dispositif de relevage et d'éjection automatique des déchets.

Le dégrillage permet :

- ✓ de protéger la station contre l'arrivée intempestive de gros objets flottants susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation.
- ✓ de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements [59].

Tableau II.1 : Différents types de dégrillage en fonction de l'espacement des barreaux [55].

Type de dégrillage	Espacement des barreaux
Dégrillage fin	<10mm.
Dégrillage moyen	entre 10-30mm
Pré-dégrillage	entre 30-100mm

Suivant le mode d'élimination des déchets, on trouve différents types de grille :

III.1.1. Grilles manuelles :

Composées de barreaux le plus souvent inclinés à 60-80° sur l'horizontale, elles sont cependant réservées aux très petites stations. Le nettoyage est effectué à l'aide de râteau.

L'inconvénient de ces grilles est la nécessité de les nettoyer quotidiennement [56].

III.1.2. Grilles mécaniques :

Cette mécanisation est indispensable afin d'éviter un colmatage rapide des canalisations [56].

La vitesse de traversée de la grille ne doit pas être < à 0.6 m/s afin obtenir l'application des matières sur la grille. La vitesse doit osciller entre 0.8 et 0.9m/s et rester < à 1.2 m/s en débit de pointe et ce pour éviter les colmatages en profondeur et les pertes de charge [60].

III.3. Dessablage :

L'élimination des sables est une opération indispensable pour [63] :

- ✓ éviter les dépôts dans les canalisations induisant leur bouchage ;
- ✓ protéger les pompes et autres organes mécaniques contre l'abrasion ;
- ✓ éviter de perturber les autres stades du traitement ;
- ✓ éviter la détérioration des ouvrages situés en aval.

III.3.1. Principe :

La technique classique de dessablage consiste à faire circuler l'eau dans une chambre de tranquillisation où il est possible d'obtenir une vitesse constante de 0.3 m/s quel que soit le débit ce qui permet le dépôt de la majeure partie des sables (Figure II.3) [64].

Le domaine usuel du dessablage porte sur les particules de granulométrie égale ou supérieure à 200 μm voir 300 μm et de masse spécifique de l'ordre de 2.65g/cm³ [65].

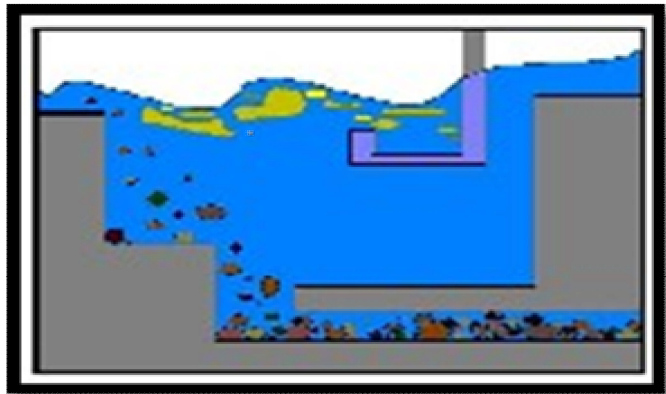


Figure II.3 : Dessableur [66].

IV. Pré-oxydation :

La pré-oxydation est un procédé chimique qui permet :

- ✓ L'augmentation de l'efficacité de la coagulation/floculation ;
- ✓ La réduction des matières organiques et de l'azote ammoniacal ;
- ✓ L'oxydation de certains métaux et par conséquent une précipitation améliorée ;
- ✓ L'amélioration du traitement de certains composés (pesticides, solvants chlorés) ;
- ✓ La réduction des goûts et des odeurs ;
- ✓ La ré-oxygénation de l'eau ;
- ✓ Le maintien de la propreté des installations, en luttant contre la prolifération des algues qui nuisent au bon fonctionnement de certains ouvrages : décanteurs et filtres notamment [67], [68].

On utilise souvent comme oxydant soit :

- Les agents chlorés : chlore gazeux (Cl_2), hypochlorite de sodium (NaClO), dioxyde de chlore (ClO_2) ;
- Le permanganate de potassium et L'ozone.

Le choix de l'oxydant dépend de la qualité des eaux brutes utilisées et les objectifs que l'on veut atteindre [69].

V. Traitement physico-chimique :

La clarification est l'ensemble des opérations permettant d'éliminer les MES d'une eau brute ainsi que la majeure partie des matières organiques[70].

Pour ce faire ; on a souvent recours aux procédés physico-chimiques pour modifier l'état initial des corps présents dans l'eau et créer des conditions favorables à leur décantation ; d'où la technique de la coagulation-floculation [50].

V.1.La coagulation-floculation :

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites de diamètre compris entre 0.1 et 10 μm , 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. Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation. Il est important que les procédés de coagulation et de floculation soient utilisés correctement [6].

V.1.1.La coagulation :

La coagulation est toujours la première étape du traitement physico-chimique. Elle précède ainsi la floculation, décantation et filtration [55].

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. Le temps de coagulation est compris entre 15 secondes et 3 minutes [6].

V.1.2. La Floculation :

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. Le temps de floculation est compris entre 6 et 30 minutes [6].

Pour améliorer encore la qualité des floccs, on ajoute des flocculants. Ces flocculants sont des composés agissant par pontage, généralement des polymères présentant des groupes réactionnels de charge inverse de celle de la suspension à traiter [26].

V.1.3. Technologie de la coagulation – floculation :

V.1.3.1. Stratégie :

Il faut associer dans un temps assez court, deux phases distinctes et incompatibles. En effet, les conditions de mise en œuvre de la coagulation sont différentes de celle de la floculation. On distingue les phases suivantes (Figure II.4) :

- ✓ **Première phase :** un mélange rapide et vigoureux est nécessaire pour disperser les additifs dans la totalité du volume d'eau à traiter et augmenter la probabilité de contact coagulant-colloïde. L'injection se fait dans une zone de turbulence créée par des chicanes ou par un mélange mécanique avec des pales ou des hélices. Durée 3 à 6 minutes.
- ✓ **Deuxième phase :** un mélange lent favorise les contacts entre les particules de floc sans les léser. Le mélange doit cependant être assez énergique pour engendrer des gradients de vitesse dans le bassin. Durée : 9 à 30 minutes.

C'est durant cette étape que l'on peut ajouter du polymère pour optimiser la coalescence des floccs, voir ajouter des micros sables pour les lester et les rendre plus décantables [71], [72].

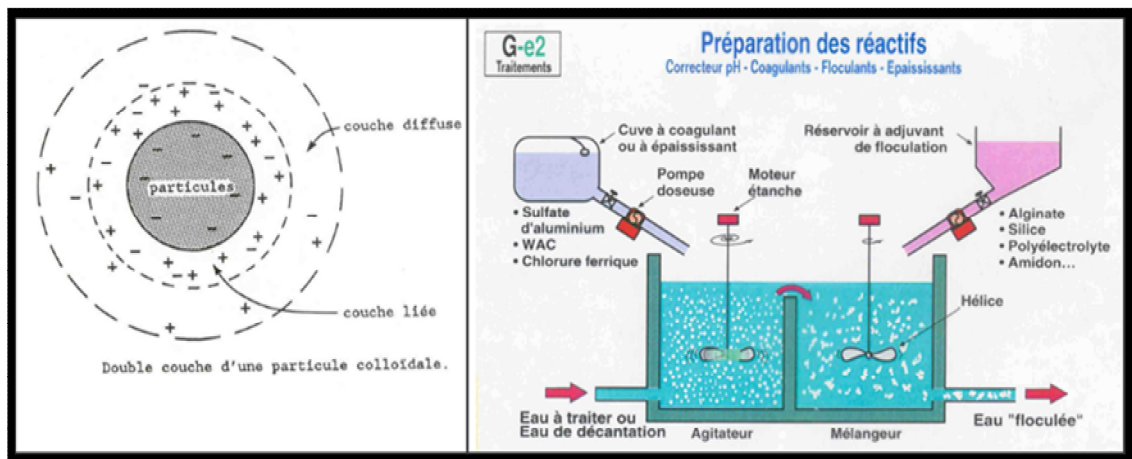


Figure II.4 : Coagulation-floculation [28].

V.1.4. Coagulants – flocculant :

Les coagulants – flocculants sont des composés permettant d'agglomérer des MES afin d'obtenir une taille plus grande et par conséquent des vitesses de séparation solide liquide plus élevées [50].

V.1.4.1. Choix du coagulant :

Les critères de choix d'un coagulant sont nombreux : son efficacité à réduire la couleur, la turbidité et les matières organiques d'une eau est essentielle.

Les coagulants utilisés pour le traitement des eaux destinées à l'alimentation humaine doivent:

- ✓ être peu coûteux ;
- ✓ être totalement inoffensifs par eux-mêmes et par les produits qu'ils forment ;
- ✓ pouvoir être mis en œuvre aisément ;
- ✓ pouvoir être dispersés sans difficultés [71], [73].

V.1.4.2. Coagulants utilisés :

L'efficacité de la clarification dépend d'abord du coagulant utilisé. Les plus efficaces sont des sels de métaux, à base d'aluminium ou de fer. Ils sont cités dans le tableau suivant [74] :

Tableau II.2: Dérivés des sels d'aluminium et de fer.

Sels d'aluminium	Formule chimique	Sels de fer	Formule chimique
Sulfate d'aluminium	$Al_2(SO_4)_3$	Sulfate ferrique	$Fe_2(SO_4)_3$
Chlorure d'aluminium	$AlCl_3$	Chlorure ferrique	Fe_2Cl_3
Aluminate de sodium	$NaAlO_2$	Sulfate ferreux	$FeSO_4$

V.2. Décantation :**V.2.1. Principe :**

La décantation est la méthode de séparation gravitaire la plus fréquente des MES et des colloïdes (rassemblés sous forme de floc après l'étape de coagulation-floculation) [10].

Il s'agit d'un procédé de séparation solide/liquide basé sur la pesanteur. Ces particules s'accumulent au fond du bassin, d'où elles sont extraites périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite : eau clarifiée [2].

La décantation doit obligatoirement être précédée d'une coagulation et d'une floculation en plus d'être suivie d'une filtration. La décantation physico-chimique peut être utilisée pour réduire les impuretés d'origine particulaire (turbidité) et/ou dissoutes (couleur vraie ou COT, fer, sulfures, dureté, etc.). Les matières dissoutes doivent préalablement avoir été précipitées et/ou adsorbées à un floc de coagulant. Plus de 95 % des matières en suspension sont éliminées lors de cette étape [26].

Tableau II.3 : Le temps mis par ces particules pour chuter naturellement d'un mètre dans l'eau [34].

Type	Diamètre des particules (μm)	Le temps de décantation
Gravier	10000	1s
Sables grossiers	1000	10s
Sables fins	100	2min
Argile	10	2h
Bactéries	1	8j
Colloïdes	0.1 à 0.001	2 à 200ans

V.2.2. Les types de décanteur :

Il existe deux types de décanteur : décanteur simple et décanteur lamellaire.

- **Décanteur simple :**

Les décanteurs classiques sont caractérisés par la surface de décantation égale à la surface de base. Le décanteur le plus simple est constitué d'une cuve parallélépipédique munie d'une zone d'entrée et de deux zones de sortie (une pour la surverse et l'autre pour les boues) [75].

- **Décanteur lamellaire :**

L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation. Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère donc le processus de dépôt des particules (Figure II.5).

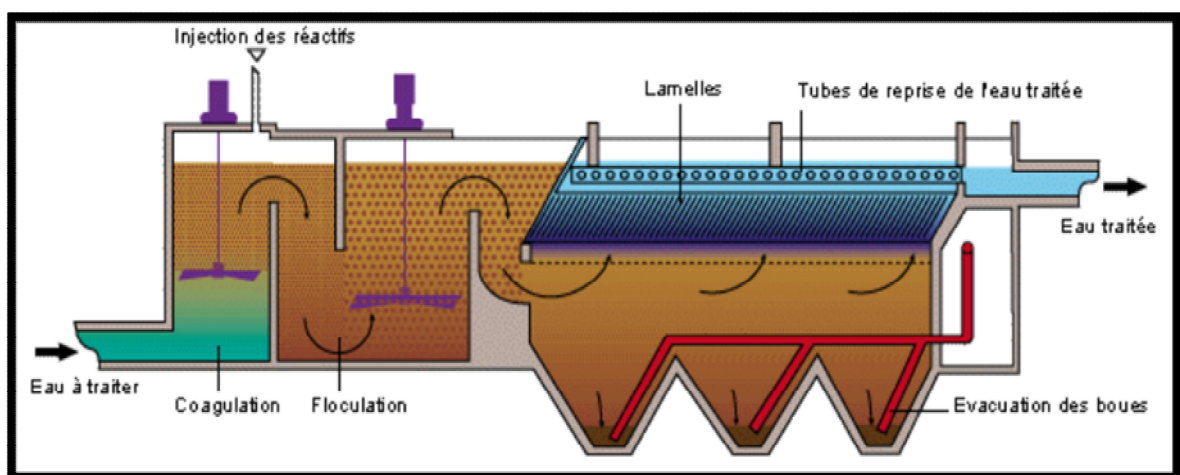


Figure II.5 : Le décanteur lamellaire [77].

V.3. La filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier les eaux issues de décantation en les faisant passer à travers un matériau poreux. Les filtres peuvent être faits de sable, de charbon actif, de terre à diatomées ou des tissus de fibres, des toiles métalliques [78].

Le filtre à sable est le type de filtre le plus utilisé dans le traitement des eaux de consommation. Les solides en suspension ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent ; il faut donc prévoir un nettoyage du filtre [9].

La filtration, précédée d'une coagulation - floculation - décantation permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs issus des MES de petite taille [26].

VI. Traitement de finition :

La qualité des eaux est telle qu'elle exige la plupart du temps un traitement plus ou moins complexe afin de rendre l'eau propre à l'alimentation. Dans toute cette étude, il s'agit de la désinfection, c'est-à-dire l'élimination des agents pathogènes des eaux destinées à la consommation humaine [79].

VI.1. Désinfection :

La désinfection est un traitement qui permet de détruire ou d'éliminer les micro-organismes susceptibles de transmettre des maladies. On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides.

Les produits chimiques les plus utilisés sont : le chlore (Cl_2), l'hypochlorite de sodium (eau de javel : NaOCl), le dioxyde de chlore (ClO_2), les chloramines (NH_2Cl), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), l'ozone (O_3), le brome (Br_2). On peut également désinfecter l'eau avec des moyens physiques ; ébullition, ultrasons, ultraviolets ou les rayons gamma [6].

VI.2. Critères permettant de choisir le désinfectant :

Comme tous les procédés et les produits désinfectants n'étant pas équivalents, il faut choisir le procédé le plus approprié, compte tenu de certaines conditions particulières (caractéristiques et usages de l'eau, types de microorganismes à éliminer, qualité du réseau de distribution ...etc.).

Un désinfectant ou un procédé de désinfection doit :

- ❖ ne pas être toxique pour les humains ou les animaux ;
- ❖ être toxique à de faibles concentrations, pour les microorganismes ;
- ❖ être soluble dans l'eau et former avec l'eau une solution homogène ;

- ❖ être efficace aux températures normales de l'eau de consommation (de 0 à 25°C) ;
- ❖ éliminer l'odeur ;
- ❖ exister en grande quantité et être vendu à un prix abordable ;
- ❖ être facile à manipuler et ne faire courir aucun danger aux opérateurs [6].

VI.3. Désinfectants :

VI.3.1. Le Chlore :

Le chlore est l'un des désinfectants le plus utilisé pour la désinfection de l'eau. Il peut être appliqué pour la désactivation de la plupart des microorganismes et est relativement bon marché [80].

Tableau II.4: Temps de désinfection pour différents types de micro-organismes pathogènes avec de l'eau chloré, celle-ci contenant une concentration en chlore de 1 mg/l (1 ppm) à pH = 7.5 et T=25°C [14].

<i>Temps de désinfection des polluants fécaux avec de l'eau chloré</i>	
E. coli 0157 H7 bacterium	< 1 minute
Hépatites A virus	environ 16 minutes
Giardia parasite	environ 45 minutes
Cryptosporidium	environ 9600 minutes (6-7 jours)

VI.3.2. Hypochlorite de sodium NaOCl :

Il s'agit de l'eau de Javel, L'hypochlorite de sodium (NaOCl) est un composé qui peut être utilisé efficacement dans le cadre de la purification de l'eau. Il est utilisé pour de nombreuses applications telles que la purification de surface, l'élimination d'odeurs et la désinfection de l'eau [80].

VI.3.3. Le dioxyde de chlore :

Lorsque le dioxyde de chlore est utilisé en désinfection finale, c'est-à-dire sur une eau de bonne qualité, 0.1 à 0.2 g/m³ suffisant à assurer l'innocuité bactéricide, la cinétique d'attaque des virus étant plus lente, des doses de 0.3 à 0.5 g/m³ de dioxyde de chlore sont appliquées pendant 30 à 40 minutes. Le dioxyde de chlore peut se maintenir dans l'eau claire pendant au moins 48 heures [79].

VI.3.4. L'ozone :

C'est un gaz toxique qui se décompose lentement dans l'air sec à température ordinaire mais très rapidement à température élevée ou en présence d'eau, de matière organique,...etc. Au stade de prétraitement, par exemple, l'ozone agit sur les complexes organiques contenant du fer ou du manganèse, à des pH usuels ($\text{pH} \geq 6.7$) il attaque également les doubles liaisons et abaisse les poids moléculaires de beaucoup de molécules organiques [81].

VI.3.5. Ultra-violet :

Lorsqu'un micro-organisme est exposé à un rayonnement UV-C, le noyau de la cellule est atteint, et la duplication de l'ADN est stoppée. Les organismes pathogènes sont donc inactivés ou détruits. La lumière ultraviolette détruit le cryptosporidium et plus de 99,99% des bactéries et virus pouvant être contenus dans l'eau [81], [82].

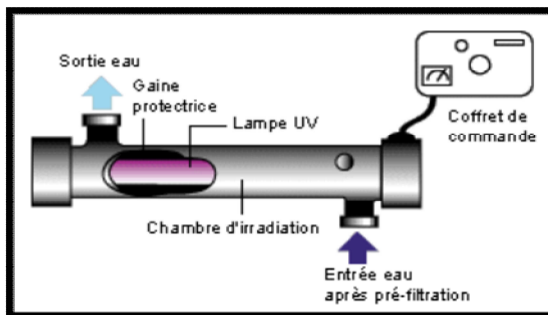


Figure II.6 : schéma d'un système

De désinfection UV [77].

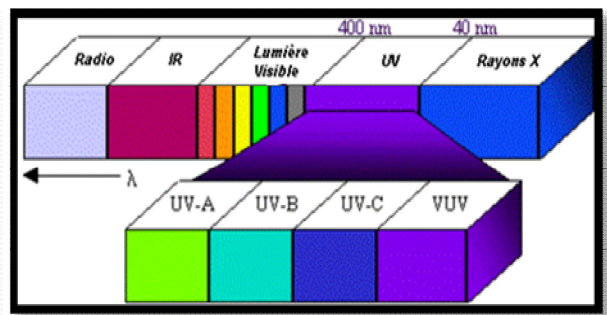


Figure II. 7 : Localisation des UV-C dans le

Spectre électromagnétique.

VII. Amélioration de la qualité de l'eau :

Pour un perfectionnement de la qualité de l'eau traitée, on procède à l'affinage, ou une correction chimique visant à éliminer les micropolluants qui existent déjà dans l'eau ou qui se sont formés au cours du traitement et qui n'ont pas été totalement abattus par la coagulation-floculation [82].

Dans cet esprit, nous examinerons successivement dans cette section la neutralisation de l'eau, son adoucissement, la suppression des sels de fer et de manganèse, et enfin l'adsorption de polluants organique, généralement sur du charbon actif. Ce dernier est mis en œuvre soit en poudre au cours de la floculation et sera par la suite évacué avec la boue, soit sous forme de grains, habituellement utilisé après filtration sur sable [4], [59].

VII.1. Adsorption :

L'adsorption est un phénomène physique de fixation de molécules sur la surface d'un solide. Ce phénomène est utilisé pour récupérer des molécules indésirables de fluide dispersées dans un solvant. Dans ce processus, le charbon actif est le solide. Le charbon actif est produit spécifiquement pour couvrir une surface interne très grande. Cette grande surface rend le charbon actif idéal pour l'adsorption.

VII.1.1. Affinage de l'eau –filtration sur charbon actif :

La présence de micropolluants, qu'il existe à la prise d'eau ou qu'ils se soient formés en cours du traitement, nécessite, en fin de chaîne, un affinage qui, dans l'état actuel de la technique, fait appel soit au charbon actif seul, en poudre ou sur lit, ou en granulés, soit et c'est ce qui est préférable, aux actions associées du charbon actif et de l'ozone [2], [83].

VII.2. Déferrisation-Démanganisation :**VII.2.1. Déferrisation :**

Le fer est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux Fe^{2+} , le fer ferrique Fe^{3+} et le fer complexé à des matières organiques (acides humiques, fulviques, tanniques, ...) et minérales (silicates, phosphates...). Dans les eaux bien aérées, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique qui précipite sous forme d'hydroxyde, $Fe(OH)_3$ [84].

VII.2.1.1. Déferrisation physico-chimique :

L'élimination du fer ferreux, par voie physico-chimique, est obtenue par oxydation par simple aération. Dans le cas d'une eau acide, le traitement pourra être complété par une correction du pH. Ainsi, le fer ferreux s'oxyde en fer ferrique qui précipite en hydroxyde de fer, $Fe(OH)_3$. Le précipité est ensuite séparé de l'eau par filtration sur sable ou par décantation. L'étape de précipitation par oxydation chimique peut aussi être réalisée à l'aide d'oxydants plus forts tels que le dioxyde de chlore (ClO_2), l'ozone (O_3) ou le permanganate de potassium ($KMnO_4$). Cette élimination peut s'effectuer à l'air libre par cascade ou par pulvérisation [14].

VII.2.1.2. Elimination biologique du Fer :

Certaines bactéries spécifiques (Ferro bactéries), tirent leur énergie de l'oxydation du fer pour leur développement. Pour cela, toutes les conditions doivent être réunies : teneur en oxygène, pH, température de l'eau... Cette déferrisation est réalisée dans des filtres à sable, dont le média est colonisé par les souches bactériennes spécifiques du fer [84].

VII.2.2. Démanganisation :**VII.2.2.1. Elimination physico-chimique du manganèse :**

Elle se fait par divers méthodes comme : oxydation par l'oxygène, par le dioxyde de chlore, par le permanganate de potassium, par l'ozone.

VII.2.2.2. Démanganisation biologique :

La présence de manganèse dans l'eau, associée à des conditions favorables à leur développement (teneur en oxygène, pH, température de l'eau...), permet le développement de bactéries spécifiques tirant leur énergie de la réaction d'oxydation du manganèse. Afin d'obtenir des conditions idéales au développement bactérien, on injecte de l'air en amont du filtre à sable, le média servant de support au développement bactérien. Ces microorganismes consommant de l'oxygène, il est donc nécessaire de réinjecter de l'air en aval du filtre.

VIII. La déminéralisation :

Les eaux très chargées en sels minéraux dissous peuvent présenter des inconvénients dans certains usages. Ainsi, souvent on est appelé à éliminer totalement ou partiellement certains ions tels que : Ca^{2+} et Mg^{2+}

Ces techniques ne sont utilisées en générale que si les ressources conventionnelles sont insuffisantes.

Pour l'élimination de ces sels minéraux on utilise:

- L'échange ionique ;
- La distillation, la congélation ;
- Les procédés membranaires [6].

VIII.1. L'échange ionique :

L'échange d'ions est un procédé dans lequel les ions d'une certaine charge contenus dans une solution (ex : cations) sont éliminés de cette solution par adsorption sur un matériau solide (l'échangeur d'ions), pour être remplacés par une quantité équivalente d'autres ions de même charge émis par le solide [85].

La capacité d'échange (en équivalent par litre) est la caractéristique la plus importante d'un échangeur d'ions. Elle correspond au pouvoir de rétention des ions jusqu'à la saturation. Elle dépend du type d'échangeur (pour les échangeurs d'ions fortement acides ou fortement basiques : la régénération, de la composition de l'eau à traiter, de la vitesse de filtration...).

➤ La régénération :

- ✓ échangeurs cationiques : à l'aide d'un acide minéral tels que l'acide chlorhydrique ou l'acide sulfurique.

- ✓ échangeurs anioniques : généralement à l'aide de la soude [86].

VIII.2. La distillation :

La distillation est une opération qui transforme par chauffage ou par réduction de pression l'eau de mer en vapeur pour pouvoir séparer l'eau pure du sel et des autres composants qui pourraient empêcher l'eau d'être potable. Par condensation, cette vapeur donne une eau de grande pureté pouvant nécessiter une reminéralisation lorsqu'elle est destinée à la consommation (Figure II.8). C'est le premier procédé utilisé encore de nos jours qui a été mis en œuvre dans les usines de dessalement [87], [88].

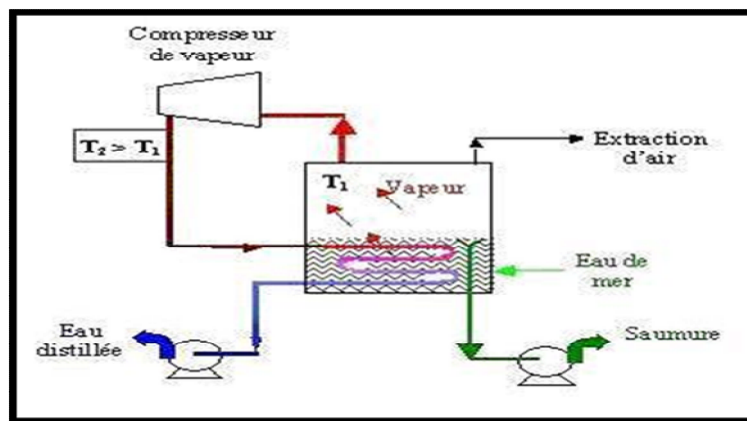


Figure II.8 : Schéma distillation simple effet [89].

Les procédés de distillation qui peuvent être utilisés sont les suivants :

- distillation à simple effet;
- distillation à multiple effet ;
- distillation par détente successive appelée aussi multi flash ;
- distillation par compression de vapeur.

Le principal inconvénient de ces systèmes est leur coût et donc leur rentabilité. Les différentes techniques de dessalement de l'eau de mer nécessitent en effet des quantités d'énergie très élevées (pour le chauffage ou la compression de l'eau) par rapport aux volumes d'eau produits [90].

VIII.3. L'osmose inverse :

L'osmose est le transfert de solvant à travers une membrane sous l'effet d'un gradient de concentration. Si l'on considère un système à deux compartiments séparés par une membrane semi-sélective et contenant deux solutions de concentrations différentes, l'osmose se traduit par un flux d'eau dirigée de la solution diluée vers la solution concentrée. Si l'on applique une pression sur la solution concentrée, la quantité d'eau transférée par osmose va

diminuer. Avec une pression suffisamment forte, le flux d'eau va même s'annuler: cette pression est nommée la pression osmotique P . Si l'on dépasse la valeur de la pression osmotique, on observe un flux d'eau dirigé en sens inverse du flux osmotique: c'est le phénomène d'osmose inverse (Figure II.9) [91].

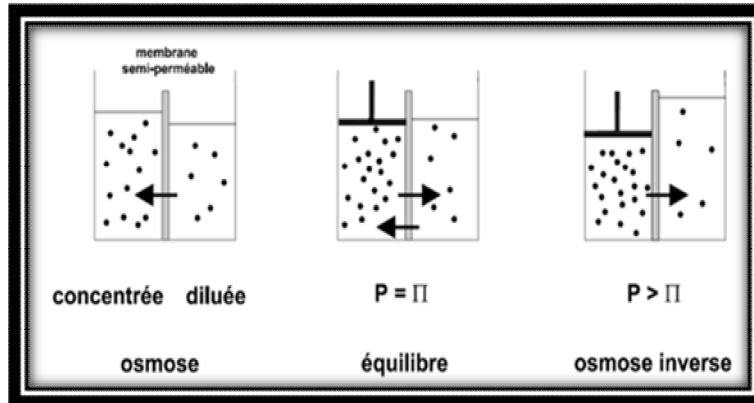


Figure II.9 : Principe de fonctionnement du procédé d'osmose inverse [91].

VIII.4. La congélation :

La congélation de l'eau de mer fournit des cristaux de glace exempts de sel.

Le dessalement par congélation nécessite trois étapes :

- congélation partielle de l'eau de mer ;
- séparation des cristaux de glace pure d'avec la saumure ;
- fusion des cristaux de glace [21].

Lorsqu'on refroidit une eau de mer jusqu'à environ -2°C , il y a formation de cristaux de glace constitués d'eau douce. L'eau de mer étant alors plus concentrée, elle résiste mieux à la congélation. Si l'on fait baisser davantage la température, la production de glace augmente. Signalons cependant que, à environ -9°C , le sulfate de sodium décahydraté a tendance à précipiter. Pour produire de l'eau pure, il est donc préférable de ne pas refroidir l'eau au-dessous de cette température [6].

IX. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons décrit les différentes étapes d'une chaîne de prétraitement et de traitement de l'eau. Différentes étapes de traitement sont alors agencées en filières de potabilisation (Prétraitement, clarification, désinfection).

*Chapitre III.
Généralité sur la
filtration*

CHAPITRE III**GENERALITE SUR LA FILTRATION****I. Introduction :**

La qualité des eaux destinées à la production des eaux potables est très variable et son traitement ne peut se faire qu'avec une succession de traitements appropriés à sa nature et à son degré de pollution [5].

Dans la clarification, on s'efforce de débarrasser l'eau brute de ses particules colloïdales et en suspension en les retenant à leur passage dans une masse filtrante, après, éventuellement, un traitement approprié [83].

Une filtration est souvent indispensable, ne serait-ce que par mesure de sécurité et pour parvenir à une clarification correcte. La chaîne de traitement se termine donc dans la grande majorité des cas par un filtre ou plus [91].

II. définition de la filtration :

La filtration est la barrière ultime et obligatoire de la filière de traitement des eaux dans la majeure partie des cas [92].

C'est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières solides en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux, comme le sable, l'anthracite moulu, du gravier, de la terre diatomées.

Si ces matières à retenir sont de dimension supérieure à celles des pores de filtre, elles sont retenues à la surface et la filtration est dite « en surface », ou en « gâteau » ou encore « sur support ». Dans le cas contraire, les matières sont retenues à l'intérieur de la masse poreuse, la filtration est dite « en volume » ou « en profondeur » ou « sur lit filtrant ».

Les solides en suspensions ainsi retenus par le milieu poreux s'y accumulent ; il faut donc prévoir un nettoyage du filtre [93].

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation, de floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certains goûts et odeurs [94].

III. Utilisation de la filtration :

- ✓ Clarification après traitement par coagulation – floculation – décantation ;
- ✓ Déferrisation – démanganisation ;
- ✓ Décarbonatation ;

- ✓ Nitrification – dénitrification ;
- ✓ Adsorption de composés organiques ou minéraux (charbon actif – alumine activée) ;
- ✓ Reminéralisation des eaux par une filtration sur matériau qui réagit avec l'eau et qui se dissout dans l'eau. Parmi ces matériaux : marbre, carbonate de calcium, carbonate de calcium – magnésium (dolomie), carbonate de calcium – oxyde de magnésium (magno) [95].

IV. Matériaux filtrants :

Selon le type de filtre adopté, on a recourt souvent à divers matériaux filtrants :

- Des tissus de fibres, des toiles métalliques ou des pierres poreuses à interstices très fins. Ces matériaux retiennent les solides en surface et ne sont utilisés que pour traiter de faibles quantités d'eau.
- Des granules libres qui n'adhèrent pas les unes aux autres. Ces matériaux sont insolubles et inattaquables par le liquide filtré ou par les solides qui s'y déposent [71].

IV.1. Nature du milieu filtrant :

Le choix des milieux filtrants est vaste. Il dépend de plusieurs facteurs: le débit et la concentration de la suspension, et aussi du type de traitement: clarification, affinage, neutralisation, reminéralisation des eaux. Parmi ces milieux filtrants, on peut citer [96]:

- ✓ Le sable quartzeux qui a été le premier des matériaux utilisés pour la filtration et c'est encore le matériau de base pour la plupart des filtres actuels ;
- ✓ L'anthracite ou le marbre [97] ;
- ✓ Le charbon actif qui est utilisé surtout pour les traitements d'affinages ;
- ✓ Le schiste expansé et l'argile expansée, matériaux parfois utilisés en préfiltration et même pour des traitements tertiaires des eaux résiduaires ;
- ✓ La pierre ponce et le grenat, matériaux respectivement légers et lourds pouvant être mis en œuvre dans les filtres multicouches ;
- ✓ L'alumine, matériau adsorbant utilisé pour la défluoration et l'élimination de l'arsenic ;
- ✓ Le carbonate de calcium (calcaire, marbre) utilisé dans des filtres de remise à l'équilibre, pour ses propriétés neutralisantes vis-à-vis du CO₂ agressif [98] ;
- ✓ Pour certains traitements tel que l'affinage, traitement tertiaire des eaux résiduaires, etc, il est intéressant d'utiliser des matériaux à forte surface spécifique, tels que la BIOLITE, les schistes expansés, la pouzzolane, etc. [97] ;
- ✓ Les tissus filtrants: textiles naturels (coton, jute), toiles métalliques (fer, laiton, inox), tissus en matière plastique (nylon, PVC, polyester, téflon) ;

- ✓ Les milieux filtrants pulvérulents: sable, charbon, diatomite ;
- ✓ Support en porcelaine ou céramique poreuse [96], [99].

V. Type de système de filtration :

Les filières de traitement incorporant une filtration peuvent être de type physico-chimique, physique, biologique ou absorbative [100].

V.1. Filtration physico-chimique :

Les filtres de type physico-chimique sont les plus utilisés en traitement de l'eau potable. Par définition, ils doivent être précédés d'un traitement chimique. On trouve généralement trois filières :

VI.1.1. Filtration conventionnelle :

C'est l'étape finale d'un traitement élaboré de clarification et qui comprend une coagulation, une floculation, une étape de séparation de floccs (par une décantation, une flottation ou une préfiltration) et enfin une filtration rapide (Figure III.1). Cette filière de traitement est la plus courante en raison du vaste éventail de qualité d'eau brute qu'elle peut traiter [100], [101].

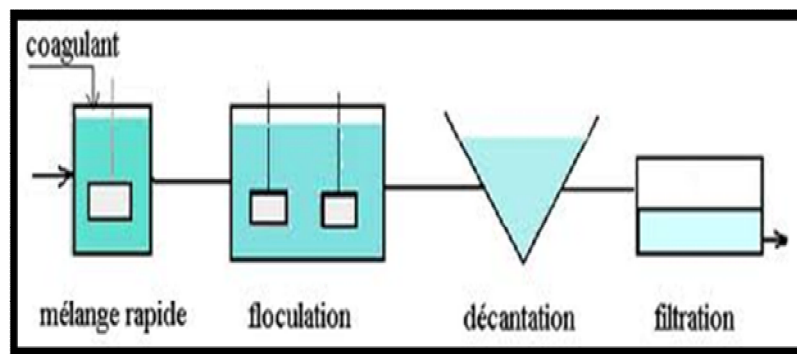


Figure III.1 : schéma d'une filtration conventionnelle [91].

V.1.2. Filtration direct :

La filtration directe est similaire à la filtration conventionnelle mais sans phase de décantation et peut inclure ou non l'étape de floculation, mais la coagulation et la filtration demeurent nécessaires, après ajout du coagulant et agitation du mélange (Figure III.2). Dans ce cas, les particules en suspension sont déstabilisées par le coagulant puis s'attachent plus aisément au matériau du filtre [93].

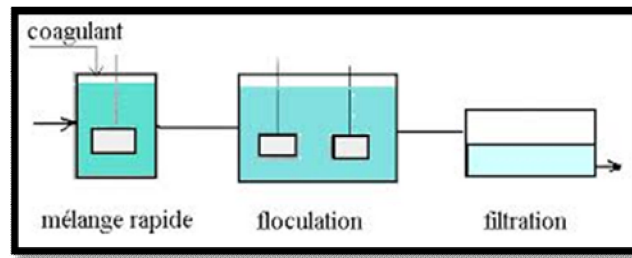


Figure III.2 : schéma d'une filtration direct [91].

V.1.3. Filtration en ligne :

Dans le cas de la filtration en ligne, le prétraitement se résume à une coagulation. La floculation se déroule directement dans le filtre ou dans un ouvrage de contact intermédiaire (Figure III.3), [91].

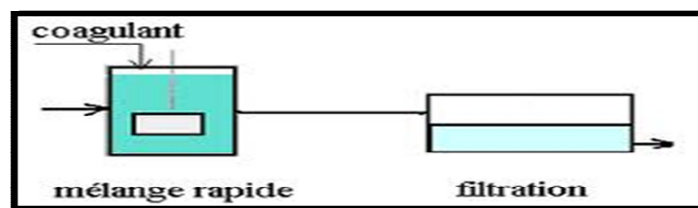


Figure III.3 : Schéma d'une filtration en ligne [91].

V.2. Filtration physique :

C'est un processus de séparation solide-liquide couramment utilisé, qui se fait soit par gravité, soit par l'application d'une pression. Les filtres de ce type font intervenir des processus de traitement purement physiques tels que le tamisage et l'adsorption des particules en suspension dans l'eau, sans nécessiter de prétraitement chimique. Pour cette raison, la qualité de l'eau brute est souvent excellente [100].

V.3. Filtration biologique:

Les filtres biologiques font intervenir l'activité microbienne comme processus de traitement principal. Plus les bactéries seront nombreuses et plus la filtration biologique est efficace. Le milieu filtrant sert alors de support pour le développement de cette biomasse. La qualité physique de l'eau appliquée sur ces filtres (turbidité et couleur vraie) doit être relativement bonne pour que leur rendement soit acceptable [100], [102].

V.4. Filtration par adsorption:

Ce type de filtration utilise le phénomène d'adsorption qui est un processus où un solide (charbon actif) est employé pour enlever une substance soluble de l'eau. Le filtre à charbon actif granulaire est le seul procédé de cette catégorie. Il s'agit d'un traitement d'affinage [14], [100].

VI. Choix du mode de filtration :

Le choix entre les divers types de filtration sur support ou sur lit granulaire dépend de plusieurs critères :

- ✓ Des caractéristiques du liquide à filtrer, de ses impuretés et de leur évolution dans le temps ;
- ✓ De la qualité du filtrat à obtenir et tolérances admises ;
- ✓ Des conditions d'installation ;
- ✓ Des possibilités et moyens disponibles pour le lavage [59].

VII. Mécanisme de filtration :

L'arrêt des particules que transporte l'eau à filtrer peut s'effectuer de diverses façons selon la taille de ces saletés, de leur fragilité et de leur nature chimique. La filtration se déroule dans le volume des vides du matériau. Trois mécanismes sont ainsi possibles [94] :

VII.1. Mécanismes de capture :

La capture est caractérisée par l'interception de la particule par frottement grâce à son inertie et sa décantation. Cette capture est essentiellement de deux natures [71] :

a) Tamisage mécanique :

Il s'agit de la rétention des particules plus grosses que la maille du filtre ou que celle des éléments déjà déposés, formant eux-mêmes le matériau filtrant. Ce phénomène intervient d'autant plus que la maille du matériau filtrant est plus fine [103].

b) Dépôt sur le matériau filtrant :

La particule en suspension suit dans le liquide une ligne de courant ; sa faible taille, comparée à celle des pores du milieu filtrant, pourrait lui permettre de traverser le matériau filtrant sans être arrêtée, suite à des différents phénomènes qui entraînent un changement de trajectoire de ces MES, leurs contacts avec le matériau filtrant devient possible.

On distingue en particulier:

- L'interception directe par frottement ;
- La diffusion par mouvement brownien ;
- L'inertie de la particule ;
- La décantation: par leur poids, les particules peuvent se déposer sur le matériau filtrant quel que soit le sens de filtration.

Ces différents mécanismes de capture interviennent principalement dans la filtration en profondeur [104].

VII. 2. Mécanisme de fixation :

La fixation des particules à la surface du matériau filtrant est favorisée par une faible vitesse d'écoulement. Elle est due à des forces d'origine physique (coincement, cohésion...), et à des forces d'adsorption, principalement les forces de *Van der Waals* [71].

VII.3. Mécanisme de détachement :

Au cours de la filtration et sous l'action des mécanismes précédents, le filtre se colmate à cause des particules déjà déposées sur le matériau filtrant, ce qui produit une diminution de l'espace des vides entre les grains. Il y a donc augmentation de la vitesse et l'écoulement devient turbulent et par conséquent, un détachement partiel des impuretés retenues par le filtre [10].

VIII. Les paramètres d'évaluation des performances de la filtration :

Les paramètres d'évaluation des performances de la filtration sont les suivants [105] :

- Qualité des eaux filtrées : suivi de la turbidité, de la teneur en micro-organismes et en matières organiques ;
- Durée du cycle de filtration et de la capacité de rétention ;
- Perte de charge en fonction du temps permettant de suivre l'évolution du front de filtration et la détermination du type d'encrassement qui s'opère dans la masse filtrante.

IX. Caractéristiques des matériaux filtrants :

Les principales caractéristiques d'un matériau filtrant sont: le diamètre effectif, le coefficient d'uniformité, la densité relative, la porosité et la perméabilité.

