

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. M. OULHADJ - Bouira
Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département de Génie des Procédés



Mémoire

Présenté par

MESSAD Fatima

GUETTAF Soumia

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière: Génie des Procédés

Spécialité : Génie de l'Environnement

**Etude des paramètres de filtration gravitaire
sur sable et sur grignon d'olives**

Déposé le 14/10/2021

Évalué par le jury composé de :

Mme GHEBRID N.	MAB	UAMO, Bouira	Examinatrice
Mme HAMMACHE F.	MCB	UAMO, Bouira	Examinatrice
Mme. HADIOUCHE D.	MCB	UAMO, Bouira	Encadrant

Remerciements

C'est plus qu'agréable pour nous, d'exprimer notre sincère gratitude et notre profonde reconnaissance à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, au succès de ce mémoire.

Notre première dette de gratitude doit aller à M^{me}. HADIOUCHE D, MCB à l'université de Bouira, avec qui nous avons eu le grand plaisir de travailler tout au long de ce mémoire. Nous avons trouvé auprès d'elle rigueur et disponibilité. Il nous est particulièrement agréable de la remercier pour l'aide constante et efficace qu'elle n'a cessé de nous prodiguer. Qu'elle en soit vivement remerciée.

Nous tenons à témoigner ici nos respectueuses reconnaissances à M^{me}. HAMMACHE F., MCA à l'université de Bouira, pour l'intérêt qu'elle a portée à notre travail, en acceptant d'examiner ce travail. Il nous est aussi agréable de remercier profondément M^{me}. GHEBRID N., MAB de l'Université de Bouira, de nous avoir fait l'honneur de juger ce travail. Qu'elles soient assurées de notre profonde reconnaissance.

MESSAD Fatima & GUETTAF Soumia

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à : mes parents ; mes chères ; sœurs Et toute ma famille.

Fatima.

Je dédie ce modeste travail à : mes parents ; mes chères sœurs ;

Et toute la famille GUETTAF.

Soumia

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre 1 : Etude bibliographique	3
1 Filtration comme procédé de traitement des eaux	4
1.1 Généralité sur les procédés de traitement de l'eau potable	4
1.1.1 La décantation :	4
1.1.2 La coagulation :	4
1.1.3 La floculation	4
1.2 La filtration	4
1.2.1 Historique	5
1.2.2 Objectifs de la filtration	5
1.2.3 Principe de filtration	6
1.2.4 Les mécanismes de la filtration	6
1.2.4.1 Mécanisme de capture	6
1.2.4.2 Mécanisme de fixation.....	7
1.2.4.3 Mécanisme de détachement	7
1.2.5 Types de filtration.....	7
1.2.5.1 Filtration sur gâteau.....	7
1.2.5.2 Filtration à lit profond.....	8
1.2.6 Caractéristiques des matériaux filtrants.....	8
1.2.6.1 La nature de la couche filtrante	8
1.2.7 L'analyse granulométrique	11
Principe	11
1.2.8 Les paramètres granulométriques :.....	11
1.2.8.1 La taille effective (<i>TE</i>) :	11
1.2.8.2 Le coefficient d'uniformité (<i>CU</i>).....	11
1.2.8.3 Indice de classement (<i>SO</i>).....	11
1.2.8.4 Indice d'asymétrie (<i>A</i>)	12
1.2.8.5 La porosité.....	12
1.2.8.6 La perméabilité	12
1.2.9 Différents types de filtre.....	13
1.2.9.1 Filtration lente.....	13
1.2.9.2 La filtration rapide ouverte ou classique	15
1.2.9.3 Constitution d'un filtre rapide	155
1.2.9.4 Filtration sous pression	16
1.2.9.5 Filtration mixte.....	16
1.2.9.6 Filtration directe	17
1.2.9.7 Filtration sur charbon actif.....	17
1.2.9.8 Filtration sur terre diatomée	18

Chapitre 2 : Matériels & méthodes Analytiques	21
2 Matériels et méthodes analytiques	22
2.1 Présentation du banc d'essai	22
2.2 Objectifs des expériences	23
2.3 Description technique de l'appareil	23
2.4 Le protocole expérimental de MP31	27
2.4.1 Le milieu filtrant :	27
2.4.2 Les grainions d'olive :	27
2.4.3 Le sable :	28
2.5 Analyse physico-chimique	31
2.6 Analyse granulométrique	31
2.7 Mesure de la turbidité	32
Chapitre 3 : Résultats & Décisions	33
3 Résultats et discussions	34
3.1 Calcul des refus cumulés d'ordre décroissant du haut vers le bas :	34
3.2 Etude des pertes de charges :	35
3.2.1 Pertes de charges selon l'épaisseur du filtre ouvert, fonctionnant par simple gravité à la pression atmosphérique :	35
3.2.2 Comparaison des pertes de charge des deux matières de filtrations (sable grignons) :	38
3.3 Influence de certains paramètres sur la filtration :	40
3.3.1 Effet du débit sur la filtration :	40
3.4 Effet de l'épaisseur de la couche de sable	433
3.5 Comparaison des paramètres physico-chimiques des deux matières filtrantes :	466
Conclusion & perspective	499
Conclusions	50
Bibliographie	51

Liste des tableaux :

Tableau 1-1 : les matériaux filtrants les plus couramment utilisés.....	9
Tableau 3-1 : L'analyse granulométrique du sable.....	34
Tableau 3-2 : les pertes de charge selon l'épaisseur de sable des différents débits avec $H_s=80\text{cm}$	35
Tableau 3-3 : les pertes de charge selon l'épaisseur de sable des différents débits avec $H_s=24\text{cm}$	37
Tableau 3-4 : Les pertes de charge selon l'épaisseur de sable et des grignons avec épaisseur de 24 cm et $Q=100\text{ L/H}$:	38
Tableau 3-5 : Données de la turbidité de l'eau en fonction du temps pour différents débits avec $H_s=24\text{cm}$	40
Tableau 3-6 : données de l'absorbance de l'eau en fonction du temps pour différents débits avec $H_s=24\text{cm}$	42
Tableau 3-7 : Evolution de la turbidité en fonction du temps de chaque épaisseur de sable avec $Q=100\text{L/H}$	43
Tableau 3-8 : Evolution de l'absorbance en fonction du temps de chaque épaisseur de sable pour $Q=100\text{h}$	44
Tableau 3-9 : Evolution de la turbidité en fonction du temps de chaque épaisseur de sable pour $Q=100\text{L/H}$	46
Tableau 3-10 : : Evolution de l'absorbance en fonction du temps de chaque matière (sable, grignons) avec $Q=100\text{h}$, $H_s=24\text{cm}$	47

Liste des figures :

Figure 1.1 : Représentation des types de filtration : a) filtration sur gâteau et b) filtration à lit profond (b)	7
Figure 2.1 : Pilote MP31 de la filtration gravitaire.	23
Figure 2.2 : Schéma de principe pilote MP 1	24
Figure 2.3 : Différents éléments du pilote MP31	26
Figure 2.4 : les grignons d'olive : a) avant traitement et b) après traitement	28
Figure 3.1 Distribution granulométrique du sable utilisé	34
Figure 3.2 : pertes des charges selon les débit et l'épaisseur de filtre	36
Figure 3.3 : Pertes de charges selon le débit et l'épaisseur du filtre.	37
Figure 3.4 : Pertes de charges selon le débit et l'épaisseur du filtre pour le sable et les grignons.....	39
Figure 3.5: Evolution de la turbidité de l'eau en fonction du temps pour différents débits.....	41
Figure 3.6: Evolution de l'absorbance de l'eau en fonction du temps pour différents débits.....	42
Figure 3.7 : Evolution de la turbidité en fonction du temps de différents épaisseur de sable avec $Q=100\text{L/H}$	44
Figure 3.8 : Evolution de l'absorbance en fonction du temps de différents épaisseur de sable avec $Q=100\text{L/h}$	45
Figure 3.9 : Evolution de la turbidité en fonction du temps de chaque matière	47
Figure 3.10 : : Evolution de l'absorbance en fonction du temps de chaque matière (sable, grainions) avec $Q=100\text{h}$, $H_s=24\text{cm}$	48

ONU : L'Organisation des Nations Unies

OMS : L'Organisation mondiale de la Santé

UNT : Unités Néphélométriques de Turbidité

AFNOR : Association Française de Normalisation.

pH : Potentiel d'hydrogène

MES : Matière en suspension

TE : La taille effective

Cu : Coefficient d'uniformité

MF : Module de finesse

Q : le débit

ε : la porosité

A : la surface

L : l'épaisseur

DH : La hauteur

TAC : titre alcalimétrique complet

TH : titre hydrotimétrique

T : la température

Introduction générale :

L'eau c'est la vie, elle est l'élément vital pour le bien de tous les êtres vivants, dont l'être humain. Elle recouvre près des trois quart de la superficie de la terre, mais la fraction douce ne représente que 3 %. Cette quantité qui est la source principale d'approvisionnement en eaux de consommation, en principe invariable, diminue vu les problèmes de pollution de plus en plus considérables, alors que la demande en eau douce est toujours en croissance au niveau mondial. Cette forte demande résulte de la croissance démographique et de l'amélioration des conditions de vie.

L'eau que les réseaux publics nous fournissent provient de diverses sources. Cours d'eau, nappe phréatique, lac, barrage ainsi que les eaux de mer qui sont plus au moins polluées et salées. On a même recours aux eaux non conventionnelles.

L'eau de consommation doit répondre aux normes de potabilité. L'eau d'alimentation ne doit contenir ni de germes pathogènes ni de substances toxiques susceptibles de provoquer de graves contaminations chez le consommateur. Afin d'utiliser les différentes catégories d'eaux précitées et de les rendre potables on doit faire appel à un traitement [1, 2].

Le traitement consiste à transformer une eau brute qu'elle que soit son origine en une eau potable convenable à la consommation, et cela en la débarrassant de toutes les matières en suspension et colloïdales qu'elle contient ainsi que de certaines substances dissoutes.

Différents types de traitement peuvent être alors préconisés (la coagulation-floculation, décantation, filtration etc.) [1, 2].

La filtration gravitationnelle est ancien mode de traitement des eaux. En effet, la première installation de filtration à l'échelle industrielle date de 1829 en Angleterre. L'efficacité de ce procédé est reconnue comme moyen de prévention contre les épidémies d'origine hydrique des études bactériologiques ont démontré son pouvoir d'élimination des germes pathogènes [2, 3].

L'objectif de ce travail est d'étudier la filtration dans la masse sur une installation pilote de MP31. La filtration est une étape fondamentale de traitement des eaux, elle consiste à clarifier l'eau qui contient des particules en suspension, ces particules petites peuvent être décantées, peuvent être des êtres vivants. (Algues, bactéries, champignons etc.) Ou morts, organiques (humus, débris, végétaux, etc.) ou des minéraux (silicate, hydroxyde, etc.). La filtration s'effectue en général, à travers un milieu poreux constitué d'un lit de sable ou d'un autre matériau granulaire comme l'antracite et le charbon actif, les particules en suspensions sont retenues sur toute l'épaisseur de lit filtrant. Ce mémoire est composé d'une introduction générale suivie de trois chapitres.

Introduction générale

Le premier chapitre est une étude bibliographique sur les principaux procédés de filtration, les mécanismes hydrauliques, de la filtration gravitationnelle et les caractéristiques physiques du lit filtrant (sable) sont décrits.

Dans le second chapitre, nous représentons les méthodes expérimentales, le matériel et les réactifs employés, ainsi que les méthodes analytiques et le dispositif expérimental utilisés pour réaliser le traitement par filtration gravitaire ;

- Le troisième chapitre est consacré, aux études expérimentales, nous présentons les différents résultats obtenus lors de la réalisation du traitement de filtration gravitaire, seront aussi exposées aussi dans ce chapitre, une étude de la granulométrie du lit filtrant, une analyse physicochimique de l'eau avant et après filtration et enfin une étude de l'effet de certains paramètres sur l'efficacité de traitement par filtration sur sable.
- Une conclusion générale ainsi que quelques perspectives seront présentées en fin de ce mémoire.

Chapitre 1 : Etude bibliographique

1 Filtration comme procédé de traitement des eaux

1.1 Généralité sur les procédés de traitement de l'eau potable

La qualité des eaux destinées à la production des eaux potables est très variable le traitement de ces eaux ne peut se faire qu'avec une succession de traitements appropriés à leur nature et degré de pollution. La turbidité est l'un des principaux indices de pollution. En effet, une unité de traitement doit contenir des unités de clarification telle que les procédés physique (décantation et filtration) ou combinés avec des procédés chimiques comme la coagulation-floculation.

1.1.1 La décantation :

La décantation est un traitement essentiel pour l'obtention d'une eau de bonne qualité. Ce procédé s'opère par voie physique essentiellement sous l'effet de la gravité. La d'écantation permet l'élimination des matières en suspension présentes dans l'eau brute et celles formées par l'étape de coagulation floculation. Ceci provoque le dépôt des particules en suspension et la formation des boues au fond du bassin.

1.1.2 La coagulation :

La coagulation doit permettre l'abattement maximal de la charge organique et également de la turbidité. Elle consiste en l'ajout des réactifs en quantité optimale à la charge polluante de l'eau brute afin de neutraliser les matières colloïdales présentes dans l'eau. Les coagulants les plus utilisés sont les sels d'aluminium ou de fer. Le choix du réactif d'dépend des caractéristiques de l'eau brute (pH, minéralisation, teneur en matière organique et turbidité). Par exemple l'utilisation des sels de fer est préférée dans le cas d'une eau brute fortement chargée en matière organique d'origine dissoute.

1.1.3 La floculation

Ce procédé est assuré par l'intervention d'un réactif chimique (Floculant), qui provoque l'agglomération des particules déstabilisées en micro floc ensuite en flocons plus volumineux que l'on appelle floccs [1].

1.2 La filtration

La filtration réalise la séparation solide-liquide en faisant passer le liquide hôte au travers d'un milieu poreux, comme le sable, le gravier, le charbon en grains et divers filtres à tissu, à fibres et à céramique. Le milieu retient les particules tandis que le liquide passe au travers. Ce liquide, une fois extrait, porte le nom de filtrat [2]

Ce procédé permet aussi de retenir les particules en suspension dans l'eau, que celles-ci existent dans l'eau brute ou formées lors des étapes préalables de

traitement (coagulation - floculation). La filtration consiste à retenir les matières en suspension à la surface et dans les pores du lit filtrant durant le passage de l'eau au travers. L'objectif de la filtration ne se limite pas à la rétention des matières en suspension (MES), mais participe également à plusieurs tâches au sein de la chaîne de traitement en fonction des caractéristiques du matériau filtrant utilisé et des conditions de mise en œuvre. La majorité des filtres reposent sur un procédé physique de tamisage, mais certains fonctionnent également grâce à des mécanismes chimiques [1].

1.2.1 Historique

La filtration est l'une des techniques les plus anciennes et de loin la plus appliquée dans les opérations de traitement de l'eau, qu'elle soit à usage industriel ou domestique. C'est en 1804 qu'un écossais, du nom de John Gibb, a conçu et construit pour la première fois un filtre à sable expérimental pour sa blanchisserie de Daisley.

Produisant plus d'eau "traitée" qu'il n'en avait besoin, il commença à en vendre le surplus à la population. Par la suite, lui-même et d'autres techniciens perfectionnèrent cette méthode, à tel point qu'en 1829 fut construite pour la première fois une installation de filtration de l'eau, destinée à la consommation de la ville de Londres, sous la direction d'un nommé James Simpson. Depuis, cette méthode de traitement commença à se proliférer dans le monde industrialisé de l'Europe de l'époque. Elle a prouvé son efficacité par suite de nombreuses épidémies qui ont ravagé certaines populations consommant de l'eau non filtrée et épargnant pendant la même période d'autres populations consommant la même eau, mais filtrée. C'est le cas de l'épidémie de choléra de 1892, dont près de la moitié de la population de Hambourg a été victime, consommant les eaux de l'Elbe à l'état brut, et dont est sortie indemne la population d'Altona, procédant à la filtration de ces eaux [3].

De nos jours encore, la filtration demeure une étape indispensable dans une chaîne de traitement d'eau potable, à l'exception d'eau souterraine captée en forages, puits ou sources, et jugée de qualité assez bonne pour se passer de celle-là [3].

1.2.2 Objectifs de la filtration

La filtration est souvent indispensable, ne serait-ce qu'une mesure de sécurité et pour parvenir à une clarification correcte de l'eau. La chaîne de traitement se termine donc, dans la grande majorité des cas par une filtration ou plus exactement par une batterie de plusieurs filtres, permettant de maintenir le fonctionnement de l'installation lorsqu'un des filtres est à l'arrêt pour une anomalie. Les particules à éliminer peuvent exister à l'état naturel dans les ressources à l'état d'argiles, limons, sables, plancton, bactéries, parasites et des virus [4]. Le rôle de la filtration ne s'arrête pas à la seule clarification des eaux brutes destinées à la production des eaux potables mais il y a d'autres buts et

Intérêts tels que :

- Défrisassions - démagnétisation
- Nitrification - dénitrification

Pour l'adsorption de composés organiques ou minéraux (charbon actif alumine activée).

- Pour la reminéralisations des eaux par une filtration sur un matériau qui réagit avec l'eau et qui se dissout dans l'eau. On distingue comme matériau : Marbre, carbonate de calcium, carbonate de calcium magnésium (dolomie), carbonate de calcium - oxyde de magnésium (magnox)

1.2.3 Principe de filtration

La rétention des particules se déroule à la surface des grains, grâce à des forces physiques. La fixation dépend étroitement des conditions d'exploitation du filtre et du type de matériaux utilisé. L'espace inter granulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre colmate et les pertes de charges augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétro lavage, la biomasse qui se développe sur le matériau filtrant, peut efficacement réduire le taux d'ammonium de l'eau par la nitrification. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur et de la turbidité et indirectement les odeurs [5].

1.2.4 Les mécanismes de la filtration

La rétention des impuretés des eaux brutes destinées à la production des eaux potables se fait généralement par l'intervention de l'un ou des trois mécanismes suivants : capture, fixation et détachement. Ces mécanismes vont intervenir selon les caractéristiques des particules à retenir et du matériau filtrant mis en œuvre [6].

1.2.4.1 Mécanisme de capture

Ils sont essentiellement de deux natures :

1. Tamisage mécanique : c'est une rétention des particules qui ont des dimensions plus importantes que celles de la maille du filtre et les éléments déjà d'exposés et qui formant eux-mêmes un matériau filtrant, ce mode de capture intervient beaucoup plus lorsque la maille du matériau filtrant est plus fine [7].

2. 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, mais due A es différents phénomènes qui entraînent un changement de trajectoire de ces MES, leurs contacts avec le matériau filtrant deviennent possibles. On distingue en Particulier :

- L'interception directe par frottement ;
- La diffusion par mouvement brownien ;
- L'inertie de la particule ;
- La décantation.

Ces différents mécanismes de capture interviennent principalement dans la filtration en Profondeur

1.2.4.2 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 [7].

1.2.4.3 Mécanisme de détachement

Au cours de la filtration et sous l'action des mécanismes précédents, le filtre se colmate à cause des particules déjà d'exposées 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 [8]

1.2.5 Types de filtration

En pratique, il existe deux types de filtration : la filtration sur gâteau (Figure 1.1.a)), où les particules solides sont déposées sur la surface du filtre pour former un gâteau et la filtration à lit profond (Figure 1.1 b)), où la déposition des particules s'effectue à l'intérieur du milieu poreux [4].

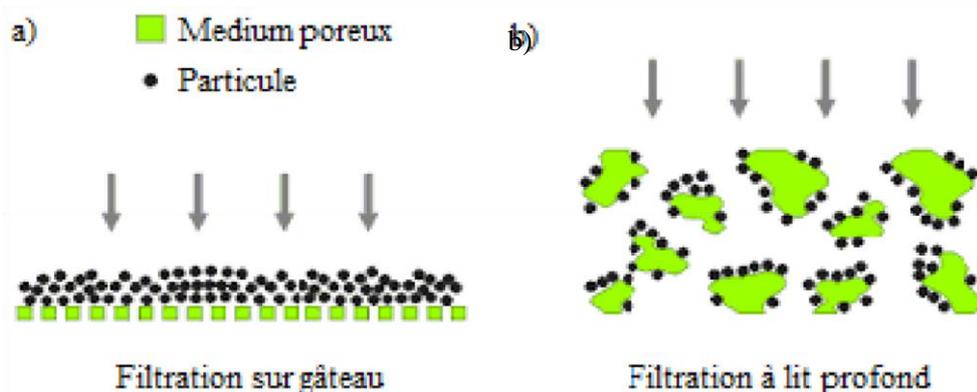


Figure 1.1 : Représentation des types de filtration : a) filtration sur gâteau et b) filtration à lit profond (b)

1.2.5.1 Filtration sur gâteau

La filtration sur gâteau est largement utilisée dans l'industrie minière. La filtration sur gâteau utilise un milieu filtrant qui possède des pores plus petits que les

particules solides. Ainsi, les particules s'accumulent en surface du filtre pour former un gâteau à haute concentration en particules solides. Initialement, les pertes de charge dans le filtre sont plutôt faibles. Par contre, une fois que le gâteau est formé en surface du filtre, celui-ci

Possède une perte de charge supérieure au milieu filtrant. À ce stade, le filtre ne sert que de support [9].

Le gâteau créé en surface peut être soit compressible ou incompressible. Dans le cas des gâteaux incompressibles, l'arrangement des particules en surface sera toujours sensiblement le même, peu importe la pression appliquée. Pour les gâteaux compressibles, l'arrangement des particules sur le gâteau dépend de la pression appliquée, Selon la pression appliquée pendant la filtration, le gâteau sera plus ou moins dense et possédera une perméabilité variable [10]

1.2.5.2 Filtration à lit profond

Dans la filtration à lit profond, les particules solides sont captées à l'intérieur du milieu poreux. Les pores du filtre sont donc supérieurs aux particules solides et le milieu filtrant est généralement plus épais. Ce type de filtration permet de traiter seulement les fluides avec de très faibles concentrations en particules solides. Les pertes de charge varient avec la durée de filtration puisque les pores du filtre se remplissent de particules solides. Le filtre s'obstrue avec le temps et doit être nettoyé ou remplacé [10].

1.2.6 Caractéristiques des matériaux filtrants

Le matériau filtrant doit vérifier certaines caractéristiques : il doit être insoluble, chimiquement inerte vis-à-vis des eaux agressives et il doit subir sans s'effriter, le frottement intense au cours des lavages. Le sable de silice répond bien à ces exigences et son emploi est universel. Cependant, d'autres matériaux ont fait leur apparition dans les filtres modernes. D'autre part il faut noter que la perméabilité d'un lit filtrant est étroitement liée à sa porosité et à la granulométrie du matériau qui le constitue. En plus des caractéristiques précitées, il y en a d'autre qui a une relation avec la granulométrie, la taille et la forme des grains ; les principales 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.

La perméabilité d'un lit filtrant est étroitement liée à ces différentes caractéristiques.

1.2.6.1 La nature de la couche filtrante

La couche filtrante constitue l'élément essentiel du filtre, Il faut choisir la matière filtrante avec soin. Elle doit être exempte d'argile, de poussières, de racine, des métaux toxiques et de toute autres impuretés. L'efficacité de la filtration dépend en grande partie de la taille des grains et de l'épaisseur de la couche filtrante. Les filtres à sables sont destinés à retenir les matières en suspension dans l'eau dont

les dimensions dépassent celles des pores entre les grains de la couche filtrante. Cette dernière est constituée d'un empilement de couches de matériaux de nature et de granulométrie différentes. Plusieurs matériaux peuvent être adoptés selon les objectifs à atteindre, or l'utilisation des sables reste la plus fréquente en raison de son coût et de sa qualité de filtration [11].

Les sables ayant une petite taille effective et une faible masse volumique se positionnent à la surface du filtre, au-dessous desquels se trouvent des sables de granulométrie croissante. Elle permet la rétention des solides en suspension dans l'eau sur la couche de sable

Enfin, ce qui facilite le captage des impuretés par cette couche et par le sable sous-jacent. L'utilisation des graviers au fond des filtres est nécessaire, parce que les graviers adoptés sont calibrés de manière à s'opposer à la pénétration du sable, tout en assurant à l'eau l'écoulement libre vers les drains inférieurs [11].

Tableau 1-1 : les matériaux filtrants les plus couramment utilisés

Matériau	Nature principale	Fonction
Sable	Matériau naturel inerte à base de grains de quartz	<ul style="list-style-type: none"> - Rétention de MES non retenus par l'étape de décantation. - Support de développement de bactéries permettant l'élimination par voie biologique de certains composés (Ammoniaque, fer, manganèse). Protection des ouvrages situés en aval vis-à-vis du passage de microorganismes déjà évolués.
Pierre ponce	Silicate d'alumine d'origine volcanique (matériau très poreux).	- Idem sable Utilise-le plus souvent en bicouche-en association avec le sable.
Anthracite	Silicate d'alumine d'origine volcanique (matériau très poreux).	- Idem sable Utilise-le plus souvent en bicouche-en association avec le sable.

Anthracite	Silicate d'alumine d'origine volcanique (matériau très poreux).	- Idem sable Utilise-le plus souvent en bicouche-en association avec le sable
Charbon actif en grains (CAG)	Matériau à base de carbone obtenu par calcination et activation de bois, houille, tourbe ou noix de coco	Amélioration des qualités organoleptiques de l'eau traitée (adsorption de composés sapides liés à la présence d'hydrocarbures, phénols, algues). - Support de développement de bactéries permettant l'élimination par voie biologique de certains composés (Ammoniaque, fer, manganèse). - Barrière de protection vis-à-vis de pollutions accidentelles (pesticides par exemple). - Action déclarante si le taux de chlore est élevé en amont de la filtration. Utilise seul ou en bicouche avec le sable.
Neutralité	Matériaux à base de carbonates de calcium	- Utilisation spécifique pour mise à l'équilibre d'eaux agressives. Barrière physique médiocre.
Dioxyde de Manganèse	Matériau minéral naturel (pyrolusite + dioxyde de fer et de silice)	- Utilisation spécifique pour l'élimination du fer et du manganèse (adsorption + oxydation catalytique). - Utilise le plus souvent en bicouche avec le sable

1.2.7 L'analyse granulométrique

Principe

L'analyse granulométrique est une opération qui permet la détermination de la répartition des particules d'un échantillon en fonction de leur dimension. Celle-ci peut s'effectuer par voie sèche ou humide. L'essai de tamisage d'un échantillon se fait à l'aide d'une série de tamis empilés les uns sur les autres. La dimension des ouvertures est décroissante du haut en bas. Chaque tamis donne deux produits : un produit passant à travers le tamis appelé le passant et un produit restant sur la surface du tamis appelé le refus. L'ensemble des poids des fractions restantes sur chaque tamis constitue l'analyse granulométrique.

L'efficacité de tamisage dépend de plusieurs facteurs tels que [11] :

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

1.2.8 Les paramètres granulométriques :

Les résultats obtenus par l'analyse granulométrique sont portés sur des graphiques et les courbes ainsi tracées fournissent des renseignements précis sur l'échantillon. Ces renseignements sont exprimés sous forme de paramètres granulométriques.

On distingue :

1.2.8.1 La taille effective (*TE*) :

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

1.2.8.2 Le coefficient d'uniformité (*CU*)

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

$$CU = d_{60}/d_{10} \quad (1.1)$$

1.2.8.3 Indice de classement (*S₀*)

L'indice de classement ou l'indice de TRASK permet de juger le classement des grains de sables en calculant le coefficient suivant :

$$S_0 = \sqrt{q_3} / \sqrt{q_1}$$

- Avec q_3 est le quartile à 75 % et q_1 est le quartile à 25 %.
- S_0 permet de renseigner sur le transport des grains et leur maturité.
- On distingue si :
 - S_0 est inférieur à 2,5 — le sable est bien classé
 - S_0 est compris entre 2,5 et 4,5 — le sable est moyennement classé
 - S_0 est supérieur à 4,5 — le sable est mal classé

1.2.8.4 Indice d'asymétrie (A)

Ce paramètre permet de se renseigner sur l'agitation du milieu en interprétant l'allure de la distribution des grains.

$$A = (q_1 * q_3) / (q_2)^2 \quad (1.3)$$

- Avec q_2 est le quartile à 50 %.
- Si $A = 1$, la distribution des grains est symétrique
- Si A est différent de 1, la distribution des grains est asymétrique. Dans ce cas, si A est supérieur à 1, il y a
 - Un excès de grossier dans l'échantillon étudié. Si A est inférieur à 1, donc il y a un excès de fin.

1.2.8.5 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 saturé 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 porosité efficace [10].