Il existe d'autres caractéristiques beaucoup plus difficiles à mesurer, comme la forme des grains et la surface spécifique [6].

IX.1. Diamètre effectif et coefficient d'uniformité :

Le diamètre effectif, D_E , et le coefficient d'uniformité, C_U , sont deux caractéristiques granulométriques importantes d'un matériau filtrant. Le diamètre effectif correspond à la grosseur des mailles du tamis qui laissent passer 10 % de la masse de l'échantillon. Le coefficient d'uniformité est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 60 % des particules et celui qui en laisse passer 10 %, soit D_{60}/D_{10} [95], [106].

IX.2. Densité relative du sable :

On peut calculer expérimentalement la densité relative du sable, γ_s , en divisant sa masse par celle de l'eau qu'il déplace. On procède de la façon suivante [6]:

- ✓ On pèse un certain volume d'eau (on obtient m_e);

- ✓ On pèse le sable sec (on obtient m_s);
- ✓ On ajoute le sable à l'eau (l'eau déplacée déborde du récipient);
- ✓ On pèse le mélange d'eau et de sable (on obtient m_{es}).

On peut ainsi écrire :

$$\gamma_s = \frac{\text{masse du sable}}{\text{masse de l'eau déplacée}} = \frac{m_s}{(m_e + m_s - m_{es})} \quad (\text{III.1})$$

IX.3. Masse unitaire sèche :

La masse unitaire sèche, ρ_u est la masse de matériau filtrant par unité de volume, masse qui varie en fonction du degré de compactage du matériau. Ainsi, on peut mesurer la masse unitaire sèche minimale ou la masse unitaire sèche maximale.

Pour mesurer la masse unitaire sèche minimale, on verse le sable, dans un récipient de volume et de masse connus, selon une technique qui permet d'éviter tout compactage. On pèse ensuite le récipient plein pour déterminer la masse de sable par unité de volume.

Pour mesurer la masse unitaire sèche maximale, on fait vibrer le récipient pour obtenir un compactage maximal du sable, puis on pèse le récipient plein pour déterminer la masse de sable par unité de volume [6].

IX.4. Porosité :

Le paramètre principal décrivant un milieu poreux est la porosité. La porosité d'un amas de granules désigne la fraction de son volume occupée par de l'air si l'amas est sec, ou par de l'eau si l'amas est saturée d'eau. Elle dépend de la granulométrie, de l'arrangement des grains et de leur degré de tassement. On peut distinguer deux types de porosité : une porosité totale et une porosité effective [97], [107].

- **Porosité géométrique (globale) :**

La porosité géométrique notée « σ » est exprimée quantitativement par le rapport du volume de vide au volume total de l'échantillon [108].

$$\sigma = \frac{V_v}{(V_v + V_s)} = \frac{V_v}{V_t} \quad (\text{III.2})$$

V_v : Volume total des vides (matériau sec) ;

V_s : Volume des solides ;

V_t : Volume apparent (totale) où $V_t = V_s + V_v$.

- **La porosité effective :**

La porosité effective est définie par le produit de la porosité géométrique et le degré de saturation ou d'une autre façon c'est la différence entre la porosité globale et la capacité de rétention, elle est notée « ϵ » [109].

$$\varepsilon = S_r \sigma = \frac{V_1}{V_v + V_s} \quad (\text{III.3})$$

Avec $S_r = V_1/V_v$ (degré de saturation)

V_1 : volume occupé par l'eau.

V_v : volume total des vides.

Le degré de saturation « S_r » indique la quantité d'eau que contient le sol.

Si $S_r = 0$ le terrain est sec, si $S_r = 1$ le terrain est saturé [110].

IX. 5. La perméabilité :

Ce paramètre est exprimé par une constante de proportionnalité K qui a les dimensions d'une vitesse. C'est une vitesse de filtration par unité de pente motrice ou par unité de gradient hydraulique. Ce coefficient est appelé aussi coefficient de perméabilité, le coefficient de filtration, la vitesse de filtration de Darcy ou tout simplement le coefficient de *Darcy*.

C'est le coefficient de perméabilité K qui figure dans la loi de *Darcy* :

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{\Delta H}{L} \quad (\text{III.4})$$

Q : débit de l'eau filtré en (m^3/s) ;

A : l'aire de la couche saturée en (m^2) ;

ΔL : l'épaisseur de la couche filtrante en (m) :

ΔH : la chute totale de pression à travers la couche filtrante (pertes de charges totales) en (m.c.e) [97], [111].

X. Les modes de filtration :

Pour la séparation de la phase solide et la phase liquide, deux techniques sont applicables : la filtration sur support et la filtration en profondeur.

X.1. La filtration sur support :

X.1.1. Principe :

On l'utilise en général pour la filtration de suspensions assez fortement chargées en matières solides. Le mélange est amené au-dessus du filtre (membrane, grille, toile, le papier, ...). La filtration se fait sous pression. La phase solide se dépose sous la forme d'un gâteau (ou tourteau) sur le filtre (Figure III.5). L'épaisseur du gâteau étant croissante au cours du temps, la vitesse d'écoulement diminue [112], [113].

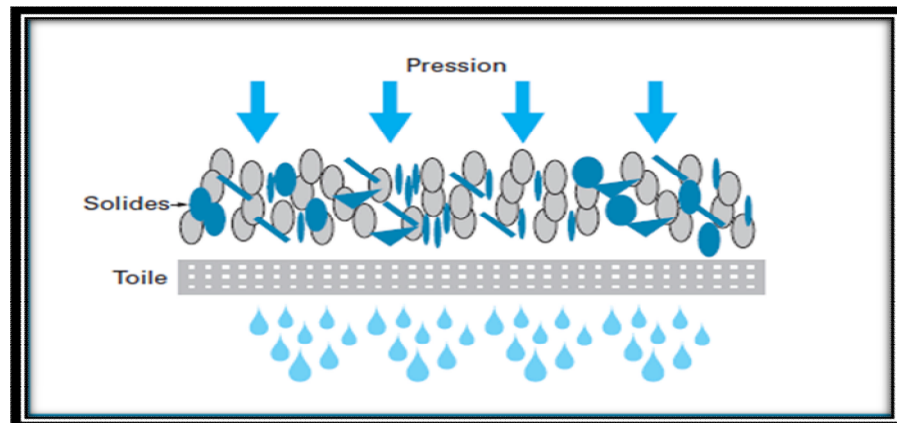


Figure III.4 : Filtration frontale sur support [114].

X.1.2. Les types de la filtration sur support :

X.1.2.1. Filtration sur support à mailles :

Les types de filtres qui mettent en œuvre des supports à mailles sont nombreux, ils se différencient en premier lieu par leur mode de fonctionnement, en filtres ouverts fonctionnant à la pression atmosphérique et en filtre sous pression, cette filtration fine est en général appelée microfiltration en opposition à la macro-filtration qui consiste à retenir des particules de plus de 150 microns [59].

Dans ce type de filtration on distingue deux modes :

a) micro-tamissage à surface libre :

L'objectif principal d'un micro-tamis est d'éliminer le plancton contenu dans les eaux de surface, il élimine simultanément les matières en suspension de grande taille et les débris végétaux ou animaux que l'eau contient.

Le rendement optimal est obtenu en maintenant une perte de charge globale sensiblement constante, résultant d'un colmatage partiel dû au dépôt des particules à retenir. L'efficacité d'un tel appareil demeure toujours limitée par plusieurs facteurs :

- les toiles lavées ne comportent pas encore de dépôt efficace au début du cycle de filtration et, pendant ce temps, la filtration est limitée à la taille même de la maille ;
- l'élimination du plancton n'est jamais que partielle. Celui-ci peut proliférer de nouveau avec la température ;
- le risque de corrosion des toiles ou de leurs supports empêche de les faire travailler en continu sur une eau fortement préchlorée ;

- un mauvais choix du dimensionnement des micro-tamis conduit à une réduction importante du débit surtout pendant les moments de pointe ou lors des crues alluvionnaires [115].

b) micro-tamissage sous pression :

Il est ordinairement réalisé avec l'un des trois types de filtres suivants :

❖ **filtre à disques empilés :**

Où la filtration s'effectue par les jeux laissés entre les disques, ces filtres sont particulièrement sensibles aux eaux contenant des algues et des éléments fibreux qui risquent de produire un colmatage irréversible.



Figure III.5 : Filtre à disques empilés [116].

❖ **Filtre à plateaux, bougies, panier ou éléments filtrants :**

Ces types des filtres sont recouverts :

1. D'un treillis métallique lisse ou plissé pour augmenter la surface de filtration ;
2. D'un fil métallique ou plastique enroulé sur le bâti ;
3. D'un profilé de forme spéciale enroulé sur des montants.

Le lavage de ces filtres s'effectue par retour d'eau, sans arrêt de la filtration, à partir de buses, de rampes perforées, de secteurs de décharge ou bougie par bougie.

❖ **Filtre à cartouche ou plaques minces filtrantes :**

Ces plaques ou cartouches peuvent être faites de panier plissé ou non, de fibre cellulose ou d'amiante que l'on jette après colmatage. Ce type de filtre est souvent utilisé comme filtre finisseur de sécurité quand l'eau doit être en permanence exempte de toute matière susceptible de provenir des traitements précédents. On peut ainsi retenir les particules extrêmement fines, de l'ordre de quelques microns et éliminer même certaines bactéries [59].

➤ **Filtre-presse :**

Ces filtres sont constitués d'un ensemble d'éléments verticaux formant un bloc maintenu à chaque extrémité par deux plateaux (sommiers), dont l'un est fixe et l'autre mobile.

Les éléments du filtre (plateaux et cadres) sont serrés avec une presse. Les toiles filtrantes séparent les plateaux et les cadres. Le filtre fonctionne sous pression (quelques bars). Le gâteau se dépose entre les toiles (Figure III.7). Ces filtres sont simples et bon marché; par contre ils nécessitent beaucoup de main d'œuvre [96].

En fin de filtration, ce plateau est ramené en arrière afin de dégager les cadres et permettre le débâtissage ou le changement des médiums filtrants.

Ils sont normalement équipés de plaques filtrantes en cellulose, en un mélange amiante-cellulose ou en amiante pur ... etc [59], [117].

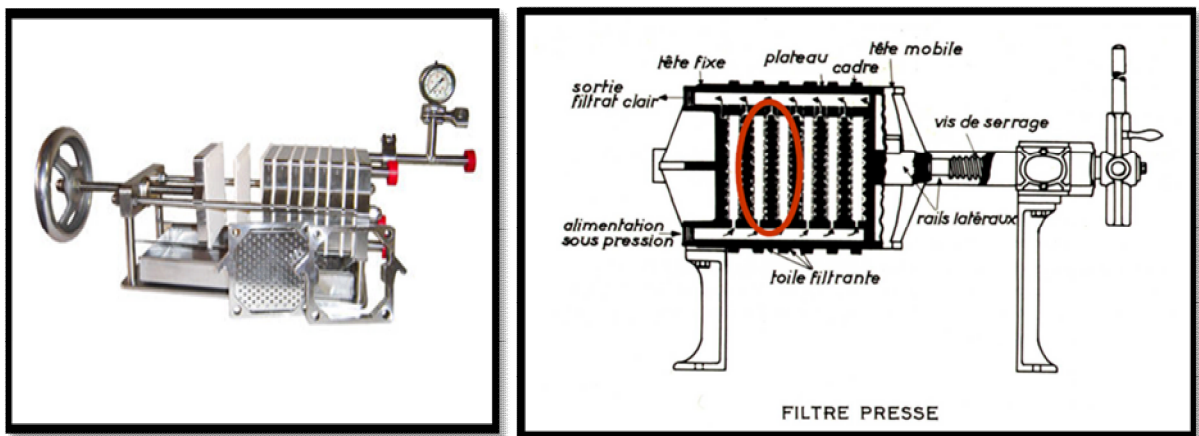


Figure III.6 : Filtre-presse [118], [119].

X.1.2.2. Filtration sur support épais :

Dans ce type de micro filtration, le support permet non seulement une rétention en surface, mais également une rétention sur une certaine profondeur qui n'est cependant jamais importante.

La porosité est obtenue suivant les cas :

- ✓ Avec imprégnation par des résines des supports de fibres de laine, de cellulose, etc. Effectuée de façon telle que le liquide filtré rencontre une porosité décroissante dans le sens de la filtration. Ces supports ne sont pas, en général, réutilisables après colmatage
- ✓ Avec des fils de coton, verre ou polypropylène. Bobinés sur une âme rigide, avec une porosité décroissante vers la sortie du filtrat ;
- ✓ Avec des produits frittés poreux, métal, sable, porcelaine ou plastique [59].

X.1.2.3. Filtration sur support à pré couche :

Dès qu'il devient nécessaire de traiter par micro filtration des débits importants sans blocage irréversible de l'élément filtrant, on fait appel aux filtres à pré couche. La filtration ne s'effectue plus au travers d'éléments fixes mais au travers d'un matériau filtrant introduit dans l'appareil au début de chaque cycle de fonctionnement pour former sur un support fixe une couche filtrante micro poreuse (pré couche), après colmatage, cette pré couche est rejetée à l'extérieur au cours de l'opération de lavage. La texture de la couche filtrante comporte une multitude de canaux des très petits diamètres, ce qui permet d'obtenir en général un filtrat de faible turbidité [59].

Il existe deux types de filtres dans ce mode de filtration :

❖ Les filtres à bougies :

Ces appareils sont constitués d'une cuve cylindrique verticale à l'intérieur de laquelle des éléments filtrants en forme de tubes (bougies). Le filtrat s'écoule dans la bougie et évacue vers le haut. Les boues sont évacuées dans le bas de l'enceinte. Le nettoyage s'effectue à contre-courant. Ces filtres sont généralement utilisés avec un pré couche (silice fossile, cellulose, etc...). [59], [117].

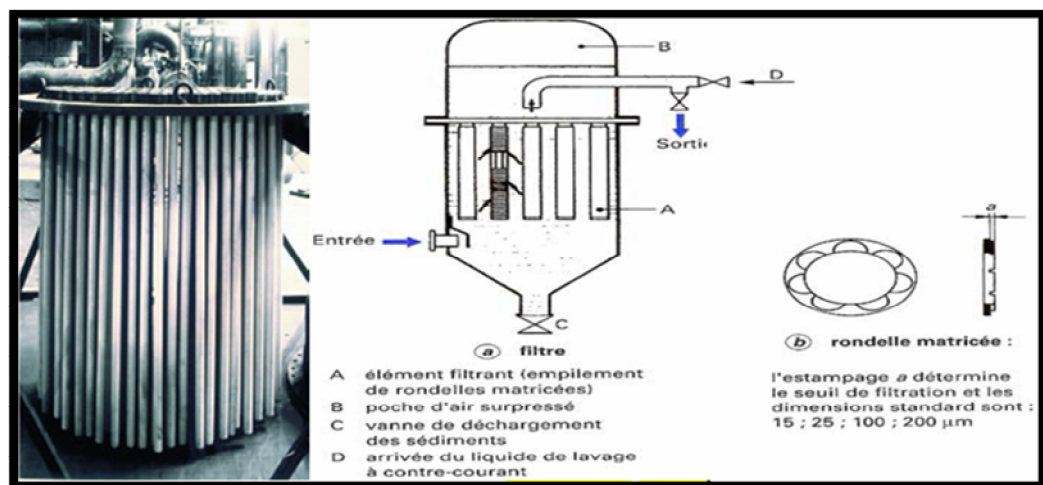


Figure III.7 : Plaque support équipée de bougies [104], [117].

❖ Les filtres à disques ou plateaux :

Ces filtres comportent des filtres à disques ou à plateaux fixes ou tournants, disposés horizontalement ou verticalement. Ces éléments sont eux-mêmes recouverts d'une toile support. Il existe une grande variété de modèles, avec des plateaux simples ou profilés, de façon à obtenir une répartition homogène des dépôts [59].

X.2. filtration sur lit filtrant :

La filtration sur lit filtrant est utilisée dès que la quantité de matière à retenir devient importante et que la dimension des particules contenues dans l'eau est relativement faible.

Pour qu'une telle filtration soit efficace, il faut que ces matières puissent pénétrer profondément dans le lit, et non le bloquer en surface. De plus, il faut que le ou les matériaux composant le lit soient judicieusement choisis, tant en granulométrie qu'en hauteur de couche, pour que le filtrat corresponde à la qualité recherchée [59].

Le filtre est constitué d'une ou plusieurs couches de produits filtrants (en général, de sable ou de l'antracite). Au fond du filtre, on trouve des bosselures qui laissent passer uniquement le liquide filtré. Lorsque le mélange s'écoule à travers le filtre, les particules en suspension restent piégées dans le filtre. Le filtre sera d'autant plus efficace que le diamètre des grains sera plus faible et que le temps de séjour des particules dans le filtre sera long (vitesse lente ou hauteur de filtre grande). Au fur et à mesure que le mélange s'écoule à travers le filtre, ce dernier se colmate. Il faut donc procéder à une opération de lavage [120].

Le bon fonctionnement d'un filtre dépend de la parfaite répartition à travers la masse filtrante de l'eau à filtrer de l'eau de lavage, et éventuellement de l'air de lavage [59], [112].

X.2.1. Filtration lente :

La filtration lente est historiquement la première application à grande échelle des traitements de purification au moyen de milieux granuleux [121].

La filtration lente est un procédé biologique et physique qui consiste à faire passer l'eau à traiter à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse de 0,1 à 0,2 m/h. Le matériau filtrant le plus approprié est le sable. Au cours de ce passage, la qualité de l'eau s'améliore considérablement par l'élimination des matières en suspension et colloïdales [101], [122].

Le filtre à sable lent doit être construit de telle sorte que l'eau traverse lentement la couche de sable fin et que les particules les plus grosses soient arrêtées près de la surface du sable. Ces particules forment une couche poreuse très fine, dont la surface totale de veinules ou de pores est très grande, ce qui facilite l'absorption des impuretés par cette couche. Cette couche poreuse est constituée de bactéries, d'algues et de protozoaires. La filtration lente sur sable ne compte pas d'étape de coagulation ni, en général, de décantation (Figure III.9).

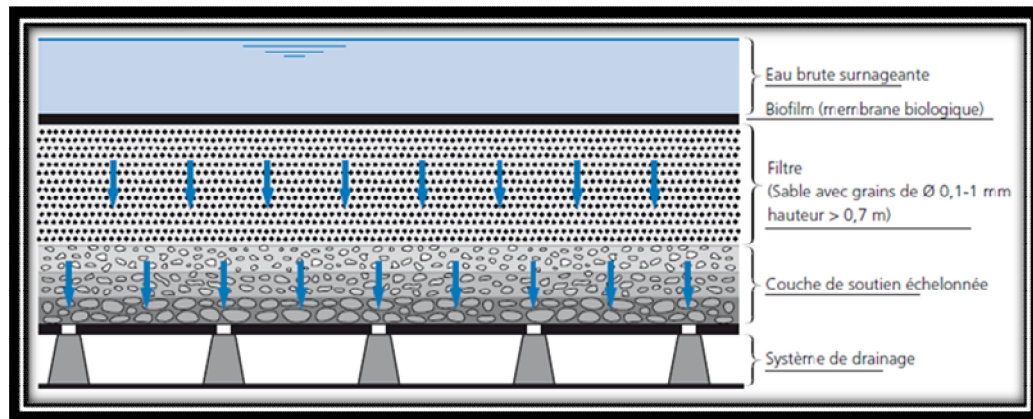


Figure III.8 : Schéma d'un filtre lent sur sable [53].

Un filtre de ce type est un filtre ouvert, constitué le plus généralement d'un bassin rectangulaire en béton armé, divisé en deux compartiments horizontaux par un faux-plancher situé à quelques décimètres au-dessus du radier. Un matériau filtrant (le plus souvent du sable), de diamètre efficace compris entre 0,25 à 0,35 mm, est déposé sur ce faux-plancher et constitue un lit dont l'épaisseur est de l'ordre de 0,70, à 1,20m, soit sur des couches superposées de sable plus grossier, de diamètre efficace de 1 mm, l'épaisseur de la couche filtrante étant de 0.30m, soit de gravier où le diamètre efficace est de 2 à 3 mm, l'épaisseur de la couche filtrante variant de 0.35m à 0.50m, dans le dernier se trouve noyé un système de drains collectant l'eau filtrée, l'épaisseur d'eau libre (1.25m), le fond du filtre (0.10 à 0.15m) . La hauteur totale d'un filtre à sable lent atteint ainsi 3 à 3.5 m [83], [97], [121].

Les performances de réduction du potentiel de formation des THM varient de 10 à 30% et l'enlèvement de la couleur est d'environ 30%. En effet, le procédé réduit le COA et rend ainsi l'eau biologiquement plus stable. La filtration lente a démontré une efficacité d'enlèvement des kystes des virus [100].

X.2.1.1. Période de maturation (ou d'ensemencement) :

Les temps de maturation typiques pour du sable nouveau sont de 1 à 6 mois, alors que le temps de maturation après un raclage (nettoyage) peut varier de 6 heures à 14 jours (minimum de 2 jours recommandé) [100].

X.2.1.2. Nettoyage des filtres lents :

Le lavage du filtre est une opération très importante. Il est réalisé en inversant le sens d'écoulement de l'eau. On le soumet à un courant d'eau, circulant de bas en haut, destiné à détacher les impuretés et à les entraîner ensuite dans une goulotte d'évacuation [10].

Le sable est mis en expansion et les impuretés, moins denses que les grains de sable, sont décollés par des phénomènes de frottement inter granulaires. La vitesse de l'eau du lavage à contre courant est limitée du fait des pertes possibles de matériau. On injecte donc de l'air pour augmenter les turbulences afin de décoller efficacement les particules de floc fixées sur les grains, le processus est généralement le suivant :

➤ **Détassage à l'air :**

Débit d'air croissant de 40 à 60 m³/h/m² de filtre : 2 minutes

➤ **Lavage air et eau :**

Lavage à fort débit d'air de 40 à 60 m³/h/m² de filtre et faible débit d'eau de 5 à 10 m³/h durant 5 à 15 minutes, pour brasser le sable et piéger les particules accrochées dans les grains et décoller les impuretés.

➤ **Rinçage à l'eau :**

Rinçage à fort débit d'eau de 20 à 25m³/h par m² de filtre, pendant 5 à 10 minutes, pour éliminer les impuretés, évacuer les particules décrochées jusqu'à obtenir de l'eau claire [71].

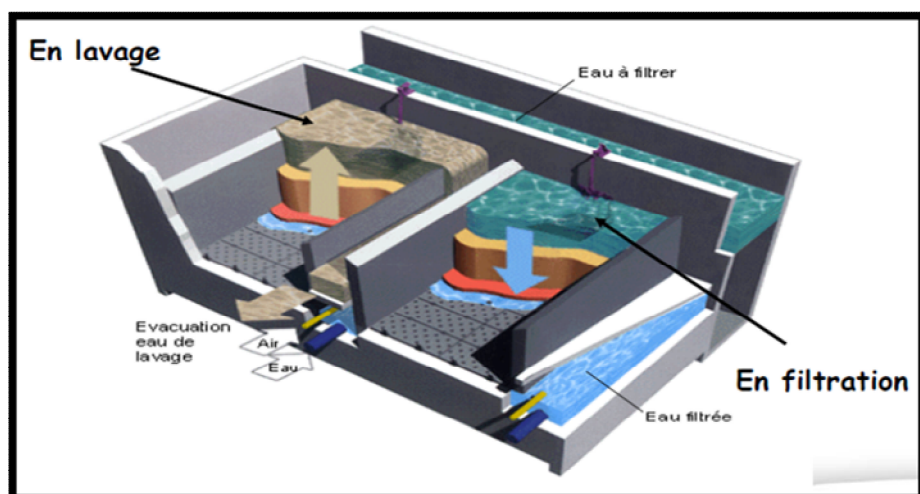


Figure III.9 : exemple d'un filtre en phase de filtration et en phase de lavage [77].

X.2.1.3. Avantage de la filtration lente :

- ✓ Cette méthode est souvent la plus économique dans les pays en développement et offre l'avantage d'une grande efficacité et d'une exploitation simple [83].
- ✓ Facile à entretenir et aucun élément mécanique;
- ✓ Produit une eau de grande qualité [92];
- ✓ Les filtres lents permettent de ne pas recourir à la coagulation et ne nécessitent pas l'ajout de produits chimiques;

- ✓ Le pH de filtrat obtenu avec ce type de filtration est supérieur à celui des filtres rapides qui exigent un traitement chimique, ce qui le rend moins corrosif et de qualité plus constante que celui des filtres rapides.
- ✓ Il élimine bien les bactéries [71].

X.2.1.4. Inconvénients de la filtration lente :

- ✓ Nécessite de grandes surfaces et de grandes quantités de médias filtrant et des travaux coûteux [6];
- ✓ Sensible au colmatage. Des eaux très chargées peuvent colmater rapidement ces filtres;
- ✓ Les eaux peu chargées en matière organique peuvent limiter l'enlèvement biologique.
- ✓ Limitation dans les pays froids [71], [92].
- ✓ Si la turbidité dépasse 30 NTU pendant de longues périodes, un prétraitement par décantation, pré filtration à flux horizontal ou vertical, ou autres types de prétraitement sont indispensables.
- ✓ Il faut du temps pour que le film biologique se reforme après chaque nettoyage [6].
- ✓ Une prolifération de certains types d'algues peut provoquer un colmatage rapide du lit filtrant et par conséquent poser des problèmes d'exploitation [83].

X.2.2. La filtration rapide :

Le filtre à sable rapide est le type le plus utilisé dans le traitement des eaux de consommation. Le matériau filtrant est maintenu en place par gravité et l'écoulement de l'eau à lieu de haut en bas. Les matériaux les plus utilisés sont le sable et l'antracite [6].

Elle s'applique à des eaux préalablement traitées (eau flocculée et décantée ou flottée) et aura pour but d'obtenir une clarification de l'eau par l'élimination de MES. Ce type de filtration est utilisé lorsque l'usine doit fournir de grande quantité d'eau ($> 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$), (Figure III.12), [92], [123].

Selon le cas d'application, la filtration rapide met en œuvre des vitesses allant de 4 à 50 m/h, le débit spécifique peut aller jusqu'à $5-7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$, D_{10} du sable se situe d'habitude entre 0.5 et 1.5 mm. Dans ce type de filtration, l'action biologique est pratiquement nulle, du fait de la grande vitesse de filtration et le lavage très fréquent.

La filtration en profondeur intervient ici beaucoup plus que dans les filtres lents, et les grandes vitesses de filtration et le colmatage rapide provoquent des augmentations très importantes des pertes de charges.

Concernant les méthodes utilisées pour recueillir les eaux filtrées, on en distingue deux :

- 1) Le drainage des eaux filtrées peut se faire par des dalles en béton maigre (en dessous de la couche filtrante), qui sont soit poreuses soit munies de bougies poreuses ou de buselures à fentes ;
- 2) L'eau filtrée est recueillie au moyen de tuyaux perforés qui sont noyés dans une couche de sable fin [50].

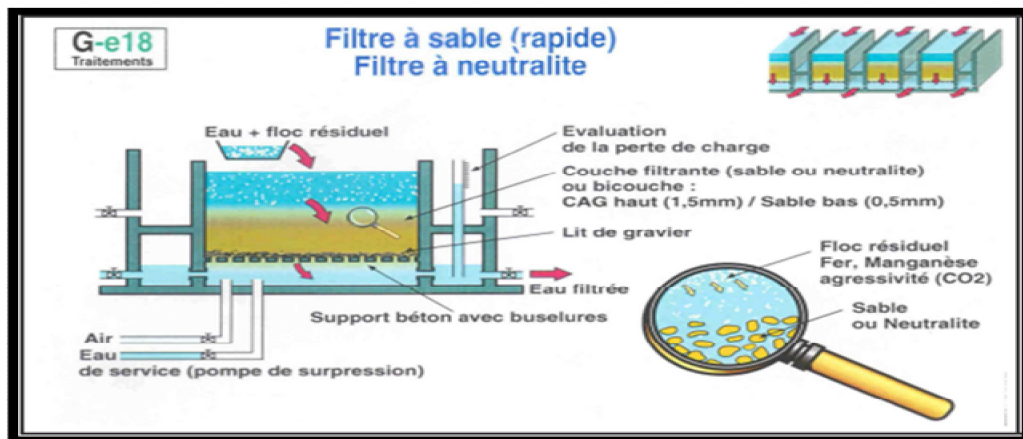


Figure III.10 : Schéma d'un filtre rapide sur sable [28].

X.2.2.1. L'élément d'un filtre :

Les principaux éléments d'un filtre rapide sont (Figure III.13) :

- **Fond de filtre:** le fond de filtre est la structure qui sépare le milieu filtrant de l'eau filtrée. Il doit donc être suffisamment solide pour supporter le milieu filtrant (1 m de sable et de gravier) et aussi l'eau située au-dessus du milieu filtrant (2 m d'eau). Il permet en outre:
 - ✓ De collecter et d'évacuer les eaux filtrées.
 - ✓ De distribuer uniformément l'eau de lavage.
- **Gravier de support:** le gravier de support, situé immédiatement au-dessus du fond de filtre, permet de:
 - ✓ retenir le sable du milieu filtrant;
 - ✓ améliorer la répartition de l'eau de lavage dans le filtre.

L'épaisseur et les caractéristiques granulométriques de la couche de gravier de support dépendent des caractéristiques du fond de filtre et de celles du milieu filtrant.

- **Milieu filtrant :** qui permet la rétention des impuretés des eaux brutes. Le plus souvent c'est du sable ou de l'antracite. La couche filtrante est de 60 à 90 cm d'épaisseur, le

diamètre effectif des grains varie de 0,35 à 0,50 mm et le coefficient d'uniformité varie de 1,3 à 1,7 [6].

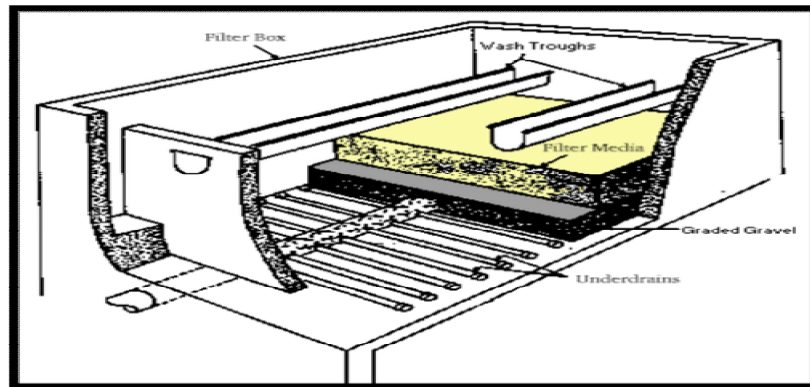


Figure III.11 : élément d'un filtre [92].

X.2.2.3. Fonctionnement d'un filtre à sable rapide :

Un filtre à sable rapide est peu efficace lorsqu'il doit traiter une eau n'ayant pas bénéficié d'une coagulation et d'une floculation. Un tel filtre élimine en effet difficilement les particules non absorbées par le floc, et ce même s'il est constitué d'une épaisse couche de sable fin. Les facteurs suivants peuvent affecter la qualité de l'eau filtrée :

- Caractéristiques granulométriques du milieu filtrant ;
- Porosité du milieu filtrant ;
- Epaisseur du milieu filtrant ;
- Charge superficielle.

X.2.2.4. Variation de la turbidité et des pertes de charge :

La turbidité de l'affluent d'un filtre et la perte de charge à travers le filtre sont les deux facteurs qui permettent de contrôler le fonctionnement d'un filtre. Ainsi, lorsque la perte de charge atteint une valeur de consigne prédéterminée ou que la turbidité de l'effluent du filtre dépasse une certaine valeur, on isole le filtre en question et on procède à un lavage [6].

X.2.2.5. Les particules qui sont enlevées dans l'eau durant la filtration :

La filtration rapide enlève les particules suspendues, comme les bactéries, les virus et les protozoaires, et de 97 % à 99,9 % (filtration rapide avec coagulation et décantation) pour *Giardia lamblia*. La filtration enlève un grand nombre de contaminants, mais exige toujours la désinfection pour produire de l'eau potable sûre. Même si la filtration rapide ne puisse pas enlever toutes les bactéries et les virus, c'est une étape importante dans le processus de traitement, et la désinfection est plus réussie avec une quantité réduite de désinfectant [124].

X.2.2.6. Avantages et inconvénient de la filtration rapide :

- ✓ Du fait de la grande vitesse de filtration, la superficie nécessaire à l'installation sera bien moins importante que pour traiter le même volume en filtration lent.
- ✓ Elle présente l'avantage de pouvoir traiter les eaux chargées des colloïdes et de décolorer les eaux teintées par cette charge des colloïdes.
- ✓ De plus, la formation d'algues sur les bassins, si fréquente en filtration lente, est plus rare en filtration rapide car les algues n'ont pas le temps, ordinairement, de se développer entre deux lavages.
- ✓ La filtration rapide est une opération délicate, complexe, qui demande des études et des essais préalables. Le personnel d'exploitation doit être hautement qualifié.
- ✓ La filtration rapide ne nécessite pas des grandes surfaces [83].

X.2.2.7. Colmatage des matériaux filtrant :

L'adsorption et la rétention des impuretés par le matériau filtrant provoquent un grossissement des grains, réduisant la taille des espaces interstitiels et donc la section de passage offerte à l'eau. Ce phénomène s'accroît jusqu'à ce que le filtre se colmate complètement et par conséquent les pertes de charges augmentent à leur tour [91].

La rapidité de colmatage dépend :

- De la nature des eaux traitées;
- Du débit par unité de surface filtrante ou vitesse de filtration;
- De la granulométrie de la matière filtrante [98].

X.2.2.8. Lavage des filtres :

Le lavage d'un filtre à sable peut être déclenché lorsqu'une consigne de perte de charge maximale est atteinte, ou en cas de dégradation de la qualité de l'eau filtrée (turbidité), ou temps d'opération dépassé. Le lavage est réalisé à contre du sens de la filtration [94].

➤ Lavage à l'eau et à l'air :

On injecte simultanément, par le fond du filtre, de l'air et de l'eau. L'eau entraîne les impuretés vers les goulottes de lavage alors que l'air assure un brassage suffisant pour décoller ces impuretés. La charge superficielle (air) doit être supérieure à 5 m/h. Après l'arrêt des soufflantes, il faut toutefois continuer le lavage à l'eau afin d'entraîner toutes les impuretés vers les goulottes de lavage. La vitesse de l'eau de lavage, ou charge superficielle, est alors de 37 m/h ou plus [6].

X.2.3. Filtres sous pression :

Les filtres sous pression fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapides, sauf que leurs couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage, sont situés dans des cylindres horizontaux ou verticaux, lesquels sont conçus pour supporter des pressions de l'ordre de 1000 KPa. On peut ainsi filtrer de l'eau sous pression et la distribuer sans recourir au double pompage. Les filtres sous pression sont plutôt utilisés pour des petites installations, ils permettent des pertes de charge importantes [6], [95].

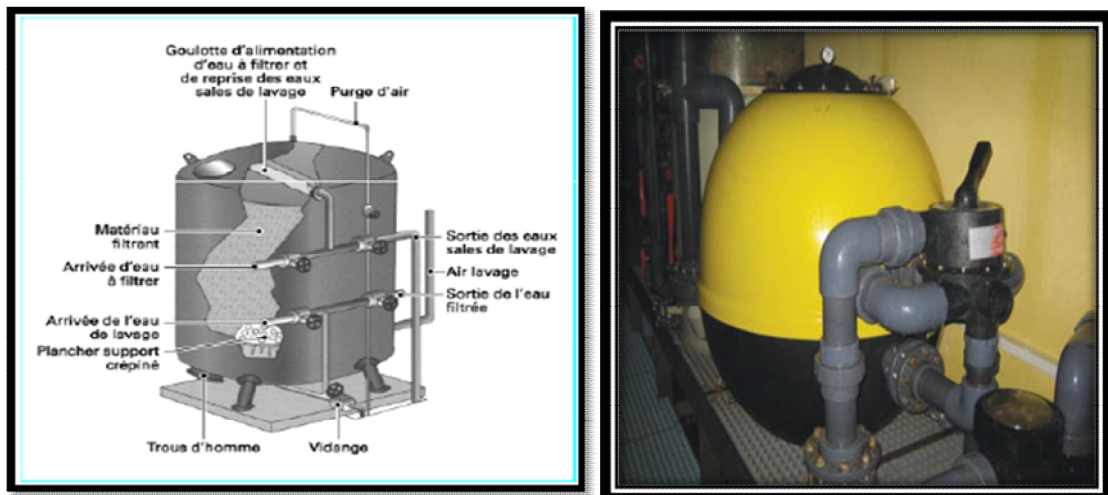


Figure III.12 : Filtres sous pression [92].

X.2.3.1. Les inconvénients des filtres sous pression :

- ✓ L'addition de produits chimiques, la coagulation, la floculation et la décantation sont plus difficiles à réaliser sous pression.
- ✓ Impossible d'observer l'eau et la couche de sable lors de la filtration, ni l'efficacité des lavages et le degré d'agitation du milieu filtrant;
- ✓ La forme des filtres sous pression ne facilite pas la bonne conception d'une installation de lavage. Celle-ci pourrait garantir un bon rejet des matières éliminées (non refoulées dans des parties du filtrant);
- ✓ Il est difficile d'examiner, de nettoyer et de remplacer le sable, le gravier et les drains inférieurs des filtres sous pression;
- ✓ Le fonctionnement des filtres sous pression favorise l'aspiration ou l'injection d'eau dans le milieu filtrant à vitesse excessive [6].

X.2.4. Filtration sur charbon actif :

Le charbon actif est une substance qui depuis longtemps est utilisé pour adsorber les impuretés. Une cartouche de charbon actif peut adsorber des milliers de différents produits chimiques. La rétention de ces impuretés se fait par le phénomène d'adsorption [14].

Il y a deux types d'adsorption:

- ✓ Adsorption physique: les molécules sont retenues par les forces de Van der Waals.
- ✓ Adsorption chimique: les molécules réagissent chimiquement et forment des liaisons.

Les facteurs principaux qui influencent ce phénomène peuvent être présentés comme suit :

- ❖ le type de charbon actif ;
- ❖ la surface spécifique et la distribution et dimension des pores ;
- ❖ le temps de contact;
- ❖ les caractéristiques des substances à enlever de l'eau et le type de composé à adsorber ;
- ❖ la concentration du composé à éliminer : plus la concentration est élevée, plus la consommation de charbon augmente [125], [126].

X.2.4.1. Charbon actif en grains (CAG) :

Le charbon actif en grain ou en granulés CAG est formé de particules de 0,5 à 10 mm. Développant une surface importante de l'ordre de 600 à 1 500 m²/g en fonction de son degré d'activation. Il est utilisé sous forme de lits filtrants. Les filtres à CAG peuvent être installés :

- ✓ Soit à la place des filtres à sable : « filtration sur CAG en premier étage » (rôles simultanés de clarification et d'affinage) ;
- ✓ Soit après une filtration rapide sur sable : « filtration sur CAG en deuxième étage » (rôle d'affinage principalement, de beaucoup préférable pour l'efficacité et la durée de vie du charbon) [12].

X.2.4.2. Types des Filtres à charbon actif :

Il existe deux types de filtre à charbon actif en grains et en bloc:

- ✓ Les filtres à charbon actif en grains utilisant une cartouche remplie de granules de charbon actif. Quand l'eau passe à travers le filtre, les nombreuses granules de charbon emprisonnent les particules et retiennent les substances dissoutes dans l'eau (tels que le chlore, les métaux lourds et les composés organiques nocifs).
- ✓ Le charbon actif des filtres en bloc ne se présente pas sous forme de granules, mais se compose plutôt de particules de charbon actif qui ont été comprimées en un matériau dense à travers duquel passe l'eau. Comme les pores sont très petits et que la surface

est plutôt grande pour l'absorption des particules par le charbon, le filtre a plus de chance que les autres filtres d'emprisonner les contaminants comme les pesticides, le chlore, le plomb et l'amianté [127].

X.2.4.3. Contaminants supprimés par un filtre à charbon actif :

Le charbon actif a la propriété d'adsorber des substances en solution ou en suspension dans l'eau, et particulièrement les substances organiques, il est aussi efficace dans l'élimination du chlore résiduel [128].

Dans le but d'éliminer les mauvaises odeurs et des goûts de l'eau, il est souvent proposé un filtre à charbon actif sous forme de cartouche. Le filtre retient les particules et les colloïdes présents dans l'eau, et enlèvent ou réduisent beaucoup des produits chimiques organiques volatils ; pesticides et herbicides, le chlore, le benzène, le radon, et d'autres produits chimiques synthétiques trouvés dans l'eau. Quelques filtres à charbon actif sont modérément efficaces pour enlever les métaux lourds. En outre, les filtres à charbon actif en bloc enlèvent des particules autour de 0.5 μm , y compris le Giardia et le Cryptosporidium, la turbidité [129].

X.2.5. Filtration sur terre diatomée :

La terre diatomée qui constitue le milieu filtrant est produite à partir de dépôts naturels de diatomite, laquelle est une roche formée par des débris de diatomées, ces algues brunes unicellulaire, microscopiques, qui croissent dans les eaux douces ou salées, et dont la membrane est entourée d'une couche siliceuse (Figure III.15), [130].

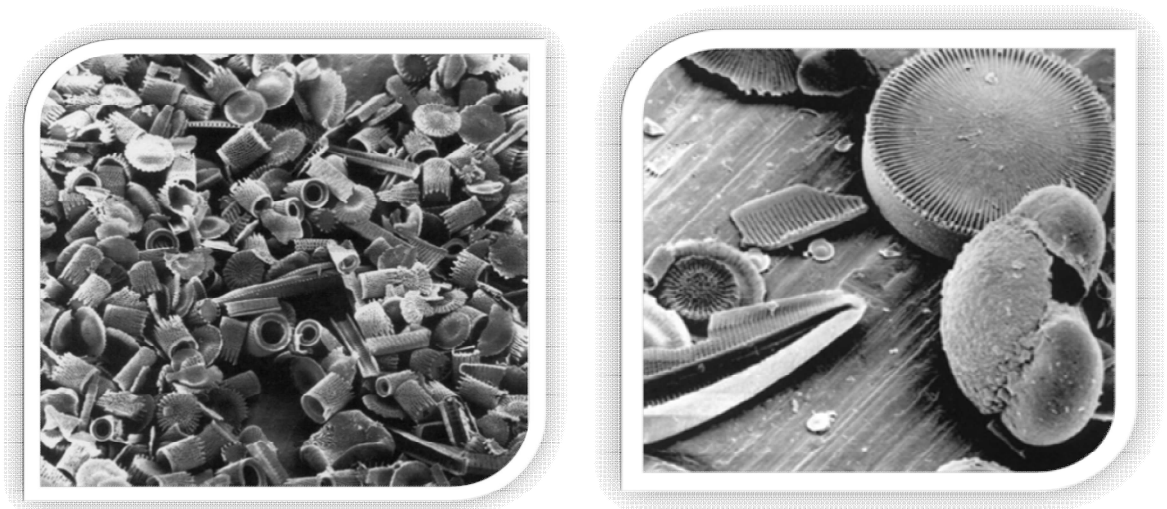


Figure III.13 : les diatomées [114].

Après leur traitement, les diatomées forment une poudre blanche ou rose d'une extrême porosité. La poudre de diatomite est utilisée pour filtrer l'eau et d'autres utilisations. Son pouvoir de coupure se situe entre 0.8 à 4 μm , entre les systèmes de filtration membranaires (0.1 à 1.5 μm) et les systèmes de filtration sur sable (15 à 35 μm) [131].

La filtration sur diatomées consiste à faire passer l'eau à travers une couche de terre à diatomées soutenue par un grillage fin en métal, une plaque de céramique poreuse ou un tissu synthétique reposant sur une cloison. La première couche de diatomées est habituellement complétée par une alimentation continue en diatomées.

Les vitesses de filtration habituelles sont plus faibles que pour la filtration granulaire rapide et se situent entre 1,3 et 5 m/h. Comme pour la filtration lente sur sable, les usines de filtration à diatomées bien exploitées peuvent facilement produire une eau filtrée de turbidité inférieure à 1 NTU et, dans bien des cas, inférieure à 0,1 NTU. Il a été constaté des réductions de turbidité allant de 56 % à 78 % [101], [130].

Il élimine aussi très efficacement les kystes Giardia, une élimination qui peut aller jusqu'à 99,9 % à des vitesses de filtration de 2,4 à 9,6 m/h et à des températures de 3,5 à 15°C. D'autres recherches ont montré qu'avec une quantité suffisante de diatomées et de nourrissage, l'élimination de particules radioactives de 9 μm atteignait presque toujours 99,9 % ou plus [132].

En effet, en présence d'une eau calcaire, les diatomées se surchargent très vite et bloquent la filtration. L'autre inconvénient des diatomées est qu'elles ont besoin de temps pour épurer l'eau. Au-dessus de 5 m³/h de débit, le filtre s'encrasse trop vite et se colmate. Autre inconvénient majeur : contrairement au filtre à sable qu'il suffit de laver pour retrouver l'efficacité d'origine, les filtres à diatomées nécessitent un remplacement des éléments de filtration de façon régulière.

XI. Conclusion:

La filtration est l'un des procédés les plus importantes pour compléter la chaîne de traitement. Dans ce chapitre nous avons détaillé ce procédé, sur lesquels porte spécifiquement notre étude où on a décrit certains types et les différents paramètres influençant le bon fonctionnement de ces procédés.

*Partie
expérimentale*

*Chapitre IV:
Procédure
expérimentale et les
appareillages de mesure*

CHAPITRE IV :**PROCEDURE EXPERIMENTALE ET LES APPAREILLAGES
DE MESURE****I. Introduction :**

Pour arriver aux objectifs de notre travail on utilise le pilote TE 500 pour la filtration sur support et le pilote TE 400 pour la filtration sur sable. Les essais ont été réalisés au laboratoire de traitement et d'épuration du département d'hydraulique à l'université de Tlemcen sur des eaux saumâtres turbides préparés par la dissolution de sel (5g/l) et de la bentonite avec une eau de robinet. Pour la filtration sur support les filtres utilisés sont à base de cellulose et le tissu, le sable utilisé dans la colonne de filtration issu de filtre lent de la station de filtration de bouhlo.

II. Filtration sur support :**II.1. Présentation du banc d'essai :**

Le pilote TE 500, permet l'étude de la filtration sur support ce procédé consiste à faire passer l'eau contenant des particules en suspension à travers un support (grille, membrane, toile,...). Sur lequel les particules se déposent sous la forme d'un gâteau d'épaisseur croissante. Le filtrat plus ou moins pur suivant la texture du support et les dimensions des particules traversent le support ; c'est la filtration à gâteau (Figure IV.1) [91].



Figure IV.1 : pilote TE 500 de la filtration sur support.

II.2. Objectifs principaux de l'expérimentation :

Le but de ce travail est de voir la variation de la qualité de l'eau filtré en fonction :

- Du nombre de filtre.
- De la qualité de filtre utilisé (texture du filtre).

Etude de l'influence de la concentration de la solution, de la pression et du débit d'alimentation.

II.3. Description technique de l'appareil (Figure IV.2) :**II.3.1. Construction et instrumentation du pilote TE 500:**

Le pilote de filtration TE 500 est composé essentiellement de [133]:

- Une cuve d'alimentation (1) de la suspension en PVC transparent, cylindrique d'une capacité utile de 300 l, avec une vanne de vidange de type à boisseau sphérique, tubulure de mise en suspension en PVC, tubulure d'alimentation en PVC, DN 10 et vanne d'alimentation de type à boisseau sphérique en PVC, DN 10;
- Un pompe volumétrique du circuit d'alimentation de la suspension dans le filtre presse ;
- Un débitmètre à flotteur (50/500 l/h) ;
- Manomètre à aiguille (0-1.6 bars) ;
- Variateur électronique de vitesse ;
- Canalisation d'aspiration (2) de la suspension en PVC souple, DN 16, avec vanne trois voies en « L » ;
- Canalisation de refoulement (3) de la pompe d'alimentation de la suspension en PVC souple DN 16, avec vanne trois voies en « L » ;
- Canalisation d'alimentation du filtre-pressé (4) en PVC souple DN 16, avec vanne trois voies en « T » ;
- Filtre-pressé (5), support et bac de rétention des égouttures en acier inoxydable 304 avec vanne de vidange de type à boisseau sphérique, ensemble de cadres et de plaques en polypropylène 200 x 200 mm (25 plaques) ; éléments filtrants en cellulose ;
- Canalisation d'évacuation du filtrat (6) en PVC souple, DN 16, avec vanne d'arrêt de type à boisseau sphérique ;
- Canalisation de lavage (7) avec vanne d'arrêt de type à boisseau sphérique ;
- Armoire de contrôle et de commande ;

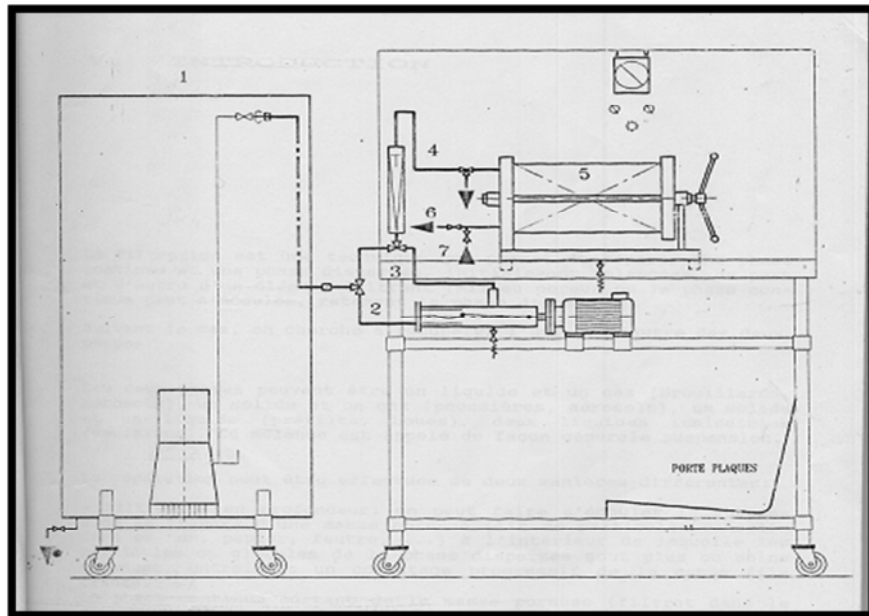


Figure IV.2 : structure du pilote de la filtration sur support TE 500 [133].

II.3.2. Listes des vannes (Figure VI.3) :

- VA1 : vanne manuelle bac d'alimentation ;
- VA2 : vanne manuelle d'alimentation eau de lavage ;
- VS1 : vanne manuelle sortie bac d'alimentation.
- VS2 : vanne manuelle sortie filtrat ;
- VS3 : vanne manuelle vidange pompe ;
- VS4 : vanne manuelle vidange bac égouttures ;
- VL1 : vanne trois voies aspiration pompe volumétrique ;
- VL2 : vanne trois voies alimentation ;
- VL3 : vanne trois voies alimentation filtre.

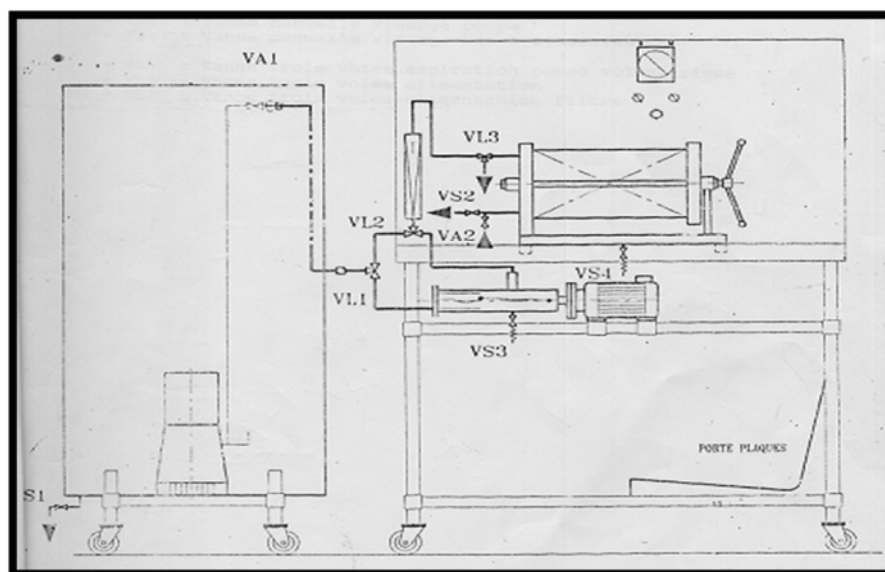


Figure VI.3 : les vannes de pilote TE 500 [133].

II. 4. Mode opératoire :

- Régler le nombre de filtre (ex : on utilise 6 filtres) ;
- Mettre en route le pilote ;
- Remplir la cuve d'alimentation de 200L ;
- Mettre en marche la pompe de mise en suspension d'alimentation par son bouton « arrêt / marche » sur la position marche ;
- Peser votre quantité de B.C.I et de sel ;
- Introduire cette pesée dans la cuve d'alimentation lentement ;
- Ouvrir la vanne VA1 ;
- La vanne VL1 (L orienté en bas) ;
- La vanne VL2 (L orienté à gauche) ;
- Positionner la vanne d'alimentation du filtre-presse VL3 de manière à alimenter celui-ci (T inversé) ;
- Mettre en marche la pompe d'alimentation de la suspension par son bouton « arrêt / marche » sur la position marche ;
- Régler la valeur de la pression d'alimentation du filtre presse (P1) avec le variateur de vitesse de la pompe volumétrique ;
- Noter la valeur du débit d'alimentation (Q1) ;
- Augmenter la pression d'alimentation ;
- Noter à nouveau la valeur du débit d'alimentation ;
- Répéter l'opération en augmentant chaque fois la pression et on noter les différents valeurs de débit ;
- Arrêter la pompe d'alimentation de la suspension ;
- Arrêter la pompe de mise en suspension de l'alimentation ;
- Augmenter le nombre de filtre (ex : 8 filtres) pour la même concentration ;
- Répéter l'opération précédent (chaque fois en augmente le nombre de filtre) ;
- Arrêter la pompe d'alimentation de la suspension ;
- Arrêter la pompe de mise en suspension de l'alimentation ;
- Vidanger et nettoyer la cuve d'alimentation ;
- Remplir à nouveau la cuve de d'eau propre ;
- Peser une autre quantité de bentonite et de sel ;
- Introduire cette pesée dans la cuve d'alimentation ;

- Répéter l'opération précédent, chaque opération on augmente la concentration de d'argile et sans oublier de changer le nombre de filtre.

II.5. Procédure générale de lavage :

- Arrêter la pompe d'alimentation de la suspension ;
- Arrêter la pompe de mise en suspension de l'alimentation ;
- Vidanger la cuve d'alimentation de la suspension avec la vanne VS1 ;
- Lorsque cette cuve est vide, il convient de la laver soigneusement ;
- Ouvrir la vanne d'alimentation générale d'eau dans cette cuve ;
- Laver celle-ci avec le tuyau souple d'alimentation d'eau ;
- Vidanger la cuve de manière à éliminer la plus grosse partie des produits insolubles encore présents ;
- Fermer la vanne de vidange de la cuve VS1 lorsque celle-ci est propre ;
- Continuer à remplir la cuve avec de l'eau propre ;
- Mettre en marche la pompe de mise en suspension de l'alimentation, lorsque le niveau d'eau propre est suffisant, pendant quelques minutes, de manière à nettoyer les circuits internes de la pompe ainsi que la cuve par brassage ;
- Arrêter la pompe de mise en suspension de l'alimentation ;
- Fermer la vanne d'alimentation générale d'eau dans la cuve d'alimentation de la suspension ;
- Vidanger à nouveau la cuve de manière à éliminer les produits insoluble encore présents dans cette cuve ;
- Fermer la vanne de vidange de la cuve VS1 lorsque celle-ci est propre ;
- Remplir alors la cuve d'eau propre à moitié de volume ;
- Mettre en marche la pompe de mise en suspension de l'alimentation ;
- Positionner la vanne d'alimentation du filtre presse VL3 de manière à éliminer l'eau de lavage à l'égout (T inversé) ;
- Régler la vitesse de rotation de manière à avoir un petit débit d'eau de lavage ;
- Positionner la vanne d'alimentation du filtre presse VL3 de manière à éliminer l'eau de lavage à l'égout (T orienté à gauche) ;
- Lorsque cette eau de lavage des circuits d'alimentation de la suspension du filtre est propre, il convient d'arrêter la phase de nettoyage ;
- Arrêter la pompe d'alimentation de la suspension ;

- Arrêter la pompe de mise en suspension ;
- Vidanger l'eau de lavage contenue dans la cuve par sa vanne VS1 ;
- Fermer la vanne VS1 ;
- Nettoyer le bac à égouttures du filtre presse ;
- Fermer la vanne de vidange du bac à égoutture du filtre presse VS4 ;
- Vidanger la pompe d'alimentation de la suspension par sa vanne de vidange VS3 ;
- Fermer la vanne VS3.

III. Filtration sur sable :

III.1. Présentation du banc d'essai :

Le pilote TE 400 est un appareil envisagé pour l'étude de la filtration sur sable, l'expérimentation consiste à faire passer l'eau contenant des particules en suspension à travers un milieu poreux (une colonne de sable) où les particules ayant des diamètres supérieurs aux pores du sable, se déposent en permettant à l'eau d'être filtrée et d'être clarifiée (Figure IV.4) [7].



Figure IV.4 : pilote TE 400 de la filtration sur sable.

III.2. Objectifs principaux de l'expérimentation :

Les objectifs principaux des expériences que nous avons menées se résument par les points suivants:

1. Etude granulométrique de sable utilisé dans la colonne de filtration;
2. Etude de la filtration gravitaire sur sable on fixant la quantité du sel et de la bentonite ajouté à l'eau et on variant le débit de filtration;
 - L'évolution des pertes de charges selon le temps;
 - Analyse physico-chimique.

III.3. Description technique de l'appareil (figure IV.5) :**III.3.1. Construction et instrumentation du pilote TE 400 :**

Le pilote de filtration TE 400 est composé essentiellement de [134]:

- Une cuve d'alimentation de la suspension (1) en PVC transparent, cylindrique d'une capacité utile de 140 l avec une vanne de vidange de type à boisseau sphérique en PVC et joint d'étanchéité en viton, DN 10;
- Deux robinets manuelle de réglage, un pour le réglage du débit d'entrée VR₂ et l'autre pour le réglage du débit de sortie ou filtrat VR₁. Les deux vannes sont de type à membrane, en PVC et membrane en viton, DN 10;
- Colonne contenant le média filtrant en altuglas (2), diamètre intérieur de 100 mm, hauteur de 1000 mm, sable de filtration, et deux grilles de supportage et d'arrêt de sable en laiton d'une maille de 0.5 mm;
- Charpente de supportage (3) en tube carrés en acier inoxydable 304 L;
- Multitubes piézométriques de mesure de la pression dans la colonne du filtre à différente hauteur (4), en altuglas, diamètre 8 mm, hauteur 500mm;
- Débitmètre à flotteur du circuit de sortie du filtrat de la colonne (5), en PVC transparent, DN 10; échelle variable de 20 à 200l/h avec une précision de plus ou moins 5%;
- Pompe d'alimentation de la suspension composée d'un corps et d'aubages (6) en PVC, d'un débit de 10 m³/h pour une pression de 7.5 m de colonne d'eau, moteur électrique monophasé, 220 v, 50 Hz, 207 A, un filtre à panier à l'aspiration de la pompe;

III.3.2. Listes des vannes (Figure IV.5) :

- VA1 : vanne manuelle d'isolation collecteur multi-manomètre;
- VA2 : vanne manuelle d'arrêt pompe à vélo multi-manomètre;
- VA3 : vanne manuelle d'arrêt retour bac alimentation;

- **VA4** : vanne manuelle d'arrêt mise à l'atmosphère;
- **VD1** : vanne manuelle de distribution haute filtre;
- **VD2** : vanne manuelle de distribution basse filtre ;
- **VR1** : vanne manuelle de réglage sortie filtrat;
- **VR2** : vanne manuelle de réglage entrée suspension [134].

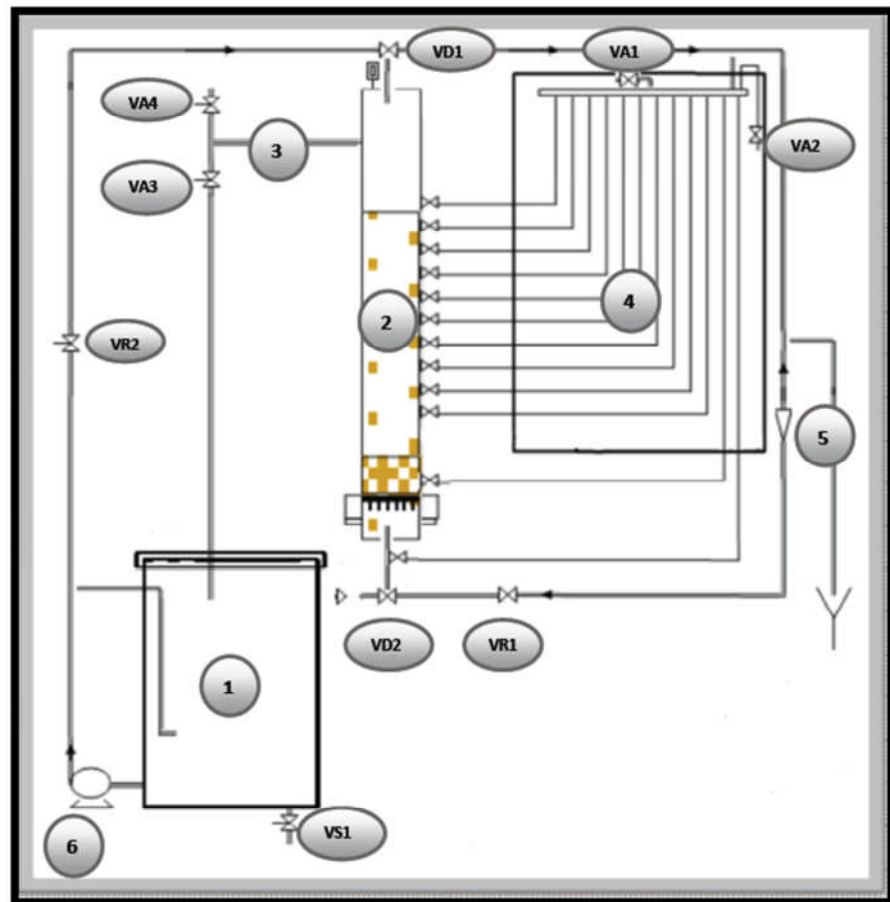


Figure IV.5 : structure du pilote de la filtration sur sable TE 400 [7].

III.4. Mode opératoire :

III.4.1. Filtration gravitaire :

- Mettre en route le pilot;
- Remplir la cuve d'alimentation de l'appareil jusqu'à un niveau de 200l;
- Préparer une solution à partir du sel et de B.C.I, sèche et propre. Celle-ci ne doit pas présenter des produits solides en suspension de masse très importante;
- Mettre en marche la pompe d'alimentation par son bouton « arrêt / marche » sur la position marche ;
- Introduire sous l'agitation la précédente suspension du sel et de B.C.I ;
- Maintenir l'agitation pendant 10 minutes;

- Attendre la dissolution totale de la suspension ;
- Remettre en marche la pompe d'alimentation de la suspension, tout en s'assurant que la suspension est exempte de produits solides ayant des volumes très importants au risque de voir le filtre s'encrasser très rapidement.
- Positionner la vanne de distribution basse de la colonne de filtration VD2 de manière à éliminer le liquide sortant de la colonne par le bas (L orienté à droite);
- Positionner la vanne de distribution haute de la colonne de filtration VD1 de manière à alimenter le liquide dans la colonne par le haut (L orienté à gauche) ;
- Ouvrir la vanne d'isolation VA1 de manière à relier à l'air libre toutes ces prises de pression ;
- Fermer la vanne d'arrêt VA2 ;
- Ouvrir la vanne d'arrêt du retour de la suspension vers le bac d'alimentation VA3 ;
- Ouvrir la vanne d'arrêt de mise à l'atmosphère de la colonne de filtration VA4 ;
- Le débit de filtration est réglé à 50, 100, 150 et à 200 l/h.
- Noter toutes les 03 minutes les niveaux dans les tubes piézométriques, en maintenant tout au long de la manipulation, le même niveau d'eau dans la colonne de filtration à l'aide de la vanne de réglage VR2 et le même débit à l'aide de la vanne VR1;
- Preneur des échantillons du filtrat tous les 3 min pour faire les analyses physicochimiques (TUR, conductivité, pH, T).
- Lorsque le filtre commence à s'encrasser, il faudrait régler la vanne VR1 de manière à maintenir le débit de soutirage du filtrat constant;
- Noter les niveaux dans les tubes piézométriques et le débit d'alimentation jusqu'à ce que le filtre soit complètement colmaté : la vanne de réglage VR1 est entièrement ouverte et le débit de soutirage du filtrat chute jusqu'à devenir nul;
- Lorsque toutes les mesures ont été prises, la manipulation est finie, il convient donc d'arrêter le pilote et faire un lavage du filtre.

III.4.2. Procédure générale de lavage :

- Fermer les vannes de réglage de sortie du filtrat VR1 et du débit d'alimentation des suspensions VR2;
- arrêter la pompe d'alimentation de la suspension par son bouton «arrêt/marche » sur la position « arrêt »;
- Vidanger la cuve d'alimentation de la suspension avec la vanne VS2;

- Fermer la vanne d'isolation du collecteur de prise de pression VA₁ de manière à empêcher le jaillissement de l'eau lors de la phase de lavage;
- Fermer la vanne d'arrêt de la pompe à vélo sur le collecteur de prises de pression VA₂;
- Positionner la vanne de distribution basse de la colonne de filtration VD₂ de manière à alimenter la colonne par le bas (L orienté à gauche);
- Positionner la vanne de distribution haute de la colonne de filtration VD₁ de manière à évacuer l'eau de lavage par le haut (L orienté à droite);
- Fermer la vanne d'arrêt du retour de la suspension vers le bac d'alimentation VA₃;
- Fermer la vanne d'arrêt de mise à l'atmosphère de la colonne de filtration VA₄ ;
- Ouvrir la vanne d'alimentation générale d'eau de lavage de manière à alimenter la colonne;
- Vérifier que l'eau monte bien lentement dans les tubes de prise de pression de la colonne de filtration;
- Si les produits filtrés ne s'évacuent pas bien, il convient d'augmenter le débit d'alimentation d'eau de lavage du média filtrant;
- Lorsque le produit filtré a été éliminé, il convient de vidanger la colonne de filtration;
- Fermer la vanne d'alimentation générale d'eau de lavage;
- Positionner la vanne de distribution basse de la colonne de filtration VD₂ de manière à éliminer le liquide contenu dans la colonne par le bas (L orienté à droite);
- Ouvrir la vanne d'isolation du collecteur de prises de pression VA₁;
- Ouvrir la vanne de réglage de débit de sortie du filtrat VR₁;
- Ouvrir la vanne d'arrêt de mise à l'atmosphère de la colonne de filtration VA₄;
- Laisser vidanger la colonne par gravité;
- Laver la cuve d'alimentation de la suspension avec de l'eau propre afin d'éliminer toute trace de sel et de l'argile;
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation de la suspension VS₂;
- Fermer la vanne de réglage de sortie du filtrat VR₁;
- Fermer la vanne d'isolation du collecteur de prises de pression VA₁;
- Fermer la vanne d'arrêt de mise à l'atmosphère de la colonne de filtration VA₄;
- Positionner la vanne de distribution basse de la colonne de filtration VD₂ de manière à alimenter la colonne par le bas (L orienté à gauche);
- Ouvrir la vanne d'alimentation générale d'eau de lavage de manière à alimenter la colonne;

- Vérifier que L'eau monte bien lentement dans les tubes de prise de pression de la colonne de filtration;
- Lorsque la colonne est à nouveau remplie d'eau propre, la colonne est prête pour une nouvelle manipulation;
- Fermer la vanne d'alimentation générale d'eau de lavage;
- Ouvrir la vanne d'arrêt du collecteur des prises de pression VA1 de manière à relier à l'air libre toutes ces prises de Pression;
- Ouvrir la vanne d'arrêt de mise à l'atmosphère de la colonne de filtration VA4;
- Fermer la vanne d'arrêt du retour de la suspension vers le bac d'alimentation VA3;
- Positionner la vanne de distribution basse de la colonne de filtration VA2 de manière à éliminer le filtrat de la colonne par le bas (L orienté à droite);
- Positionner la vanne de distribution haute de la colonne de filtration VD1 de manière à alimenter la colonne par le haut (L orienté à gauche);
- Ouvrir la vanne d'arrêt de la pompe à vélo sur le collecteur de prises de pression VA2.

IV. Mode opératoire des appareils d'analyse physico-chimique:

IV.1. Mesure de la turbidité :

La turbidité est la mesure de l'aspect plus ou moins trouble de l'eau, est un indice de la présence de particules en suspension dans l'eau. Techniquement, la turbidité correspond à la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée ou absorbée par des particules. Les unités de mesure sont les UTN (unités de turbidité néphélométriques) [103].

❖ Les étapes d'analyse:

1. Étalonner, vérifier et régler les appareils, en unités de turbidité ;
2. Les cuvettes doivent être propres et exemptes de dépôt, de tache, de buée ou de marque susceptibles d'affecter le faisceau lumineux.
3. Agiter l'échantillon et remplir dans une cuvette jusqu'au trait (environ 30 ml) en prenant soin de manipuler la cuvette par la partie supérieure. Boucher la cuvette.
4. Tenir la cuvette par le bouchon et essuyer la surface extérieure au moyen d'un tissu doux afin de ne pas laisser de film gras.
5. Placer la cuvette dans le puits de mesure et fermer le capot.
6. Les résultats sont exprimés en UTN (unités de turbidité néphélométrique) et sont affichés directement par l'appareil.

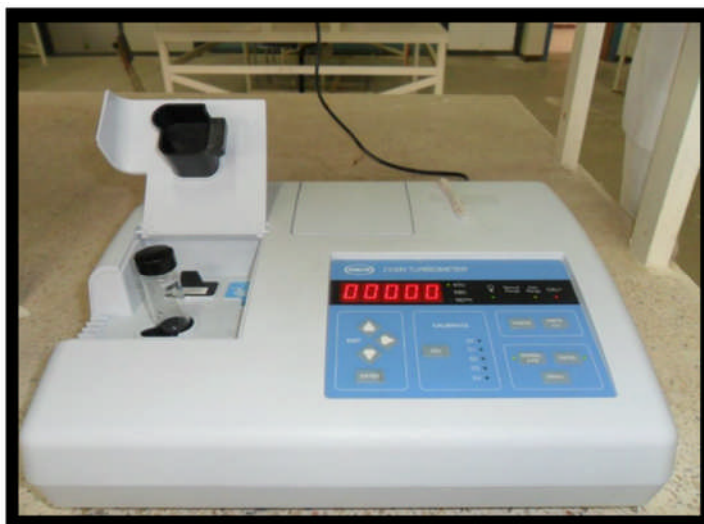


Figure IV.6 : Turbidimètre (2100N).

IV.2. Mesure du pH:

❖ Les étapes d'analyse:

1. Rincer plusieurs fois à l'eau distillée la sonde de mesure;
2. Introduire la sonde dans l'échantillon et la lecture sera faite après stabilisation de la valeur du pH.



Figure IV.7 : les pH-mètres.

IV.2. Mesure de la conductivité :

La mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique. Le conductimètre est composé d'une cellule de conductimétrie à électrodes de graphite, reliée à un boîtier de mesure. Ce boîtier mesure l'intensité et la tension du courant traversant la solution, et calcule automatiquement sa conductivité en $S.cm^{-1}$.

❖ Les étapes d'analyse:

1. Mesurer la température de l'échantillon et régler le bouton du potentiomètre sur cette dernière.
2. Plonger la sonde dans l'échantillon à mesurer.
3. Lire la valeur de la conductivité affichée sur l'écran.

Il existe trois (03) échelles pour la mesure de la conductivité :

- 0 – 199.9 $\mu S/cm$
- 0 – 1999 $\mu S/cm$
- 0 – 19990 $\mu S/cm$

Si la valeur de la conductivité affichée est plus élevée que l'échelle sélectionnée, il faut passer à une échelle supérieure.



Figure IV.8 : les conductimètres.

IV.4. La température :

Les appareils de mesure de la conductivité ou de pH possèdent généralement un thermomètre intégré, ou lire l'indication sur l'échelle lorsque la colonne de mercure devient constante.

Chapitre V :
Résultats et
interprétations

CHAPITRE V :**RESULTATS ET INTERPRETATIONS****I. Introduction :**

Le travail par la filtration sur support et la filtration sur sable est effectué sur une eau salée et turbide préparé au laboratoire à partir des variations de la concentration de la bentonite et une seule concentration de sel. Après les essais sur les pilotes différents analyses physico-chimique sont faites au niveau de laboratoire de Sekkak.

II. La filtration sur support :**II.1. Etude expérimentale de la filtration sur support :**

Notre étude est basée sur deux variables :

- 1) Variation en fonction de nombre de filtre, ces filtres sont réalisés à base de cellulose.
- 2) Variation en fonction de type de filtre (nombre des couches de tissu).

La concentration de sel : $C_S = 5 \text{ g/l}$;

C_B : concentration de la bentonite (g/l) ;

Q : débit (l/h) ;

P : pression (bar).

Le rendement (R) de la filtration est calculé comme suite : $R (\%) = \frac{TUR \text{ avant} - TUR \text{ après}}{TUR \text{ avant}} \cdot 100$ (V.1)

II.1.1. les filtres seuls :

Dans cette manipulation nous avons choisis le filtre seul et on fixant la concentration de sel à 5 g/l, on faisant varier le nombre de filtre avec la variation de la concentration de bentonite.

Tableau V.1 : les valeurs de débits du filtre seul.

C_B (g/l)	0.1 (g/l)					0.2 (g/l)				
P(bar)	Q_6	Q_8	Q_{10}	Q_{12}	Q_{14}	Q_6	Q_8	Q_{10}	Q_{12}	Q_{14}
0.2	180	190	220	260	300	180	195	215	260	310
0.4	220	230	250	300	330	225	225	250	310	340
0.5	260	300	285	340	350	270	310	290	350	380
0.6	300	350	320	385	410	295	360	330	380	430
0.8	350	395	390	405	450	350	400	405	400	490
C (g/l)	0.4 (g/l)					0.6 (g/l)				
P(bar)	Q_6	Q_8	Q_{10}	Q_{12}	Q_{14}	Q_6	Q_8	Q_{10}	Q_{12}	Q_{14}
0.2	201	200	220	280	310	200	210	225	270	320
0.4	220	230	260	320	350	230	240	260	320	350
0.5	265	325	300	360	390	270	320	300	380	390
0.6	280	350	350	400	450	300	380	350	420	450
0.8	360	400	440	420	500	370	400	410	490	500

II.1.2. Une couche de tissu + un nombre de filtre :

Pour cette manipulation nous avons choisis autre type, on utilise une couche de tissu + un nombre de filtre, et pour chaque concentration de bentonite on variant le nombre des filtres.

Tableau V.2 : les valeurs de débits (une couche de tissu + un nombre de filtre).

C (g/l)	0.1 (g/l)					0.2 (g/l)				
P(bar)	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄
0.2	190	200	240	280	295	180	200	251	290	300
0.4	220	230	260	310	345	215	220	265	330	340
0.5	280	295	290	350	360	290	290	275	370	370
0.6	300	320	235	390	420	310	340	340	400	450
0.8	360	390	400	410	450	370	370	420	450	500
C (g/l)	0.4 (g/l)					0.6 (g/l)				
P(bar)	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄
0.2	200	210	255	290	310	210	220	250	300	330
0.4	230	250	270	350	370	250	270	275	350	390
0.5	300	300	300	390	460	315	360	305	400	450
0.6	320	360	350	420	495	370	390	360	460	500
0.8	390	400	410	490	500	410	420	440	500	500

II.1.3. Deux couches de tissu + un nombre de filtre :

Pour cette opération on utilise deux couches de tissus+ un nombre de filtre. Même démarche que les deux manipulations précédentes.

Tableau V.3 : les valeurs de débits (deux couches de tissu + un nombre de filtre).

C (g/l)	0.1 (g/l)					0.2 (g/l)				
P(bar)	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄
0.2	210	270	295	310	365	205	295	290	320	380
0.4	270	340	400	385	420	260	345	350	370	420
0.5	320	420	440	460	475	310	390	400	450	460
0.6	380	460	480	495	490	375	470	450	490	490
0.8	440	480	495	500	500	445	495	490	500	500
C (g/l)	0.4 (g/l)					0.6 (g/l)				
P(bar)	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄
0.2	200	210	420	445	430	230	250	280	300	350
0.4	240	270	455	475	465	275	350	390	450	400
0.5	290	315	495	490	472	300	400	420	470	460
0.6	310	350	500	500	490	385	430	460	485	490
0.8	365	395	500	500	500	400	470	485	490	500

II.1.4. Quatre couches de tissu + un nombre de filtre :

Pour cette opération on utilise quatre couches de tissu + un nombre de filtre.

Tableau V.4 : les valeurs de débits (quatre couches de tissu + un nombre de filtre).

C (g/l)	0.1 (g/l)					0.2 (g/l)				
P(bar)	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄
0.2	230	285	305	310	370	220	290	320	340	381
0.4	265	355	385	340	395	270	365	350	375	435
0.5	330	415	430	390	415	315	425	410	405	460
0.6	375	480	470	410	440	390	480	470	480	500
0.8	430	495	490	460	480	420	490	495	500	500
C (g/l)	0.4 (g/l)					0.6 (g/l)				
P(bar)	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄	Q ₆	Q ₈	Q ₁₀	Q ₁₂	Q ₁₄
0.2	220	300	320	355	380	221	320	340	370	390
0.4	285	350	360	365	440	290	360	370	465	470
0.5	315	430	400	430	470	320	390	440	490	495
0.6	390	470	480	470	500	390	460	490	500	500
0.8	420	490	490	490	500	450	490	500	500	500

II.2. La variation en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite :

Dans cette partie, la comparaison des analyses physico-chimique (la turbidité, la conductivité, le pH et la température) obtenues est faite selon la variation de la concentration de bentonite et la variation de nombre de filtre, pour chaque nombre des couches de tissu et pour une seule concentration de sel $C_s = 5\text{g/l}$ et une pression $P = 0.5$ bar.

Le but est de voir l'influence de la variation de la concentration de bentonite, la variation de nombre de filtre et le nombre des couches de tissu sur la qualité physico-chimique du filtra.

NDF = le nombre des filtres.

II.2.1. La turbidité :

Dans cette partie on a varié la concentration de la bentonite et le nombre des filtres et on a mesuré la turbidité avant et après filtration. (P = 0.5 bar)

❖ Les filtres seuls :

Tableau V.5 : l'évolution de la turbidité en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour les filtres seuls.

Variation de la TUR (NTU) pour filtres seuls								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	17.1	4.60	31.9	5.80	64.9	8.30	103	9.27
8		4.55		5.14		7.60		8.70
10		3.98		4.69		6.80		7.12
12		3.19		3.03		5.68		6.60
14		2.30		2.51		4.69		6.15

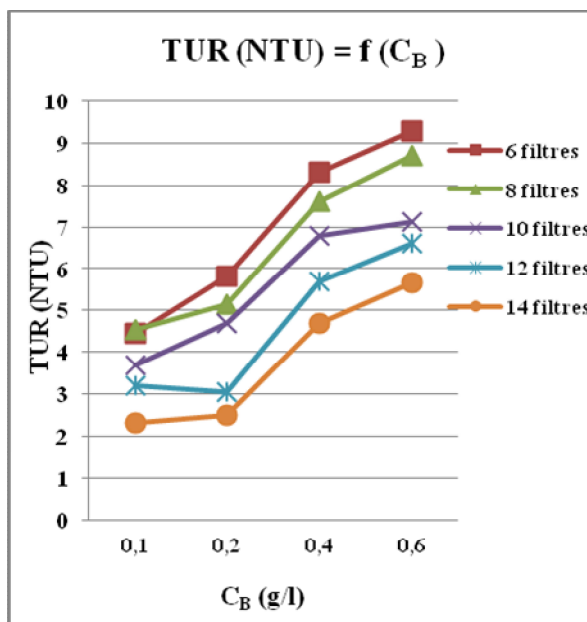


Figure V.1 : l'évolution de la turbidité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (les filtres seuls).

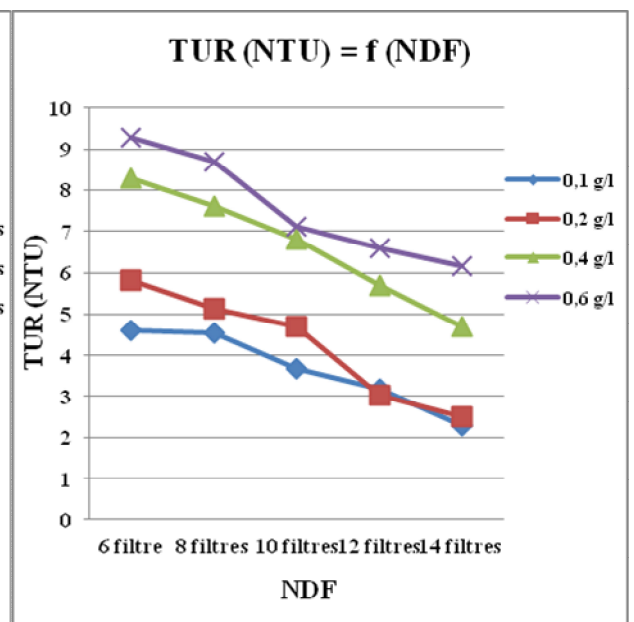


Figure V.2 : l'évolution de la turbidité en fonction de nombre de filtre (NDF) (les filtres seuls).

Tableau V. 6: le rendement en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour les filtres seuls.