1.2.8.6 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, vitesse de filtration de Darcy ou tout simplement *coefficient de Darcy*. C'est le coefficient de perméabilité K qui figure dans la loi de Darcy [5] :

$$Q = KA \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad (1.4)$$

- 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)

1.2.9 Différents types de filtre

Le but de la filtration à travers une masse granulaire est de procéder à la séparation la plus complète possible entre l'eau et les différentes sortes de particules en suspension. Le liquide est l'eau et les éléments indésirables sont l'ensemble des particules colloïdales, dissoutes ou en suspension, qu'elle contient à l'état brute, la rendant impropre à la consommation. Quant au milieu filtrant, il peut être de nature diverse et fonctionner de diverses manières. La filtration habituellement précédée des traitements de coagulation, de floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries de couleur, de la turbidité et indirectement de certains goûts et odeurs. On distingue :

1.2.9.1 Filtration lente

La filtration lente est une imitation de la nature dans sa façon de purifier les eaux de surfaces. C'est une percolation lente de l'eau à travers une couche épaisse de sable. Généralement le sable utilisé est un sable siliceux qui est insoluble et qui a une grande résistance mécanique. La filtration lente est beaucoup plus destinée au traitement des eaux de surface qui ont une turbidité relativement faible ($<10,0 \mu\text{TN}$). Elle ne nécessite pas d'ajout des produits chimiques, ni de lavage à contre-courant et elle peut être précédé ou non d'une décantation préalable [12].

De telles installations sont souvent constituées de trois étages de filtration dans lesquels l'eau passe à des vitesses de plus en plus lentes sur des masses de matériaux de granulométrie de plus en plus fine. Ces étages sont :

- Les dégrossisseurs où le diamètre efficace est de 2 à 3 mm, l'épaisseur de la couche est de 0,50 et la vitesse de filtration est de 20 à 30 m/j.
- Les prés-filtres, le diamètre efficaces est de 1 mm, l'épaisseur de la couche est de 0,50 et la vitesse est de l'ordre de 10 à 20 m/j.
- Les filtres finisseurs, le diamètre efficaces est de 0,25 à 0,35 mm, l'épaisseur de la couche est de 0,80 à 1,20 et la vitesse varie de 2,40 à 10 m/j [12].

L'épuration par ce procédé ne se fait pas par la seule rétention mécanique des impuretés, mais surtout avec une épuration très poussée grâce à un film biologique qui se forme sur la surface (accumulation de particules organiques et minérales, dans laquelle règne une vie biologique intense). En effet cette membrane biologique permet une dégradation biologique des matières organiques, les saveurs et odeurs disparaissent, amélioration de la couleur et

l'absorption physique de produits non dégradables à la surface des Conglomérats bioactifs.

Ce type de filtre permet aussi l'élimination d'une quantité d'ion et produits indésirable. La viabilité des microorganismes est liée à la température et à l'ensoleillement ou une baisse de température ou d'ensoleillement ralentissent le fonctionnement de filtres.

La faible vitesse de filtration (0,1 à 0,2 m/h) permet une perte de charge assez réduite à chaque étage et les filtres sont lavés en moyenne une fois par mois [13].

Avantage et performances typiques des filtres lents :

Parmi les avantages des filtres à sable lent on cite :

- La filtration lente se fait sans un traitement chimique de coagulation et floculation ;
- Les matériaux de construction de ce type de filtres sont simples et faciles à être trouvés sur place ;
- La surveillance de fonctionnement de ces filtres est simple ;
- Le pH de l'eau traitée ou le filtrat obtenu avec ce type de filtration est supérieur à celui des filtres rapides qui exigent un traitement chimique, ce qui lui rend moins corrosif et de qualité plus constante.
- Ils sont bien efficaces pour l'élimination des bactéries [18].
- Si la membrane biologique est bien établie dans le filtre, ce procédé permet d'avoir une gamme de performances en ce qui concerne la réduction de la turbidité variant de 0,1 à 2 UTN avec 99% des filtres produisant une eau de moins de 1 UTN [19].

Inconvénients des filtres lents

Parmi les inconvénients on cite :

- Les installations des filtres à sable lents occupent une grande superficie, ce qui nécessite l'utilisation d'un volume de sable très important et des travaux coûteux ;
- L'exploitation et le lavage de ces types de filtres nécessitent un temps très important et par conséquent une longue période au cours de laquelle les filtres sont inutilisables ;
- Ils décolorent médiocrement les eaux colorées ;

- Ils nécessitent un prétraitement (une sédimentation par exemple) des eaux brutes lorsqu'elles sont très chargées en MES afin d'abaisser suffisamment leur degré de

Turbidité

1.2.9.2 La filtration rapide ouverte ou classique

La filtration rapide est caractérisée par une vitesse supérieure à celle de la filtration lente (elle se situe généralement entre 3,0 et 12 m/h), un débit spécifique qui peut aller jusqu'à $7 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ et un diamètre efficace qui se situe généralement 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 provoque des augmentations très importantes des pertes de charges c'est pourquoi ces filtres comporte toujours un système rapide et énergique. Le principe de la filtration rapide consiste à créer au sein de la masse d'eau brute un traitement de coagulation-floculation et les floccules ainsi produites (beaucoup plus grosses) sont éliminées par décantation suivie d'une filtration rapide de l'eau à travers des lits de sable ou d'autres filtres granulaires à couche unique, à double couche ou multicouche. Ce type de traitement permet de produire une eau dont la turbidité est de moins de 0,3 NTU

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

- 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 bosselures à fentes ;
- L'eau filtrée est recueillie au moyen de tuyaux perforés qui sont noyés dans une couche de sable fin.

Il faut citer qu'en plus du problème de colmatage, on trouve un autre phénomène qui s'impose qui est l'embolie gazeuse et qui survient lorsque la granulométrie de sable est trop faible ou le filtre commence à se colmater. Où la pression dans le filtre devient trop proche de la pression atmosphérique et l'eau se dégaze sous forme de microbulles qui gêne la filtration. Après un certain temps le filtre nécessite un lavage à contrecourant

1.2.9.3 Constitution d'un filtre rapide

Tout filtre rapide est composé de trois parties ; on trouve le fond, le gravier, et le matériau

Filtrant.

- *Le fond de filtre* : il doit être solide pour supporter le poids de l'eau et du sable et du gravier, il doit permettre la collecte et l'évacuation de l'eau filtrée, le plus souvent par des bosselures incorporées et la répartition uniforme de l'eau de lavage ;
- *Gravier de support* : a pour rôle de retenir le sable et d'améliorer la distribution de l'eau de lavage dans le filtre ;
- *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 [14].

1.2.9.4 Filtration sous pression

Les filtres sous pression fonctionnent selon les mêmes principes que les filtres à sable rapides ouverts, sauf que leurs couches de sable et de gravier, ainsi que leur réseau de drainage sont situées dans des cylindres horizontaux ou verticaux, les quels 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. Ce type de filtre présente quelques inconvénients que nous présentons ci-dessous [14] :

- L'addition de produits chimiques, la coagulation, la floculation et la décantation sont plus difficiles à réaliser sous pression. Plusieurs filtres sous pression fonctionnent avec des unités de coagulation et de floculation médiocres.
- 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 lavages. 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 [14].

1.2.9.5 Filtration mixte

Cette deuxième voie d'abord est fondée sur une seconde idée directrice : la filtration lente fonctionnait bien au début du siècle car l'eau de rivière était propre. Il est donc apparu possible pour rénover la filtration lente, de rendre à l'eau brute sa qualité d'antan, en d'autres termes de " marier " la filtration rapide avec la filtration lente afin de rénover celle-ci. Les résultats sont effectivement très encourageants avec une très bonne élimination des micropolluants, en évitant toute pollution induite par les traitements.

1.2.9.6 Filtration directe

Dans une filière de filtration directe, l'élimination des particules présentes dans l'eau à traiter se fait par le filtre seulement il n'y a pas d'étape de décantation. L'efficacité du traitement est donc très dépendante du conditionnement initial de l'eau brute lors de la coagulation (et de la floculation dans certain cas). Les mécanismes de rétention des particules, d'encrassement des filtres et de développement des pertes de charges sont semblables au système conventionnel. Cependant, en filtration directe il est suffisant d'obtenir des floccs microscopiques de tailles moyennes comprises entre 10 et 50 μm contrairement au système conventionnel qui nécessite la formation de floccs larges, denses et décantable.

1.2.9.7 Filtration sur charbon actif

La même chose que pour la filtration sur sable, on trouve deux types de procédés de filtration sur charbon actif : rapide et biologique.

Filtration sur charbon actif granulaire

Le charbon actif granulaire (CAG) est un matériel extrêmement poreux développant une surface importante de l'ordre de 600 à 1 500 m^2/g en fonction de son degré d'activation. Les pores du charbon actif portent des charges électrostatiques qui les rendent aptes à adsorber des molécules de micropolluants transportées par l'eau à traiter. La rétention de ces molécules se fait par force de Van der Waals ou encore par réaction chimique in-situ.

Selon les cas, l'efficacité peut persister durant des mois ou des années selon le produit, la concentration des matières à enlever, le débit traité, etc. La capacité d'adsorption d'un filtre CAG dépend de plusieurs facteurs, dont

1. La nature du matériau de base pour le fabriquer ;
2. Le traitement reçu en cours de fabrication ;
3. Ses caractéristiques physiques ;
4. Les caractéristiques des substances à enlever de l'eau.
5. Et le pH peut jouer un rôle majeur selon les substances à enlever.

La conception des filtres à CAG doit reposer sur des paramètres bien identifiés pour des besoins bien définis. Il est important de prévoir au moment de la conception, des moyens de prélever et analyser des échantillons d'eau et de CAG. À moins d'utiliser des filtres sous pression, des repères bien visibles (permettant de vérifier périodiquement l'épaisseur du lit de CAG) sont aussi nécessaires à l'intérieur de l'enceinte de chaque filtre.

Le filtre à charbon actif à double flux

C'est un bassin filtrant constitué de deux cellules contenant le charbon actif granulé (CAG) et fonctionnant en série. Tout le débit traverse d'abord l'une des cellules en flux ascendant puis l'autre cellule en flux descendant. L'originalité du filtre à double flux est de permettre l'optimisation du fonctionnement du charbon actif par :

- L'utilisation d'une forte hauteur de couche qui pour un même volume de charbon, élimine mieux les goûts et odeurs ;
- La rétention sur la deuxième cellule des particules fines de charbon s'échappant éventuellement de la première cellule ;
- L'utilisation maximale de la capacité d'adsorption. Le front d'adsorption se situe, au démarrage du filtre, dans la première cellule. Lorsque l'avancement du front d'adsorption fait que la première cellule est complètement saturé le front d'adsorption se trouve donc au niveau de la deuxième cellule. Il suffit alors de prélever le charbon situé dans la première cellule pour le régénérer, de transférer le charbon de la deuxième cellule dans la première et de remplir la deuxième cellule avec du charbon neuf. On réalise ainsi la régénération de la partie la plus saturée du charbon.

Filtration sur charbon actif biologique

C'est le même principe de la filtration lente sur sable ; il fait appel à un film biologique.

La seule différence c'est qu'il se fait sur un charbon actif.

L'intérêt de la filtration sur charbon actif

Le charbon actif retient :

- Les métaux lourds ayant échappé à la floculation-décantation ;
- Les micropolluants organiques ;
- Les bactéries, virus et mauvais goûts.

1.2.9.8 Filtration sur terre diatomée

La terre diatomée est une roche qui se forme à partir de dépôts naturels de diatomite, ce sont des algues brunes unicellulaires ou microscopiques qui croissent dans les eaux douces ou salées, et dont leur membrane est entourée d'une couche siliceuse. Dans le procédé de filtration à diatomées, l'eau traverse une mince couche de diatomées d'environ 3 mm d'épaisseur étendue sur un support ou un élément filtrant. Pour empêcher l'eau turbide de bloquer le filtre, on ajoute continuellement une petite quantité de diatomées comme nourriture destinée à maintenir un gâteau de filtration perméable. Lorsque la perte de charge du gâteau devient trop importante ou que celui-ci commence à s'encrasser, on retire le filtre

et on lave le gâteau pour le réutiliser. On applique ensuite une nouvelle pré-couche et le cycle reprend.

Il y a des recherches qui ont démontré que ce procédé de filtration permet une réduction de la turbidité de 56 à 78 % lorsque la turbidité des eaux non traitées variait de 0,95 à 2,5 NTU. 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. Et autres recherches ont prouvé qu'avec une quantité suffisante de diatomées et de nourriture, l'élimination de particules radioactives de 9 µm atteignait presque toujours 99,9 % ou plus.

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 leurs tours. Si le filtre fonctionne à pression d'alimentation constante, le débit de la filtrante baisse au cours du temps, et afin de maintenir constant, il faut augmenter la pression initiale au fur et mesure du colmatage. 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

Hydraulique de la filtration

Tous les processus (physiques, bactériologiques ou chimiques) qui interviennent dans l'épuration par filtration lente exigent pour un meilleur rendement des vitesses d'écoulement et des diamètres de grains faibles. L'écoulement de l'eau est laminaire et obéit donc à la loi de Darcy

$$H = \frac{V}{K.e} \quad (1.5)$$

La perte de charge

C'est l'expression qui représente l'état d'encrassement d'un filtre. Elle correspond à une différence de pression entre l'amont et l'aval du matériau filtrant. Elle est généralement exprimée en m de colonne d'eau (m CE). La perte de charge correspond aux forces de frottement qui s'opposent à l'écoulement, plus le filtre est colmate plus la perte de charge augmente. Ce qui nécessite de procéder à un lavage. La perte de charge au sein d'un milieu poreux est proportionnelle à la vitesse de filtration (loi de darcy).

Il s'agit du deuxième paramètre important permettant d'évaluer la qualité de charge occasionnée par le filtre au cours du procédé de filtration. Dans la pratique, une perte de charge maximale de fonctionnement du filtre est généralement fixée. La perte de charge se définit comme la différence de pression statique entre l'amont et l'aval du filtre, notées respectivement P_e et P_s .

$$P = P_e - P_s \quad (1.6)$$

Elle traduit la résistance hydraulique du filtre à l'écoulement du fluide. Celle-ci ne doit pas dépasser un seuil fixé au risque de perturber le fonctionnement du système voire d'endommager le filtre, ce qui entraînerait un largage des particules capturées dans le circuit. Un effort important a donc été consenti ces dernières années afin, d'une part de chercher le meilleur compromis conduisant à un media caractérisé par une efficacité de filtration maximale tout en ayant une perte de charge minimale, et d'autre part, de minimiser l'évolution de la perte de charge liée au colmatage afin d'optimiser la durée de filtration.

Lavage des filtres

Après colmatage du matériau filtrant, la filtration devient non efficace, ce qui nécessite un lavage du filtre. Ce lavage se fait à contrecourant par injection successive d'air, d'un mélange d'air et d'eau propre et finalement injection d'eau propre seulement. Ces injections se font dans le fond du filtre par l'intermédiaire de certaines bosselures. La vitesse de l'eau de lavage à contrecourant est limitée du fait des pertes possibles de matériau, c'est pourquoi on injecte l'air pour augmenter les turbulences afin de décoller efficacement les particules de floes fixées sur les grains.

Chapitre 2 : Matériels & méthodes Analytiques

2 Matériels et méthodes analytiques

La filtration est un procédé indispensable dans le traitement de l'eau potable ; elle permet la clarification et l'épuration de l'eau contenant des matières solides en suspension, en utilisant la filtration gravitationnelle, l'eau turbide traverse un milieu poreux. Lors de ce passage, l'eau entre en contact avec la couche filtrante ce qui permet la rétention des impuretés sur la surface de filtre. Dans ce chapitre on va présenter les matériels et les méthodes de l'ensemble du procédé de filtration étudié, le pilote, le protocole expérimental ainsi que les méthodes analytiques utilisées pour effectuer cette étude expérimentale.

2.1 Présentation du banc d'essai

Le pilote MP31 (Fig.2.1) est une installation envisagée pour l'étude de la filtration gravitaire, l'expérimentation consiste à faire passer de 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 2.1 : Pilote MP31 de la filtration gravitaire.

2.2 Objectifs des expériences

Les objectifs principaux des expériences que nous avons menées se résument comme suit :

X Etude de la filtration gravitaire sur du sable en variant la hauteur de sable (24, 48,80cm) tout en gardant le débit constant est égale à 100L/H et dans une seconde étape en variant les débits (60l, 100l, 160 L/H) tout en fixant la hauteur de sable constante (24cm).

Évolution des pertes de charges

- Analyse physico-chimique.
- Etude de la filtration gravitaire sur la deuxième matière de filtration les grignons d'olive pour une hauteur de 24cm et un débit de 100 l/h

2.3 Description technique de l'appareil

L'unité se compose d'une colonne en Altuglas d'une hauteur $H=1300$ mm et d'un diamètre interne $\varnothing=100$ mm surmontée d'une surverse. Sur une hauteur de 750 mm, 16 prises de pression espacées de 50 mm permettent l'étude du colmatage du filtre et son dimensionnement. La première prise est située à environ 25 mm au-

dessous de la grille. Les tubes sont placés devant un tableau millimétré afin de permettre la mesure de la perte de charge en hauteur d'eau.

Une pompe centrifuge alimente la colonne soit par le haut pour la filtration, soit par le bas pour le lavage avec une sonde de niveau bas placée dans la cuve assure la protection de la pompe : en cas de manque d'eau, la pompe s'arrête. La solution d'alimentation se prépare dans la cuve de 120L. Une agitation, composée d'un motoréducteur et d'une hélice tripale inox, permet de réaliser la floculation-coagulation en vitesse rapide ainsi que le maintien en suspension en vitesse plus lente durant la filtration. La colonne est retenue à chaque bout par une grille inox de maille carrée d'ouverture 375 μm .

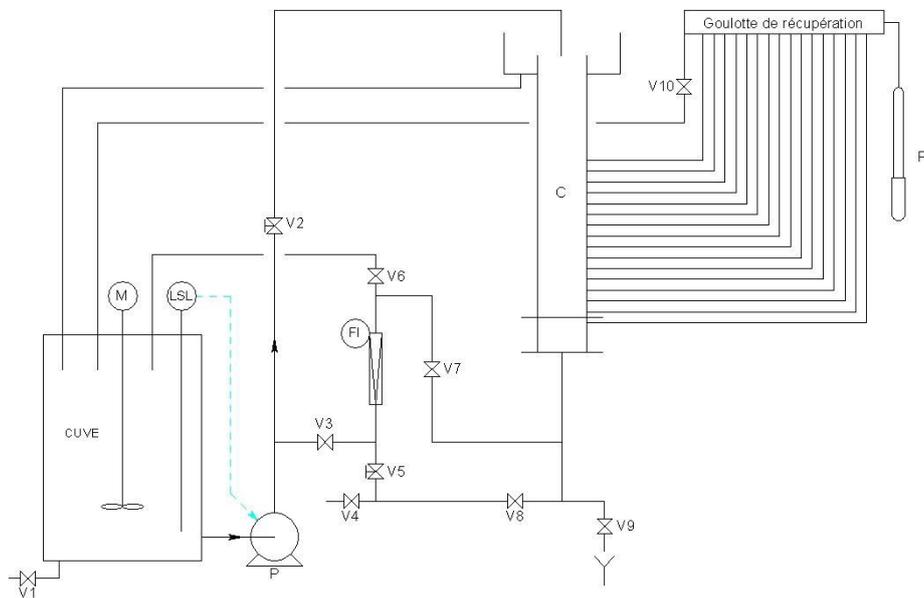
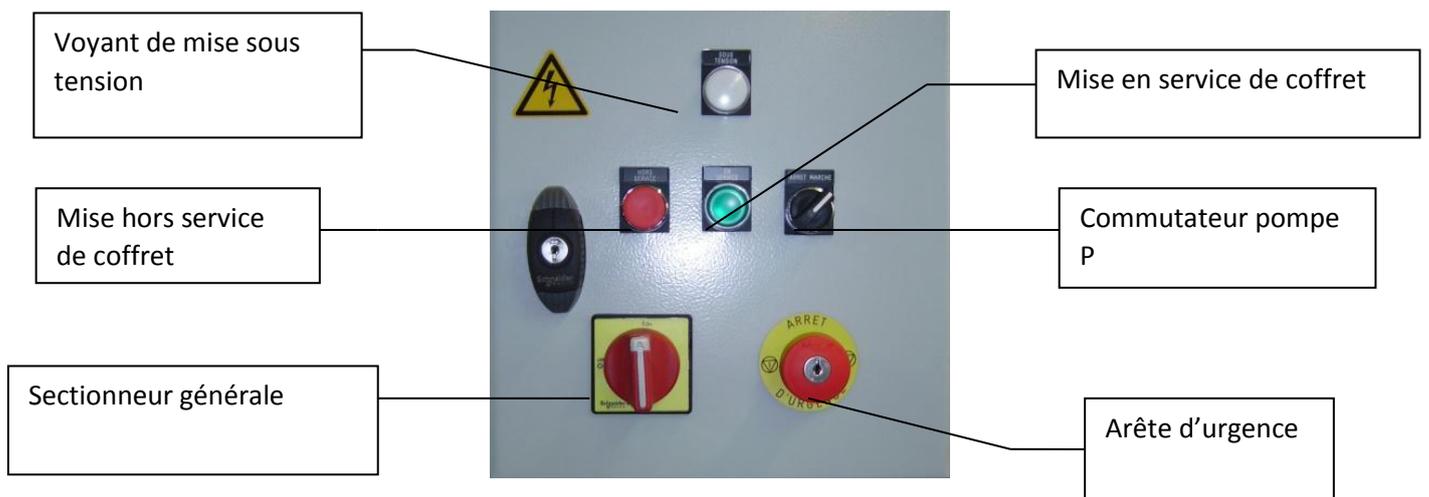
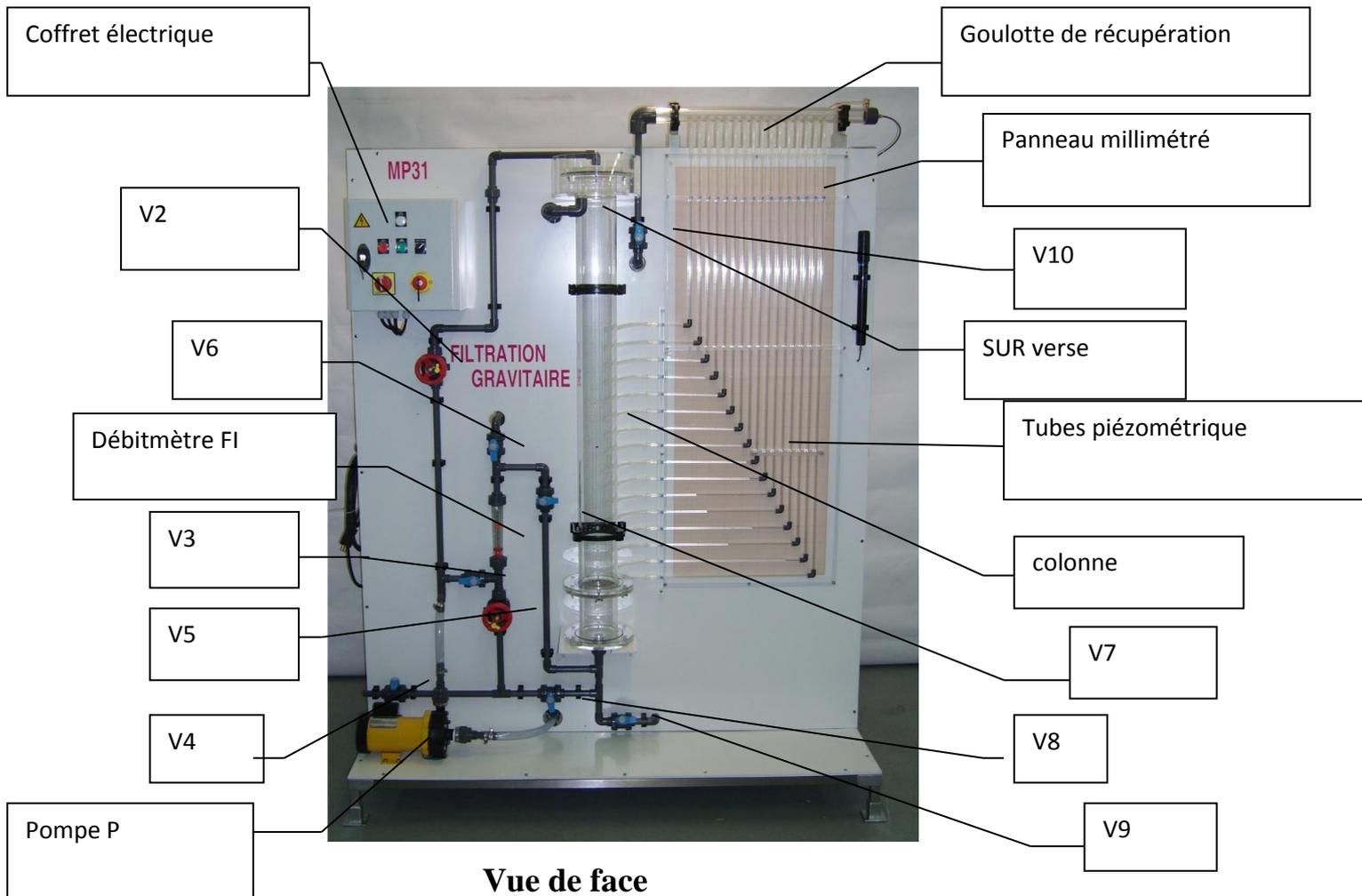


Figure 2.2 : Schéma de principe pilote MP 1



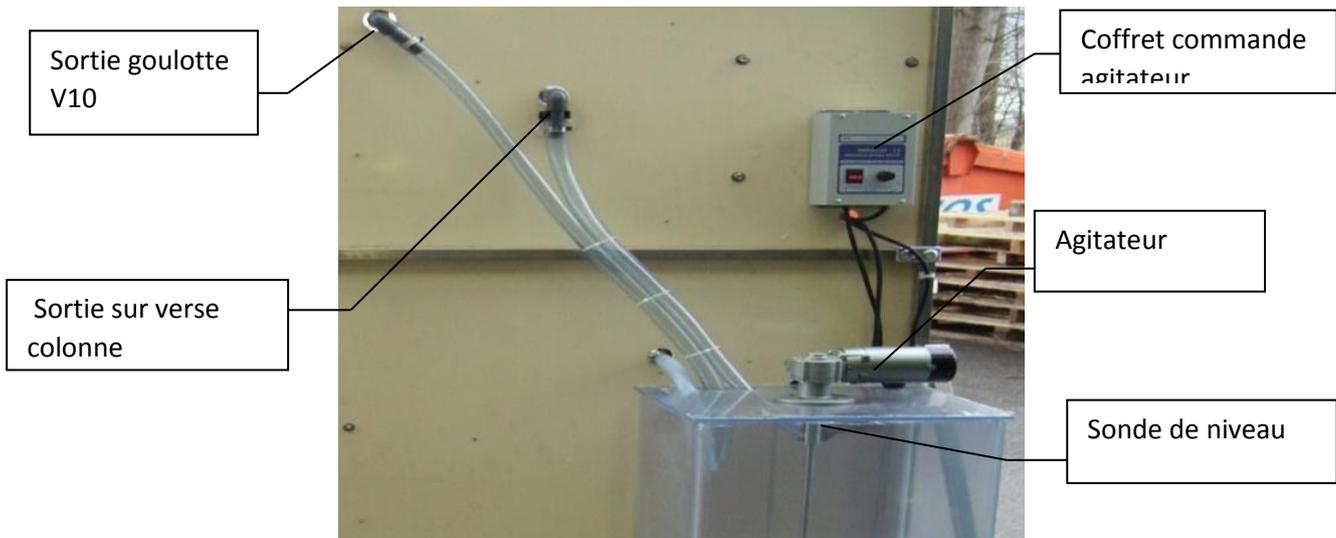


Figure 2.3 : Différents éléments du pilot MP31

➤ Nomenclature

- V1 Vanne de vidange de la cuve d'alimentation
- V2 Vanne de réglage du débit d'arrivée d'eau lors de la filtration
- V3 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage)
- V4 Vanne d'arrivée d'eau du réseau (lors de la connexion au réseau pour le lavage du filtre)
- V5 Vanne à membrane pour ajustement du débit de sortie du filtre
- V6 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage)
- V7 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage)
- V8 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage)
- V9 Vanne d'évacuation des eaux traitées
- V10 Vanne de vidange de la goulotte de récupération
- C Colonne en Altuglas Ø intérieur 100 mm, H : 1 300 mm avec 16 tubes de prise de pression aux côtes -25, +25, 75... et 725. Les tubes sont espacés de 50 mm le long de la colonne, la cote 0 est au niveau de la grille en pied de colonne. 2 grilles de maille 375 µm sont à placer à chaque bout de la colonne.
- P Pompe centrifuge en polypropylène à entraînement magnétique (1,2m³/h à 3m).
- FI Débitmètre à flotteur 60 – 600 L/h.
- LSL Sonde de niveau bas (protection de la pompe)
- P' Pompe de mise en pression des tubes piézométriques
- Goulotte de récupération du liquide des tubes de pression.
- Panneau millimétré 500 x 1200 mm pour lecture des pertes de charge.

- Cuve d'alimentation de 120L en PVC transparent.
- M Agitateur.
- Armoire électrique de commande contenant :
 - Sectionneur général cadenas sable.
 - Bouton d'arrêt d'urgence.
 - Voyant de mise sous tension.
 - Bouton de mise hors service du coffret.
 - Bouton de mise en service du coffret.
 - Bouton Marche / Arrêt de la pompe.
 - Variateur de vitesse du moteur de l'agitateur.

2.4 Le protocole expérimental de MP31

2.4.1 Le milieu filtrant :

Dans cette colonne, différents produits peuvent être utilisés : sables, anthracite dans tous les cas, ces produits devront avoir une granulométrie moyenne de 0.5 à 2 mm afin de ne pas boucher les prises de pression et de ne pas risquer de passer à travers les grilles de rétention en pied et tête de colonne lorsqu'on utilise le sable ou les grignons d'olive.