Rendement (%) après filtration								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	17.1	73.10	31.9	81.81	64.9	87.21	103	91.00
8		73.89		83.88		88.28		91.55
10		76.72		85.29		89.52		93.08
12		81.35		90.50		91.24		93.59
14		86.55		92.13		92.77		94.02

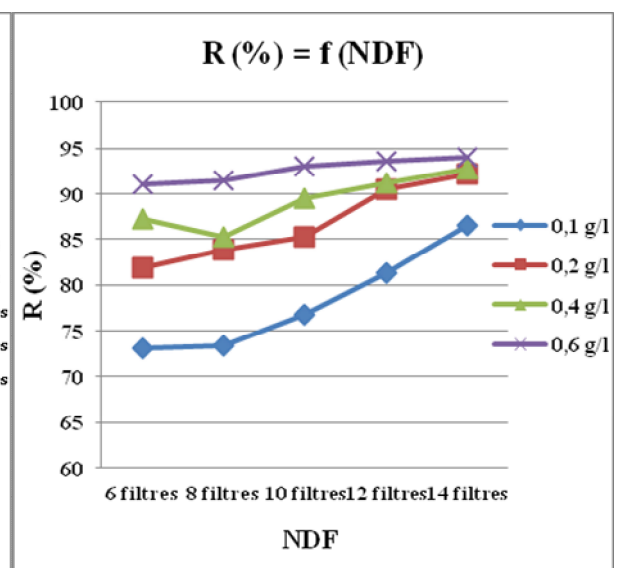
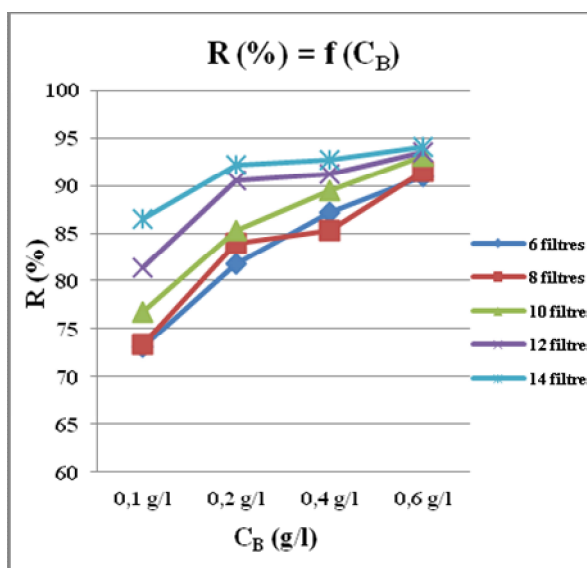


Figure V.3 : le rendement $R(\%)$ en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (les filtres seuls).

Figure V.4: le rendement $R(\%)$ en fonction de nombre de filtre (NDF) (les filtres seuls).

- D'après les histogrammes des figures N° (V.1et V.2) on observe une grande différence de la turbidité entre les deux étapes avant et après filtration, elle diminue après filtration né au moins elle augmente avec l'augmentation de la concentration de bentonite.
- On faisant une comparaison entre les résultats on remarque que la turbidité diminue au fur et à mesure que le nombre des filtres augmente, on obtient des meilleurs résultats pour le nombre de filtre égal à 14, ce qui implique que le nombre des filtres joue un rôle très important pour la filtration sur support.

- Et à partir des figures N° (V.3 et V.4) on constate que plus le nombre des filtres augmente plus le rendement de filtration augmente.
- On obtient des bons résultats de la turbidité avec les faibles et les moyennes concentrations de la bentonite.

❖ Une couche de tissu + un nombre de filtre :

Pour cette partie on utilise une couche de tissu+un nombre de filtre, et pour chaque concentration de la bentonite on faisant varie le nombre de filtre.

Tableau V.7 : l'évolution de la turbidité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour une couche de tissu + un nombre de filtre.

Variation de la TUR (NTU) pour une couche de tissu + un nombre de filtre								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	17.1	4.51	31.9	6.80	64.9	7.46	103	8.76
8		3.90		4.86		7.05		7.07
10		3.25		4.36		6.11		6.58
12		2.60		3.11		5.36		6.20
14		2.01		2.12		4.12		5.35

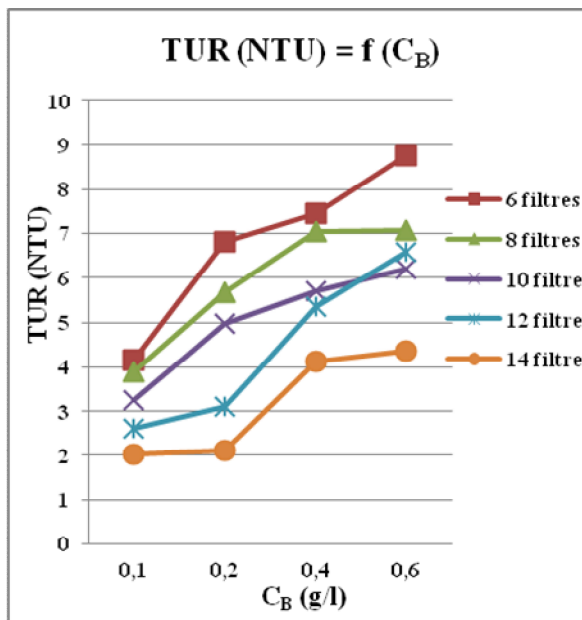


Figure V.5 : l'évolution de la turbidité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (une couche de tissu+un nombre de filtre).

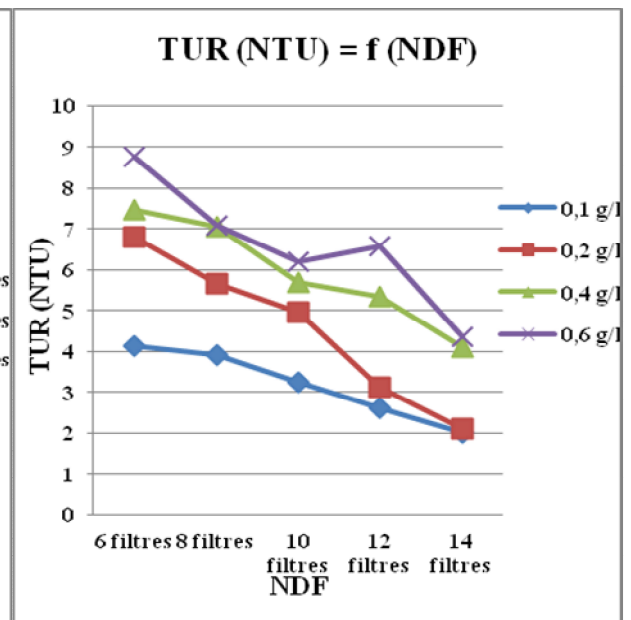


Figure V.6 : l'évolution de la turbidité en fonction de nombre de filtre (NDF) (une couche de tissu+un nombre de filtre).

Tableau V.8 : le rendement en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour (une couche de tissu+un nombre de filtre).

Rendement (%) après filtration								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	17.1	75.73	31.9	78.68	64.9	88.50	103	91.49
8		77.19		84.76		89.13		93.13
10		80.99		86.33		91.23		93.98
12		84.79		90.25		91.74		93.61
14		88.24		93.35		93.65		94.80

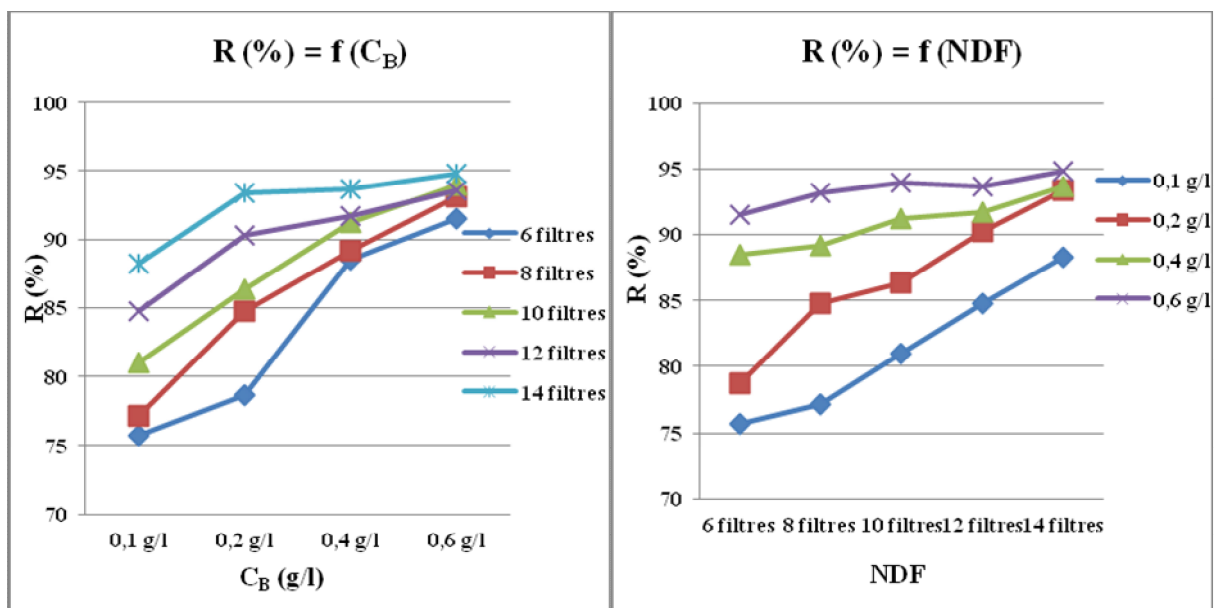


Figure V.7 : le rendement en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (une couche de tissu+un nombre de filtre).

Figure V.8 : le rendement en fonction de nombre de filtre (NDF) (une couche de tissu+un nombre de filtre).

- D'après les figures N° (V.5 et V.6) on constate que la turbidité décroît quand le nombre des filtres augmente.
- On faisant une comparaison entre les figures N° (V.1 et V.2) et les figures N° (V.5 et V.6) :
 - ✓ Nous remarquons que la turbidité diminue pour les deux types de filtration, mais la turbidité après une filtration d'une couche de tissu+un nombre de filtre et plus faible que celle du même nombre des filtres seuls.

❖ deux couches de tissu + un nombre de filtre :

Tableau V.9 : l'évolution de la turbidité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour deux couches de tissu + un nombre de filtre.

Variation de la TUR (NTU) pour deux couches de tissu+un nombre de filtre								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	17.1	3.58	31.9	6.12	64.9	6.78	103	7.30
8		3.09		4.76		6.02		6.78
10		2.90		3.98		5.56		5.24
12		2.12		2.97		4.70		5.17
14		1.60		2.06		3.60		4.47

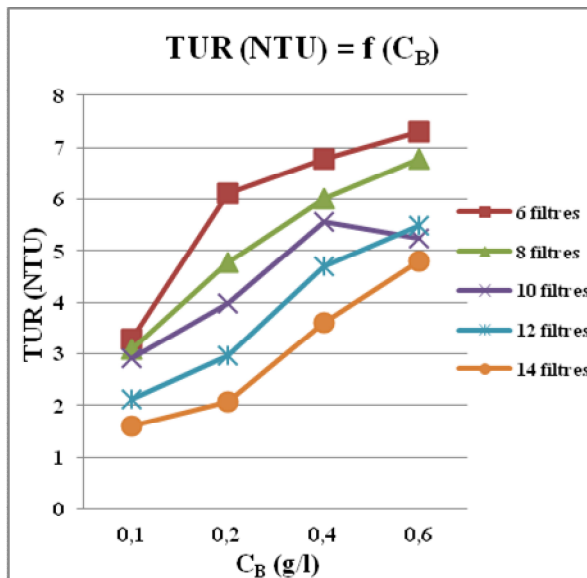


Figure V.9 : l'évolution de la turbidité en fonction de la concentration de la bentonite C_B (Deux couches de tissu + un nombre de filtre).

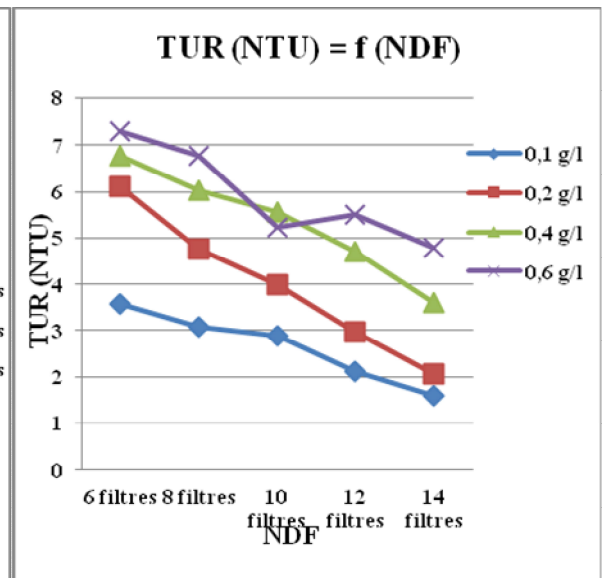


Figure V.10 : l'évolution de la turbidité en fonction de nombre de filtre NDF (Deux couches de tissu + un nombre de filtre).

Tableau V. 10: le rendement en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour deux couches de tissu + un nombre de filtre.

Rendement (%) après filtration								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	17.1	80.82	31.9	80.82	64.9	89.55	103	92.91
8		81.93		85.08		90.72		93.41
10		83.04		87.52		91.43		94.91
12		87.60		90.69		92.76		94.66
14		90.64		93.54		94.45		95.33

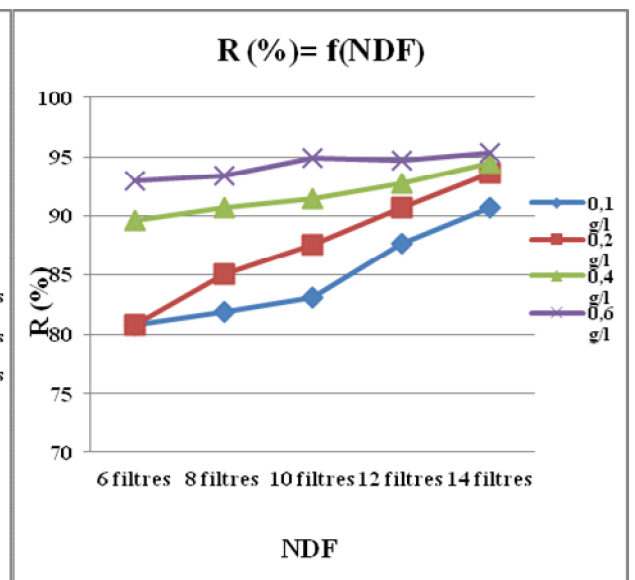
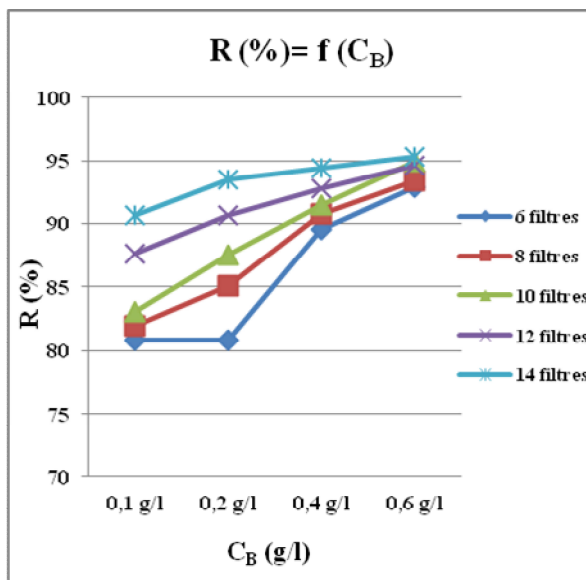


Figure V.11: le rendement (R%) en fonction de la concentration de la bentonite (CB) (deux couches de tissu + un nombre de filtre).

Figure V.12: le rendement (R%) en fonction de nombre de filtre NDF (deux couches de tissu + un nombre de filtre).

- Les figures N° (V.9 et V.10) montrent que la turbidité obtenue pour deux couches de tissu+un nombre de filtre est plus faible que celle obtenue pour les filtres seuls et une couche de tissu+un nombre de filtre. Cette différence est expliquée par le faite que plus le nombre des couches de tissu augmentent sur le même nombre de filtre plus on à une faible turbidité et bonne filtration.

❖ Quatre couches de tissu + un nombre de filtre :

Tableau V.11 : l'évolution de la turbidité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour quatre couches de tissu + un nombre de filtre :

Variation de la TUR (NTU) pour quatre couches de tissu+un nombre de filtre								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	17.1	2.71	31.9	3.69	64.9	6.12	103	6.88
8		2.38		3.19		5.20		6.12
10		2.49		2.39		4.64		5.75
12		1.58		1.97		3.40		4.52
14		1.15		1.56		3.13		3.81

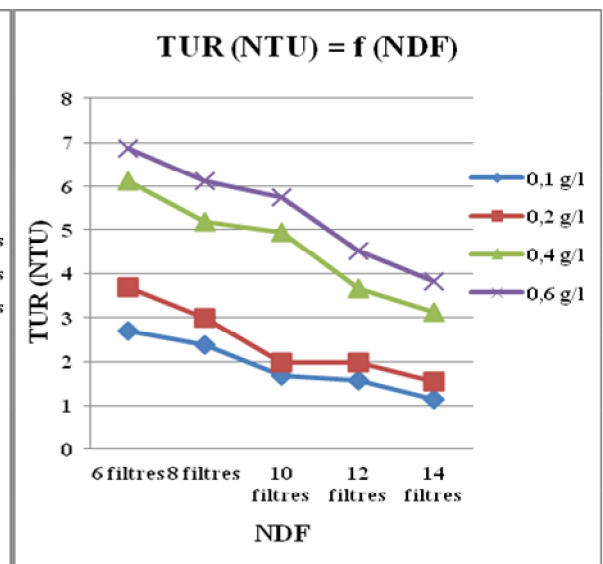
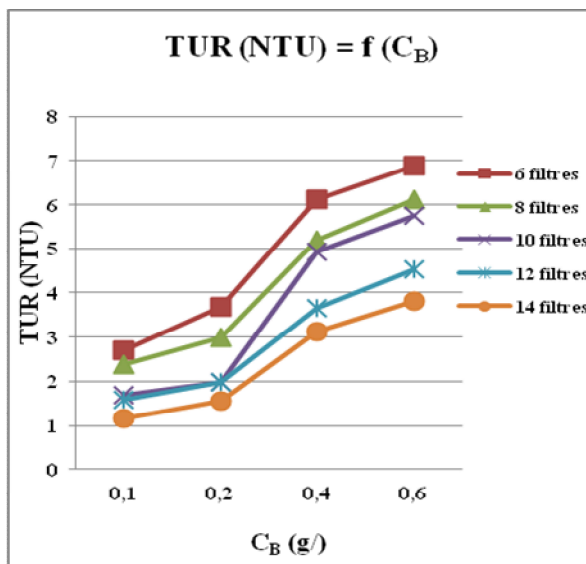


Figure V.13 : l'évolution de la turbidité en fonction de la concentration de la bentonite (quatre couches de tissu + un nombre de filtre).

Figure V.14 : l'évolution de la turbidité en fonction de nombre de filtre NDF (quatre couches de tissu + un nombre de filtre).

- En plus de ce qu'on a tiré à partir des premières figures N°(V.1 et V.2) et N°(V.5 et V.6) et N°(V.9 et V.10) et on faisant maintenant une comparaison entre les figures N°(V.1 et V.2) et N°(V.5 et V.6) et N°(V.9 et V.10) et N°(V.13 et V.14) nous constatons que la turbidité pour quatre couches de tissu+un nombre de filtre est meilleur que la turbidité des autre types, donc on confirme que :
 - ✓ La turbidité est directement proportionnelle avec la concertation de la bentonite.
 - ✓ Dans tous les cas on confirme que plus le nombre des couches de tissu augmente sur le même nombre de filtre plus la turbidité diminue.

- Et on faisant une comparaison entre les figure N° (V.3 et V.4) et N° (V.7 et V.8) et N° (V.11 et V.12) on confirme que plus le nombre des filtres et le nombre des couches des tissu augmente plus le rendement augmente.

II.2.2. Le pH :

❖ Les filtres seuls :

Tableau V.12 : l'évolution de pH en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour les filtres seuls.

Variation de pH pour filtres seuls								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	7.57	7.42	7.60	6.93	7.70	7.14	7.79	7.58
8		7.14		6.92		7.34		7.60
10		7.30		7.19		7.12		7.45
12		7.15		7.21		7.24		7.39
14		7.23		7.34		7.46		7.46

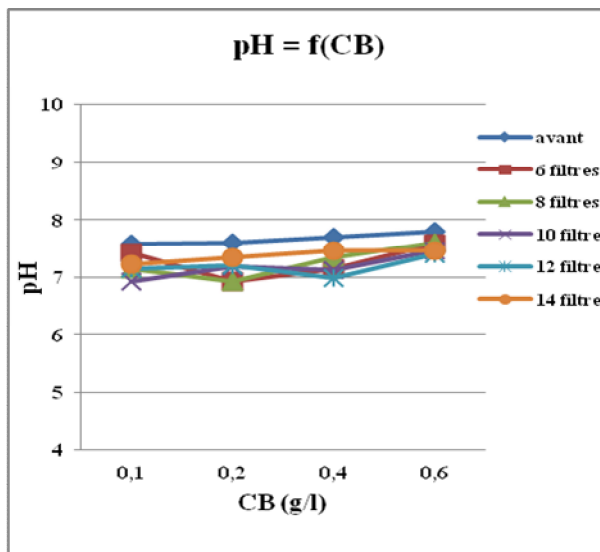


Figure V.15 : l'évolution de pH en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (les filtres seuls).

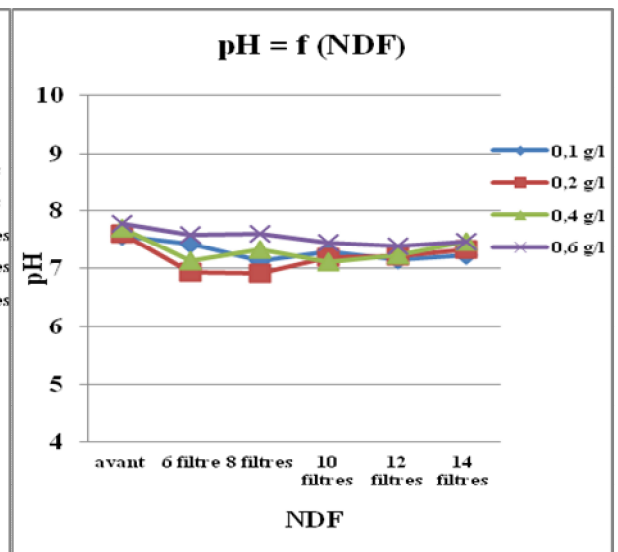


Figure V.16 : l'évolution de pH en fonction de nombre de filtre (NDF) (les filtres seuls).

- D'après les résultats trouvées et à partir des figures (V.15 et V.16) nous constatons que :
 - ✓ Quelque soit la quantité de bentonite ajouté, les solutions obtenues ont une petite variation de pH.

- ✓ Après filtration, on remarque une petite variation de pH quelque soit le nombre de filtre utilisé.

Donc l'augmentation de nombre des filtres ; ou la concentration de la bentonite n'ont pas d'influence sur le pH.

❖ Une couche de tissu + un nombre de filtre :

Tableau V.13 : l'évolution de pH en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour une couche de tissu + un nombre de filtre.

Variation de pH pour une couche de tissu + un filtre								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	7.57	7.42	7.76	7.63	7.70	7.47	7.87	7.76
8		7.62		7.70		7.55		7.66
10		7.61		7.60		7.48		7.65
12		7.60		7.55		7.62		7.75
14		7.64		7.45		7.64		7.87

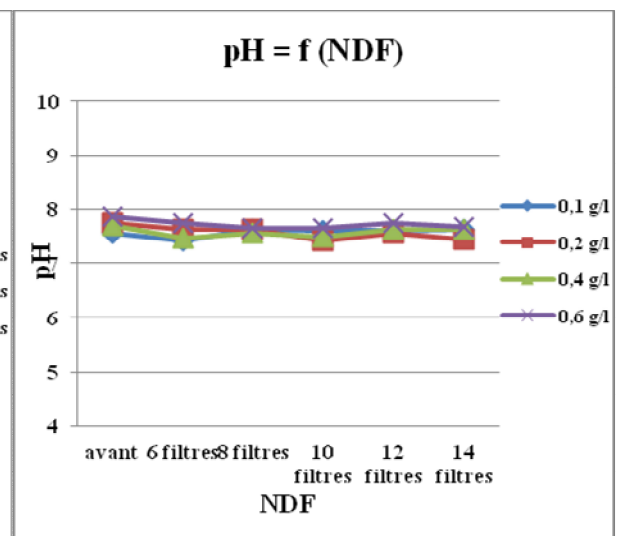
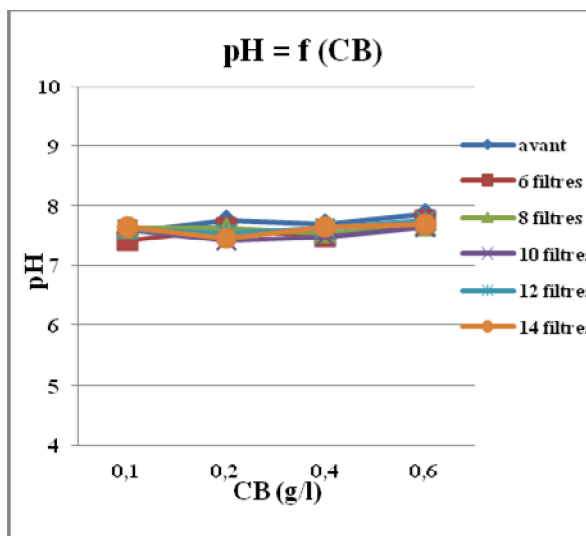


Figure V.17 : l'évolution de pH en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (1 couche de tissu + un nombre de filtre).

Figure V.18 : l'évolution de pH en fonction de nombre de filtre (NDF) (1 couche de tissu + un nombre de filtre).

- A partir des figures N° (V.17 et V.18) on constate qu'il y a une légère diminution du pH au cours de la filtration. On remarque une petite différence de pH entre les deux étapes avant et après filtration.
- On faisant une comparaison entre les figures N° (V.15 et V.16) et N° (V.17 et V.18) on constat que le pH ne change pas beaucoup avec la variation de nombre des filtres même

si on ajoute une couche de tissu. Donc une couche de tissu+ un nombre de filtre n'a pas d'influence sur le pH.

❖ Deux couches de tissu + un nombre de filtre :

Tableau V.14: l'évolution de pH en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour deux couches de tissu + un nombre de filtre.

Variation de pH pour deux couches de tissu+un nombre de filtre								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	7.63	7.42	7.75	7.58	7.86	7.59	7.88	7.71
8		7.21		7.65		7.64		7.86
10		7.51		7.66		7.72		7.72
12		7.60		7.50		7.72		7.75
14		7.50		7.42		7.86		7.78

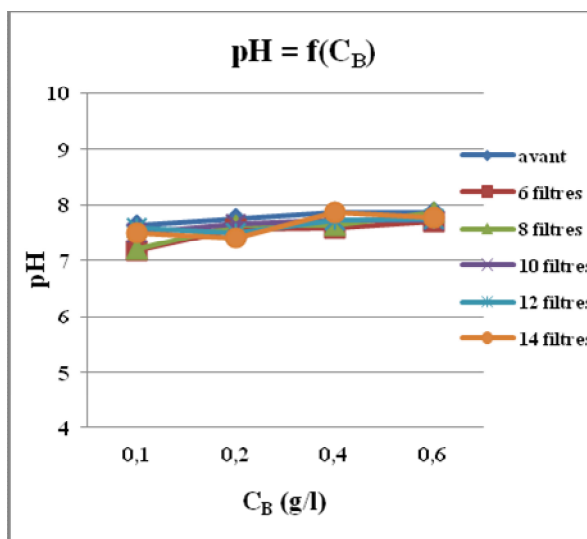


Figure V.19 : l'évolution de pH en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (2 couches de tissu + un nombre de filtre).

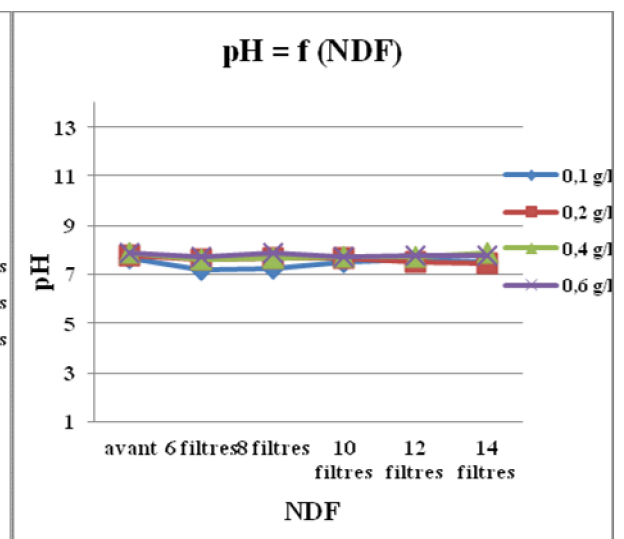


Figure V.20 : l'évolution de pH en fonction de nombre de filtre (NDF) (2 couches de tissu + un nombre de filtre).

- A partir des figures N° (V.19 et V.20) et comme pour les figures N° (V.15 et V.16) et N° (V.17 et V.18) on constate qu'il y a une légère diminution de pH après filtration. Donc la variation de nombre des filtres et de nombre de couche de tissu n'ont pas une influence sur ce paramètre.

❖ Quatre couches de tissu + un nombre de filtre :

Tableau V.15 : l'évolution de pH en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour quatre couches de tissu + un nombre de filtre.

Variation de pH pour quatre couches de tissu+un nombre de filtre								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	7.76	7.62	7.85	7.83	7.75	7.48	7.79	7.25
8		7.67		7.74		7.57		7.37
10		7.76		7.83		7.62		7.50
12		7.68		7.32		7.66		7.63
14		7.70		7.40		7.62		7.63

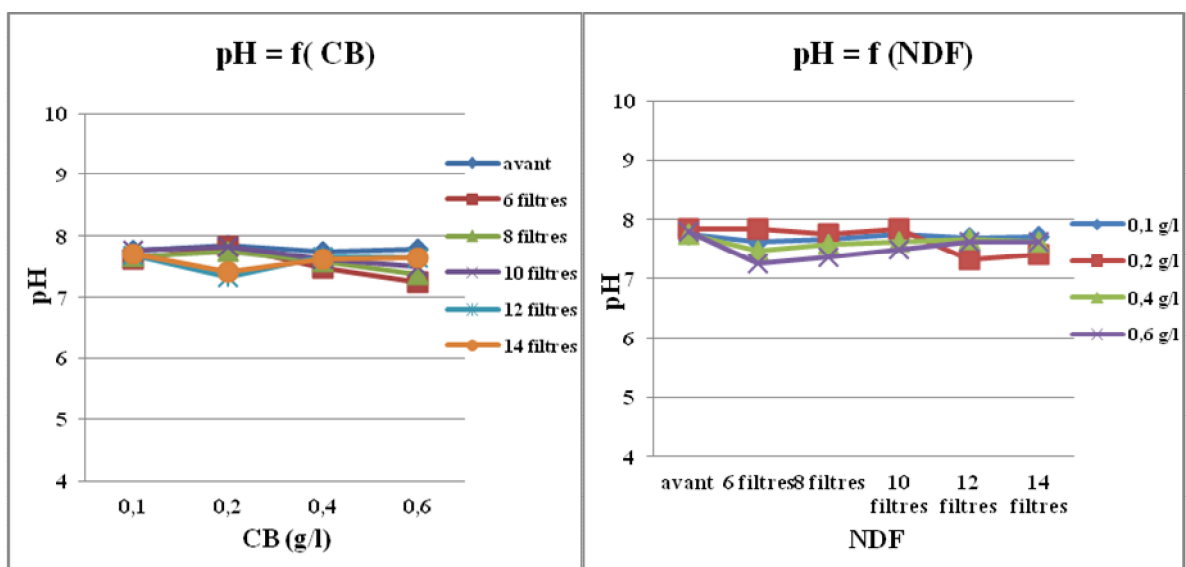


Figure V.21 : l'évolution de pH en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (4 couches de tissu + un nombre de filtre).

Figure V.22 : l'évolution de pH en fonction de nombre de filtre (NDF) (4 couches de tissu + un nombre de filtre).

- On faisant une comparaison entre toutes les figures précédentes N° (V.15 et V.16) et N° (V.17 et V.18) et N° (V.19 et V.20) et N° (V.21 et V.22) on confirme ce qu'on a dit au par avant :
 - ✓ La variation de la concentration de la bentonite n'a pas d'influence sur le pH.
 - ✓ Le pH ne varie pas beaucoup, ni entre l'avant et l'après filtration quelque soit le nombre des filtres et le nombre des couches de tissu.

Donc la filtration sur support n'a pas d'influence sur le pH.

II.2.3. La conductivité:

❖ Les filtres seuls :

Tableau V.16 : l'évolution de la conductivité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour les filtres seuls.

Variation de la conductivité (ms/cm) pour filtres seuls								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	10.53	10.23	10.40	10.33	10.30	10.20	10.45	10.20
8		10.38		10.37		10.10		10.10
10		10.48		10.31		10.25		10.10
12		10.45		10.30		10.26		10.20
14		10.34		10.38		10.28		10.00

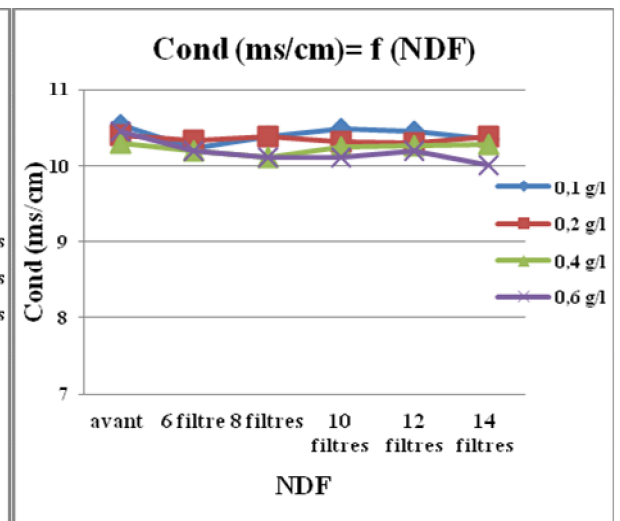
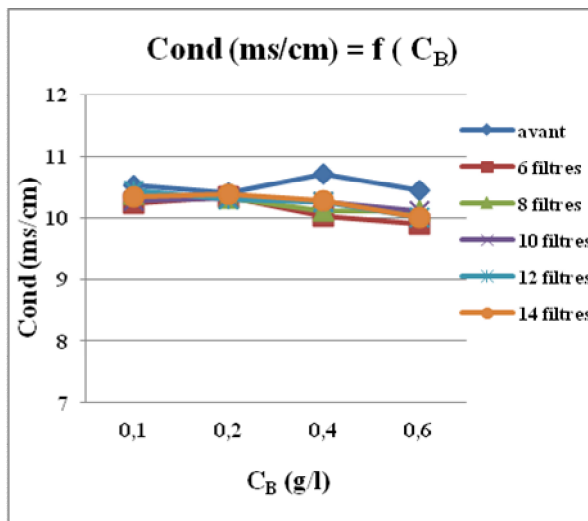


Figure V.23 : l'évolution de la conductivité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (les filtres seuls).

Figure V.24 : l'évolution de la conductivité en fonction de nombre de filtre (NDF) (les filtres seuls).

- A partir des figures N° (V.23 et V.24) on peut voir très clairement que la conductivité n'est pas proportionnelle avec la concentration de la bentonite ajouté.
- On remarque qu'il n'y a pas une grande variation de conductivité entre les deux étapes avant et après filtration.
- Quelque soit l'augmentation de nombre des filtres, la conductivité est presque la même.

❖ Une couche de tissu + un nombre de filtre :

Tableau V.17 : l'évolution de la conductivité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour une couche de tissu + un nombre de filtre.

Variation de la conductivité (ms/cm) pour une couche de tissu + un nombre de filtre								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	10.53	10.10	10.35	10.20	10.70	10.60	10.45	10.40
8		10.30		10.30		10.70		10.40
10		10.30		10.20		10.60		10.60
12		10.20		10.20		10.50		10.30
14		10.40		10.30		10.20		10.30

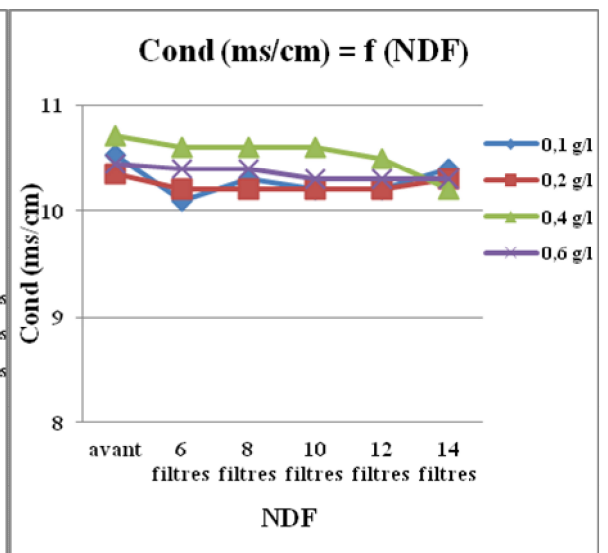
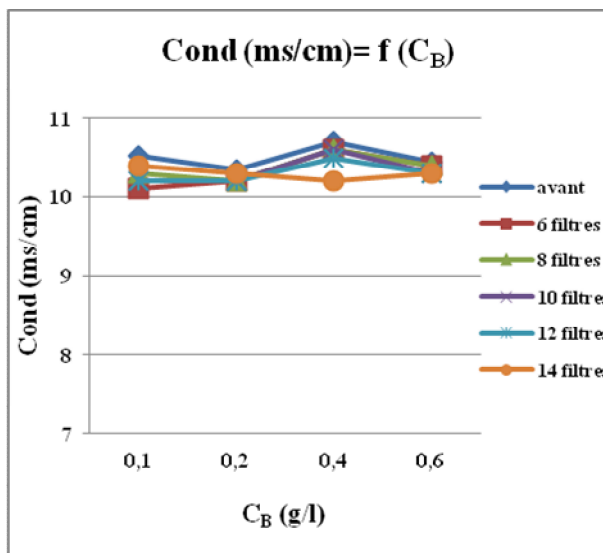


Figure V.25 : l'évolution de la conductivité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (1 couche de tissu + un nombre de filtre).

Figure V.26 : l'évolution de la conductivité en fonction de nombre de filtre (NDF) (1 couche de tissu + un nombre de filtre).

- A partir des figures N° (V.25 et V.26) on constate que la conductivité n'est pas proportionnelle avec la concentration de la bentonite ajouté. On remarque une très faible diminution de cette conductivité entre l'avant et l'après filtration.
- Une couche de tissu+un nombre de filtre et la variation de la concentration de la bentonite n'ont pas d'influence sur ce paramètre.

❖ Deux couches de tissu + un nombre de filtre :

Tableau V.18 : l'évolution de la conductivité en fonction du nombre de filtre et de la concentration de la bentonite pour deux couches de tissu + un nombre de filtre.

Variation de la conductivité (ms/cm) pour deux couches de tissu+un nombre de filtre								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.2 g/l de bentonite		0.4 g/l de bentonite		0.6 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	10.53	10.20	10.01	9.80	10.00	9.80	10.30	10.30
8		10.40		9.95		9.90		10.08
10		10.30		9.90		9.90		10.30
12		10.40		9.90		9.90		10.08
14		10.40		9.80		9.90		10.30

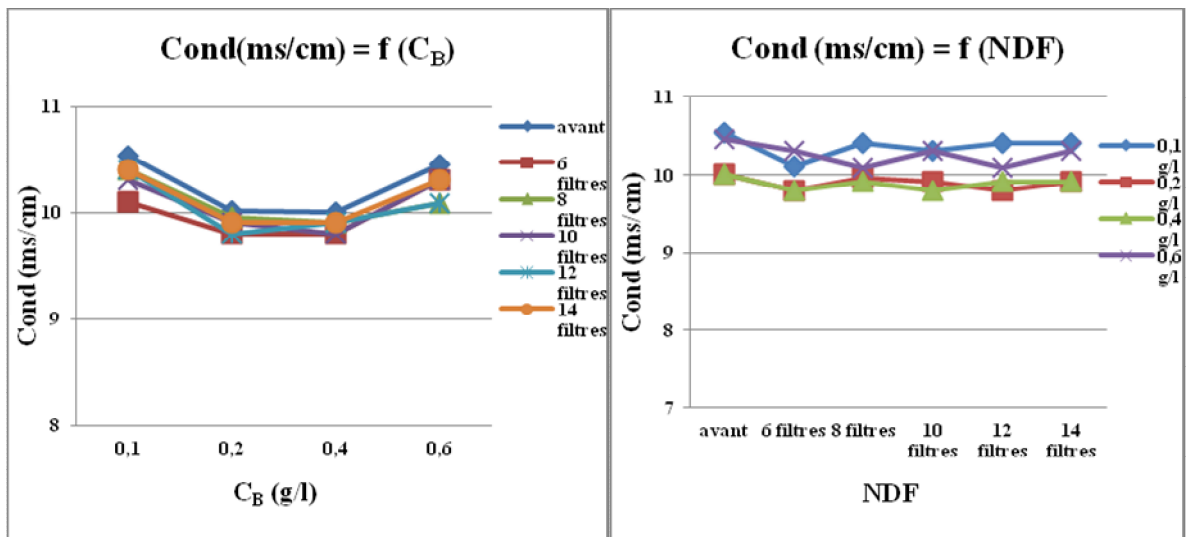


Figure V.27 : l'évolution de la conductivité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (2 couches de tissu + un nombre de filtre).