2.4.2 Les grignons d'olive :

Les grignons d'olive que nous avons utilisé sont les résidus d'olive récupérer au niveau de la presse d'extraction de huile d'olive à LAGARA ZABOUDJA. Avant d'être utilisés dans la filtration les grignons subissent un traitement physico-chimique

- Lavage : On introduit 1kg de grainions d'olive dans un bassin en plastique de 5 L auquel on y n'ajoute de l'eau de robinet et on agite manuellement jusqu'à ce que tous les impuretés soient débarrassées, l'eau polluée chargée de quelque particules en suspension est rejetée, cette opération est répétée plusieurs fois jusqu'à l'obtention d'une eau plus claire.
- Séchage : On étale uniformément les grignons sur un plateau en inox, cette quantité est séchée à l'étuve pendant 3h afin d'éliminer toute particule d'eau.
- Extractions : Après lavage et séchage, on élimine toute la matière grasse contenue dans les grignons on utilisant un solvant volatil (l'hexane) On introduit une les grignons dans un ballon de 250ml d'hexane .L'hexane contenant la matière grasse est récupéré puis distillé pour séparer les deux phases.
- Broyage : les grignons traité sont broyer manuellement jusqu'à obtenir des grignons de diamètre convenable pur un milieu poreux en filtration.

- Tamisage : après broyage, les grignons sont tamisés afin de supprimer les fin particules

*a : avant traitement**b : après traitement**Figure 2.4 : les grignons d'olive : a) avant traitement et b) après traitement*

2.4.3 Le sable :

Le sable destiné à servir de filtre subit des opérations de : lavage, séchage et tamisage successifs.

- Tamisage : Le sable de filtration a été tamisé en le faisant passer à travers une série de tamis ;
- Lavage : On introduit 1kg de sable dans un bassin en plastique de 5 L auquel on y ajoute de l'eau de robinet on agite manuellement pendant 3 min. L'eau polluée chargée de quelques particules en suspension (limon...) est rejetée, cette opération est répétée plusieurs fois jusqu'à l'obtention d'une eau claire.
- Séchage : Dans un récipient en plastique, on verse une quantité de sable que l'on étale uniformément sur la surface. Cette quantité est séchée à l'air libre pendant quelque heure afin de pouvoir éliminer toute particule d'eau.

2.4.4- Préparation de la solution cuivre :

Pour étudier la filtration gravitaire, on choisit une solution d'hydroxyde de cuivre floculée par de la chaux éteinte. La réaction s'écrit :



On prépare une solution à 10^{-3} mol/l de sulfate de cuivre. Dans un bécher de 200 ml On met 24,97 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ auxquelles on ajoute 25,3 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ puis on rajoute de l'eau de robinet. On agite jusqu'à l'obtention d'une solution homogène la solution est mise dans la cuve de bac d'essai remplie avec de l'eau de robinet...

2.4.5- Manipulation

2.4.5.1- Démarrage - Remplissage avec le sable et nettoyage

- Vérifier que toutes les vannes sont fermées.
- Remplir la cuve d'alimentation avec de l'eau.
- Alimenter par le bas et emmenée la surverse vers une évacuation durant la phase de nettoyage.
- Enlever la grille supérieure de la colonne.
- Ouvrir les vannes V3 et V7
- Mettre le coffret sous tension en commutant le sectionneur général sur " I ". Mettre en service le coffret électrique en appuyant sur le bouton vert " MISE EN SERVICE".
- Mettre la pompe en route en commutant le bouton " ARRET / MARCHE " sur " MARCHE ".
- Laisser la colonne se remplir aux trois quarts puis arrêter la pompe.
- Verser le sable dans la colonne à la hauteur souhaitée et replacer la grille supérieure.

Le fait de remplir avant la colonne avec de l'eau permet d'éviter la formation de grosses poches d'air, difficiles à éliminer par la suite.

Pour procéder au nettoyage, relancer la pompe afin de nettoyer le sable par le bas, les fines particules étant évacuées par le haut de la colonne, dans la surverse, vers l'égout.

- Il vaut mieux travailler sans la grille supérieure afin d'éliminer les impuretés genre petites feuilles ou autres éléments légers qui restent malgré le lavage préalable du sable. Il faut veiller à ce que le sable ne soit pas entraîné.
- Quand le sable est lavé, arrêter la pompe, refermer les vannes et replacer la grille supérieure si vous avez procédé sans elle. Laver la couronne supérieure du sable ayant pu s'y déposer.
- Enfin, replacer le tuyau de la surverse dans la cuve d'alimentation.
- Procéder à un nettoyage à Co-courant. Pour cela, ouvrir les vannes V2, V8, V5 et V6
- Diriger le tuyau de sortie de V6 vers une évacuation afin de ne pas ramener les particules de sable dans la cuve d'alimentation
- Mettre la pompe en marche et laisser évacuer les particules fines restant en pied de colonne, pendant quelques minutes.
- Le sable doit être immergé totalement afin de ne pas abîmer le lit.
- Lorsque le nettoyage est terminé, arrêter la pompe et refermer les vannes.

2.4.5.2- Filtration

- Avant chaque manipulation, préparer le lit en procédant à une alimentation par le bas afin de le détasser et de supprimer les bulles d'air ayant pu s'y créer. Les chemins préférentiels ayant pu se faire seront également supprimés.
- Préparer la solution à filtrer dans le bac d'alimentation.

- Mettre en route l'agitateur par le biais de son petit coffret en face arrière du pilote.
Régler sa vitesse à l'aide du potentiomètre. Au démarrage, agiter fortement (environ 6 tr/s) pour mettre en suspension ou créer les floccs puis ralentir (3tr/s) pour maintenir la suspension sans casser les floccs.
 - Le tuyau de surverse sera ramené dans la cuve.
 - Ouvrir les vannes V2, V8, V5 et V6, et mettre la pompe en route.
 - Régler le débit de traversée de la colonne avec la vanne V5 et maintenir le niveau d'eau dans la colonne à une hauteur constante avec la vanne V2 (débit d'entrée = Débit de sortie).
 - A chaque 20 min, prélever un échantillon à l'aide d'une pipette et le mettre dans un tube à essai pour faire les analyses physico-chimiques
 - Relever les mesures de pression en mode dynamique en ouvrant la vanne V6 et en remettant la pompe en route en vérifiant que le niveau est stabilisé. Pour faire les mesures en statique, arrêter la pompe et fermer V6 simultanément pour conserver le niveau de l'eau dans la colonne.
 - Afin de bien chasser les bulles d'air dans les tuyaux, fermer la vanne de contre-pression V10 et grâce à P', créer une surpression dans le système afin de stabiliser les niveaux. Vous pouvez ensuite revenir à Patm
 - Ne pas créer une surpression exagérée à l'aide de P' dans le système piézo. 1 à 2 coups de pompe suffisent.
En fin de manipulation, arrêter la pompe et refermer toutes les vannes afin de conserver le lit de sable. Il sera plus facile de relancer les essais suivants.
- ### 2.4.5.3- Procédure générale de lavage
- Le lavage est une opération très importante ; lorsqu'il est insuffisant, il entraîne le colmatage permanent de certaines zones, ne laissant à l'eau qu'un passage réduit la perte de charge s'accroît alors plus vite. Des passages préférentiels se créent, le filtre risque alors de crever.
- Le lavage du lit de sable se fait en général par soulèvement de celui-ci, sous un débit assez élevé pour fluidiser le lit, mais pas trop fort afin de limiter l'usure des grains, S'il est trop fort, il provoque une l'usure des grains de sable et la formation de particules fines créant une couche en surface qui se colmate très rapidement par rapport au reste du lit.
 - Vider la cuve d'alimentation de la suspension avec la vanne V1
 - Remplir le bac d'alimentation avec une solution à 1% d'acide sulfurique.
 - Ouvrir les vannes V3 et V7.
 - Diriger la surverse vers une évacuation.
 - Mettre la pompe en route et ajuster le débit de lavage avec la vanne V7.
 - En fin de manipulation, arrêter la pompe et refermer les vannes afin de laisser le lit se retasser régulièrement et laisser le sable dans eau.
On pourra également prendre l'eau du réseau et la connecter en V4, sans passer par la pompe et le bac.

2.5 Analyse physico-chimique

Les analyses physico-chimiques des eaux à traiter ont été effectuées selon les méthodes décrites dans les normes françaises AFNOR. On se propose dans ce modeste travail de comparer les caractéristiques physico-chimiques des solutions d'hydroxyde de cuivre flocculées par de la chaux ($CuSO_4, 5H_2O + CaOH_2$), avant et après filtration, en variant, les débits de filtration, les hauteurs du lit filtrant et la matière de filtration afin de mettre en évidence l'efficacité du traitement par filtration. Les différents paramètres mesurés sont : la turbidité TUR(NTU) et l'absorbance A (nm). Toutes les analyses présentent une incertitude moyenne de $\pm 10 \%$.

2.6 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et le pourcentage pondéraux de grains constituant les échantillons du sable. Le tamisage d'un échantillon se fait à l'aide d'une série de tamis normalisés (AFNOR n°X11.501) empilés les uns sur les autres. La dimension des ouvertures est décroissante de haut en bas. Chaque tamis donne deux produits : un produit passant à travers le tamis appelé le passant et un produit restant sur la surface du tamis appelé le refus. L'ensemble des poids des fractions restantes sur chaque tamis constitue l'analyse granulométrique. X Granularité : est la distribution dimensionnelle des grains

- Tamisât : est la quantité de l'échantillon passée à travers les mailles du tamis

$$T_s\% = 100 - R_{di}\%$$

- Refus : est la quantité de l'échantillon qui n'est pas passée à travers les mailles du tamis

$$R\% = \frac{100 * R_{di}}{M}$$

- Refus cumulé : c'est la somme de tous les refus, celui du tamis lui-même plus tous les refus des tamis de mailles plus grandes. Il peut être exprimé en gramme ou en
- R Cumulé = XR cumulé précédant
- coefficients d'uniformité : ou degré d'uniformité de la taille des grains est le rapport entre le diamètre qui laisse passer 60% des particules de celui qui laisse passer 10 %

$$CU = d_{60}/d_{10}$$

Si $Cu < 2$: la granulométrie est dite uniforme Si $Cu > 2$: la granulométrie est dite étalée.

2.7 Mesure de la turbidité

La turbidité est un paramètre important pour qualifier la qualité de l'eau. Une eau turbide peut sembler presque opaque à la vue, mais laisse passer peu de lumière pour la faune et la flore aquatique. La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble, c'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux, par la présence de matières en suspension (MES) fines (argiles, limons, les grains de silice) ; une part de la turbidité peut être due également à la présence de matières colloïdales d'origines organiques ou minérales.

Chapitre 3 : Résultats & Décisions

3 Résultats et discussions

3.1 Calcul des refus cumulés d'ordre décroissant du haut vers le bas :

Les résultats du tamisage du sable sont donnés dans le tableau 3.1 :

L'exploitation des résultats est faite à partir des courbes tracées en portant :

- ✓ *En abscisse* : les ouvertures nominales (mailles) des tamis employés pour l'analyse.
- ✓ *En ordonnée* : les tamisages cumulés, exprimés en pourcentage.

La courbe des tamisages cumulés, appelée encore courbe granulométrique permet de déterminer deux paramètres fondamentaux ; la taille effective et le coefficient d'uniformité.

Tableau 3-1 : L'analyse granulométrique du sable.

La taille des mailles (mm)	Refus (g)	Refus cumulé	Refus cumulé R%	Ts%
0.25	1.1	999.505	1 99.9551	0.04949
0.5	103	998.4051	99.84051	0.15949
1	894	895.4051	89.5405	10.4595
2	1.4051	1.4051	0.1405	99.8595

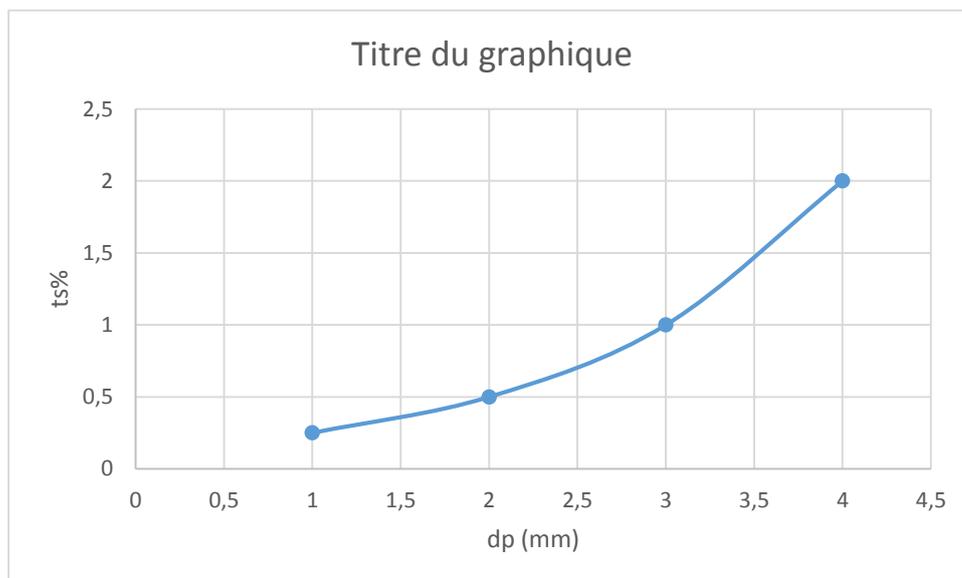


Figure 3.1 Distribution granulométrique du sable utilisé

✓ **La taille effective :**

La taille effective, exprimée en mm et notée D10, correspond à l'ouverture des mailles laissant passer 10 % en poids de l'échantillon soumis à l'analyse. Le sable filtrant doit avoir un diamètre effectif (d10) comprise entre 0,25 et 1.

D'après les courbes granulométriques :

$$D_{10} = 0.98\text{mm}$$

Ce qui indique que le sable possède des grains fins, qui sont généralement utilisés dans les stations de traitement de l'eau.

✓ **Le coefficient d'uniformité(CU) :**

C'est un nombre sans dimension, égal au quotient de la diversité 60 % par la taille effective.

Ce coefficient donne une indication sur l'homogénéité granulométrique de la masse filtrante. 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 :

$$D_{60} = 1.55 \text{ mm}$$

Plus le CU se rapproche de 1 plus l'homogénéité obtenue pour le lit filtrant est meilleur, ce qui permet de réduire les pertes de charge et l'obtention d'une rétention en profondeur des matières en suspension.