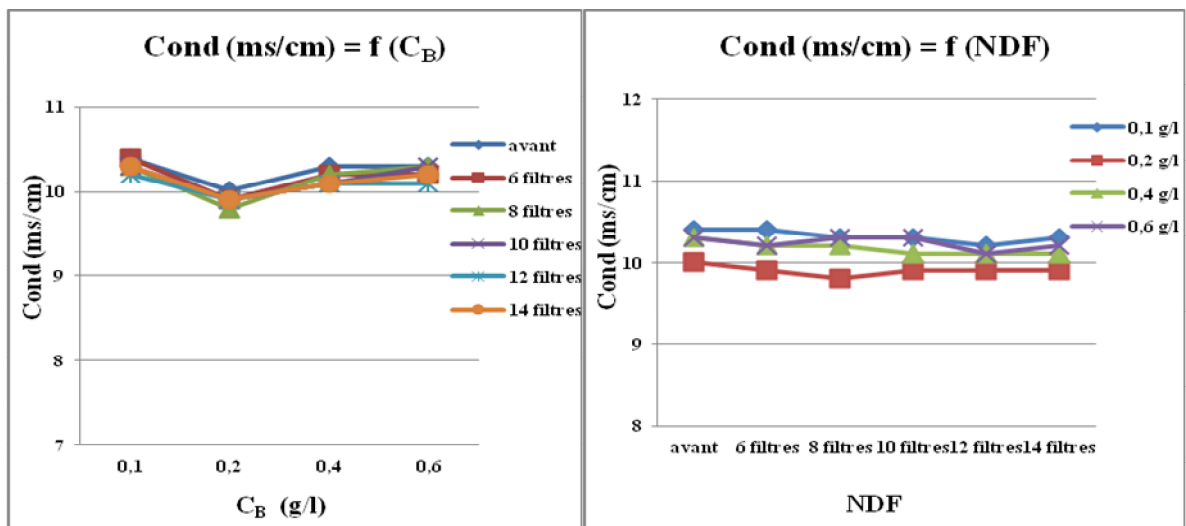
Figure V.28 : l'évolution de la conductivité en fonction de nombre de filtre (NDF) (2 couches de tissu + un nombre de filtre).

- Comme pour toutes les figures N° (V.23 et V.24) et N° (V.25 et V.26) précédents et à partir des figures N° (V.27 et V.28) on ne voit pas une grande influence de nombre des filtres et de nombre des couches de tissu sur la conductivité.

❖ Quatre couches de tissu + un nombre de filtre :

Tableau V.19 : l'évolution de la conductivité en fonction du nombre de filtre et la concentration de la bentonite pour quatre couches de tissu + un nombre de filtre.

Variation de la conductivité (ms/cm) pour quatre couches de tissu+un nombre de filtre								
NDF	0.1 g/l de bentonite		0.1 g/l de bentonite		0.1 g/l de bentonite		0.1 g/l de bentonite	
	Avant	après	Avant	après	Avant	après	Avant	après
6	10.53	10.20	10.01	9.80	10.00	9.80	10.30	10.30
8		10.40		9.95		9.90		10.08
10		10.30		9.90		9.90		10.30
12		10.40		9.90		9.90		10.08
14		10.40		9.80		9.90		10.30



SSW

Figure V.29 : l'évolution de la conductivité en fonction de la concentration de la bentonite (C_B) (4 couches de tissu + un nombre de filtre).

Figure V.30 : l'évolution de la conductivité en fonction de nombre de filtre (NDF) (4 couches de tissu + un nombre de filtre).

- En ce qui concerne la conductivité, et à partir de toutes les figures N° (V.23 et V.24) et N° (V.25 et V.26) et (V.27 et V.28) et (V.29 et V.30) on remarque une très faible diminution de la conductivité. Et on remarque aussi que les résultats trouvés dans cette étude de ce paramètre sont presque les mêmes que les résultats de filtre seules, une couche de tissu+ un nombre de filtre, deux couche de tissu+ un nombre de filtre.
- Donc on confirme que la variation de nombre des filtres, de nombre des couches de tissu et la variation de concentration de la bentonite n'ont pas d'influence sur la conductivité.

II.3. La variation en fonction de type des filtres :

Dans cette partie on a étudié la variation des paramètres physico-chimique (la turbidité, la conductivité, le pH et la température) selon le nombre des couches de tissu et cela pour chaque nombre de filtre, pour plusieurs solutions qui se varient selon la quantité de la bentonite ajouté à l'eau et une seule concentration de sel $C_S = 5 \text{ g/l}$ et pression $P = 0.5 \text{ bar}$.

II.3. 1. Turbidité :

❖ Pour 6 filtres :

Tableau V.20 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	TUR (NTU) après filtration			
	6 Filtre seul	1 couche de tissu+ 6 filtres	2 couches de tissu+ 6 filtres	4 couches de tissu+ 6 filtres
0.10	4.60	4.51	3.58	2.71
0.20	6.10	5.80	5.00	3.69
0.40	8.30	7.46	6.78	6.12
0.60	9.27	8.76	7.30	6.88

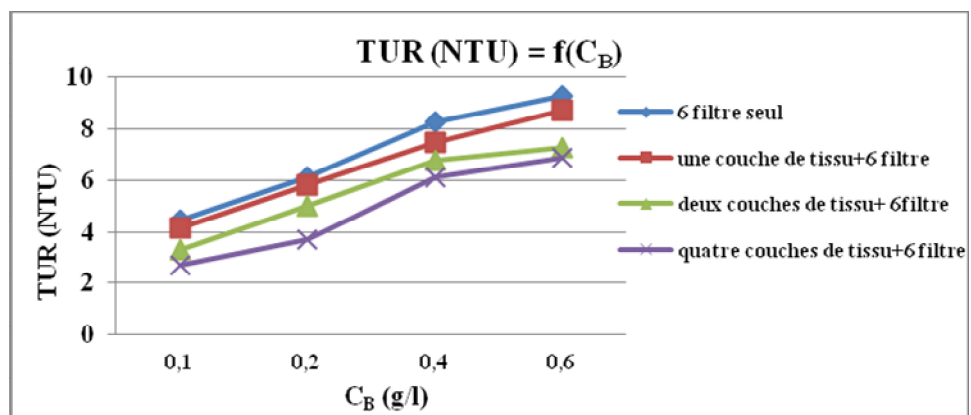


Figure V.31 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

Tableau V.21 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	R (%) après filtration			
	6 Filtre seul	1 couche de tissu+ 6 filtres	2 couches de tissu+ 6 filtres	4 couches de tissu+ 6 filtres
0.10	73.09	73.62	79.06	84.15
0.20	81.81	78.68	80.81	88.43
0.40	87.21	88.50	89.55	90.57
0.60	91.00	91.49	92.91	93.32

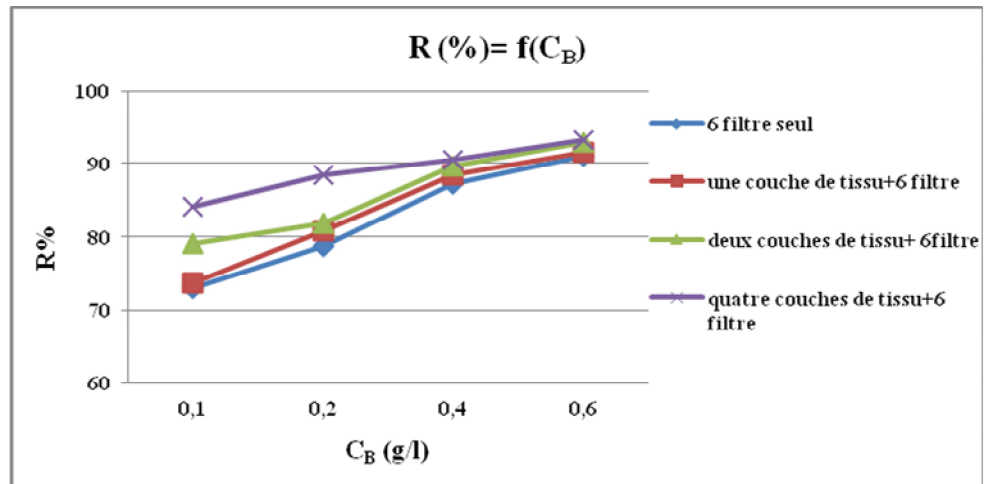


Figure V.32 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 8 filtres :

Tableau V.22 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	TUR (NTU) après filtration			
	8 Filtre seul	1 couche de tissu+ 8 filtres	2 couches de tissu+ 8 filtres	4 couches de tissu+ 8 filtres
0.10	4.55	3.90	3.09	2.38
0.20	5.14	4.86	3.71	2.99
0.40	7.60	7.05	6.02	5.20
0.60	8.70	7.08	6.78	6.12

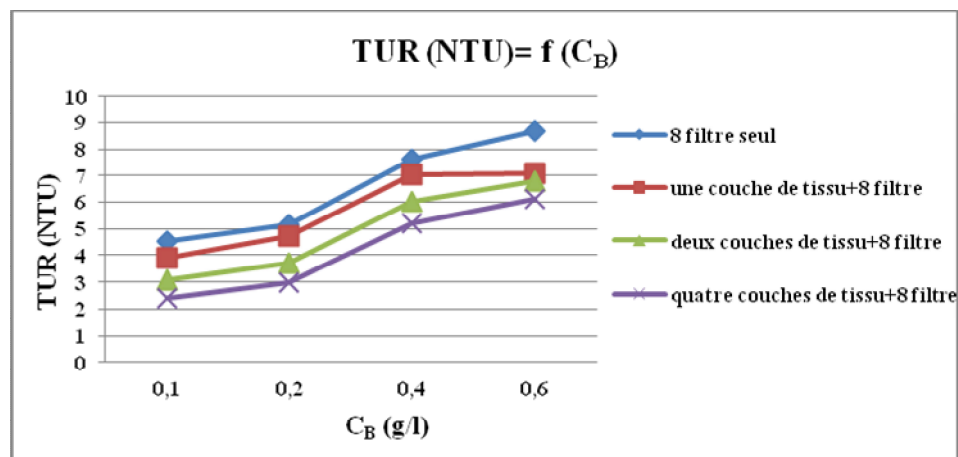


Figure V.33 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

Tableau V.23: le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	R (%) après filtration			
	8 Filtre seul	1 couche de tissu+ 8 filtres	2 couches de tissu+ 8 filtres	4 couches de tissu+ 8 filtres
0.10	73.39	77.19	81.92	86.08
0.20	82.08	84.76	88.36	90.62
0.40	88.28	89.13	90.72	91.98
0.60	91.55	92.42	93.41	94.05

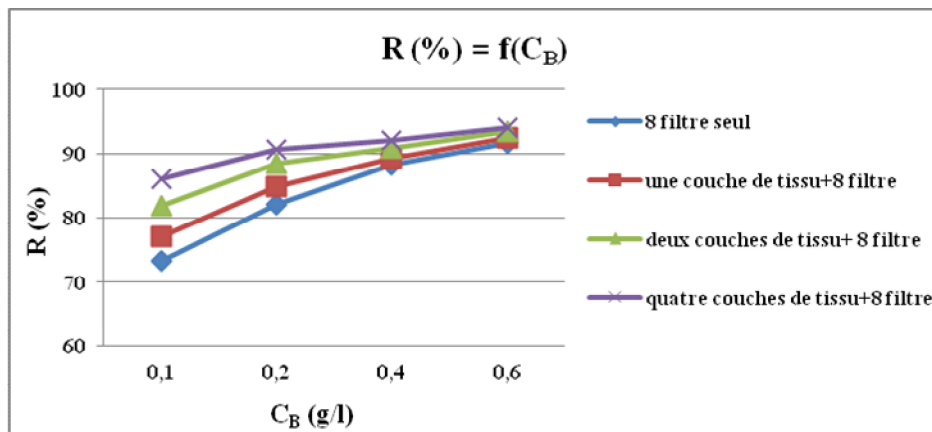


Figure V.34 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 10 filtres :

Tableau V.24: la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	TUR (NTU) après filtration			
	10 Filtre seul	1 couche de tissu+ 10 filtres	2 couches de tissu+ 10 filtres	4 couches de tissu+ 10 filtres
0.10	3.68	3.25	2.90	1.69
0.20	4.69	4.36	3.98	2.39
0.40	6.80	6.11	5.56	4.64
0.60	7.12	6.20	5.75	5.24

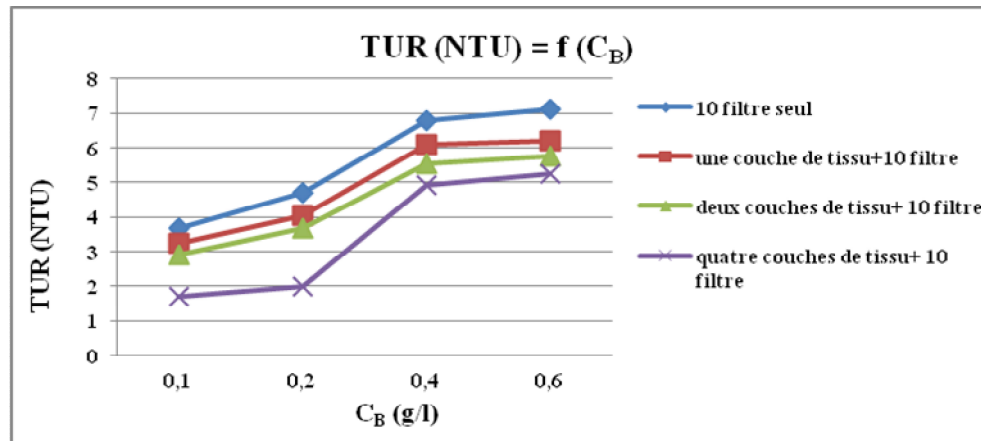


Figure V.35 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

Tableau V.25 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

TUR (NTU) après filtration				
C _B (g/l)	10 Filtre seul	1 couche de tissu+ 10 filtres	2 couches de tissu+ 10 filtres	4 couches de tissu+ 10 filtres
0.10	78.47	80.99	83.04	90.11
0.20	85.29	86.33	87.52	92.50
0.40	89.52	90.58	91.43	92.85
0.60	93.08	93.98	94.41	94.91

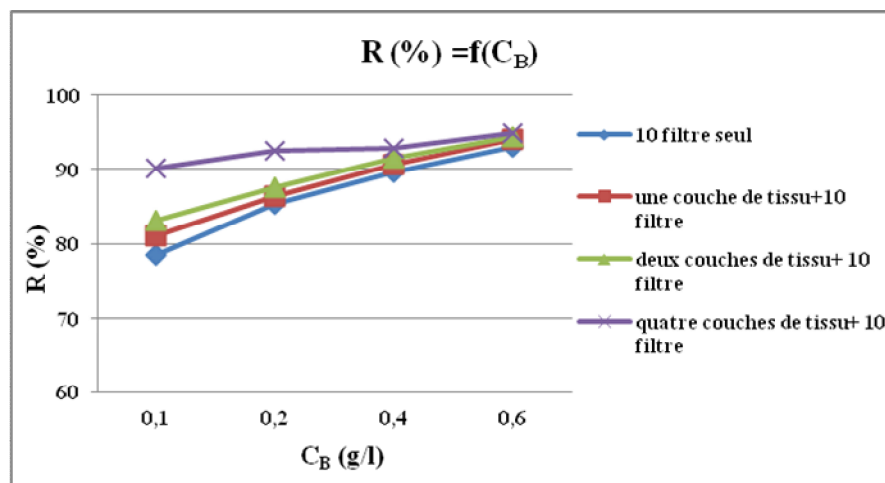


Figure V.36 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 12 filtres :

Tableau V.26 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu :

C_B (g/l)	TUR (NTU) après filtration			
	12 Filtre seul	1 couche de tissu+ 12 filtres	2 couches de tissu+ 12 filtres	4 couches de tissu+ 12 filtres
0.10	3.19	2.60	2.12	1.58
0.20	3.03	3.11	2.97	1.97
0.40	5.68	5.36	4.70	3.66
0.60	6.60	6.28	5.17	4.52

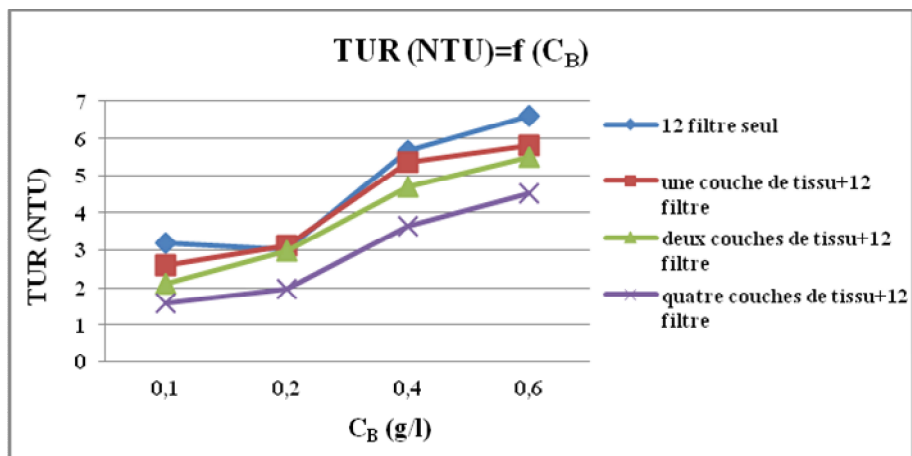


Figure V.37 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

Tableau V.27 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	TUR (NTU) après filtration			
	12 Filtre seul	1 couche de tissu+ 12 filtres	2 couches de tissu+ 12 filtres	4 couches de tissu+ 12 filtres
0.10	81.35	84.79	87.60	90.76
0.20	90.50	90.25	90.68	93.82
0.40	91.24	91.74	92.75	94.36
0.60	93.59	93.90	94.98	95.61

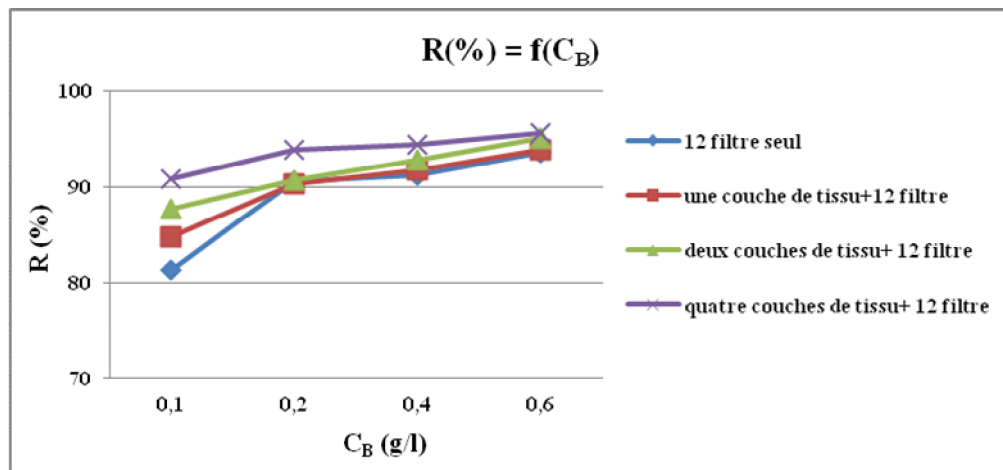


Figure V.38 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 14 filtres :

Tableau V.28 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C _B (g/l)	TUR (NTU) après filtration			
	14 Filtre seul	1 couche de tissu+ 14 filtres	2 couches de tissu+ 14 filtres	4 couches de tissu+ 14 filtres
0.10	2.30	2.01	1.60	1.15
0.20	2.51	2.12	2.06	1.56
0.40	4.69	4.12	3.60	3.13
0.60	6.15	5.35	4.47	3.81

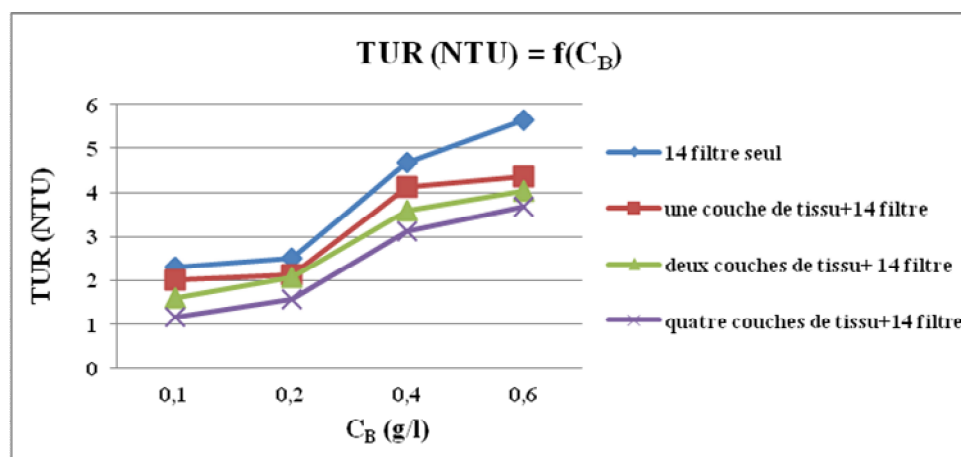


Figure V.39 : la variation de la turbidité en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu

Tableau V.29 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	TUR (NTU) après filtration			
	14 Filtre seul	1 couche de tissu+ 14 filtres	2 couches de tissu+ 14 filtres	4 couches de tissu+ 14 filtres
0.10	86.54	88.24	90.64	93.27
0.20	92.13	93.35	93.54	95.10
0.40	92.77	39.65	94.45	95.17
0.60	94.02	94.80	95.66	96.30

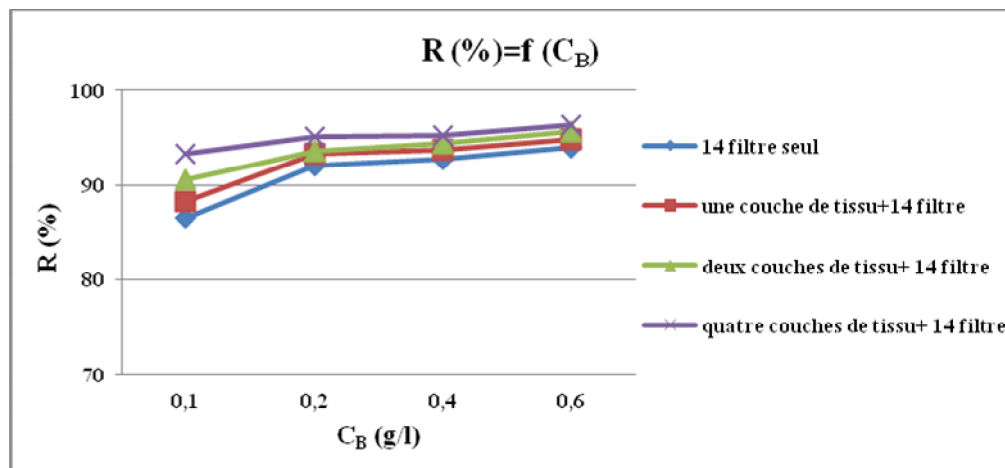


Figure V.40 : le rendement en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

- D’après les figures N° (V.31, V.33, V.35, V.37, V.39) on constate que plus la concentration de la bentonite augmente plus la turbidité du filtra augmente au cours de la filtration.
- on faisant une comparaison entre les figures et les résultats enregistré dans les tableaux on remarque que les valeurs de turbidité de quatre couche de tissu+14 filtres et meilleure par rapport au autre nombre de filtre, donc la turbidité varie en fonction de nombre de filtre et de nombre des couches de tissu et aussi selon la concentration du bentonite, plus ces deux paramètres (nombre de filtre et nombre des couches de tissu) augmente plus on a une faible turbidité et bonne filtration.
- Et à partir des figures N° (V.32, V.34, V.36, V.38, V.40) on peut confirmer que plus le nombre des filtres et le nombre des couches de tissu augmente plus le rendement de la filtration augmente.

- Donc plus la turbidité avant filtration est importante plus en augmente le nombre des filtres avec un débit et pression faible, l'utilisation des couches de tissu améliore mieux la filtration sur support.

II.3.2. Le pH :

❖ Pour 6 filtres :

Tableau V.30 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	pH après filtration			
	6 Filtre seul	1 couche de tissu+ 6 filtres	2 couches de tissu+ 6 filtres	4 couches de tissu+ 6 filtres
0.10	7.42	7.42	7.18	7.62
0.20	6.93	7.63	7.58	7.83
0.40	7.14	7.47	7.59	7.48
0.60	7.58	7.76	7.71	7.25

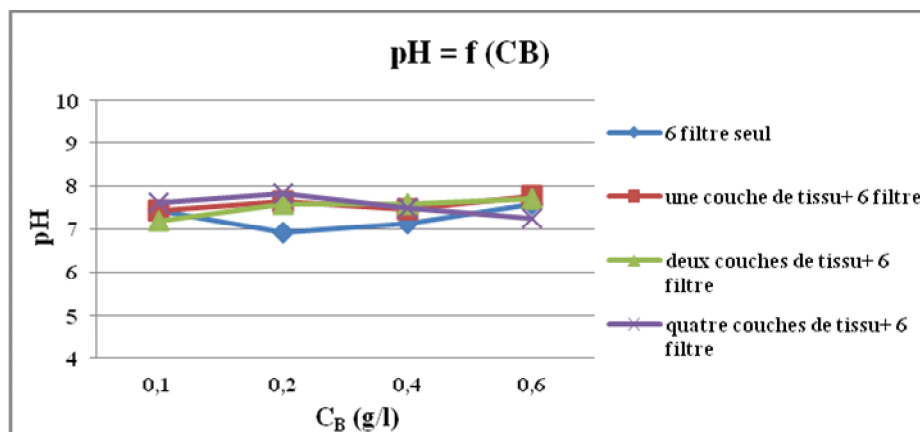


Figure V.41 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 8 filtres :

Tableau V.31 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	pH après filtration			
	8 Filtre seul	1 couche de tissu+ 8 filtres	2 couches de tissu+ 8 filtres	4 couches de tissu+ 8 filtres
0.10	7.14	7.62	7.21	7.67
0.20	6.92	7.56	7.65	7.74
0.40	7.34	7.55	7.64	7.57
0.60	7.60	7.66	7.86	7.37

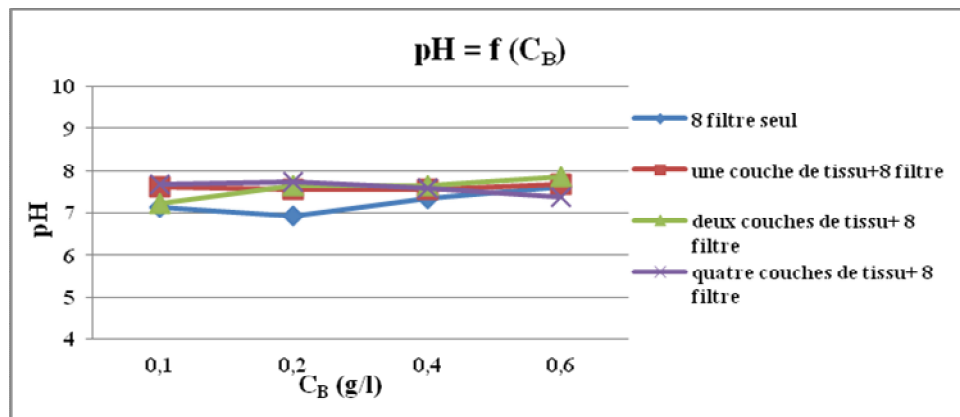


Figure V.42 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 10 filtres :

Tableau V.32 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu :

C _B (g/l)	pH après filtration			
	10 Filtre seul	1 couche de tissu+ 10 filtres	2 couches de tissu+ 10 filtres	4 couches de tissu+ 10 filtres
0.10	6.92	7.61	7.51	7.76
0.20	7.19	7.41	7.66	7.83
0.40	7.12	7.48	7.72	7.62
0.60	7.45	7.65	7.72	7.50

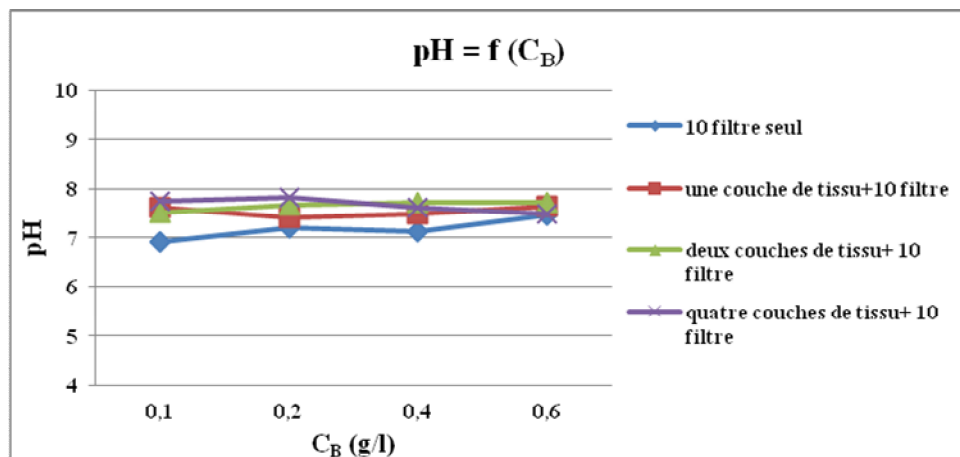


Figure V.43 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 12 filtres :

Tableau V.33: la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	pH après filtration			
	12 Filtre seul	1 couche de tissu+ 12 filtres	2 couches de tissu+ 12 filtres	4 couches de tissu+ 12 filtres
0.10	7.15	7.60	7.60	7.68
0.20	7.21	7.55	7.50	7.32
0.40	6.98	7.62	7.72	7.66
0.60	7.39	7.75	7.75	7.63

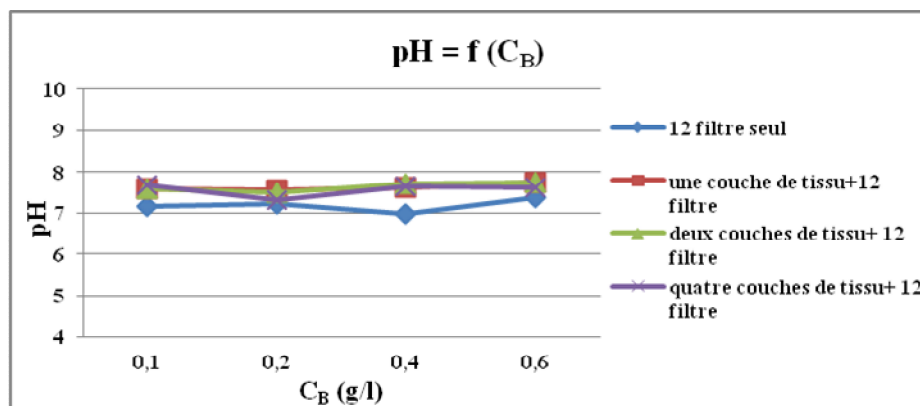


Figure V.44 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 14 filtres :

Tableau V.34 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	pH après filtration			
	14 Filtre seul	1 couche de tissu+ 14 filtres	2 couches de tissu+ 14 filtres	4 couches de tissu+ 14 filtres
0.10	7.23	7.64	7.50	7.70
0.20	7.34	7.45	7.42	7.40
0.40	7.46	7.64	7.86	7.62
0.60	7.46	7.69	7.78	7.63

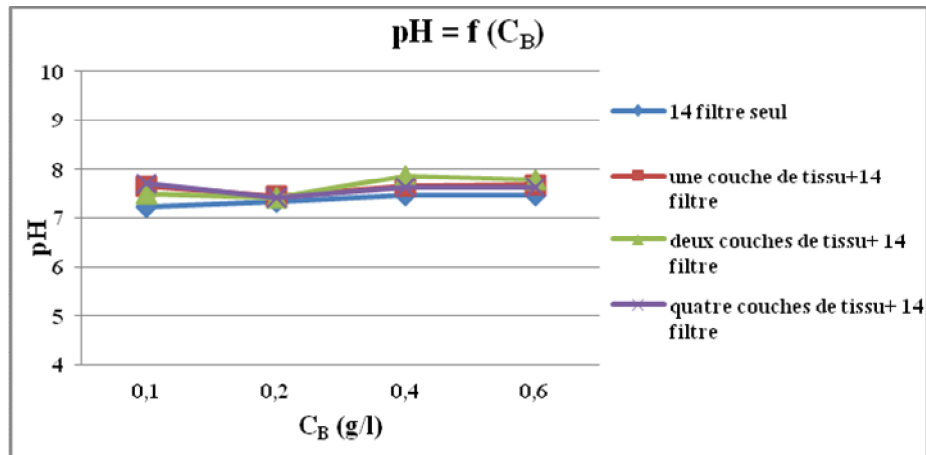


Figure V.45 : la variation de pH en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

- A partir des figures N° (V.41, V.42, V.43, V.44, V.45) et les résultats enregistré dans les tableaux on peut voir que les valeurs de pH dans les deux étapes avant et après filtration sont dans la même classe et varie dans un intervalle étroit, et la variation de ce paramètre était petit soit en fonction de nombre de filtre soit en fonction de nombre des couches de tissu.
- Donc la variation de nombre de filtre et des couches de tissu et la variation de la concentration de la bentonite n’ont pas d’influence sur ce paramètre.

II.3.3. La conductivité :

❖ Pour 6 filtres :

Tableau V.35 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C _B (g/l)	Cond (ms/cm) après filtration			
	6 Filtre seul	1 couche de tissu+ 6 filtres	2 couches de tissu+ 6 filtres	4 couches de tissu+ 6 filtres
0.10	10.23	9.90	10.10	10.40
0.20	10.33	10.20	9.80	9.90
0.40	10.02	10.60	9.80	10.20
0.60	9.90	10.40	10.30	10.20

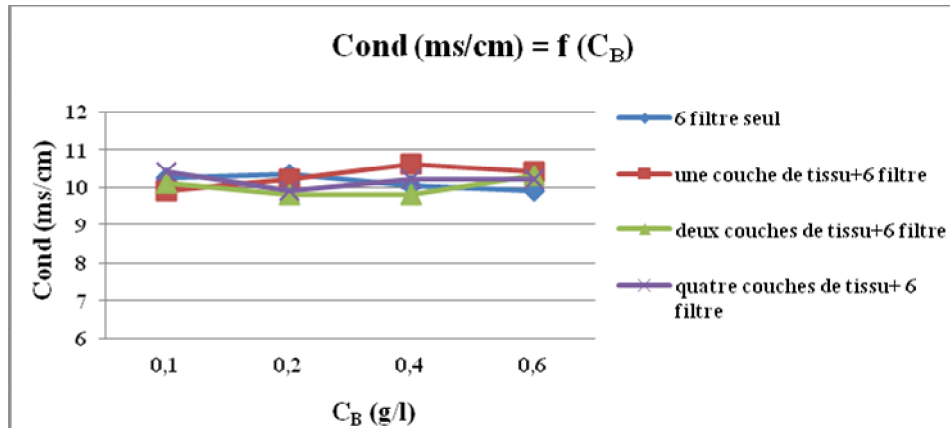


Figure V.46 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 6 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 8 filtres :

Tableau V.36 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	Cond (ms/cm) après filtration			
	8 Filtre seul	1 couche de tissu+ 8 filtres	2 couches de tissu+ 8 filtres	4 couches de tissu+ 8 filtres
0.10	10.38	10.30	10.40	10.30
0.20	10.30	10.20	9.95	9.80
0.40	10.10	10.60	9.90	10.20
0.60	10.10	10.40	10.08	10.30

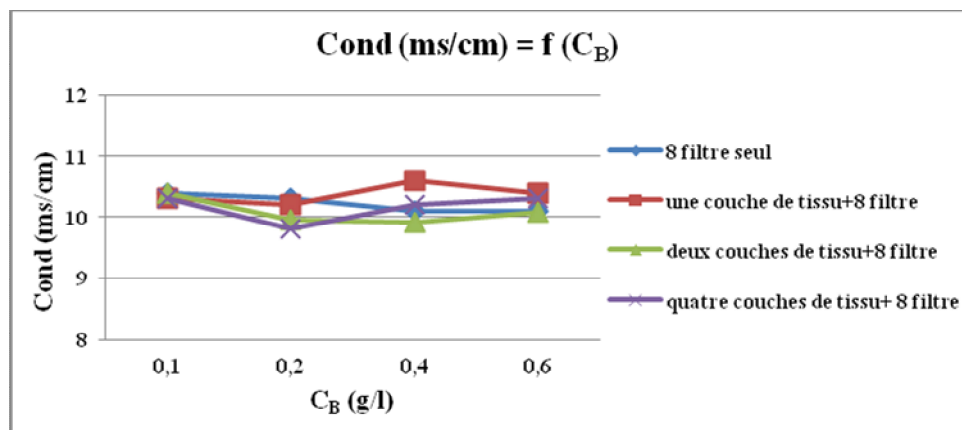


Figure V.47 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 8 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 10 filtres :

Tableau V.37 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	Cond (ms/cm) après filtration			
	10 Filtre seul	1 couche de tissu+ 10 filtres	2 couches de tissu+ 10 filtres	4 couches de tissu+ 10 filtres
0.10	10.27	10.20	10.30	10.30
0.20	10.30	10.20	9.90	9.90
0.40	10.25	10.30	9.80	10.10
0.60	10.10	10.60	10.30	10.30

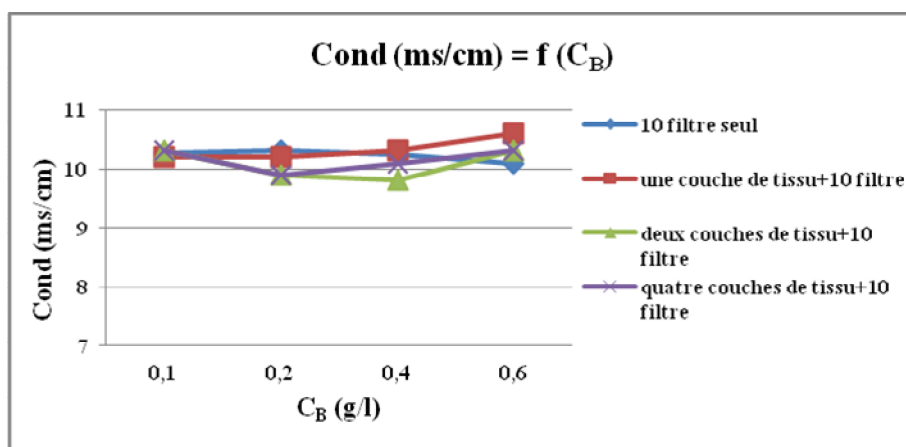


Figure V.48 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 10 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 12 filtres :

Tableau V.38 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C_B (g/l)	Cond (ms/cm) après filtration			
	12 Filtre seul	1 couche de tissu+ 12 filtres	2 couches de tissu+ 12 filtres	4 couches de tissu+ 12 filtres
0.10	10.45	10.20	10.40	10.20
0.20	10.30	10.20	9.80	9.90
0.40	10.26	10.50	9.90	10.10
0.60	10.00	10.30	10.08	10.10

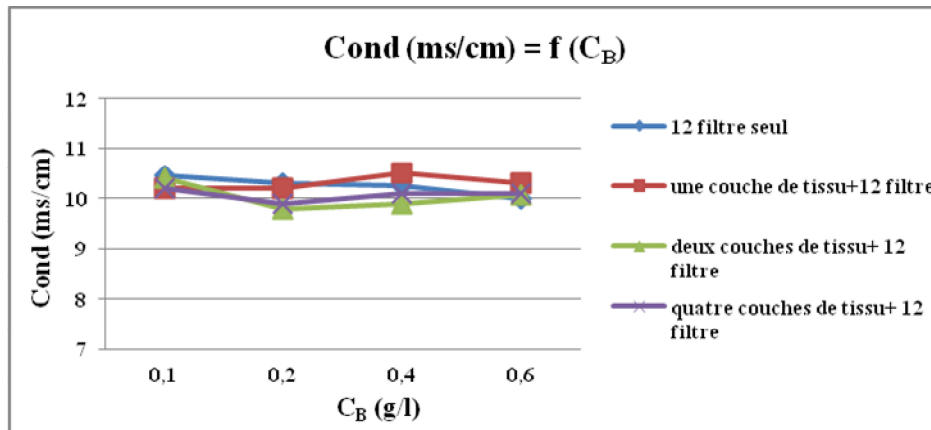


Figure V.49 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 12 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

❖ Pour 14 filtres :

Tableau V.39 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

C _B (g/l)	Cond (ms/cm) après filtration			
	14 Filtre seul	1 couche de tissu+ 14 filtres	2 couches de tissu+ 14 filtres	4 couches de tissu+ 14 filtres
0.10	10.34	10.40	10.40	10.30
0.20	10.38	10.30	9.90	9.90
0.40	10.28	10.20	9.90	10.10
0.60	10.00	10.30	10.30	10.20

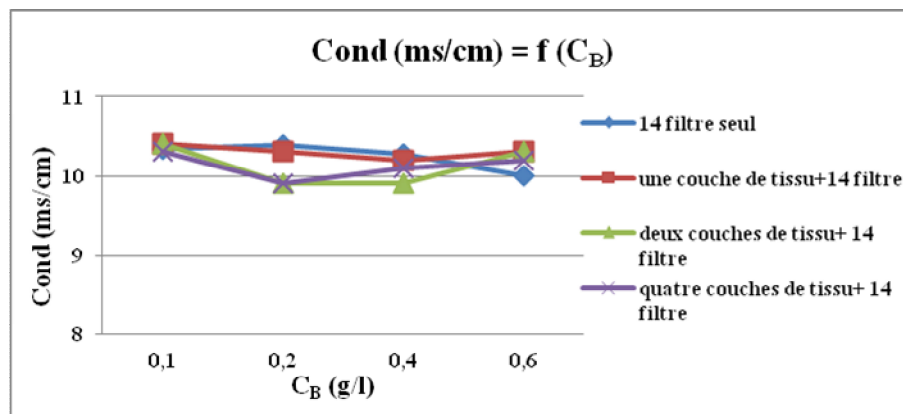


Figure V.50 : la variation de la conductivité en fonction de la concentration de bentonite pour 14 filtres pour les différents nombre des couches de tissu.