Donc les coefficients d'uniformités de sable calculé est :

$$CU = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1.55}{0.98} = 1.5816$$

$CU < 2$: Cette valeur indique que le sable est bien classé, les grains ont des tailles homogènes. Donc la granulométrie est uniforme

3.2 Etude des pertes de charges :

Dans cette partie on a étudié les pertes de charges dans un filtre ouvert, fonctionnant par simple gravité à la pression atmosphérique (c'est le principe mis en œuvre par le MP31), les pertes de charges selon le temps et selon l'épaisseur du sable après la filtration de solution d'hydroxyde de cuivre floculée par de la chaux éteinte. En fixant la concentration de la solution en 10^{-3} mol/l.

3.2.1 Pertes de charges selon l'épaisseur du filtre ouvert, fonctionnant par simple gravité à la pression atmosphérique :

Cette étape est une étude des pertes de charges dans un filtre propre en fonction de l'épaisseur du sable et pour différents débits. Deux types de matières filtrantes sont utilisés, le sable et les grignons d'olive.

Hs : l'épaisseur matière filtrant dans la colonne de filtration (cm) ;

ΔH : pertes de charge (cm.c.e) ;

Q : débit (L/H) ;

N° : numéro des piézomètres

Tableau 3-2 : Les pertes de charge selon l'épaisseur de sable des différents débits avec $H_s=80\text{cm}$

N°	H_s (cm)	Δp (60L/h)	Δp (100L/h)
1	5	2	11.5
2	10	4	24.5
3	15	7	33
4	20	8.5	41
5	25	9.5	47
6	30	11	47.5
7	35	13.5	48.5
8	40	13.5	50
9	45	14	50
10	50	15	52
11	55	16	54
12	60	17	55
13	65	19	55
14	70	19	56
15	75	20	57

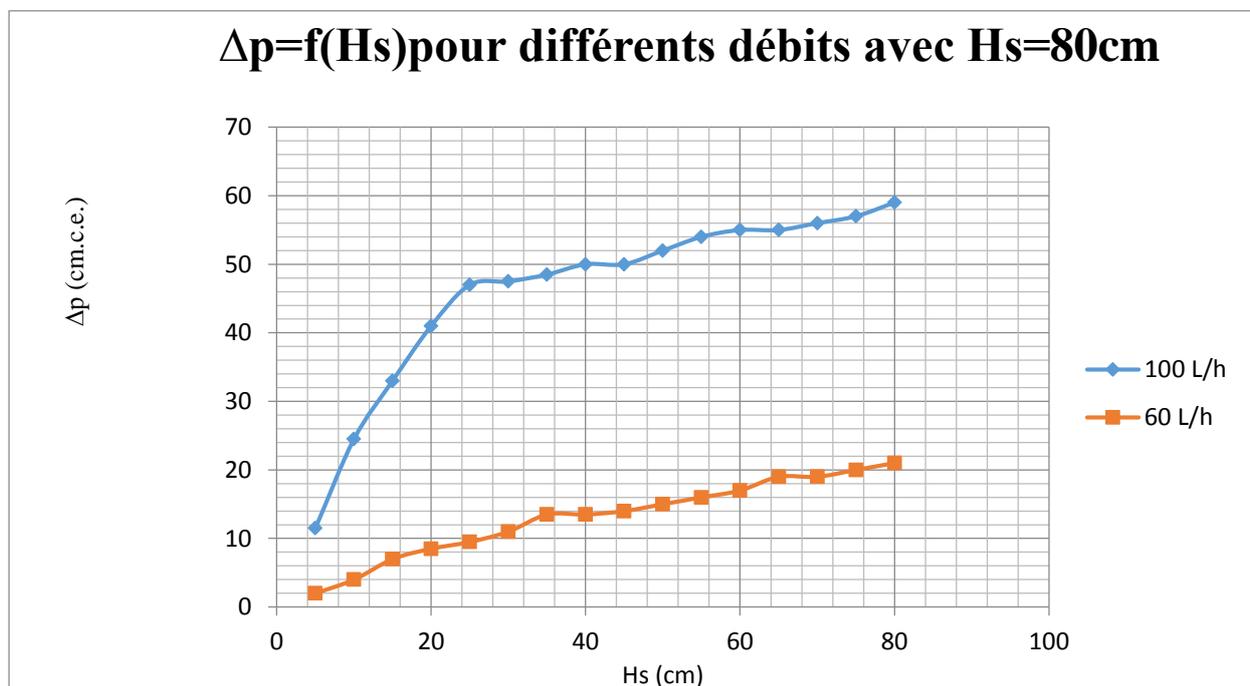


Figure 3.2 : pertes des charges selon les débits et l'épaisseur de filtre

A partir de la Figure 3.2, on peut dire que la croissance des pertes de charges dans un filtre ouvert, fonctionnant par simple gravité à la pression atmosphérique, est proportionnel avec l'épaisseur du sable et que plus le débit augmente plus ces pertes de charges augmentent.

Tableau 3-3 : les pertes de charge selon l'épaisseur de sable des différents débits avec $H_s=24\text{cm}$

N°	Hs (24cm)	Δp (60L/h)	Δp (100L/h)	Δp (160L/h)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	2	2	3	4
12	7	4.5	6	18.5
13	12	11	13	26
14	17	15	19.5	43
15	22	17	26	52
16	24	19	27	54.5

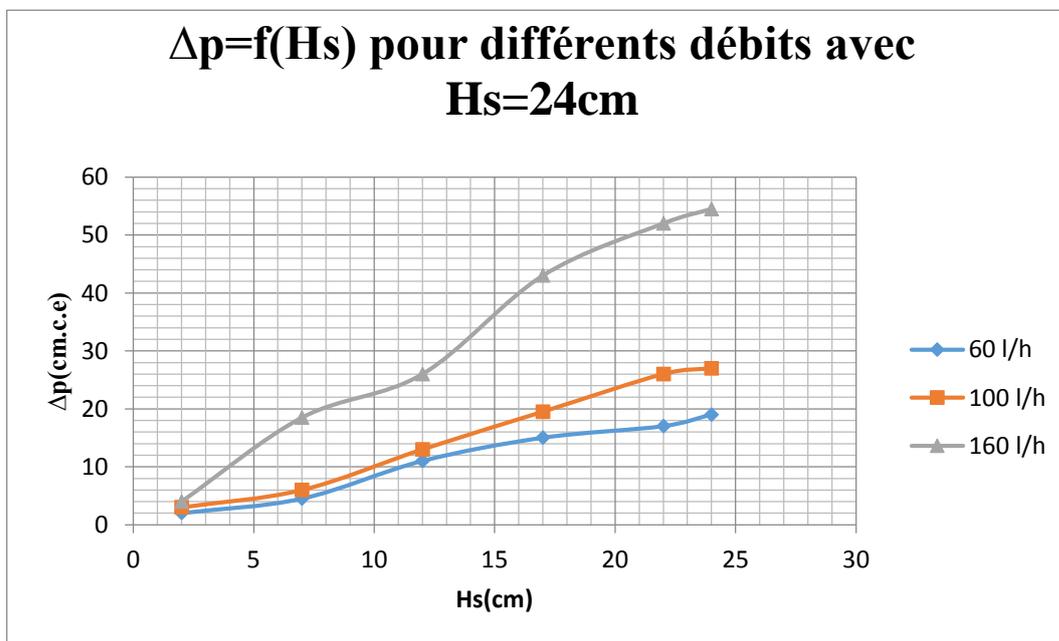


Figure 3.3 : Pertes de charges selon le débit et l'épaisseur du filtre.

A partir de la et Figure 3.3, on peut dire que la croissance des pertes de charges dans un filtre ouvert, fonctionnant par simple gravité à la pression atmosphérique, est proportionnel avec l'épaisseur du sable et que plus le débit augmente plus ces pertes de charges augmentent.

Et Par comparaison des deux figures, on constate que les pertes de charge pour $H_s=80\text{cm}$ sont plus grande que celles pour $H_s= 24\text{cm}$; ce qui traduit une augmentation des pertes de charge lorsque l'on augmente la couche filtrante. Ces pertes sont des pertes sont dues aux frottements entre l'eau et les particules de sable et la colonne de filtration elle-même.

3.2.2 Comparaison des pertes de charge des deux matières de filtrations (sable grignons) :

On compare les pertes de charges des deux matières de granulométries différentes au niveau de toutes les prises de pressions en gardant le même débit 100l/h et la même épaisseur 24cm .

Tableau 3-4 : Les pertes de charge selon l'épaisseur de sable et des grignons avec épaisseur de 24 cm et $Q=100\text{ L/H}$:

N°	Hs (cm)	Δp sable (cm.c.e)	Δp grignons d'olive (cm.c.e)
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	2	3	1
12	7	6	1.5
13	12	13	3
14	17	19.5	5
15	22	26	8
16	24	27	11

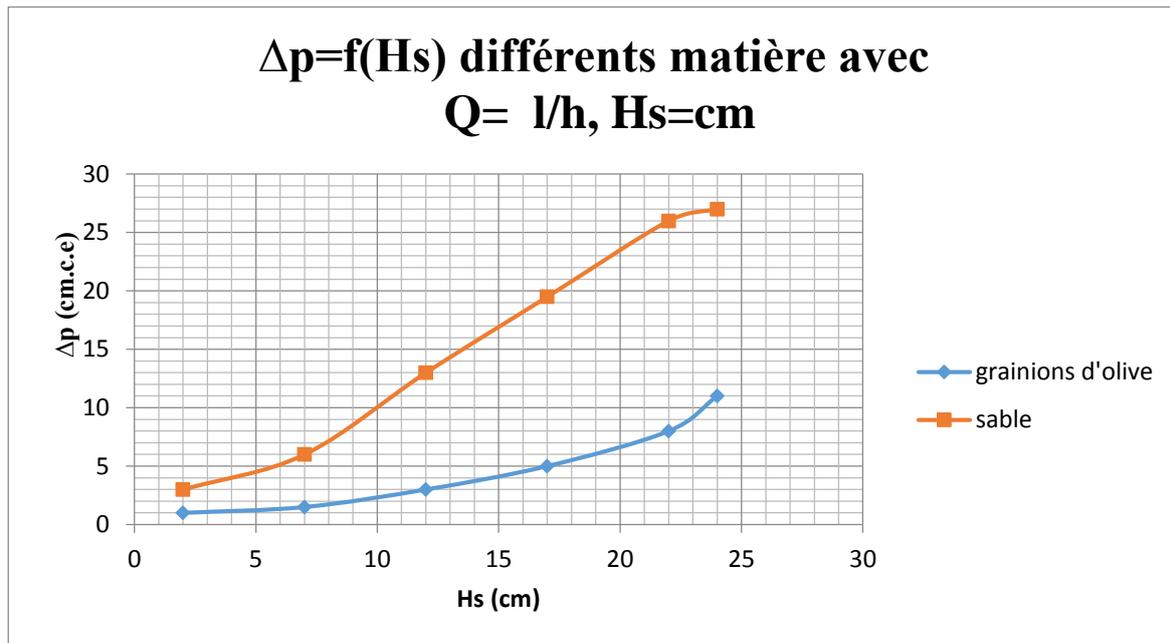


Figure 3.4 : Pertes de charges selon le débit et l'épaisseur du filtre pour le sable et les grignons.

A partir de Figure 3.4, on peut voir que les pertes de charges dans le filtre constitué de sable dont la granulométrie est plus faible que celle des grainions d'olive, sont plus importantes. Les pertes de charges sont donc inversement proportionnelles à la granulométrie et donc avec la perméabilité du milieu filtrant. Ces pertes de charges sont des pertes dues aux frottements entre l'eau, les particules de sable et la colonne de filtration elle-même. On peut expliquer cette augmentation comme suit : une faible granulométrie implique des pores de très faibles diamètres ce qui fait augmenter les vitesses d'écoulement de l'eau à travers ces pores. L'écoulement devient alors turbulent. Cette augmentation de vitesse explique l'augmentation des pertes de charges. Il faut noter aussi que la forme des grains de la matière filtrante a une grande influence sur la filtration. Donc on peut dire que les pertes de charges dans un filtre s'influence par plusieurs paramètres :

- ✓ L'épaisseur du milieu filtrant $H_s(m)$: Les pertes de charges sont proportionnel à l'épaisseur du sable, où plus l'épaisseur du sable augmente plus ces pertes augmentent ;
- ✓ Le débit de filtration Q (m^3/s) : Les pertes de charges sont directement proportionnelles selon le débit et donc selon la vitesse V (m/s) d'écoulement et même la section S (m^2)
 $Q= V.S$
- ✓ La granulométrie et la forme des grains : Les pertes de charges ΔH ($cm.c.e$) sont, influencées par la taille et la forme des grains et donc par la porosité et la perméabilité du milieu filtrant, où plus la taille des grains est faible plus le coefficient de perméabilité K (m/s) est faible et plus les pertes deviennent plus importantes.

$$\Delta H = \frac{Q.Hs}{K.S}$$

3.3 Influence de certains paramètres sur la filtration :

Afin d'étudier l'effet des différents paramètres influant sur la qualité de filtration, on a choisi deux propriétés physico-chimique à étudier que sont la turbidité et l'absorbance.