- On faisant une comparaison entre les figures N° (V.46, V.47, V.48, V.49, V.50) et les résultats trouvées on constate qu'il n'y a pas une grande différence entre les valeurs de la conductivité et cela pour chaque nombre de filtre et pour chaque nombre des

couches de tissu et même pour chaque concentration de la bentonite que nous avons utilisées. Donc la filtration sur support n'a pas d'influence sur la conductivité.

II.4. L'influence du débit et de la pression sur la qualité physico-chimique des eaux filtrées :

Dans cette partie on a étudié la variation des paramètres physico-chimique selon la pression pour chaque concentration de la bentonite et pour chaque nombre de filtre et de couche de tissu. Le but est de voir l'influence de la variation de la pression sur la qualité du filtra.

II.4.1. Turbidité :

❖ Pour une concentration de Bentonite $C_B=0.10$ g/l :

Tableau V.40 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+un nombre de filtre		2 couches de tissu+un nombre de filtre		4 couches de tissu+un nombre de filtre	
	TUR (NTU) (6filtres)	TUR (NTU) (10filtres)	TUR (NTU) (6filtres)	TUR (NTU) (10filtres)	TUR (NTU) (6filtres)	TUR (NTU) (10filtres)	TUR (NTU) (6filtres)	TUR (NTU) (10filtres)
0.2	4.41	3.60	4.31	3.10	3.15	2.68	2.42	2.04
0.4	4.45	3.68	4.47	3.22	3.41	2.87	2.45	2.17
0.5	4.60	3.98	4.51	3.25	3.58	2.90	2.71	2.49
0.6	5.71	4.25	4.73	3.41	3.94	3.10	3.00	2.61
0.8	5.88	4.45	5.25	4.10	4.65	3.21	3.85	2.82

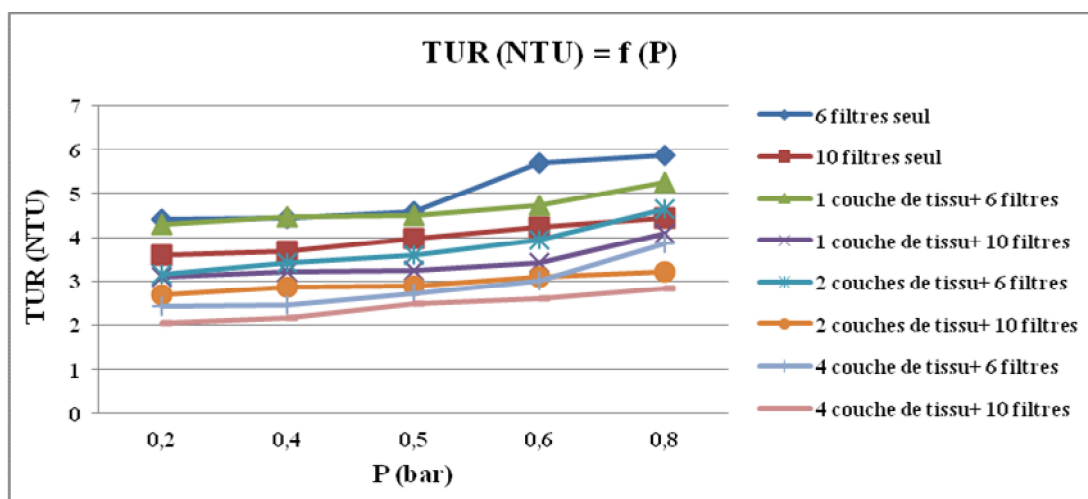


Figure V.51 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.

Tableau V.41 : le rendement en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	R(%) (6filtres)	R(%) (10filtres)	R(%) (6filtres)	R(%) (10filtres)	R(%) (6filtres)	R(%) (10filtres)	R(%) (6filtres)	R(%) (10filtres)
0.2	74.21	78.94	74.79	81.87	81.57	84.33	85.84	88.07
0.4	73.97	78.47	73.85	81.17	80.60	83.22	85.67	87.31
0.5	73.09	76.72	73.63	80.99	79.06	83.04	84.15	85.43
0.6	66.61	75.14	72.33	80.06	76.95	81.87	82.46	84.74
0.8	65.61	73.97	69.30	76.02	72.81	81.23	77.48	83.51

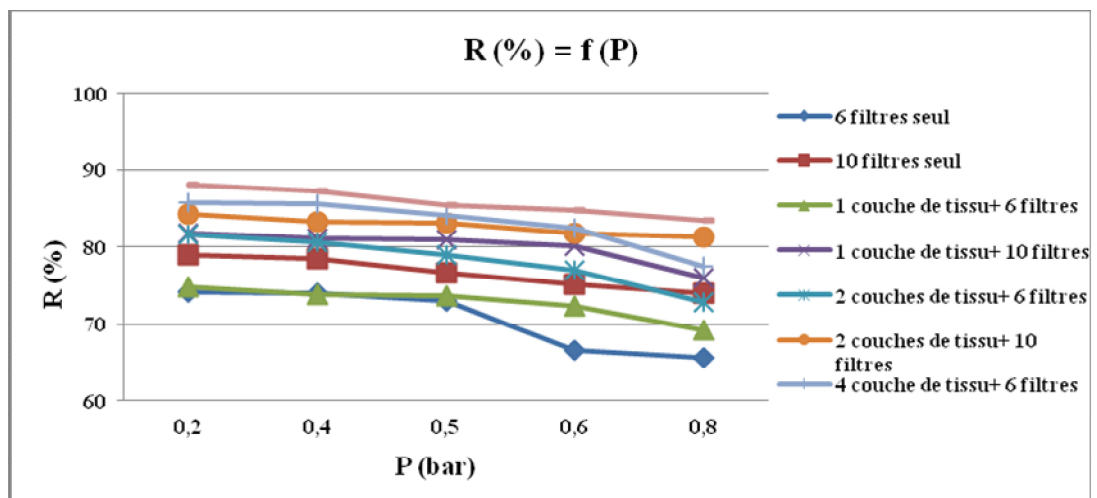


Figure V.52 : le rendement en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.

- Nous remarquons que la turbidité après une filtration de 10 filtres est plus faible que la turbidité de 6 filtres.
- Dans tous les cas nous constatons que la filtration pour 10 filtres est meilleure que la filtration de 6 filtres.
- Nous remarquons aussi que plus le nombre des couches de tissu augmente sur le nombre de filtre plus la turbidité diminue et le rendement de filtration augmente.
- Plus la pression augmente plus la turbidité augmente et le rendement diminue.

❖ Pour une concentration de B.C.I de $C_B=0.20$ g/l :

Tableau V.42 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	TUR (NTU) (8filtres)	TUR (NTU) (10filtres)	TUR (NTU) (8filtres)	TUR (NTU) (10filtres)	TUR (NTU) (8filtres)	TUR (NTU) (10filtres)	TUR (NTU) (8filtres)	TUR (NTU) (10filtres)
0.2	4.80	4.36	4.50	4.05	4.11	3.49	2.91	2.12
0.4	4.98	4.41	4.67	4.11	4.49	3.69	3.10	2.32
0.5	5.14	4.69	4.86	4.36	4.76	3.98	3.19	2.39
0.6	5.25	5.10	5.26	4.81	5.08	4.36	3.34	2.45
0.8	5.61	5.47	5.53	5.39	5.46	4.77	3.50	2.71

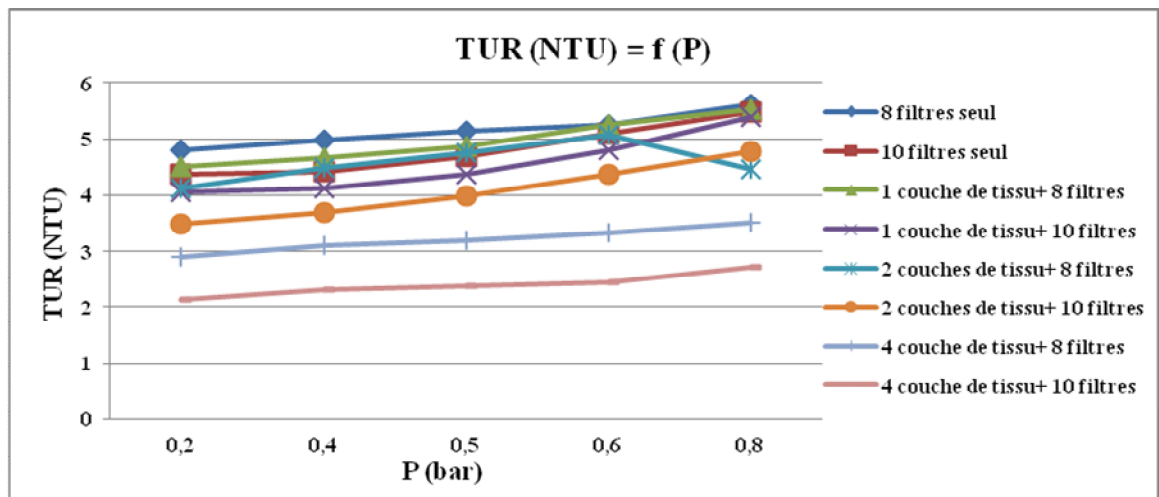


Figure V.53 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.

Tableau V.43 : le rendement en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	R(%) (8filtres)	R(%) (10filtres)	R(%) (8filtres)	R(%) (10filtres)	R(%) (8filtres)	R(%) (10filtres)	R(%) (8filtres)	R(%) (10filtres)
0.2	84.95	86.33	85.89	87.30	87.12	89.06	90.87	93.35
0.4	84.39	86.17	85.36	87.12	85.92	88.43	90.28	92.72
0.5	83.89	85.30	84.76	86.33	85.08	87.52	90.00	92.51
0.6	83.54	84.01	83.51	84.92	84.26	86.33	89.53	92.31
0.8	82.41	82.85	82.66	83.10	82.88	85.05	89.03	91.50

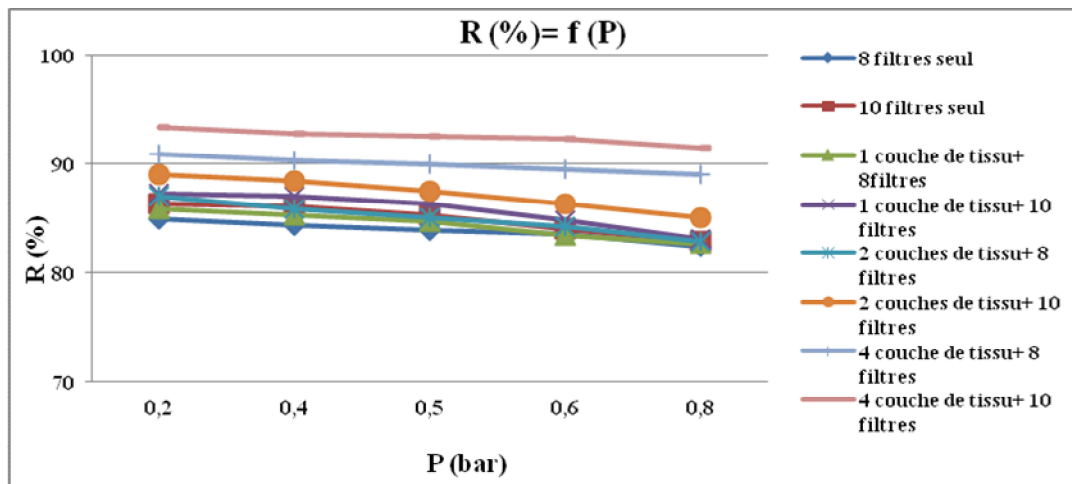


Figure V.54 : le rendement en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.

- Nous remarquons que la turbidité après une filtration de 10 filtres est plus faible que la turbidité de 8 filtres.
- On remarque aussi que si la pression augmente la turbidité augmente.
- En faisant une comparaison entre les figures N° (V.51, V.53) on constate que la filtration pour 10 filtres est meilleure que la filtration de 6 filtres et la filtration de 8 filtres, donc plus le nombre de filtre augmente plus on a une bonne filtration.
- Et à partir des figures N° (V.52, V.54) on constate que le rendement après une filtration de 10 filtres est meilleur que pour 6 et 8 filtres.

❖ Pour une concentration de B.C.I de $C_B=0.40$ g/l :

Tableau V.44 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	TUR (NTU) (10filtres)	TUR (NTU) (12filtres)	TUR (NTU) (10filtres)	TUR (NTU) (12filtres)	TUR (NTU) (10filtres)	TUR (NTU) (12filtres)	TUR (NTU) (10filtres)	TUR (NTU) (12filtres)
0.2	6.40	5.16	5.69	4.51	4.91	4.51	4.29	3.16
0.4	6.64	5.30	5.92	4.69	5.30	4.58	4.40	3.39
0.5	6.80	5.68	6.11	5.36	5.56	4.69	4.64	3.40
0.6	7.18	6.38	6.44	5.66	5.72	4.70	4.71	3.61
0.8	7.40	6.50	6.68	6.15	5.91	4.74	4.82	4.02

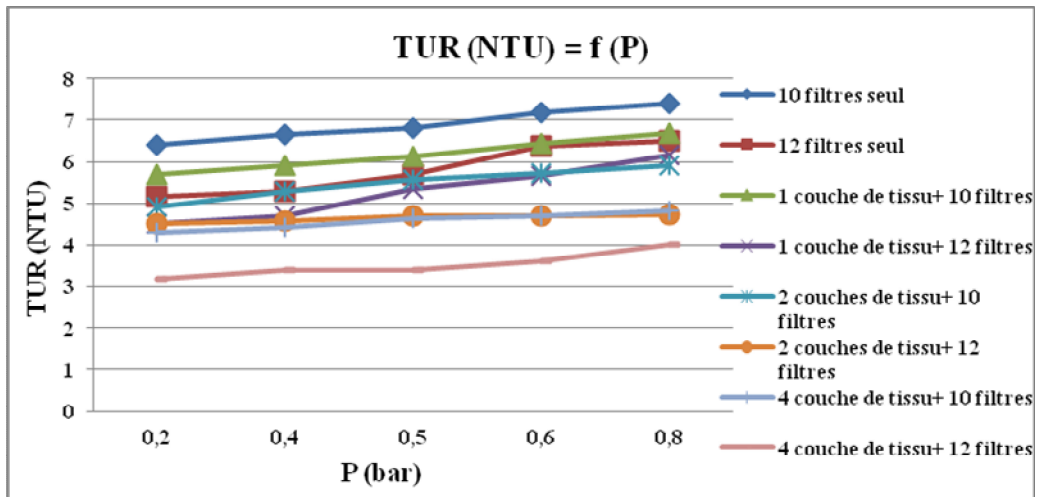


Figure V.55 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.

Tableau V.45 : le rendement en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	R (%) (10filtres)	R (%) (12filtres)	R (%) (10filtres)	R (%) (12filtres)	R (%) (10filtres)	R (%) (12filtres)	R (%) (10filtres)	R (%) (12filtres)
0.2	90.14	92.05	91.23	93.05	92.43	93.05	93.39	95.13
0.4	89.77	91.83	90.88	92.77	91.83	92.94	93.22	94.77
0.5	89.52	91.25	90.85	91.74	91.43	92.77	92.85	94.76
0.6	88.94	90.17	90.08	91.27	91.18	92.75	92.74	94.43
0.8	88.60	89.98	89.70	90.52	90.89	92.69	92.57	93.80

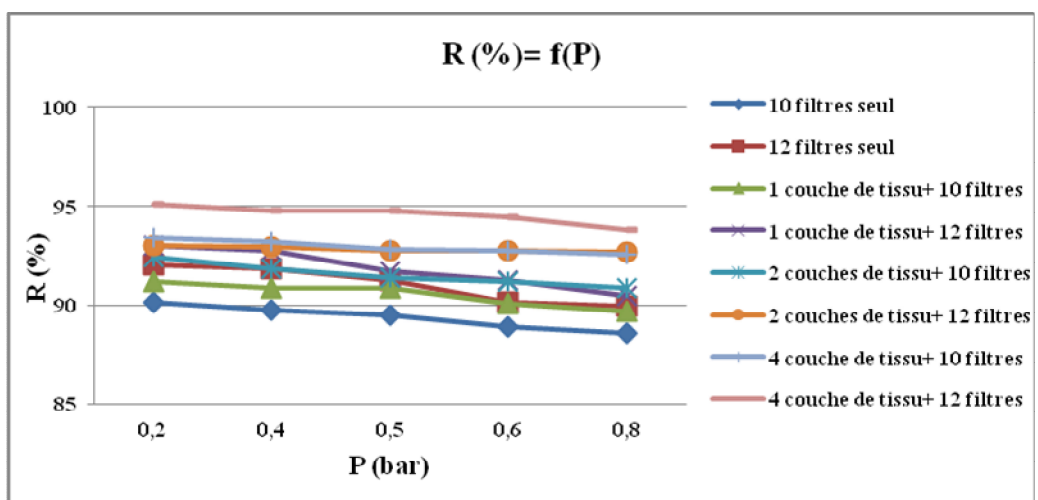


Figure V.56 : le rendement en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.

- Comme pour les figures N° (V.51, V.53) et à partir des figures N° (V.55) on constate que plus la pression augmente plus la turbidité du filtra augmente et le rendement diminue.
- On remarque aussi que la turbidité augment avec l'augmentation de la concentration de la bentonite.
- Nous remarquons aussi que la turbidité après une filtration de 12 filtres et plus faible que la turbidité de 10 filtres.
- On faisant maintenant une comparaison entre les figures N° (V.51, V.53, V.55) on constate que la filtration pour 12 filtres est meilleure que la filtration de 6 filtres et la filtration de 8 filtres, et 10 filtres donc plus le nombre des couches de tissu augment sur le nombre de filtre plus on a une bonne filtration

❖ Pour une concentration de B.C.I de $C_B = 0.60 \text{ g/l}$:

Tableau V.46 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B = 0.60 \text{ g/l}$.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	TUR (NTU) (12filtres)	TUR (NTU) (14filtres)	TUR (NTU) (12filtres)	TUR (NTU) (14filtres)	TUR (NTU) (12filtres)	TUR (NTU) (14filtres)	TUR (NTU) (12filtres)	TUR (NTU) (14filtres)
0.2	6.10	5.31	5.30	4.11	4.88	4.02	4.22	3.60
0.4	6.58	5.80	5.93	4.52	5.03	4.32	4.34	3.68
0.5	6.60	6.15	6.28	5.35	5.17	4.47	4.52	3.81
0.6	7.00	6.50	6.54	5.60	5.70	4.52	4.76	4.11
0.8	7.54	6.78	6.85	5.80	5.72	4.80	4.80	4.22

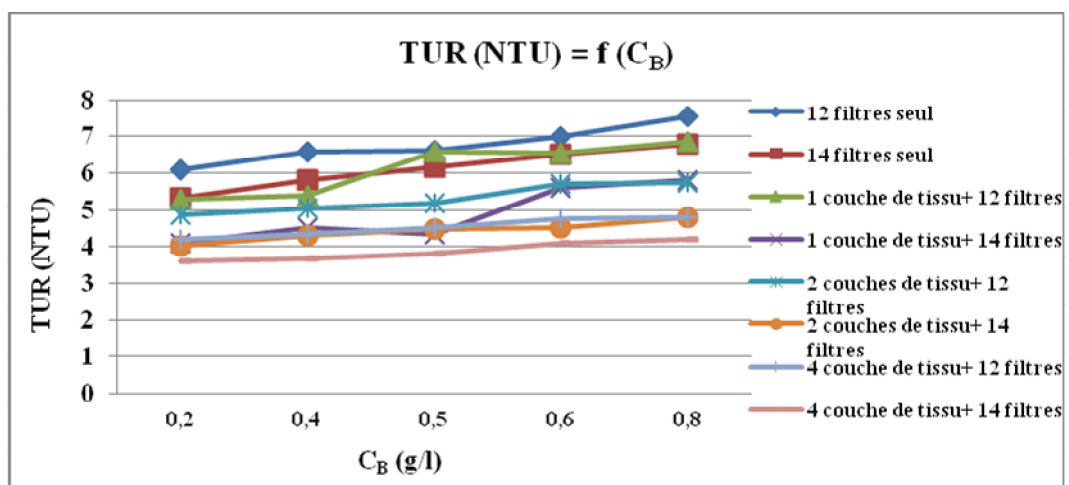


Figure V.57 : l'évolution de la turbidité en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B = 0.60 \text{ g/l}$.

Tableau V.47 : le rendement en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	R (%) (12filtres)	R (%) (14filtres)	R (%) (12filtres)	R (%) (14filtres)	R (%) (12filtres)	R (%) (14filtres)	R (%) (12filtres)	R (%) (14filtres)
0.2	94.07	94.84	94.85	96.00	95.26	96.09	95.90	96.50
0.4	93.61	94.36	94.24	95.61	95.11	95.80	95.78	96.42
0.5	93.59	94.02	93.90	94.80	94.98	95.66	95.61	96.30
0.6	93.20	93.68	93.65	94.56	94.46	95.61	95.37	96.00
0.8	92.67	93.41	93.35	94.36	94.44	95.33	95.33	95.90

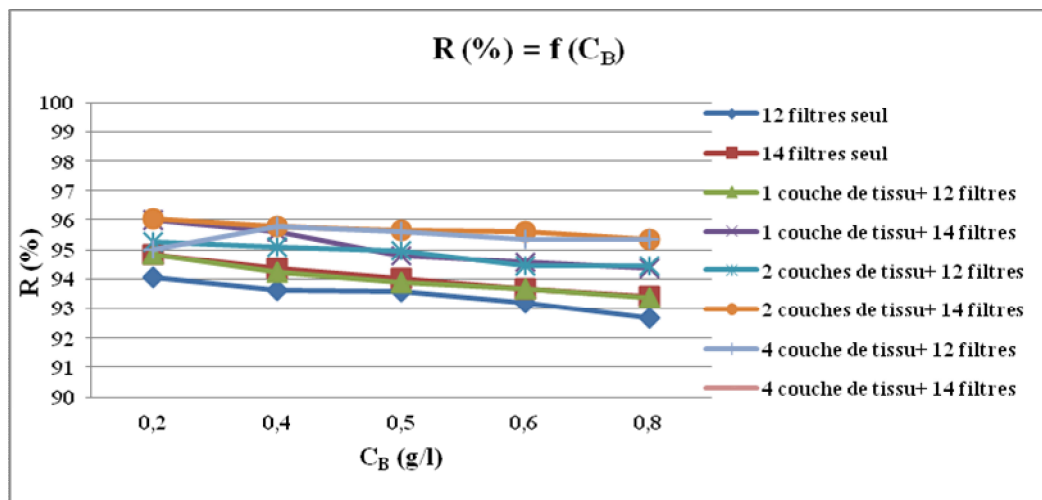


Figure V.58 : le rendement en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.

- Dans tous les cas nous constatons que la filtration pour 14 filtres est meilleure que la filtration de 6 filtres, 8 filtres, 10 filtres et 12 filtres.
- En plus de ce qui a été dit pour les premières figures N° (V.51, V.53, V.55) et on faisant maintenant une comparaison entre les figures N° (V.51, V.53, V.55, V.57) on confirme que :
 - ✓ plus la pression et le débit augmentent plus la turbidité augmente.
 - ✓ Et plus le nombre des filtres et le nombre des couches de tissu augmente plus la turbidité diminue.
- Et on faisant une comparaison entre les figures N° (V.52, V.54, V.56, V.58) on confirme que plus la pression augmente plus le rendement de filtration diminue, et plus le nombre des filtres et le nombre des couches de tissu augmentent plus le rendement augmente.

- On peut dire que plus la turbidité avant filtration est importante plus en intérêt à faire la filtration avec une pression et un débit faible et avec un grand nombre de filtre.

II.4.2. Le pH :

❖ Pour une concentration de B.C.I de $C_B=0.10$ g/l :

Tableau V.48 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	pH (6filtres)	pH (10filtres)	pH (6filtres)	pH (10filtres)	pH (6filtres)	pH (10filtres)	pH (6filtres)	pH (10filtres)
0.2	7.48	7.23	7.49	7.71	7.42	7.58	7.51	7.75
0.4	7.40	7.09	7.39	7.65	7.38	7.47	7.53	7.64
0.5	7.42	6.92	7.42	7.61	7.18	7.51	7.62	7.76
0.6	7.51	7.30	7.46	7.51	7.33	7.32	7.63	7.67
0.8	7.39	7.21	7.47	7.57	7.12	7.31	7.62	7.65

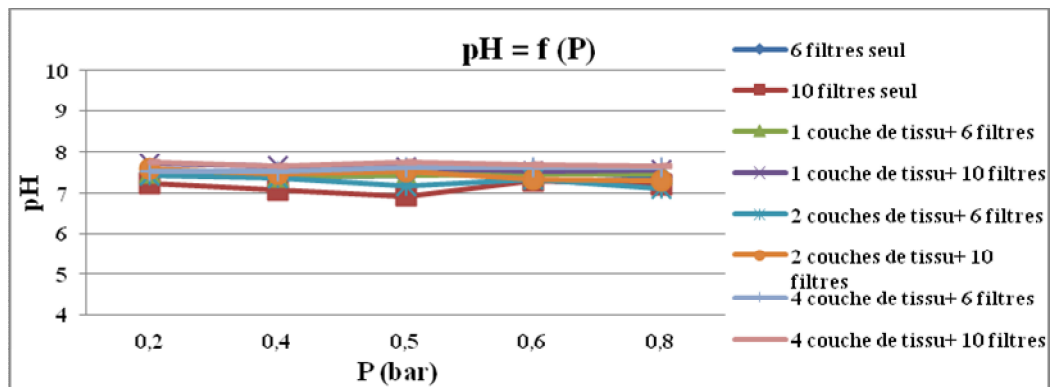


Figure V.59: l'évolution de pH en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.

❖ Pour une concentration de B.C.I de $C_B=0.20$ g/l :

Tableau V.49 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	pH (8filtres)	pH (10filtres)	pH (8 filtres)	pH (10filtres)	pH (8filtres)	pH (10filtres)	pH (8 filtres)	pH (10filtres)
0.2	7.02	6.99	7.70	7.60	7.47	7.73	7.72	7.60
0.4	6.91	7.10	7.61	7.43	7.32	7.28	7.64	7.83
0.5	6.92	7.19	7.56	7.41	7.65	7.66	7.74	7.83
0.6	6.91	7.20	7.61	7.46	7.45	7.70	7.72	7.86
0.8	6.92	7.22	7.65	7.47	7.21	7.45	7.73	7.65

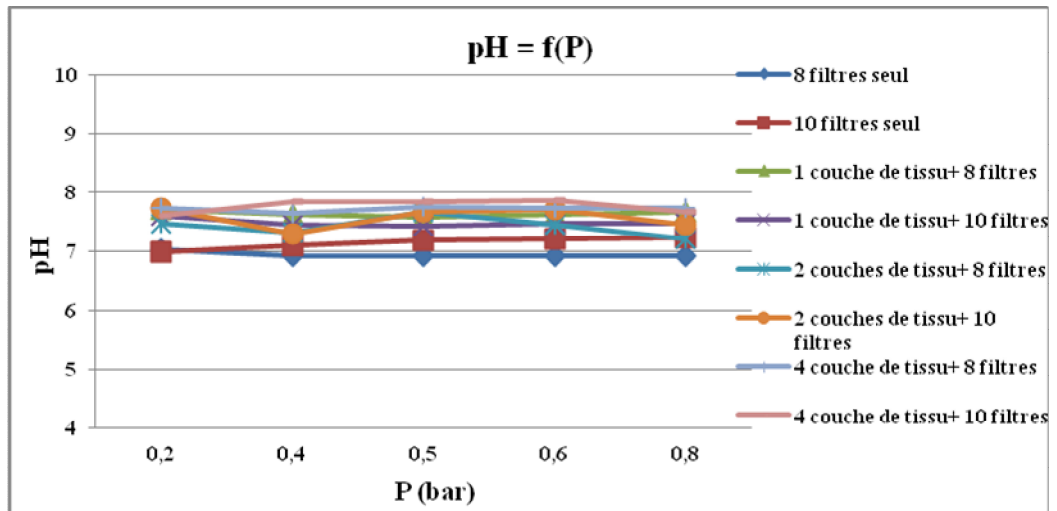


Figure V.60 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.

❖ Pour une concentration de B.C.I de $C_B= 0.40$ g/l :

Tableau V.50 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	pH (10filtres)	pH (12filtres)	pH 10(filtres)	(12filtres)	pH (10filtres)	pH (12filtres)	pH (10filtres)	pH (12filtres)
0.2	7.37	7.27	7.45	7.54	7.67	7.68	7.64	7.53
0.4	7.24	7.01	7.44	7.53	7.73	7.57	7.65	7.45
0.5	7.12	6.98	7.48	7.62	7.72	7.72	7.62	7.66
0.6	7.10	7.07	7.62	7.66	7.71	7.88	7.61	7.67
0.8	7.14	7.24	7.63	7.63	7.62	7.53	7.58	7.40

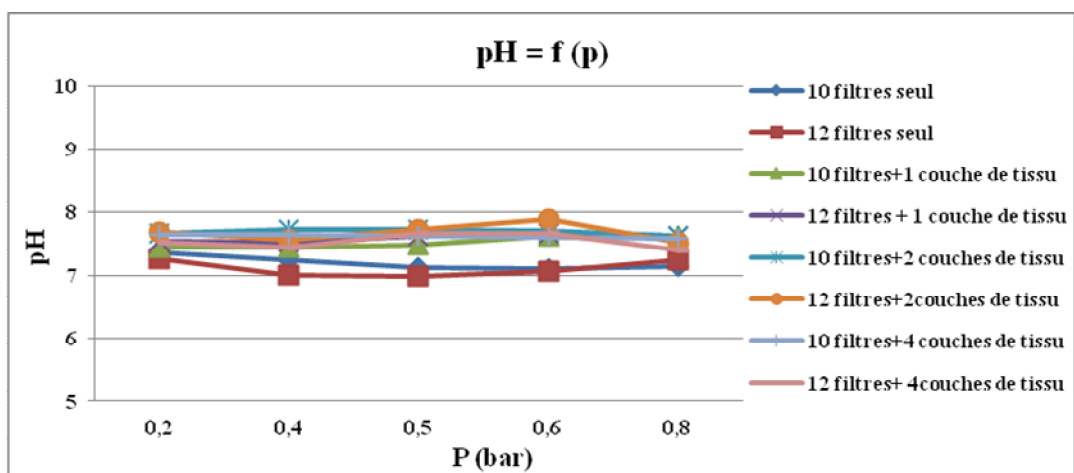


Figure V.61 : l'évolution de pH en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.

❖ Pour une concentration de B.C.I de $C_B=0.60$ g/l :

Tableau V.51: l'évolution de pH en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	pH (12filtres)	pH (14filtres)	pH 12 filtres	pH (14filtres)	pH (12filtres)	pH (14filtres)	pH 12(filtres)	pH (14filtres)
0.2	7.54	7.66	7.74	7.76	7.19	8.08	7.58	7.65
0.4	7.48	7.59	7.74	7.66	7.72	7.84	7.60	7.58
0.5	7.39	7.46	7.75	7.69	7.75	7.78	7.63	7.63
0.6	7.58	7.79	7.85	7.87	8.16	8.03	7.64	7.70
0.8	7.50	7.62	7.64	7.77	7.80	7.79	7.62	7.66

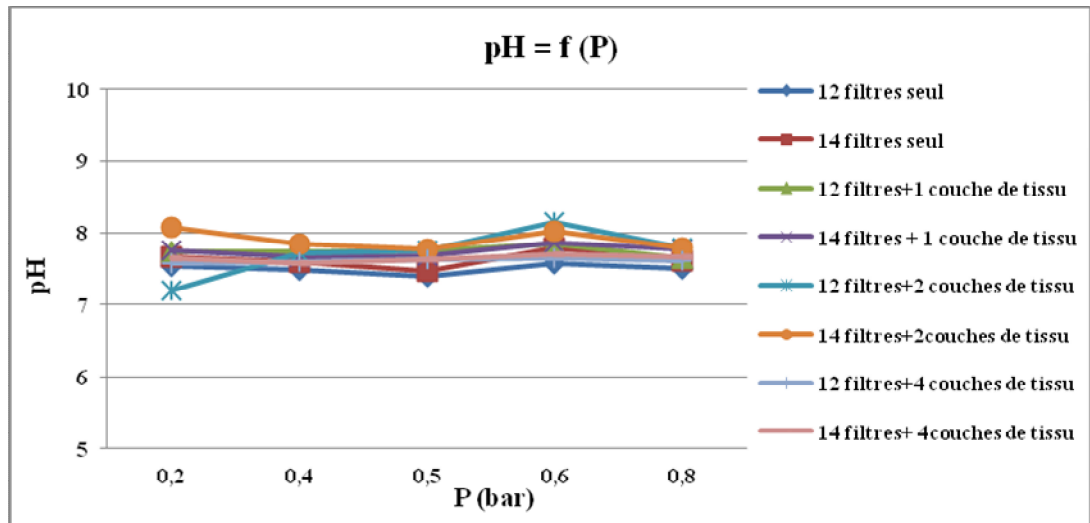


Figure V.62: l'évolution de pH en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.

- On faisant une comparaison entre toutes les figures précédentes on confirme que :
 - ✓ Les valeurs de pH sont presque les même pour tous les cas.
 - ✓ La variation de la pression n'a pas d'influence sur le pH.
 - ✓ La variation de la concentration de la bentonite n'a pas d'influence sur le pH.
 - ✓ Quelque soit le nombre des filtres et le nombre des couches de tissu utilisés, le pH ne varie pas beaucoup.

Donc la filtration sur support n' pas d'influence sur le pH.

II.4.3. La conductivité :

❖ Pour une concentration de B.C.I de $C_B=0.10$ g/l :

Tableau V.52: l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	Cond (ms/cm) (6filtres)	Cond (ms/cm) (10filtres)	Cond (ms/cm) (6filtres)	Cond (ms/cm) (10filtres)	Cond (ms/cm) (6filtres)	Cond (ms/cm) (10filtres)	Cond (ms/cm) (6filtres)	Cond (ms/cm) (10filtres)
0.2	9.30	10.48	9.90	10.30	10.10	10.40	10.30	10.30
0.4	9.58	9.93	9.90	10.20	10.10	10.30	10.30	10.20
0.5	10.23	10.27	9.90	10.20	10.10	10.30	10.40	10.30
0.6	10.33	10.39	10.10	10.30	10.10	10.30	10.30	10.40
0.8	10.38	10.29	9.90	10.20	10.20	10.40	10.30	10.30

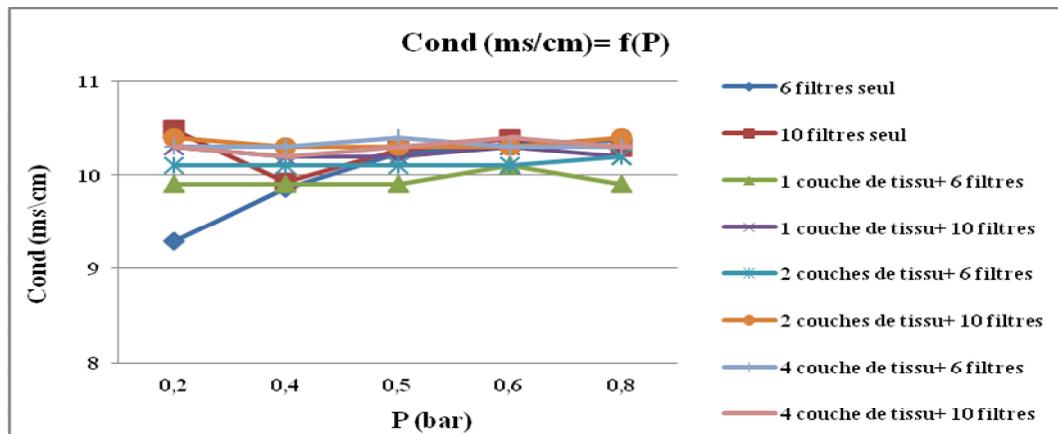


Figure V.63 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 6 et 10 filtres pour $C_B=0.10$ g/l.

❖ Pour une concentration de B.C.I de $C_B=0.20$ g/l :

Tableau V.53 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	Cond (ms/cm) (8filtres)	Cond (ms/cm) (10filtres)	Cond (ms/cm) (8 filtres)	Cond (ms/cm) (10filtres)	Cond (ms/cm) (8filtres)	Cond (ms/cm) (10filtres)	Cond (ms/cm) (8 filtres)	Cond (ms/cm) (10filtres)
0.2	10.35	10.39	10.30	10.30	9.80	9.70	9.70	9.70
0.4	10.35	10.25	10.00	10.20	9.70	9.70	9.80	9.80
0.5	10.31	10.31	10.20	10.20	9.95	9.90	9.80	9.90
0.6	10.37	10.30	10.30	10.20	9.95	9.70	9.70	9.70
0.8	10.36	10.31	10.20	10.20	9.90	9.60	9.70	9.60

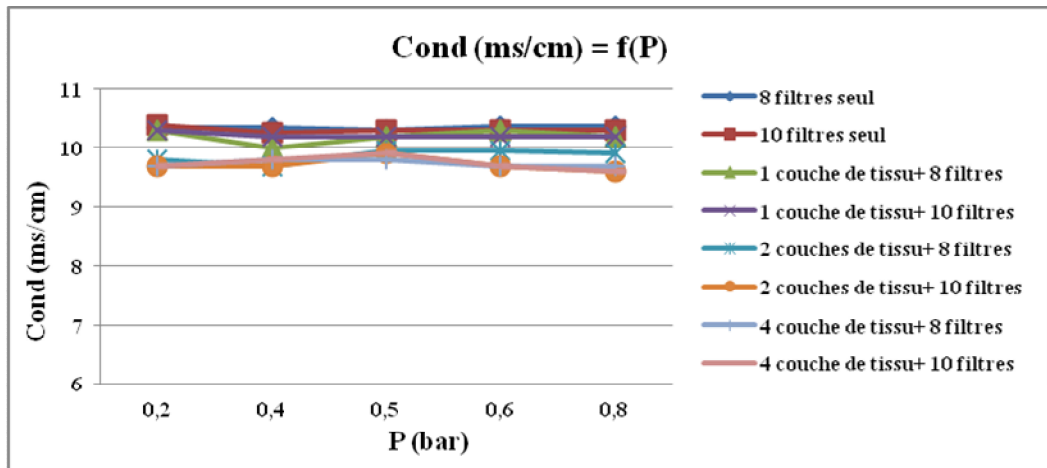


Figure V.64 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 8 et 10 filtres pour $C_B=0.20$ g/l.