3.3.1 Effet du débit sur la filtration :

Afin d'étudier l'effet du débit sur la filtration, Nous avons examinés différents débits de filtration, du plus faible au plus fort (60, 100,160 (l/h)), afin de déterminer le rendement de filtration correspondant à la meilleure limpidité. La concentration d'hydroxyde de cuivre reste toujours constant $C=10^{-3}$ mol/l avec 24,97 g de $CuSO_4, 5H_2O$ et 25,3 g de $Ca(OH)_2$. Et la couche de sable 24cm. Les prélèvements s'effectuent chaque 20 min pendant 140 min et les résultats obtenus sont illustrés sur les figures 3.3 et la figure 3.4

Tableau 3-5 : Données de la turbidité de l'eau en fonction du temps pour différents débits avec $Hs=24cm$

t (min)	TUR (Q=60l/h)	TUR (Q=100l/h)	TUR (Q=160l/h)
0	227	227	227
20	153	159	170
40	40.14	44.91	130.2
60	32	34.33	50.03
80	13	14.02	43.12
100	4.5	7.87	16.01
120	4.01	6.15	9.83
140	1.01	2.05	5.5

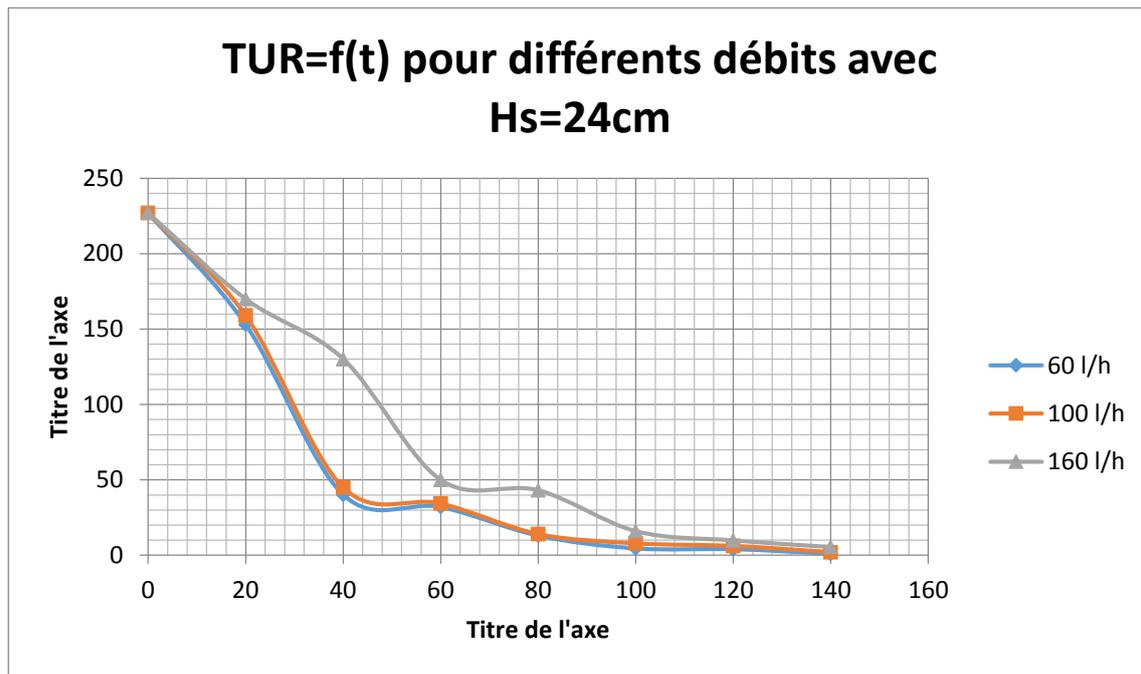


Figure 3.5: Evolution de la turbidité de l'eau en fonction du temps pour différents débits

Les résultats des essais obtenus sont donnés dans le tableau 3.5 et La figure 3.5, représente l'évolution de la turbidité en fonction du temps de contact. Nous remarquons que l'allure générale des courbes de l'ensemble des débits testés est décroissante, ce qui traduit par une baisse de la turbidité et quand le temps de contact augmente.

Les meilleurs résultats obtenus lors du traitement par filtration sur sable, correspond au débit le plus faible (60 l/h), met en évidence une baisse de la turbidité jusqu'à 1.01 NTU. Ceci indique que plus l'eau est en contact avec les matériaux filtrants plus la qualité s'améliore, d'où l'élimination efficace de la turbidité (1.01NTU)

Cependant pour les deux débits restants, nous observons une élimination de la turbidité moins efficace par rapport au premier débit pour une élimination maximale 2.05 NTU et 4.30 NTU. C'est résultats peut être expliqués par le fait qu'on augmente le débit de la filtration cela traduit par une augmentation de la vitesse de filtration, ce qui empêche la diminution de la matière en suspension. On conclusion, un débit faible donne une turbidité meilleur d'où une filtration maximum.

Tableau 3-6 : données de l'absorbance de l'eau en fonction du temps pour différents débits avec $H_s=24\text{cm}$

t (min)	A (Q=60l/h)	A (Q=100l/h)	A (Q=160l/h)
0	0.057	0.057	0.057
20	0.032	0.037	0.038
40	0.023	0.025	0.027
60	0.012	0.014	0.019
80	0.011	0.014	0.016
100	0.011	0.013	0.15
120	0.010	0.011	0.014
140	0.009	0.010	0.012

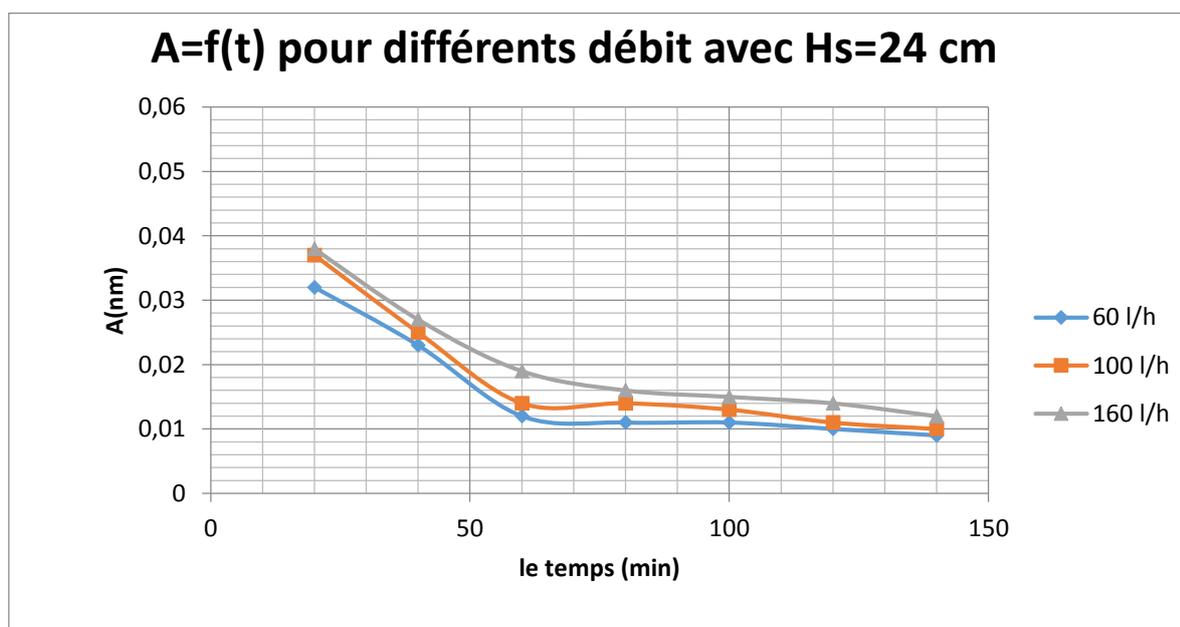


Figure 3.6: Evolution de l'absorbance de l'eau en fonction du temps pour différents débits.

Les résultats des essais obtenus donnés dans le tableau 3.6, et la figure 3.6 sont représenté l'évolution de l'absorbance en fonction du temps de contact. Nous remarquons que l'allure générale des courbes de l'ensemble des débits testés est décroissante, ce qui traduit par une baisse de l'absorbance quand le temps de contact augmente. Les meilleurs résultats obtenus lors du traitement par filtration sur sable, correspond au débit le plus faible (60 l/h), met en évidence une baisse de l'absorbance jusqu'à 0.009 nm. Ceci indique que plus l'eau est en contact avec les matériaux filtrants plus la qualité s'améliore, d'où l'élimination efficace avec une absorption minimale (0.009 nm). Cependant pour les deux débits restants, nous observons une élimination moins efficace par rapport au premier débit pour une absorption minimale de 0.10 nm et une absorption maximale 0.12 nm. C'est résultats peut être expliqués par le fait qu'on augmente le débit de la filtration cela traduit par une augmentation de la vitesse de filtration, ce qui empêche la diminution de la matière en suspension. On conclusion, un débit faible donne une absorbance meilleure d'où une filtration maximum.

3.4 Effet de l'épaisseur de la couche de sable

Afin d'étudier l'effet de l'épaisseur de la couche de sable sur l'efficacité de la filtration, nous avons examinés trois couches en l'occurrence 24, 48 et 80 cm. Le débit est fixé à 100L/h et la concentration d'hydroxyde de cuivre $C=10^{-3}$ mol/l avec 24,97 g de $\text{CuSO}_4, 5\text{H}_2\text{O}$ et 25,3 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Les prélèvements s'effectuent chaque 20 min pendant 140 min. et les résultats obtenus sont illustrés sur les figures 3.7 et 3.8

Tableau 3-7 : Evolution de la turbidité en fonction du temps de chaque épaisseur de sable avec $Q=100\text{L/H}$.

t (min)	Turbidité pour 24cm	Turbidité pour 48cm	Turbidité pour 80cm
0	227	227	227
20	159	145	21.32
40	44.9	18.69	11.48
60	34.33	15.92	3.9
80	14.02	15	2.38
100	7.87	13.91	1.48
120	6.15	8.74	1.37
140	4.81	0.82	0.72

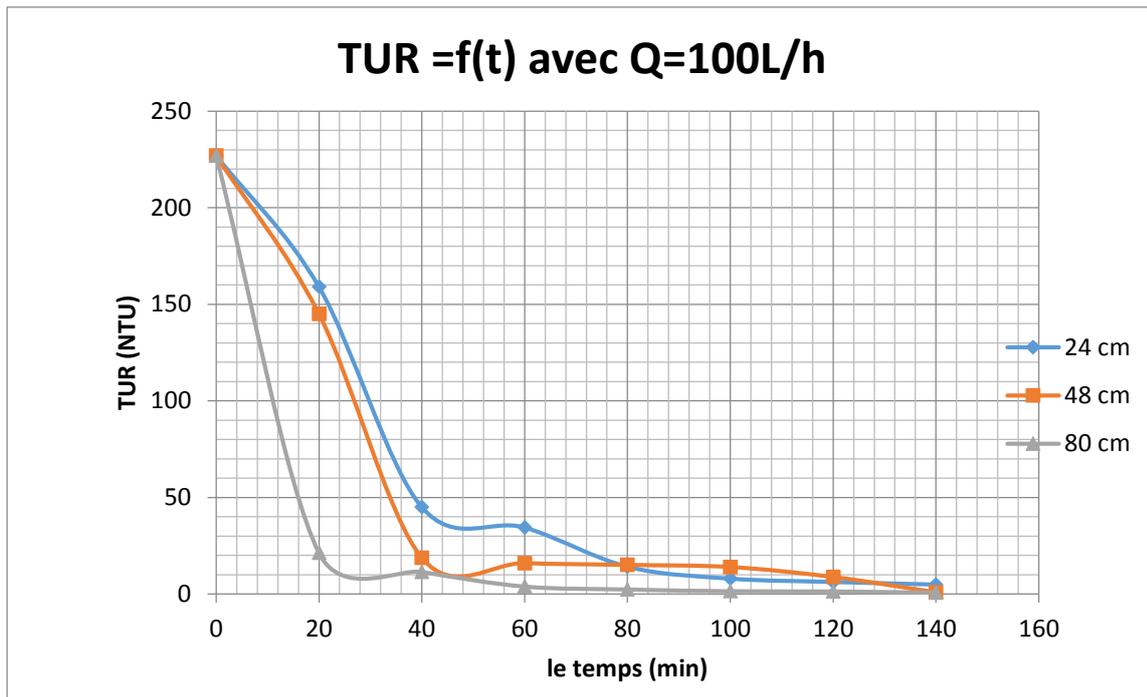


Figure 3.7 : Evolution de la turbidité en fonction du temps de déférents épaisseur de sable avec $Q=100L/H$

D'après la figure 3.7, on constate que la variation de la turbidité en fonction du temps de filtration pour différentes couche de sable, l'allure est similaire est présente une diminution de ce paramètre. Nous obtiendrons une élimination maximale de la turbidité de 0.72 NTU pour une couche de sable de 80 cm pendant 140 min. Pour les couches de sable 48 cm et 24 cm, la turbidité finale est de 0.82 et 4.81 NTU.

Tableau 3-8 : Evolution de l'absorbance en fonction du temps de chaque épaisseur de sable pour $Q=100L/H$.

Le temps (min)	L'absorbance pour 24cm	L'absorbance pour 48cm	L'absorbance pour 80cm
0	0.057	0.057	0.057
20	0.037	0.036	0.023
40	0.025	0.023	0.015
60	0.014	0.015	0.010
80	0.014	0.015	0.010

100	0.013	0.014	0.009
120	0.011	0.014	0.009
140	0.010	0.007	0.003

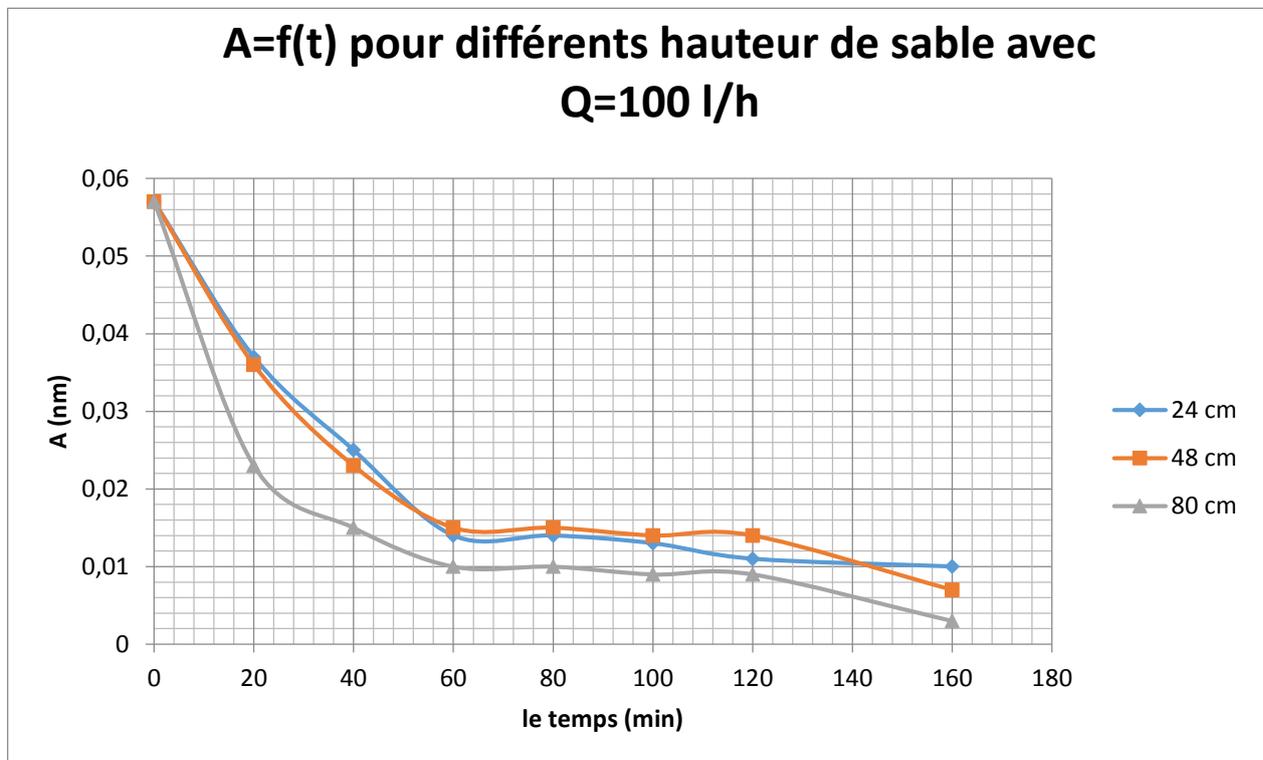


Figure 3.8 : Evolution de l'absorbance en fonction du temps de différents épaisseur de sable avec $Q=100L/H$

D'après la figure 3.8, on constate que la variation de de l'absorbance en fonction du temps de filtration pour différentes couche de sable, l'allure est similaire est présente une diminution de ce paramètre. Nous obtiendrons une absorbance meilleur de 0.003nm pour une couche de sable de 80 cm pendant 140 min. Pour les couches de sable 48 cm et 24 cm, l'absorbance finale est 0.007 et 0.010 nm.

D'après les figure figures 3.7 et la figure 3.8 nous concluons que :

Quand on filtre sur un matériau de granulométrie donnée et qu'on augmente progressivement l'épaisseur de la couche filtrante, on constate, après maturation du filtre, que la turbidité du filtrat diminue jusqu'à atteindre une valeur stable, ne s'améliorant plus avec l'épaisseur du lit. Cette épaisseur définit la hauteur minimale à mettre en œuvre.

En général, plus le sable est fin, plus l'épaisseur de couche est faible, plus la filtration est efficace . En conclusion, la couche de sable qui donne meilleur turbidité et meilleur absorbance est 80cm.

3.5 Comparaison des paramètres physico-chimiques des deux matières filtrantes :

Dans cette comparaison on a utilisé des matières filtrantes de granulométrie différent. La concentration d'hydroxyde de cuivre reste toujours constant $C=10^{-3}$ mol/l avec 24,97 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ et 25,3 g de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, et le débit $Q = 100$ l/h.

Le but est de voir l'influence de granulométrie de lit filtrant sur la qualité de filtration les résultats sont présenter dans le tableau 3.9 et le tableau 3.10

Tableau 3-9 : Evolution de la turbidité en fonction du temps de chaque matière filtrante (sable, grignons) avec $H_s=24$ cm et $Q=100\text{L/H}$.

t (min)	A (sable)	A (grignons)
0	227	227
20	59	183
40	44.9	143
60	34.33	138
80	14.02	134
100	7.87	112
120	6.15	107
140	4.81	26.2

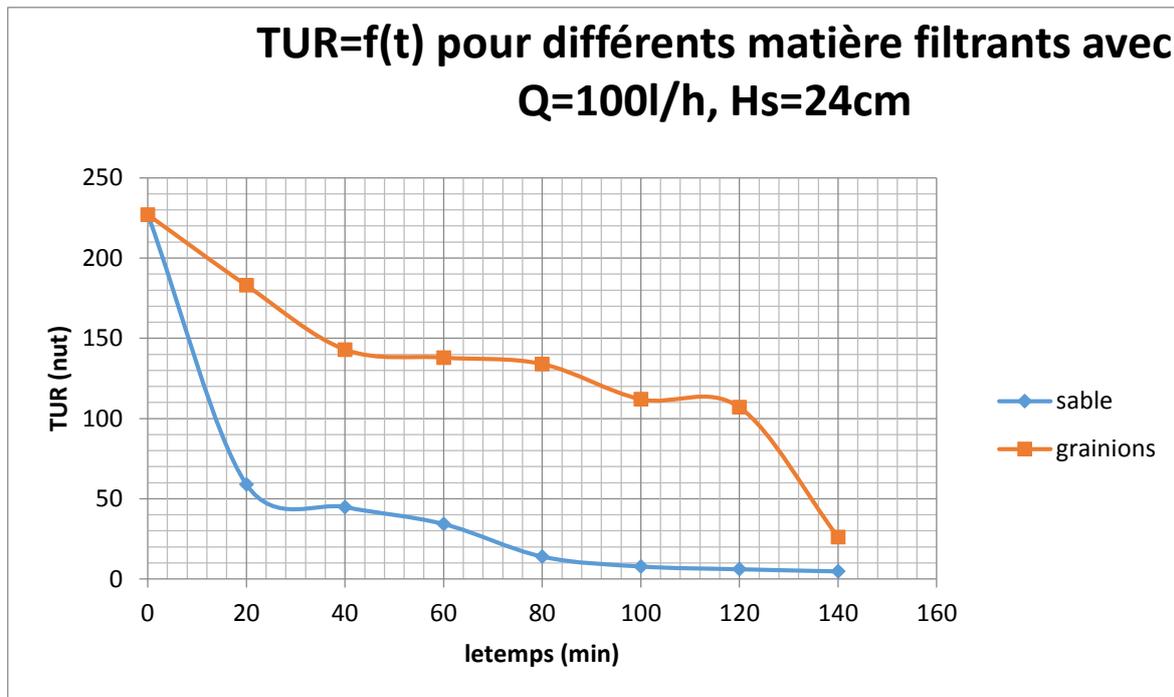


Figure 3.9 : Evolution de la turbidité en fonction du temps de chaque matière (sable, grignons) avec Q=100L/H Hs=24cm

La figures 3.9 montrent que la turbidité obtenue pour le sable est plus faible que celle obtenue pour le les grignons.

Tableau 3-10 : Evolution de l'absorbance en fonction du temps de chaque matière (sable, grignons) avec Q=100/h, Hs=24cm

Le temps	A (sable)	A (grainions)
0	0.057	0.057
20	0.037	0.051
40	0.025	0.049
60	0.014	0.041
80	0.014	0.025
100	0.013	0.024
120	0.011	0.019
140	0.01	0.019

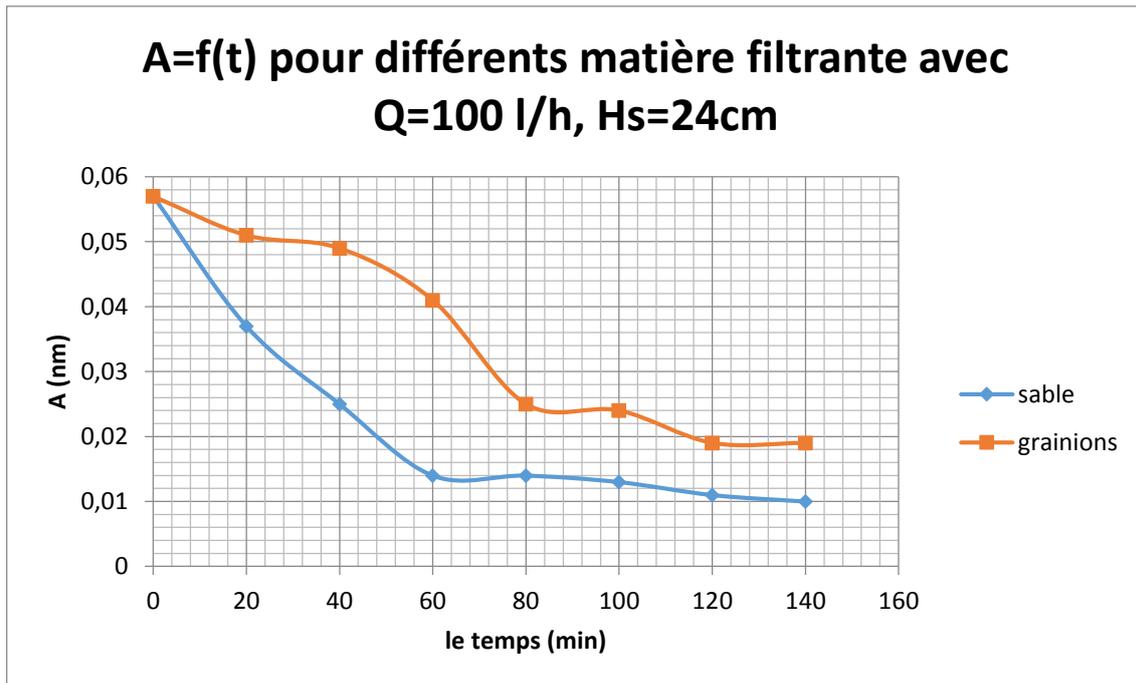


Figure 3.10 : Evolution de l'absorbance en fonction du temps de chaque matière (sable, grignons) avec Q=100/h, Hs=24cm

La figures 3.10 montrent l'absorbance obtenue pour le sable est plus faible que celle obtenue pour le les grignons.

D'après les résultats des figures 3.9 et 3.10, on peut expliquer Cette différence par le faite que le sable a une granulométrie plus faible que les grainions est une forme arrondie des grains qui donne une faible perméabilité au milieu filtrant et qui permettent donc d'avoir une meilleur rétention des particules de en suspension.

Donc la granulométrie et la forme des grains d'un milieu filtrant ont une grande influence sur la qualité de filtration et que plus cette granulométrie est faible et sa forme est bien arrondie plus la filtration est efficace.

Conclusion & perspective

Conclusion

La filtration sur sable est généralement l'étape finale de traitement de clarification d'une eau. C'est une opération qui permet de retenir les dernières particules solides en suspension non éliminées lors de traitement de coagulation-floculation et de décantation. Dans ce modeste travail nous avons effectué une filtration d'une eau n'ayant pas subi ces prétraitements

Notre étude de la filtration gravitationnelle d'une eau polluée a consisté d'abord à évaluer les pertes de charges dans la colonne puis à étudier l'influence de quelque paramètre sur la qualité des eaux filtrées : le débit, la hauteur de lit filtrant à partir de la mesure de turbidité et l'absorbance ; les résultats obtenus sont les suivants

- Les pertes de charges sont influencées par les caractéristiques structurales de milieu filtrant tel que le diamètre des particules où elles sont inversement proportionnelles à ces dernières
- Si on augmente le débit de la filtration cela traduit par une augmentation de la vitesse de filtration, ce qui empêche la diminution de la matière en suspension. On conclut, un débit faible donne une turbidité meilleure d'où une filtration maximum.
- Quand on filtre sur un matériau de granulométrie donnée et qu'on augmente progressivement l'épaisseur de la couche filtrante, on constate, après maturation du filtre, que la turbidité du filtrat diminue jusqu'à atteindre une valeur stable, ne s'améliorant plus avec l'épaisseur du lit. Cette épaisseur définit la hauteur minimale à mettre en œuvre.
- En général, plus le sable est fin, plus l'épaisseur de couche est faible, qui donne meilleure turbidité et meilleure absorbance. Cette différence est expliquée par le fait que le sable a une granulométrie plus faible que les grignons est une forme arrondie des grains qui donne une faible perméabilité au milieu filtrant et qui permettent donc d'avoir une meilleure rétention des particules en suspension. Donc la granulométrie et la forme des grains d'un milieu filtrant ont une grande influence sur la qualité de filtration et que plus cette granulométrie est faible et sa forme est bien arrondie plus la filtration est efficace.

La conclusion la plus importante c'est que la filtration rapide sur sable sans des traitements préalables de coagulation-floculation et décantation, peut être un prétraitement très efficace pour le traitement des eaux polluées de faible turbidité ; alors que les eaux qui ont une très grande concentration en matières en suspensions et colloïdales tel que les eaux polluées nécessitent un traitement physico-chimique préalable afin de réduire le problème du colmatage rapide des lits filtrants.

Bibliographie

- [1] Vilaginès. R. Eau, environnement et santé publique " introduction à l'hydrologie". LAVOISER, 2003.
- [2] Simon Gravel. Etude expérimentale de la filtration sous haute pression de résidus minière en suspension. Master's thèses, Université de Québec, 2015.
- [3] Pascal Disa-Disa ; Marc Culot ; Joseph Lobo ; Ignace Kalala ; Christophe Kawita ; Gracien Ekoko ; Crispin Mulaji. Drinking water treatment by multistage slow sand filtrations. *Journal of Water Science*, 27(3):261{268, 2014.
- [4] Collins M.R.; Eighmy T.T.; Malley J.P. Evaluating modifications to slow sand filters. *J. Am. Water Works Assoc*, 83:62{70, 1991.
- [5] Claude Cardot. "Les traitements de l'eau", Procédés physico-chimiques et biologiques. Ellipses, 2013.
- [6] Degremont. *Mémento technique de l'eau*, volume 1. Edition technique et documentation la Vorisier, 9 édition, 1989.
- [7] Haardhoff J. ET Cleasby J.L. Biological and physical mechanisms in slow sand filtration. dans: *Slow sand filtration*. American Society of Civil Engineer, 01:19 68, 1991.
- [8] Weber-Shirk M.L.; Dick R.I. Physicalchemical mechanisms in slow sand filters. *J. Am. Water Works Assoc*, 89:87{100, 1997.
- [9] Trevor Sparks; George Chase. *Filters and Filtration Handbook*. Butter Worth- Heinemann, 2016.
- [10] Gary Logsdon. *Water Filtration Practice: Including Slow Sand Filters and Precoat Filtration*. American Water works Association, 2014.
- [11] Hamadou Hama Maiga. La filtration lente sur sable étudiée sur une installation pilote. PhD thèse, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 1983.
- [12] A.Kettab. *Traitement des eaux : les eaux potable*. Edition Office des publications universitaires, place centrale de Ben-Aknoun, Alger.
- [13] Santé Canada www.sc-hc.gc.ca. *Technique de traitement : Santé de l'environnement et du milieu de travail*, Mars 2012.
- [14] Hernandez Hector .R. *Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau Potable*. PhD thèses, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2008.

Résumé :

La qualité de l'eau joue un rôle important dans le domaine de son utilisation, plus elle est pure, plus elle convient à divers usages (agriculture, industriel ...).

Dans ce travail nous avons étudié la filtration gravitationnelle comme un traitement préliminaire de l'eau polluée chargée en matières en suspensions, en utilisant deux matières filtrante à dimensions différentes (sable, grignons d'olives)

Afin d'obtenir une eau plus claire, destinée à l'usage industriel ou domestique.

Mots clés : filtration gravitationnelle, traitement préliminaire, matières en suspensions, matières filtrante.

Abstract:

The quality of water plays an important role in its areas of use, so the purer it is, the better it is suitable for various uses (agriculture, industry ...).

In this work we studied gravitational filtration as a preliminary treatment of polluted water loaded with suspended solids, by using tow filter materials of different dimensions (olive-pomace, sand).

In order to obtain clearer water, intended for industrial or domestic use.

Key words: gravitational filtration, preliminary treatment, suspended solids, filter materials.

ملخص:

تلعب جودة المياه دورا مهما من حيث مجالات استخدامها، فكلما كانت أكثر نقاوة كلما صلحت لمختلف لاستخدامات (زراعة، صناعة الخ).

درسنا في هذ العمل ترشيح الجاذبية كعلاج أولي للمياه الملوثة المحملة بالمواد الصلبة العالقة باستخدام مادتي تصفية مختلفتي الأحجام (رمل، أنوية الزيتون).

وذلك من أجل الحصول على مياه أكثر نقاوة جاهزة للاستخدام الصناعي أو المنزلي.

الكلمات المفتاحية: ترشيح الجاذبية، المواد الصلبة العالقة.