❖ Pour une concentration de B.C.I de $C_B=0.40$ g/l :

Tableau V.54 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	Cond (ms/cm) (10filtres)	Cond (ms/cm) (12filtres)	Cond (ms/cm) 10 filtres	Cond (ms/cm) (12filtres)	Cond (ms/cm) (10filtres)	Cond (ms/cm) (12filtres)	Cond (ms/cm) (10filtres)	Cond (ms/cm) (12filtres)
0.2	10.20	10.20	10.60	10.50	9.80	9.90	10.20	10.20
0.4	10.27	10.21	10.30	10.50	9.70	9.90	10.20	10.10
0.5	10.25	10.26	10.30	10.50	9.80	9.90	10.10	10.10
0.6	10.22	10.18	10.40	10.30	9.80	9.90	10.10	10.30
0.8	10.21	10.22	10.40	10.30	9.80	9.90	10.20	10.40

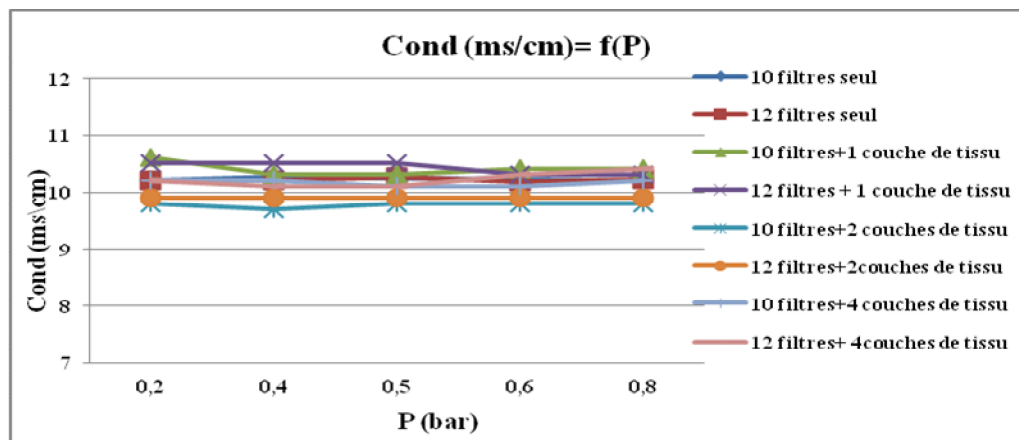


Figure V.65 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 10 et 12 filtres pour $C_B=0.40$ g/l.

❖ Pour une concentration de B.C.I de $C_B=0.60$ g/l :

Tableau V.55 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.

P (bar)	Filtre seul		Une couche de tissu+ un nombre de filtre		2 couches de tissu+ un nombre de filtre		4 couches de tissu+ un nombre de filtre	
	Cond (ms/cm) (12filtres)	Cond (ms/cm) (14filtres)	Cond (ms/cm) 12 filtres	Cond (ms/cm) (14filtres)	Cond (ms/cm) (12filtres)	Cond (ms/cm) (14filtres)	Cond (ms/cm) 12filtres)	Cond (ms/cm) (14filtres)
0.2	9.90	9.98	10.25	10.30	10.01	10.30	10.20	10.20
0.4	9.80	10.10	10.30	10.30	10.01	10.10	10.00	10.20
0.5	10.00	10.00	10.30	10.30	10.08	10.30	10.10	10.20
0.6	10.10	9.90	10.30	10.30	10.08	10.30	10.10	10.20
0.8	10.20	10.00	10.30	10.20	10.06	10.30	10.20	10.20

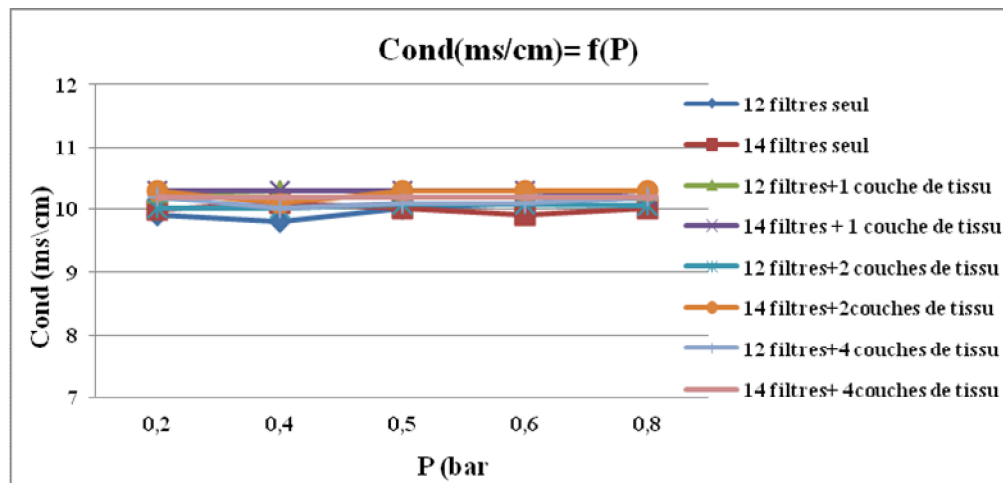


Figure V.66 : l'évolution de la conductivité en fonction de la pression pour 12 et 14 filtres pour $C_B=0.60$ g/l.

- D'après les tableaux de variation de la conductivité et à partir des figures N° (V.63, V.64, V.65, V.66) on conclut que :
 - ✓ quelque soit l'augmentation de nombre des filtres et les couches de tissu, ou l'accroissement de concentration de la bentonite, la conductivité reste dans un intervalle étroit.
 - ✓ La variation de la pression n'a pas d'influence sur la conductivité.

III. La filtration sur sable :

III. 1. Etude granulométrique de sable :

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, etc.). Elle permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons.

III.1.1. Analyse granulométrique par tamisage :

III.1.1.1. principes de l'essai et matériels utilisés :

La détermination de la granulométrie d'un sable de filtration utilise une série de tamis superposés, le plus gros crible se trouvant au-dessus. Le dispositif, la méthode et l'intensité d'agitation sont normalisés. Un échantillon sec de sable de filtration est répandu sur le tamis supérieur, et l'ensemble des tamis est soumis à des secousses conduisant à la répartition des particules le long de la colonne de tamisage. Ces secousses se produisent à l'aide d'un tamiseur électrique. Chaque tamis divise les particules qui lui sont appliquées en deux fractions:

- **Un refus** : qui correspondant aux particules retenues sur le tamis ;
- **Un tamisât (ou passant)**: la quantité de matériau qui passe à travers le tamis.

A l'issue de l'agitation, les refus de chaque tamis sont recueillis et pesés avec soin.

III.1.1.2. Mode opératoire :

L'échantillon de sable utilisé dans cette étude est prélevé dans les bassins des filtres lents de la station de filtration de bouhlou.

- Sécher l'échantillon (1Kg de sable) de manière progressive et à température d'environ 105°C pour ne pas faire éclater les grains et ne pas modifier la nature chimique de l'échantillon ;
- monter la colonne de tamis dans l'ordre décroissant de l'ouverture des mailles en ajoutant le couvercle et le fond.
- verser le sable sec dans la colonne de tamis. Mettre le couvercle, et appliquer à l'ensemble une série de secousses à l'aide d'un tamiseur. Le granula sera ainsi réparti sur les différents tamis;
- déterminer ainsi la masse du refus de chaque tamis, en suite on calcule les refus cumulés.
- poursuivre l'opération jusqu'à déterminer la masse du refus contenu dans le fond de la colonne de tamis

- vérifier la validité de l'analyse granulométrique imposée par la Norme NF EN 933-1 (différence entre la somme des masses de refus et de tamisats et de la masse initiale...)
- Noter tous les résultats trouvés dans un tableau.

III.1.2. l'interprétation des résultats :

Tableau V.56 : L'analyse granulométrique du sable.

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus mi (g)	Masse des refus cumulés Mc (g)	Pourcentage des refus cumulés $Pr=(Mc/M) 100$ (%)	Pourcentage des tamisât cumulés $Pt=(100-Pr)$ (%)
2	0	0	0	100
1.6	285.4	285.4	28.54	71.46
1.25	232.2	517.6	51.76	48.24
1	205.5	723.1	72.31	27.69
0.8	115.2	838.3	83.83	16.17
0.63	99	937.3	93.73	6.27
0.5	47.6	984.9	98.49	1.51
0.4	12	996.9	99.69	0.31

III.1.2.1. Tracé de la courbe granulométrique :

Il suffit de porter les divers pourcentages des tamisât cumulés sur une feuille semi-logarithmique :

- ❖ **En abscisse** : les dimensions des mailles, échelle logarithmique.
- ❖ **En ordonnée** : les pourcentages des tamisats cumulés sur une échelle arithmétique.

La courbe doit être tracée de manière continue.

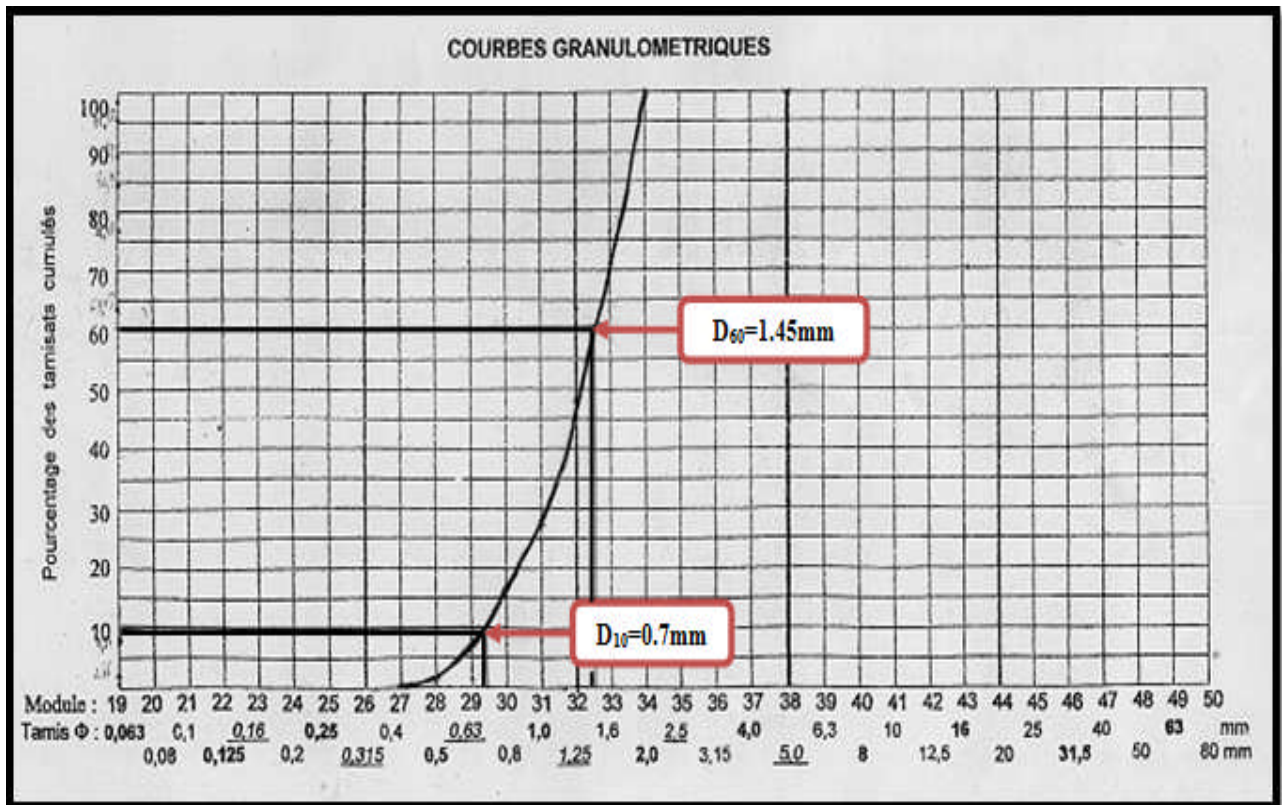


Figure V.67 : la courbe granulométrique du sable.

La courbe granulométrique permet de déterminer deux paramètres fondamentaux dans la caractérisation granulométrique des matériaux filtrants, soit :

✓ **La taille effective :**

Taille effective D_{10} est le diamètre du tamis qui laisse passer 10% de la masse de l'échantillon. D'après la courbe granulométrique : D_{10} du sable = 0.7 mm

✓ **Le coefficient d'uniformité :**

Il s'agit du rapport entre deux diamètres apparents définis de telle sorte que la taille de 60% et respectivement 10% des particules soit inférieure.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (V.2)$$

Le coefficient d'uniformité, représente l'homogénéité de la distribution des diamètres des grains dans l'échantillon.

La diversité 60 %, exprimée en mm est donnée par l'ouverture de maille laissant passer 60 % en poids de l'échantillon soumis à l'analyse :

- D_{60} du sable = 1.45 mm

Donc le coefficient d'uniformité de sable est : $C_u = \frac{1.45}{0.7} = 2.07$.

III. 2. La masse volumique apparente :

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, après passage à l'étuve à 105 ± 5 °C, exprimée en (gr/cm^3 ; kg/m^3 ; T/m^3).

$$\rho_{\text{apparente}} = \frac{\text{masse de sable sec}}{\text{volume de l'éprouvette}} \quad (\text{V.3})$$

Les grains sont petits. La masse volumique apparente des sables ou des graviers peuvent varier entre 1400 à 1650 kg/m^3 .

III. 2.1. Mode opératoire:

- 1- Déterminer le volume de l'éprouvette V.
- 2- Verser le sable sec dans l'éprouvette jusqu'au volume V.
- 3- Peser la quantité du sable obtenu dans l'éprouvette.

III.2.2. Les Résultats :

V= 25 ml. ; Masse du sable sec : M= 35.967g

$$\rho_{\text{apparent}} = 1438.68 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

III. 3. La masse volumique réelle :

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105 °C, notée ρ et exprimée en (g/cm^3 , kg/m^3 ou T/m^3).

III. 3.1. Méthode de l'éprouvette graduée :**❖ Mode opératoire :**

- 1- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
- 2- Peser un échantillon sec Ms de sable et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- 3- Le liquide monte dans l'éprouvette.
- 4- Lire le nouveau volume V2.

III.3.2. Résultats :

La différence entre le niveau V1 et V2 est le volume absolu de l'échantillon. La masse volumique réelle peut se calculer :

$$\rho_{\text{réelle}} = \frac{M_s}{V_2 - V_1} \quad (\text{V.4})$$

✓ La masse volumique réelle du sable :

$M_s=10\text{g}$; $V_1=10\text{ ml}$; $V_2=14\text{ ml}$.

$\rho_{\text{réelle}}= 2500\text{ Kg/m}^3$

III. 4. La densité :

$$d = \frac{\text{masse volumique du sable}}{\text{masse volumique de l'eau}} \quad (\text{V.5})$$

$$d = \frac{2500}{1000} = 2.5$$

III. 5. Pertes de charges selon le temps dans le filtre :

Dans cette partie on a étudié la variation des pertes de charges selon le temps pour différents débit et une seule concentration de Bentonite $C_B = 0.6\text{g/l}$ et une seule concentration de sel $C_s= 5\text{ g/l}$;

C_s : concentration de sel (g/l) ;

t : l'instant de prise de mesure des pertes de charge au niveau du filtre (min) ;

Q : débit (l/h).

ΔH : pertes de charges (cm.c.e).

N° : numéro des piézomètres.

L : l'épaisseur du sable dans la colonne de filtration (cm) ;

III. 5.1. L'influence de la variation du débit :❖ Pour $Q= 50\text{ l/h}$:

Tableau V.57 : pertes de charges selon le temps (5g/l de sel+ 0.6g/l de la bentonite et $Q=50\text{ l/h}$) au niveau de la colonne de filtration.

N°	$L(\text{cm})$	$t = 0 (\text{min})$	$t = 3(\text{min})$	$t = 6(\text{min})$	$t = 9(\text{min})$	$t = 12(\text{min})$	$t = 15(\text{min})$
1	0	0	0	0	0	0	0
2	5	1	1.25	1.5	1.7	2	2.3
3	10	2	2.25	2.5	2.8	3.1	3.25
4	12.5	2.2	2.5	3	3.2	3.5	3.7
5	15	2.5	3	3.6	3.75	3.9	4.1
6	17.5	3	3.25	3.9	4	4.3	4.5
7	20	3.25	3.5	4.5	4.75	5	5.2
8	22.5	3.5	3.75	4.8	4.9	5.25	5.5
9	25	3.8	4	5	5.2	5.5	5.8
10	27.5	4.3	4.5	5.3	5.5	5.75	6
11	38.5	4.6	4.75	5.5	5.75	5.9	6.3
12	63	5.25	5.5	6	6.2	6.4	6.75

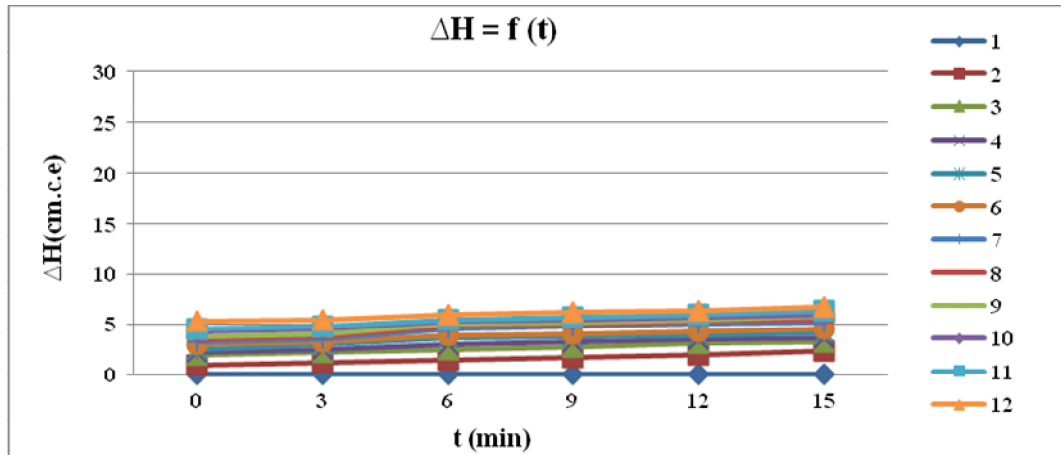


Figure V.69: pertes de charges selon le temps (5g de sel+0.6g de la bentonite et Q=50l/h) au niveau de la colonne de filtration.

❖ Pour Q= 100 l/h :

Tableau V.58 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et Q=100 l/h) au niveau de la colonne de filtration.

N°	L(cm)	t = 0 (min)	t = 3(min)	t = 6(min)	t = 9(min)	t =12(min)	t = 15(min)
1	0	1.5	2	3.25	4.25	5	8
2	5	4.5	5	6.5	7.5	8.75	12.5
3	10	6.5	7.2	8.5	9.75	10.75	15
4	12.5	7	8.1	9.5	10.5	11.5	16
5	15	7.75	9	10	11.25	12.4	17
6	17.5	8.75	9.75	11.2	12	13.25	18.1
7	20	9	10.25	11.5	12.75	14.2	18.5
8	22.5	10	11.4	12.25	13.5	14.5	19.5
9	25	10.5	11.75	13	14	15	20
10	27.5	12	12.25	13.5	14.75	15.75	21
11	38.5	14	15	16.25	17.25	18.25	23.75
12	63	18	19	20	21	22	27.75

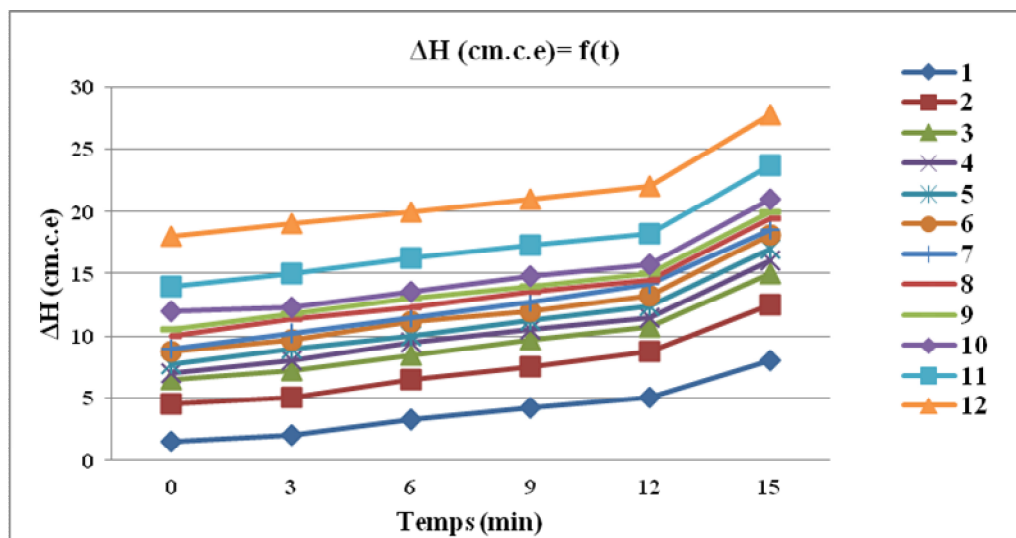


Figure V.70 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et Q=100 l/h) au niveau de la colonne de filtration.

❖ Pour Q= 150 l/h :

Tableau V.59 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et Q=150 l/h) au niveau de la colonne de filtration.

N°	L(cm)	t = 0 (min)	t = 3(min)	t = 6(min)	t = 9(min)	t =12(min)	t = 15(min)
1	0	2	2.5	3	4.2	6	7.5
2	5	5.75	6.4	8.3	8.75	10.75	12.75
3	10	8.25	8.5	10	11.3	13.2	15.25
4	12.5	9.5	10	11.25	12.5	14.25	16.5
5	15	11.1	11.4	12.2	13.5	15.5	17.4
6	17.5	12.3	12.6	13.5	15	16.5	18.7
7	20	12.5	12.75	14	15.5	17.25	19.4
8	22.5	13.25	13.5	14.5	16.1	17.75	20.1
9	25	15	15.25	16.4	18.3	19.75	22
10	27.5	16.5	17.2	19.1	21.2	23.2	24.4
11	38.5	19.2	20	20.5	22.4	23.75	26
12	63	23	24.25	25.5	28.5	/	/

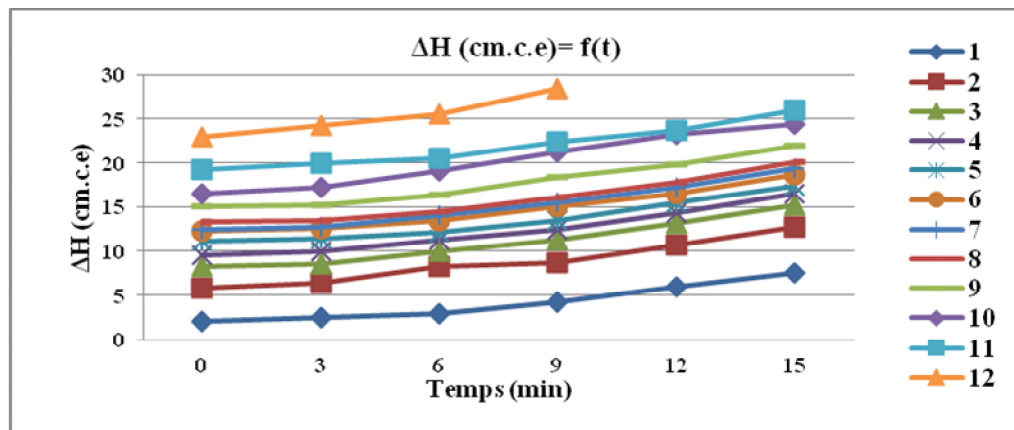


Figure V.71 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et Q=150 l/h) au niveau de la colonne de filtration.

❖ Pour Q= 200 l/h :

Tableau V.60 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et Q=200 l/h) au niveau de la colonne de filtration.

N°	L(cm)	t = 0 (min)	t = 3(min)	t = 6(min)	t = 9(min)	t =12(min)	t = 15(min)
1	0	3.5	4.5	6	8.1	9.75	10.75
2	5	8.5	10.4	12	14.2	15.7	16.4
3	10	12.2	14.5	16.2	16.3	16.75	17
4	12.5	13.7	16.25	18.4	18.75	19.2	20.1
5	15	15.5	18	19.6	19.75	20.3	21.5
6	17.5	17.75	19.7	21.1	21.5	22.5	23.9
7	20	18.5	21.2	23	23.4	24.2	26
8	22.5	19.4	22.1	24.2	24.75	25.3	28.6
9	25	19.8	23	25.3	26	26.75	29
10	27.5	20	23.5	26	26.5	27	/
11	38.5	25	26	26.5	27.1	27.5	/
12	63	25.5	26.5	27	27.4	27.6	/

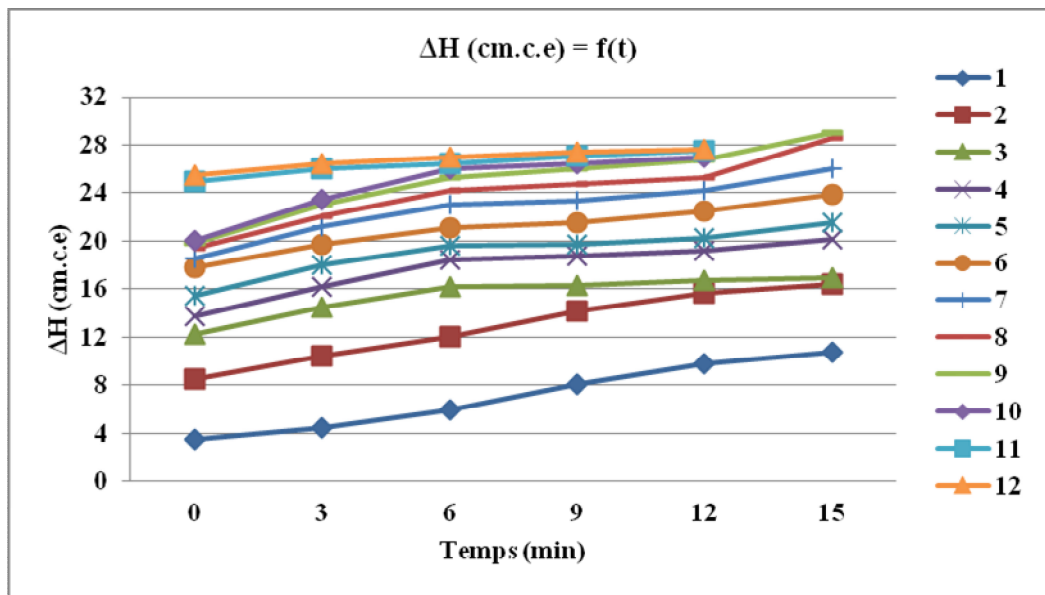


Figure V.72 : pertes de charges selon le temps (5g de sel+ 0.6g de la bentonite et Q=200 l/h) au niveau de la colonne de filtration.

- À partir de toutes les figures si dessus on peut constater que l'évolution des pertes de charges est plus ou moins linéaire.
- Plus le débit augmente plus les pertes de charges seront de plus en plus importantes selon le temps due à l'augmentation des pertes de charges linéaires qui sont dues aux frottements entre l'eau et les grains de sable et la colonne de filtration elle-même.
- Pour les débits 100l/h, 150l/h, 200l/h la vitesse d'écoulement devient plus importante qu'avec Q=50l/h. Donc l'écoulement de l'eau filtré devient plus turbulent, cette turbulence provoque un détachement des particules retenues par le filtre et facilite le passage de ces dernier.
- Pour Q = 150 l/h et 200l/h on voit que le temps de filtration est plus faible que celui pour des débits de 50 et 100 l/h et cela due à un colmatage rapide du filtre.
- On peut conclure que plus la quantité de la bentonite augmente plus le colmatage se fait rapidement, plus les pertes de charges augmentent brusquement.

III. 6. Analyse physico-chimique :

Les paramètres physico-chimiques mesurés dans ce travail sont :

- ❖ La turbidité : TUR (NTU) ;
- ❖ Le potentiel d'hydrogène : pH ;
- ❖ La conductivité : Cond (ms/cm) ;

❖ La température : T(C°).

Le rendement (R) de la filtration est calculé comme suite :

$$R (\%) = \frac{TUR_{avant} - TUR_{après}}{TUR_{avant}} \cdot 100 \quad (V.6)$$

III. 6.1. Variation des différents paramètres physico-chimique selon le temps et le débit:

Cette partie est une comparaison des analyses physico-chimiques obtenues selon le temps pour chaque débit de filtration, en fixant la concentration de bentonite à C_B=0.6 (g/l) et la concentration de sel à C_s=5 (g/l).

❖ La turbidité :

Tableau V.61 : l'évolution de la turbidité en fonction du temps et le débit a plusieurs instants.

Temps (min)	TUR (NTU) avant	TUR (NTU) après			
		Q=50l/h	Q=100l/h	Q=150l/h	Q=200l/h
0	102.3	11.63	13.54	14.8	18.11
3		11.7	14.38	15.17	18.7
6		12.03	14.73	15.81	19.2
9		12.81	15.6	17.3	20.57
12		14.52	16.2	17.58	21.7
15		14.1	16.53	18.6	22.44

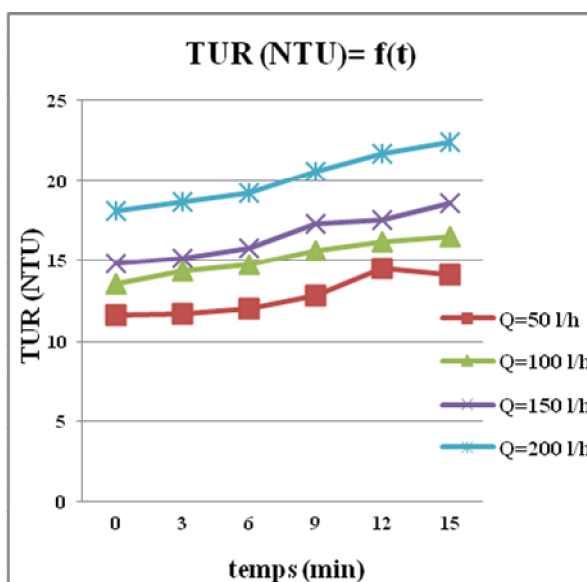


Figure V.73 : l'évolution de la turbidité en fonction du temps pour les débits 50l/h, 100l/h, 150l/h et 200l/h.

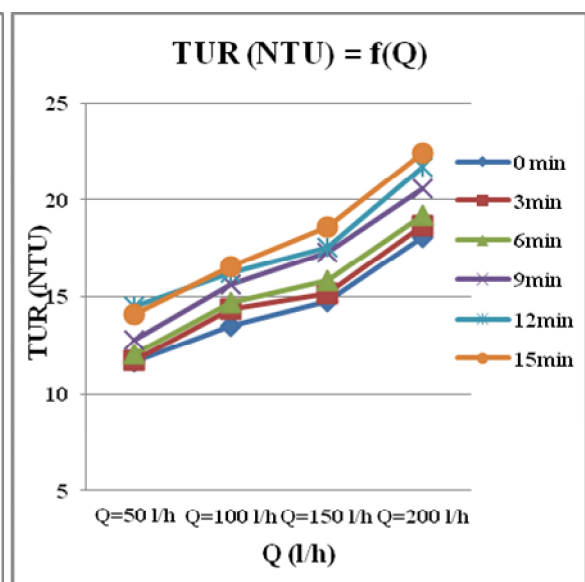


Figure V.74 : l'évolution de la turbidité en fonction du débit à plusieurs instants.

Tableau V.62 : donne le rendement de la filtration en fonction du temps et du débit.

Temps (min)	TUR (NTU) avant	R (%) après			
		Q=50l/h	Q=100l/h	Q=150l/h	Q=200l/h
0	102.3	88.63	86.76	85.53	82.29
3		88.56	85.94	85.17	81.72
6		88.24	85.60	84.54	81.23
9		87.47	84.75	83.08	79.89
12		86.21	84.16	82.81	78.78
15		85.80	83.84	81.81	78.06

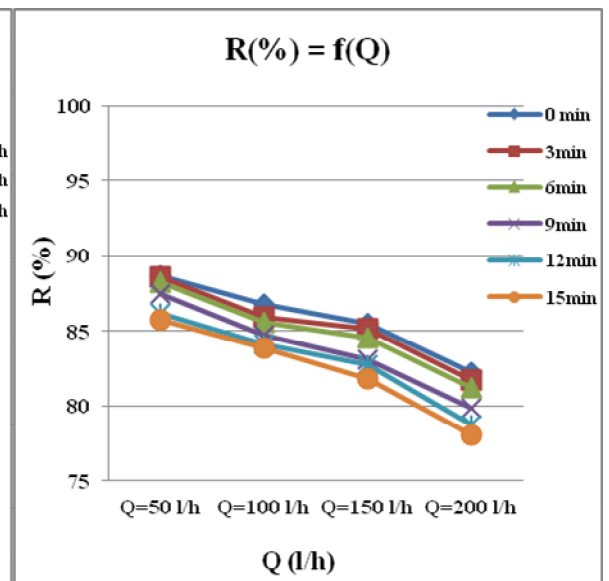
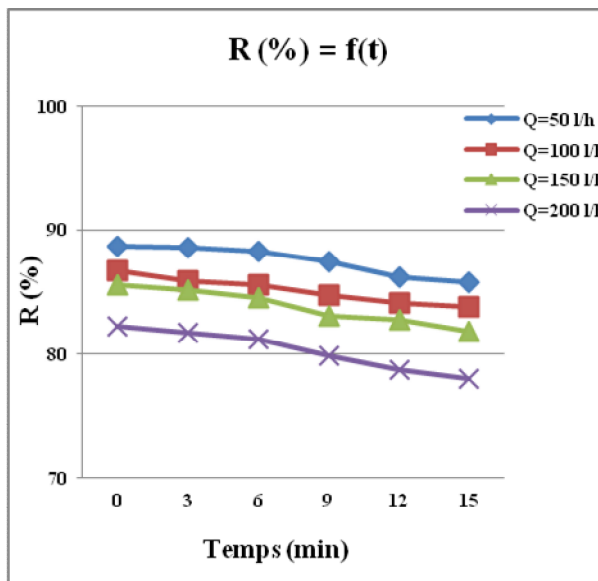


Figure V.75 : le rendement de la filtration en fonction du temps.

Figure V.76 : le rendement de la filtration en fonction du débit.

- D'après les histogrammes des figures N° (V.72, V.73) on remarque que la turbidité diminue après filtration né au moins elle augmente avec le temps jusqu'à ce qu'elle se stabilise, et elle augmente aussi en fonction du débit de filtration.
- On peut voir que plus le débit augmente plus la turbidité devient instable au cours du temps.
- Donc la turbidité varie d'une façon proportionnelle avec le temps et le débit de filtration.
- A partir des figures N° (V.74, V.75) on confirme que le rendement est un peu meilleur pour les débits 50 et 100l/h que pour 150 et 200 l/h.
- On confirme que plus le débit augment plus le rendement diminue, et il diminue aussi au cours du temps de la filtration.

Tous ces résultats s'expliquent par le faite, que lorsque le débit augmente et les dimensions des pores du milieu filtrants deviennent plus petites à cause du colmatage croissant, la vitesse augmente à son tour et par conséquent l'écoulement de l'eau filtré devient turbulent. Cette turbulence provoque un détachement des particules retenues par le filtre est donc une turbidité plus élevé est instable au cours du temps.

❖ Le pH :

Tableau V.63 : l'évolution de pH en fonction du temps et le débit a plusieurs instants.

Temps (min)	pH avant	pH après			
		Q=50l/h	Q=100l/h	Q=150l/h	Q=200l/h
0	7.62	7.49	7.52	7.49	7.51
3		7.38	7.57	7.60	7.57
6		7.60	7.51	7.53	7.54
9		7.48	7.55	7.48	7.47
12		7.46	7.55	7.55	7.50
15		7.52	7.49	7.58	7.49

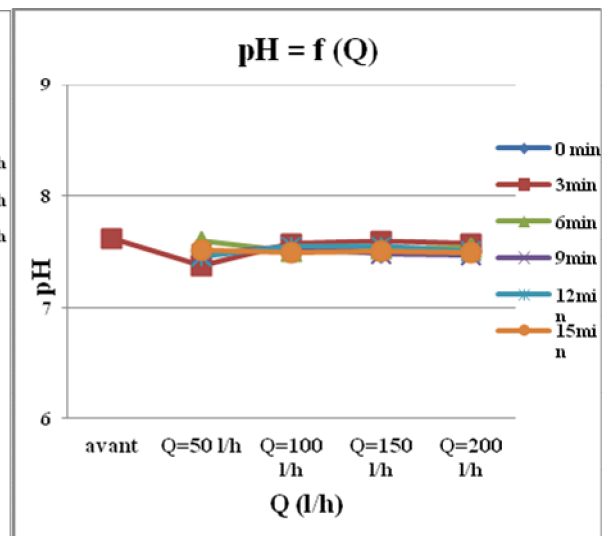
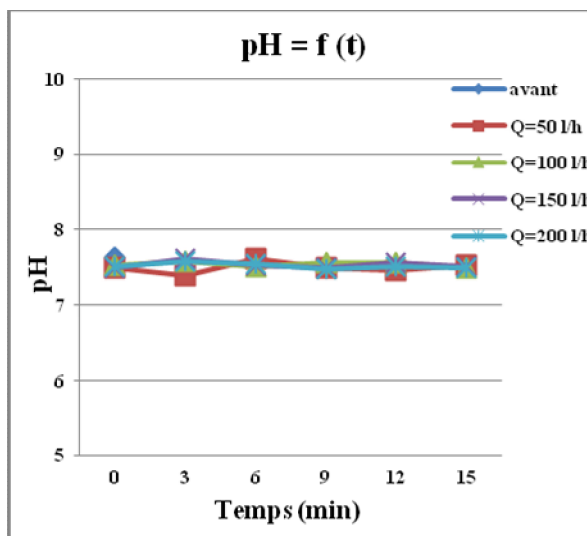


Figure V.77 : l'évolution de pH en fonction du temps pour les débits 50l/h, 100l/h, 150l/h et 200l/h.

Figure V.78 : l'évolution de pH en fonction du débit à plusieurs instants.

A partir des figures N° (V.76, V.77) on remarque une très petite variation de pH, donc on confirme que :

- ✓ Le pH ne varie pas, ni entre l'avant et l'après filtration, ni au cours du temps de filtration ni même avec la variation du débit.

Donc la filtration n'a pas d'influence sur le pH.

❖ La conductivité :

Tableau V.64 : l'évolution de la conductivité en fonction du temps et le débit à plusieurs instants.

Temps (min)	Cond(ms/cm) avant	Cond (ms/cm) après			
		Q=50l/h	Q=100l/h	Q=150l/h	Q=200l/h
0	10.10	9.7	9.9	10	10.10
3		10	9.7	10.10	10
6		9.9	10.10	10.10	9.9
9		9.9	10.10	10	10
12		10	10	10	10
15		9.9	10	10	9.9

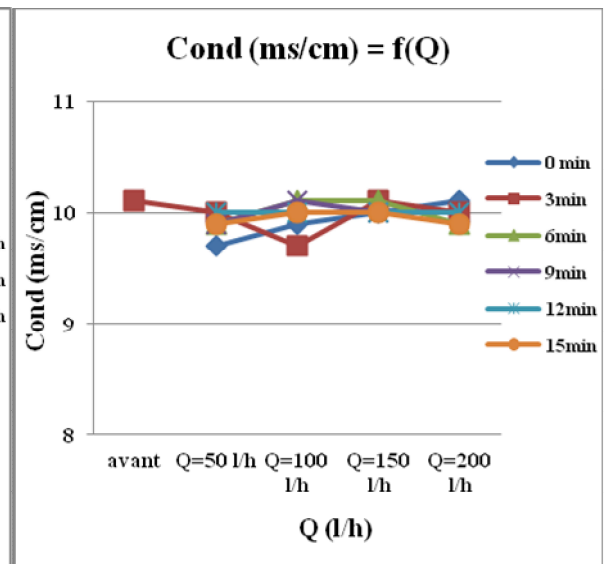
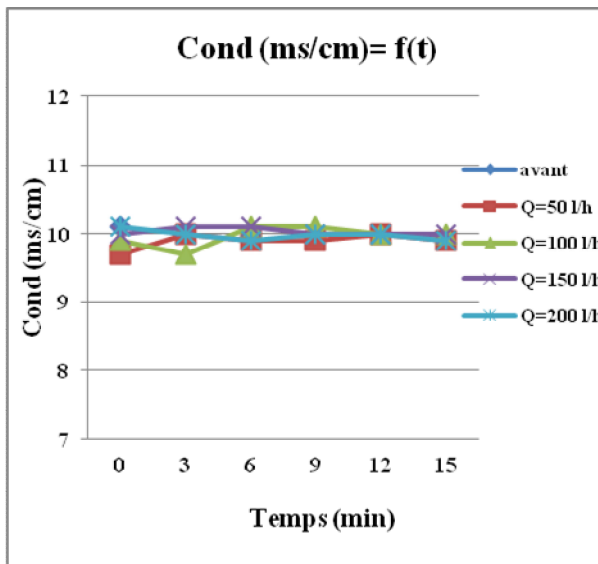


Figure V.79 : l'évolution de la conductivité en fonction du temps pour les débits 50l/h, 100l/h, 150l/h et 200l/h.

Figure V.80 : l'évolution de la conductivité en fonction du débit à plusieurs instants.

- A partir des figures N° (V.78, V.79) on constate que dans tous les essais effectués la variation de la conductivité est largement petite, elle reste presque la même au cours du temps et selon le débit.
- Donc la filtration n'a pas d'influence sur la conductivité.

❖ La température :

Tableau V.65 : l'évolution de la température en fonction du temps et le débit à plusieurs instants.

Temps (min)	T (°C) avant	T (°C) après			
		Q=50l/h	Q=100l/h	Q=150l/h	Q=200l/h
0	25.1	25.1	25.4	25.6	25.5
3		25.3	25.4	25.6	25.6
6		25.3	25.4	25.7	25.7
9		25.4	25.5	25.7	25.7
12		25.4	25.6	25.7	25.8
15		25.5	25.7	25.7	25.8

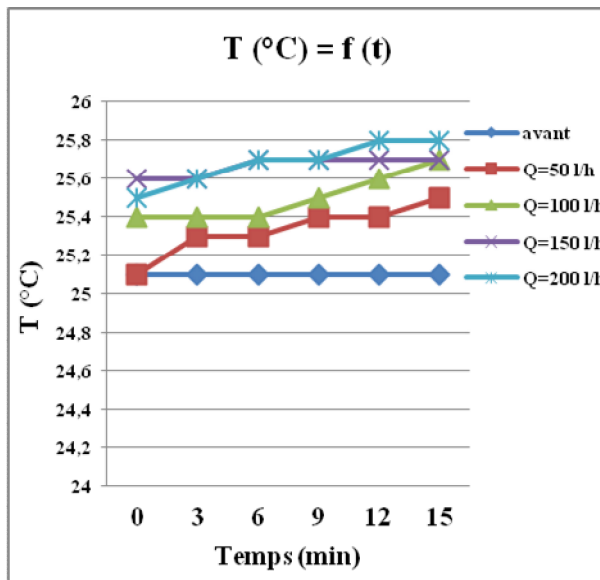


Figure V.81 : l'évolution de la température en fonction du temps pour les débits 50l/h, 100l/h, 150l/h et 200l/h.

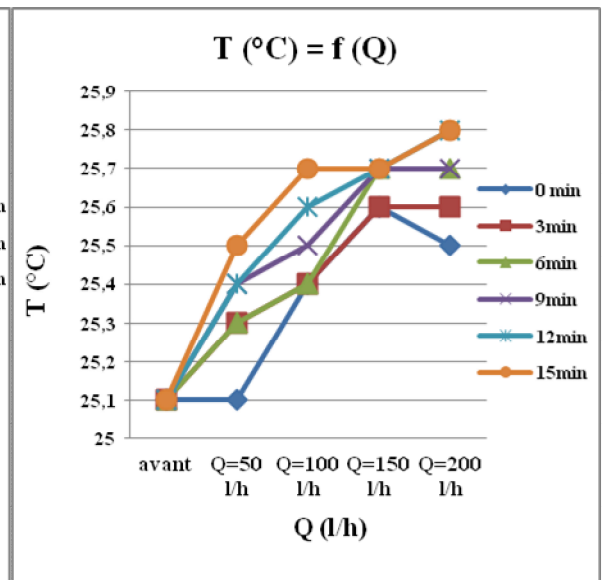


Figure V.82 : l'évolution de la température en fonction du débit à plusieurs instants.

- Nous remarquons aussi que la température n'a pas d'influence sur la filtration.

IV. Comparaison des paramètres physico-chimique des deux types de filtration:

Cette comparaison est faite en fixant la concentration en sel à $C_s = 5 \text{ g/l}$, la concentration de la bentonite à $C_B = 0.6 \text{ g/l}$.

Pour la filtration sur support on utilise quatre couches de tissu + 14 filtres.

Tableau V.66 : donne l'évolution de la turbidité, pH, Conductivité selon les deux types de filtration.

temps (min)	TUR (NTU)				pH				Cond (ms/cm)			
	Filtration sur sable		Filtration sur support		Filtration sur sable		Filtration sur support		Filtration sur sable		Filtration sur support	
	avant	Après	avant	Après	avant	Après	avant	Après	avant	Après	avant	Après
3	102.3	11.7	103	3.60	7.62	7.38	7.79	7.65	10.10	10	10.30	10.20
6		12.03		3.68		7.60		7.58		9.9		10.20
9		12.81		3.81		7.48		7.63		9.9		10.20
12		14.52		4.11		7.46		7.70		10		10.20
15		14.1		4.22		7.52		7.66		9.9		10.20

IV. 1. La turbidité :

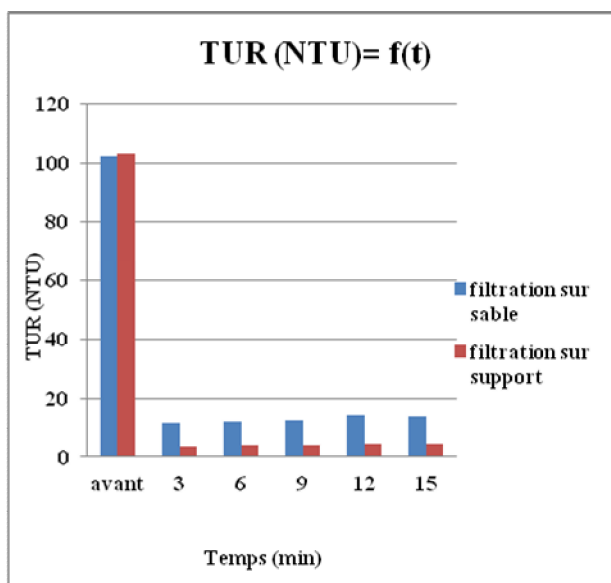


Figure V.83 : l'évolution de la turbidité selon le temps pour les deux types de filtration.

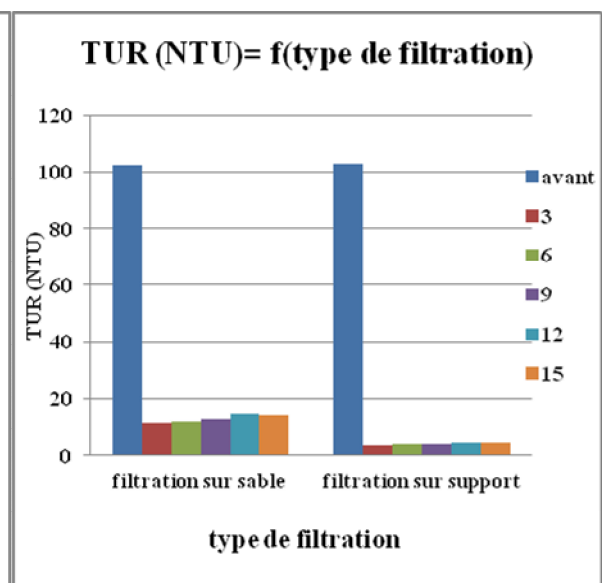


Figure V.84 : l'évolution de la turbidité selon les deux types de filtration.

D'après les figures on remarque que les deux types de filtration ont une influence sur la qualité de l'eau, et on remarque aussi que la turbidité obtenue pour la filtration sur support est plus faible que celle obtenue pour la filtration sur sable. Cette différence est expliquée par le fait que la filtration sur support utilise un grand nombre de filtre et des couches de tissu et la formation du gâteau à la surface du filtre, qui donnent une très faible perméabilité au filtre ce qui permettent d'avoir une meilleure rétention des particules de la bentonite.

IV. 2. Le pH :

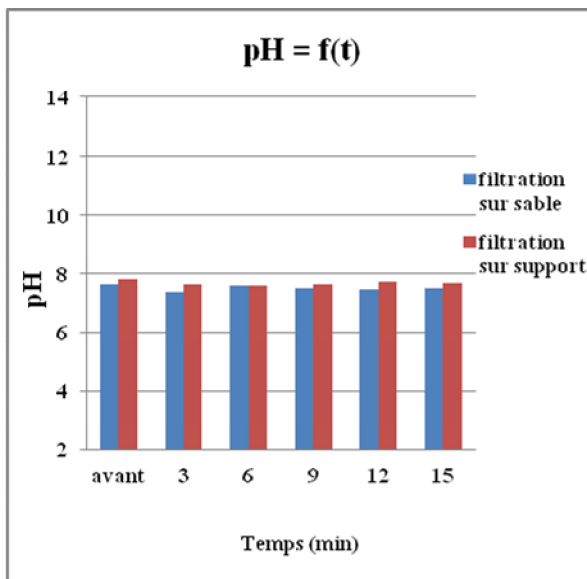


Figure V.85: l'évolution de pH selon le temps pour les deux types de filtration.

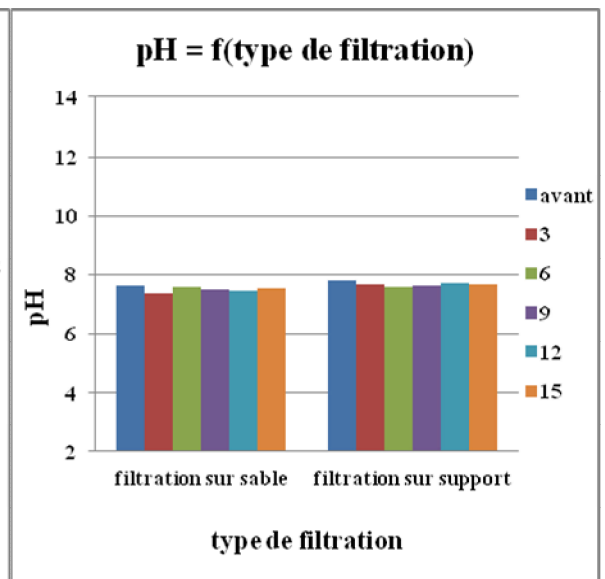


Figure V.86 : l'évolution de pH selon les deux types de filtration.

- D'après les figures on constate que le pH reste presque le même au cours du temps et selon le type de filtration. Donc la filtration soit sur support soit sur sable n'a pas d'influence sur ce paramètre.

IV. 3. La Conductivité :

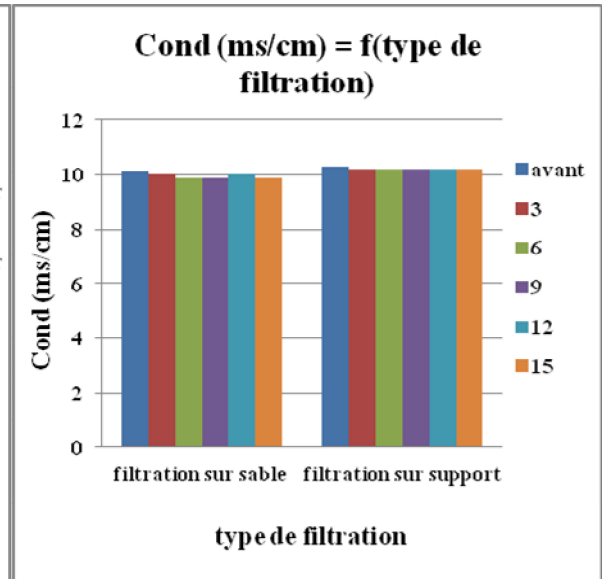
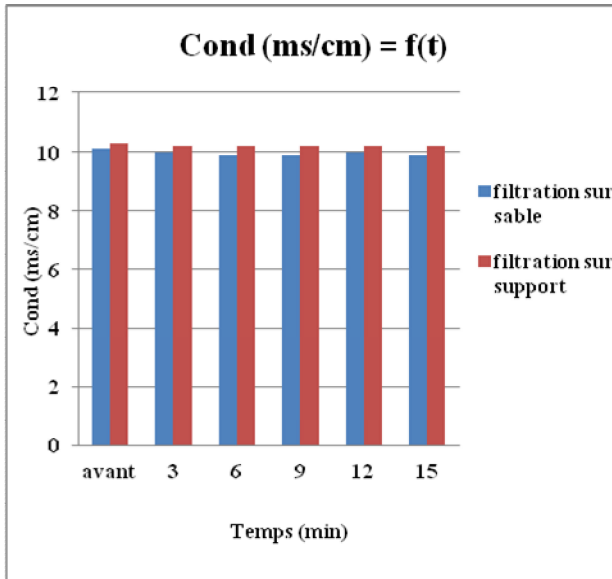


Figure V.87: l'évolution de la conductivité selon le temps pour les deux types de filtration.

Figure V.88 : l'évolution de la conductivité selon les deux types de filtration.

En ce qui concerne la conductivité, et à partir des figures on confirme que les deux types de filtration n'ont pas d'influence sur la conductivité du filtrat.

*Conclusion
Générale*

Conclusion Générale

La filtration est une étape très importante et indispensable dans la chaîne de traitement des eaux, c'est une séparation solide/liquide qui permet d'éliminer les particules échappées des traitements préalables de coagulation-floculation et décantation.

Notre étude de prétraitement des eaux moyennement saumâtre par filtration sur sable et filtration sur support est basée sur la reconnaissance de type de filtration la plus efficace et leurs fonctionnement, où les pilotes testés dans notre laboratoire sont le pilote de la filtration sur support et le pilote de la filtration sur sable, cette étude nous a permis d'analyser quelques paramètres de qualité des eaux filtrées : la turbidité, le pH, la conductivité et la température.

La discussion et l'étude des résultats des paramètres physico-chimique permet la comparaison entre les deux types de filtration, nous a ramené à conclure que :

- Les résultats trouvés à des débits différents ont montré que les deux types de filtration donnent des bons résultats même avec des grands débits.
- Les deux types de filtration permettent une bonne diminution de la turbidité mais d'après la comparaison des résultats nous notons des grandes différences des valeurs entre l'avant et l'après pour la filtration sur support et cela est remarqué surtout pour les grands nombre de filtre et des couches de tissu, donc on peut conclure que la turbidité :
 - ✓ Augmente de plus en plus que les matières en suspension d'eau brute augmente.
 - ✓ Elle est directement proportionnelle avec le débit et la pression de filtration.
 - ✓ Elle diminue de plus en plus que le nombre de filtre et le nombre des couches de tissu et l'épaisseur du lit de filtration augmentent.
- Les deux types de filtration permettent une bonne diminution de la turbidité avec un rendement qui peut dépasser les 50%, ce dernier :
 - ✓ Il est inversement proportionnel avec le débit et la pression de filtration.
 - ✓ Augmente de plus en plus que le nombre des filtres et le nombre des couches de tissu augmentent.

- Les deux types de filtration n'ont pas d'influence sur les autres paramètres (le pH, la conductivité, la température), où la variation de ces paramètres est petite entre l'avant et après filtration.
- Pour la filtration sur sable et concernant les pertes de charges on conclure que :
 - ✓ Elles sont directement proportionnelle selon le débit et donc selon la vitesse de filtration ;
 - ✓ Plus l'eau est chargée plus les pertes de charge augmente (colmatage rapide du filtre).

La conclusion la plus importante c'est que la filtration soit sur support soit sur sable sans des traitements préalables de coagulation-floculation et décantation, peuvent être parmi les prétraitements efficaces pour le traitement des eaux saumâtres de moyenne turbidité.

Bibliographie

- [1] : A.Musy, M.Soutter, A.Mermoud, 2007, « Ingénierie des eaux et du sol, processus et aménagements », 1^{er} édition, presses polytechnique et universitaire romandes.
- [2] : A. Lounnas, (2009), « amélioration des procédés de Clarification des eaux de la station hamadi-kroma de skikda », mémoire de magister, présenté à l'université du 20 août 1955 Skikda, faculté des sciences, département des sciences fondamentales, spécialité : chimie, http://www.univskikda.dz/theses_Memoires/Fac_sciences/Chimie/Opt_Pollu_Chim_Environnement/M.lounnas.pdf , consulté le (21/12/2012).
- [3] : Thémis, 2005, « Etude théorique et expérimentale du procédé d'électrocoagulation : application au traitement des effluents liquides hautement chargés en impuretés organiques et minérales », thèse de doctorat INPL, Nancy.
- [4] : J.bonin, (1986), « hydrauliques urbaine », 1er édition ,1977nouveau tirage 1986, édition eyrolles, 61, Bd saint-germain paris 5.
- [5] :Vilaginès.R, 2003, « Eau, environnement et santé publique « introduction à l'hydrologie », deuxième édition, LAVOISER, Médicales internationales et TEC & DOC.
- [6] : Raymonde Desjardins, (1997), « le traitement des eaux »2eme édition, édition l'école polytechnique de Montréal.
- [7] : A.Fecih, (2012), « l'influence de la filtration sur sable sur le traitement des eaux saumâtres », mémoire de master en hydraulique université de Tlemcen.
- [8] : Hernández Héctor .R, (2006), « Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau Potable », thèse de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse Spécialité Systèmes Automatiques, Préparée au Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des SystèmesduCNRShttp://tel.archivesouvertes.fr/docs/00/13/61/57/PDF/TheseHERNANDEZFinal_mvll.pdf ; consulté le (22/12/2012).
- [9] : R. Salghi, « différents filières de traitement des eaux », UNIVERSITE IBN ZOHR, école nationale des sciences appliquées d'Agadir. <http://www.abhato.net.ma/index.php/fre/content/download/20851/380298/file/DIFFERENT%20FILIERES%20DE%20TRAITEMENT%20DES%20EAUX.pdf>; Consulté le (24/12/2012).
- [10] : Dégremont, 1989, « Mémento technique de l'eau », tome 1, Technique et documentation,
- [11] :<http://www.aquaportail.com/definition-6139-eau-de-surface.html> ; consulté le (03/03/2012).
- [12] : Pierre. Mouchet, (2012), « Traitement des eaux avant utilisation - Filières et applications », Éditions Techniques de l'Ingénieur, 249, rue de Crimée75019 Paris – France. Consulté le (21/12/2012).

- [13] : Développement durable environnement et parcs, « Règlement sur la qualité de l'eau potable - Guide destiné aux établissements touristiques », Édition 2012, Québec. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/potable/etab-touris/guide-etabl-tourist.pdf>; consulté le (21/12/2012).
- [14] : LENNTECH, water treatment solution, www.lenntech.fr; consulté le (18/01/2013).
- [15] : L. Matini1, J.M. Moutou et M.S. Kongo-Mantono. (2009) : «Evaluation hydro-chimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo ».
- [16] : <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/souterraines/index.htm> consulté le (09/01/2013).
- [17] : «guide technique de suivi de la qualité des eaux souterraines (GTSQES) », (2008), édition Québec ; consulté le (09/01/2013).
- [18] :<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=1200> ; consulté le (20/03/2013).
- [19] : <http://www.sterimar.com/terre-planete-ocean.php>; consulté le (20/03/2013).
- [20] : V.Renaudin, 2003, « Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres » ; Université Henri Poincaré et chercheur au LSGC (Laboratoire des Sciences du Génie Chimique), CNRS, Nancy. <http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/le-dessalement-de-leau-de-mer-et-des-eaux-saumatres-840>; consulté le (21/03/2013).
- [21] : A .Maurel, (2006), « dessalement de l'eau de mer et les eaux saumâtres et autre procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce », 2^{ème} Edition, Paris, Edition Tec &Doc.
- [22] : A. Mizi, (2006), « Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de Bejaia et valorisation de déchets oléicoles », Thèse de doctorat, université d'Annaba.
- [23] : M. Gérard MIQUEL, (2003), « rapport sur la qualité de l'eau et de l'assainissement en France», tome II – annexes, office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques.<http://www.terreinipi.com/environnement/eau/Rapport%20du%20S%E9nat.pdf>; consulté le (16/03/2013).
- [24] : Groupe scientifique sur l'eau, (2003), « Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine - Nitrates/Nitrites », Institut national de santé publique du Québec. <http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/198CartableEau/Nitrates.pdf>; consulté le (28/12/2013).
- [25] : M.Laferriere, A.Nadeau, G.Malenfant, (1995), « La contamination par les nitrates : Prévention des risques à la santé ».
- [26] : Techniques physicochimiques applicables dans la production d'eau potable ou de process et dans le retraitement d'effluents industriels, (2009),http://www4.ac-nancy-metz.fr/ia54circos/ienstmax/sites/ienstmax/IMG/pdf_Techniques_physicochimiques_applicables_dans_la_production_d-2.pdf consulté le (15/03/2013).

[27] : W. Belokda, (2009), « Contribution à une gestion des effluents liquides hospitaliers », master génie de l'environnement et santé, Université chouaib doukkali el jadida. <http://www.memoireonline.com/04/10/3273/Contribution--une-gestion-des-effluents-liquides-hospitaliers.html> ; consulté (18/12/2012).

[28] : E.Jestin, « la production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaire », agence de l'eau seine – Normandie, direction des bocages normande, 1, rue de la pompe, 14200 Hérouville-Saint-Clair , <http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/bocagenormands/pdf/traitement%20des%20eaux%20et%20consommation.pdf>; consulté le (14/12/2012).

[29] : http://www.lagrandepoubelle.com/wikibis/dechet/pollution_radioactive.php; consulté le (16/03/2013).

[30] : <https://sites.google.com/site/tp pollution s/pollutioneauxdouces> consulté le (16/03/2013).

[31] : Fiche ressource n°3, « Les différentes étapes du traitement de l'eau pour la rendre potable » http://colleges.planetetp.com/IMG/pdf/fiche_ressource_n03_cle889a33.pdf consulté le (21/12/2012).

[32] : A. Sidiki Maiga, (2005), « qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'edm.sa dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière », Faculté de Médecine de Pharmacie et D'odonto-stomatologie, Docteur en Pharmacie. (DIPLOME D'ETAT). <http://www.kenya.net/fmpos/theses/2005/pharma/pdf/05P43.pdf>; consulté le (16/03/2013).

[33] : Les données de l'IBGE : "L'eau à Bruxelles", (2005), « qualité physico- chimique et chimique des eaux de surface: cadre général ». http://www.ibgebim.be/uploadedFiles/Contenu_du_site/Centre_de_documentation/Fiche_Eau_02_FR.pdf ; consulté le (16/03/2013).

[34] : <http://membres.multimania.fr/pollutioneauxdouces/newpage9.html> ; consulté le (28/03/2012).

[35] : L'équipe technique de RéFEA, « analyse physico-chimique ». http://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/AnalyseEau/Physico_chimie_PresGen.pdf; consulté le (20/03/2013).

[35] : <http://www.cpepesc.org/Les-principaux-parametres.html> consulté le (28/03/2013).

[36] : Ayse TOSUN-BAYRAKTAR, « Traitement des eaux usées », Lavoisier. http://industriesdesprocedes.perso.sfr.fr/mcme/EAUXUSEES/1_3.pdf consulté le (14/03/2013).

[37] : H.Djeddi, (2007), « utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines », Mémoire de Magistère en Ecologie et Environnement Option Ecologie végétale, Université Mentouri Constantine, Département des Sciences de la Nature et de la Vie. <http://bu.umc.edu.dz/theses/biologie/DJE4878.pdf> consulté le (17/02/2013).

- [38] : http://www.chimie-analytique.wikibis.com/durete_de_l_eau.php consulté le (21/03/2013).
- [39] : « La dureté de l'eau », Avec le soutien du Ministre wallon de l'Environnement, 59 Avenue Cardinal Mercier, 5000 Namur, <http://agri-distri.com/durete-de-l-eau.pdf>; consulté le (21/03/2013).
- [40] : <http://www.abiolo.com/calcaire.htm>; consulté le (21/03/2013).
- [41] : <http://www.eauconforthabitat.com/consequences-eau-calcaire/durete-de-l-eau.html>.
- [42] : J.RODIER, (1996), « L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer », 7ème édition 1996.
- [43] : Benjamin H. « réseau de distribution d'eau potable »France, édition CATED.
- [44] : La qualité de l'eau, <http://data0.eklablog.net/ocan/perso/cours%20et%20tp%20en%20ligne/qualite%20eau.pdf> ; consulté le (16/03/2013).
- [45] : Limites de qualité des eaux destinées à la consommation humaine, http://www.ianesco.fr/web/images/valeurs_limites.pdf ; consulté le (22/03/2013).
- [46] : A. Awovi Selom, (2011), « évaluation de la qualité physico-chimique et Bactériologique des eaux de surface dans les zones Montagneuses du sud-ouest du Togo : cas du canton De lavie », mémoire de master international, spécialité : environnement eau et sante, UNIVERSITE DE LOME. http://www.univ-lome.tg/master_eau/phocadownload/ahonon_awoviselom.pdf; Consulté le (21/03/2013).
- [47] : <http://traitementeaux.e-monsite.com/pages/i-l-eau-potable/i-b-les-normes-de-potabilite/> ; consulté le (21/03/2013).
- [48] : Document d'aide technique pour les normes, directives et objectifs associés à la qualité de l'eau potable en Ontario, (2003). http://www.ene.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@ene/@resources/documents/resource/stdprod_095802.pdf ; consulté le (22/03/2013).
- [49] : Traitement de l'eau brute pour la rendre potable, <http://data0.eklablog.net/ocan/perso/cours%20et%20tp%20en%20ligne/les%20traitements%20des%20eaux.pdf> ; consulté le (23/01/2013).
- [50] : A.kettab, (1992), « traitement des eaux », office des publiques universitaires, 1, place centrale de ben-aknoun(Alger).
- [51] : http://salsabilplus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=298&Itemid=398 consulté le (19/03/2013).

- [52] : René Moletta, «L'eau, sa pollution, et son traitement », 1504 Route des Bottières 73470Novalaise,France.http://molettamethanisation.fr/documents/CHAP_6%20L%20EAU%20POTABLE.pdf consulté le (20/03/2013).
- [53] : Procédés reconnus destinés au traitement de l'eau potable, (2010), département fédéral del'intérieurDFI.<http://www.bag.admin.ch/themen/lebensmittel/04858/04864/04903/index.html?lang=fr> ; Consulté le (28/11/2012).
- [54] : C.Gomella et H.Guerrée, (1978), « le traitement des eaux publiques, industrielles et privées », 2^{ème} édition, 61, boulevard sanit, germani 75005, paris.
- [55] : L.Charif, (2012), «l'influence de la coagulation-floculation et décantation sur le prétraitement des eaux saumâtres », mémoire de master en hydraulique université de Tlemcen.
- [56] : Abdelkader Gaid, (1984), « épuration biologique des eaux usées urbaines », tome I, tome II, 1, place centre de benaknoun (Alger).
- [57] : G.Peiffer, 2002, « Impact environnemental des effluents d'abattoirs : actualités techniques et réglementaires », thèse de doctorat, université Paul-Sabatier de Toulouse. http://oatao.univ-toulouse.fr/912/1/picco_912.pdf; consulté le (23/03/2013).
- [58] : Hydranet, « Traitement des eaux usées », http://www.hydranet.fr/doc/621_Degrillage.pdf ;consulté le (14/12/2012).
- [59] : Dégrémont, (1972), « mémento technique de l'eau », 11, rue la voisier-paris (8^e).
- [60] : Chambre syndicale de la recherche et de la production du pétrole et du gaz naturel, comité des techniciens, (1993), « circuits eau de mer traitements et matériaux », édition technip,paris<http://books.google.dz/books?id=B0jtlHxPsSEC&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false> ; consulté le (23/03/2012).
- [61] :http://www.europelec.com/tl_files/client/images_contenus/Complement%20de%20gamme/degrilleur_courbe_DCM.jpg
- [62] :« Tamis rotatif », ingénierie du traitement des boues, EMO. <http://www.emo-france.com/img-traitements-boues/pdf/tamis-rotatif.pdf>; consulté le (23/03/2013).
- [63] : Deshayes M ,2008 : guide pour l'établissement des plans d'assurance de la qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de types boues activées en lots séparés, mémoire en génie civil, stasbourg.[http :www.ademe.fr](http://www.ademe.fr).
- [64] : Mohand-SaidOuali(2001) : « traitement des eaux », place centrale de Ben-Aknoun (Alger).
- [65] : C.Gomella et H.Guerrée (1978), « Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurale » ingénieur conseil correspondant national de l'académie d'agriculture de France Guerrée colonel honoraire du génie ingénieur ETP paris édition E4rolles.
- [66] : <http://ecoledeleau.eau-artois-picardie.fr/IMG/jpg/degraisseur.jpg> ; consulté le (05/04/2013).

- [67] : <http://www.gererleau.org/spip.php?article65>; consulté le (16/04/2013).
- [68] : <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/potable/traitEau.html>; consulté le (16/04/2013).
- [69] : <http://www.eau-poitou-charentes.org/Les-differentes-etapes-d-une.html>; consulté le (16/04/2013).
- [70] : F.VALIRON, (1989), « Gestion des Eaux : alimentation en eau - assainissement », Presses de l'école Nationale des ponts et chaussées, Paris,
- [71] : Claude Cardot, (1999), « les traitements de l'eau », ellipses édition marketing S.A, 1999, ruebargue 75740 paris.
- [72] : <http://www.drinking-water.org/assets/181x/00000445.jpg>.
- [73] : Hugues Godart, (2012), « Eaux de distribution – Clarification », Ingénieur civil des Mines, Ingénieur en chef à la Générale des Eaux.
- [74] : B.Lakhdari, (2011), « Effet de la coagulation-floculation sur la qualité des eaux épurées de la STEP de Ain El Houtz », mémoire de magister, université de Tlemcen.
- [75] : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0910/bei/beiere/groupe3/node/118> consulté le (24/03/2013).
- [76] : M. Sadi et Mr F.Tarmoul, (juillet 2007), « détermination de la pollution résiduelle d'une Station d'épuration par lagunage naturel « cas de lagune de Beni-Messous », www.memoireonline.com. ; consulté le (23/12/2012).
- [77] : M.Salvadori, (2010), « Eau potable: traitement et qualité d'eau », VEOLIA eau, http://acces.enslyon.fr/acces/formation/formations/formaterre/edition2010/conferences/pdf/Formaterre_2010_Salvadori.pdf ; consulté le (14/03/2013).
- [78] : Y.GHERAIRI, (2008), « Contribution à l'étude de l'efficacité de la filtration biologique sur sables de dunes », Mémoire de Magister en Hydraulique, Option : Aménagement hydraulique en zones arides, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA. http://bu.univ-ouargla.dz/Yamina_GHERAIRI.pdf?idthese=606 consulté le (15/02/2013).
- [79] : A.Chevale, (1982) : «La désinfection des eaux de consommation », diffusion 11, rue Lavoisier.
- [80] : S.BAIG, P. Mouchet, (2012), « oxydation et réduction appliquées au traitement d'eau-oxygène, chlore et dérivés », Éditions Techniques de l'Ingénieur 249, rue de Crimée 75019 Paris – France. ; Consulté le (21/12/2012).
- [81] : Thmozeau.R. (1981) : "stations d'épurations ", 11, rue Lavoisier-75008 Paris,
- [82] :B. Jean-Paul, (1984) « Traitement des eaux », Edition Le Griff on d'argile INC, Canada,
- [83] : A.Dupnt, (1986), « hydraulique urbain », tome I, hydrologie captage et traitement des eaux, 61, boulevard saint-germain75005 paris.

- [84] : GLS distribué par DYNAMIVE Sarl, 2006, « L'élimination du fer et du manganèse dans l'eau », <http://www.dynavive.eu/DocuPDF/EliminationFerManganese.pdf> ; consulté le (23/01/2013).
- [85] : François de dardel, (1998), « Échange d'ions - Principes de base », Service Relation Clientèle • Éditions Techniques de l'Ingénieur • 249, rue de Crimée 75019 Paris – France. Consulté le (04/05/2013).
- [86] : "Echangeurs d'ions, résines absorbantes et catalyseurs destinés au traitement de l'eau et de solutions diverses, à l'épuration d'eaux résiduelles et à la chimie", Ed Bayer, Lewatit, n°10, 1992.
- [87] : <http://tpebdmw.e-monsite.com/pages/ii-les-atouts-et-les-limites/la-distillation.html> consulté le (12/11/2012).
- [88] : MED POL « dessalement d'eau de mer dans les pays méditerranéens en évaluation des impacts sur l'environnement et lignes directrices proposées pour la gestion de la saumure », 7 mai 2001 ; Venise, Italie.
- [89] : S. Nisan, « dessalement de l'eau de mer par les réacteurs nucléaires », CEA, DEN/CAD/DER/SESI, CEN Cadarache, 13108, Saint Paul-lez-Durance. <http://up.sur-la-toile.com/i6I6> consulté le (30/03/2013).
- [90] : <http://www.electrocolloidal.com/2010/07/18/quels-sont-les-avantages-et-les-inconvenients-de-la-distillation/> ; consulté le (12/11/2012).
- [91] : S.Mous et S.Dahmani, (2003) « étude de la filtration sur support », mémoire d'ingénieur en hydraulique université de Tlemcen.
- [92] : Automne 2009, « La filtration sur sable », Hubert Cabana, <http://www.civil.usherbrooke.ca/cours/gci720/Chapitre%205%20-Filtration.pdf> ; consulté le (18/12/2012).
- [93] : Zemali.S, (2004), « comparaison entre l'osmose inverse et l'ultrafiltration pour le dessalement de l'eau de fortes concentrations en sels », PFE ingénieur d'état en hydraulique.
- [94] : F. Mekhalif, (2009), « réutilisation des eaux résiduelles industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement », Présenté à l'Université du 20 Août 1955 SKIKDA, Faculté des Sciences, Département des Sciences Fondamentales, Spécialité : Chimie, Option : Pollution Chimique et Environnement. http://www.univskikda.dz/theses_Memoires/Fac_sciences/Chimie/Opt_Pollu_Chim_Environnement/memoire_Faiza_MEKHALIF.pdf ; consulté le (27/12/2012).
- [95] : Traitement de potabilisation des eaux de surface : filtration ; Conf2006/66 par EAU DE PARIS : société anonyme de gestion des eaux de paris, <http://step.ipgp.jussieu.fr/images/4/4b/FILTRATION.pdf> ; consulté le (22/12/2012).
- [96] : Filtration, http://eduscol.education.fr/rnchimie/gen_chim/triboulet/rtf/filtration.pdf ; consulté le (17/12/2012).

- [97] : S.Ezziane, « Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT « TENES » » ; 2006-2007, thèse de magistère, Université HASSIBA BEN BOUALI de CHLEF, Faculté des Sciences et Sciences de l'ingénieur, Département de Génie des procédés Spécialité : Eau et environnement.http://bu.univ-chlef.dz/doc_num.php?explnum_id=11 ; consulté le (19/12/2012).
- [98] : SAOUDI. A; L'influence de la filtration sur sable sur la qualité des eaux potables; 2009- 2010; Mémoire de projet de fin d' d'ingénieur d'état en hydraulique, Tlemcen.
- [99] : Dominique, (2011), « filtration des saumures », <http://ebookbrowse.com/filtration-des-saumures-pdf-d132825366> consulté le (24/12/2012).
- [100] : Ministère du Développement durable; de l'Environnement et des Parcs, (2007), « Guide de conception des installations de production d'eau potable - Volume 1 », modifier le (14/05/2012).
- [101] : A.brouard, (2006), « marche à suivre pour désinfecter l'eau potable en ontario », http://www.ene.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@ene/@resources/documents/resource/stdprod_095800.pdf ; consulté le (19/01/2013).
- [102] : http://www.bassinkoi.fr/crbst_76.html; consulté le (15/01/2013).
- [103] : S. Attab, (2011), « amélioration de la qualité microbiologique des eaux épurées par boues activées de la station d'épuration haoud berkaoui par l'utilisation d'un filtre à sable local » mémoire de magister, Spécialité : biologie, option : microbiologie appliquée, université KASDI MERBAH-OUARGLA. http://bu.univ-ouargla.dz/ATAB_Sarah.pdf?idthese=97 ; consulté le (21/02/2013).
- [104] : Degrémont. (2005) : « Mémento technique de l'eau », 2^{ème} édition, Lavoisier SAS 14 rue de Provigny,
- [105] : I.BAUDIN, J.M. Rodrigues, S.Huet, (2005), « Optimisation du procédé de clarification Utilisation des Polymères Cationiques », Etude financée par l'Agence de l'Eau Seine Normandie, TECHNOLOGIES DE L'EAU - Alimentation en Eau Potable - 00AEP00, suiez environnement.
- [106] : J. Kouakou, (2008), « développement d'une zone humide simulée plantée avec amaranthacea et capri: aridacea pour le traitement des eaux usées domestiques », ATPS Working Paper Séries No. 50, http://www.atpsnet.org/Files/working_paper_series_50.pdf; Consulté le (08/03/2013).
- [107] : M. Nicolas, (2003), « écoulements dans les milieux poreux », Ecole Doctorale mécanique, Physique et Modélisation, Université de Provence, Marseille. <http://iusti.polytech.univ-mrs.fr/~nicolas/publiperso/PoreuxPolytechA3.pdf> ;consulté le (10/03/2013).
- [108] : M.Said.Bir, (2012), « écoulement de l'eau au travers les milieux poreux : approche stochastique », mémoire de magister en génie civil, Université Mouloud Mammeri, Tizi

Ouzou. http://www.ummt0.dz/IMG/pdf/These_de_Magistere_de_Mr-_BIR_Said-2.pdf;
consulté le (01/03/2013).

[109] :M.Bensalah et H.Miloud, (1993), « étude numérique et expérimentale des écoulements à travers les filtres de graviers », mémoire d'ingénieur en hydraulique université de Tlemcen.

[110] : M.Khiloun et T.Khiri, (1992) « étude au laboratoire des propriétés hydraulique des graviers de la région de Tlemcen », mémoire d'ingénieur en hydraulique université de Tlemcen.

[111] : Yves Géraud, Univ. Louis Pasteur - Strasbourg, Centre de Géochimie de la Surface<http://planet-terre.enslyon.fr/planetterre/XML/db/planetterre/metadata/LOM-permeabilite-des-roches.xml>.

[112] : D.Leclerc, G.Baluais, (2012), « Filtration - Aspects généraux », Service Relation Clientèle • Éditions Techniques de l'Ingénieur • 249, rue de Crimée 75019 Paris – France. ; Consulté le (17/12/2012).

[113] : <http://www.deltalab.fr/enseignement-genie-des-procedes/genie-des-procedes/genie-de-lenvironnement/filtration-sur-support-2013-filtre-presse-mp140> ; consulté le (27/03/2013).

[114] : D.Lallier, (2012), « Filtration frontale avec adjuvants », Service Relation Clientèle • Éditions Techniques de l'Ingénieur • 249, rue de Crimée 75019 Paris – France. ; Consulté le (17/12/2012).

[115] : F.Chemouri et M.Mekelleche, (2002) « comparaison entre la qualité de l'eau filtrée sur sable et l'eau filtrée sur support », mémoire d'ingénieur en hydraulique université de Tlemcen.

[116] : <http://www.hellopro.fr/merck-millipore-2443-2001833-societe.html>; consulté le (03/04/2013).

[117] : G. MÉRIGUET, (2012), « Filtration – Technologie », Éditions Techniques de l'Ingénieur • 249, rue de Crimée 75019 Paris – France.
<http://www.techniques-ingenieur.fr/www.sndl1.arn.dz/res/pdf/encyclopedia/42318210-j3510.pdf>

[118] : <http://www.directindustry.fr/prod/ertelalsop/filtre-presses-a-cadres-et-a-plateaux-pour-laboratoire-69798-927747.html>. ; Consulté le (12/04/2013).

[119] :MARIEHELENE.MANERO,« coursfiltration »,http://www.iutlse3.fr/moodle/pluginfile.php/15256/mod_resource/content/1/FILTRATION%20COURS%20MHManero.pdf ; consulté le (29/07/2013).

[120] : http://www.emse.fr/~brodhag/TRAITEME/fich4_3.htm. ; Consulté le (12/04/2012).

[121] : C.Gomella et H.Guerrée, (1978), « les traitements des eaux publiques, industrielles et privées », 2^{ème} édition, 61, boulevard saint-germain 75005 paris.

[122] : Filtration lente sur sable : présentation générale [http://www.oiseau.fr/REFEA/Fiches/traitement potable/1 filtration lente pG1.htm](http://www.oiseau.fr/REFEA/Fiches/traitement%20potable/1%20filtration%20lente%20pG1.htm). ;Consulté le (15/02/2013).

[123] : BEAUDRY. J.P, "Traitement des eaux". Edition de Griffon d'argile, 1984.

[124] : Traitement des eaux conventionnel : coagulation et filtration, (2009), FEPS (fondation del'eapotablesure),modifiele09/08/2011.<http://www.safewater.org/PDFS/knowthefacts/frenchfactsheets/TraitementdeseauxconventionnelCoagulationetFiltration.pdf> consulté le (01/03/2013).

[125] : Daniel Thevenot et Gilles varrault cereve, (2005), « traitement des eaux potable », université parisXII-val de Marne, ENPC, ENGREF (UMR-MA102), <http://www.enpc.fr/cereve/HomePages/thevenot/Eau-Potable-Traitement-2005.pdf> ;consulté le (17/03/2013).

[126] : Jose Givron, (2007), « utilisation du charbon actif dans la problématique environnementale », CPL carbone Link, Europeur, ECGP'62007-France-Marseille, www.eurodeur.com/docs/pdf/programme-eurodeur-2007.pdf ; Consulté le (17/03/2013).

[127] : SCHL-CMHC, société canadienne d'hypothèques et de logement, http://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/co/enlo/eaesus/eaesus_004.cfm Consulté le (3/03/20113).

[128] : Mme.M.Gamarsni, (1986), « le gout de l'eau », diffusion, 11, rue Lavoisier F-75384 Pris cedex08.

[129] :<http://www.une-eau-pure.com/purification-de-l-eau/purificateur-d-eau.html>.Consulté le (02/03/2013).

[130] : Document de consultation publique, Préparé par le Comité fédéral-provincial-territorial sur l'eau potable, (2011), « La turbidité dans l'eau potable », santé canada, http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/consult/_2011/turbidit/draft-ebauche-fra.php consulté le (13/12/2012).

[131] : http://www.filtres-fourmier.com/filtres_diatomees.html ; consulté le (21/02/2013).

[132] : Technique de traitement : Santé de l'environnement et du milieu de travail ; SantéCanada www.sc-hc.gc.ca; dernière modification le 07 janvier 2008 ; consulté le 13 mars 2013.http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/turbidity/chap_7-fra.php;

[133] : Bulletin Technique : pilote de filtration sur support TE 500 ; DELTALAB. 38340 VOREPPE – France.

[134] : Bulletin Technique : pilote de filtration sur sable TE 400 ; DELTALAB. 38340 VOREPPE – France.