

<i>Dédicace</i>	i
Remerciement	ii
Objectif de stage	1
Chapitre. 1 : Etude bibliographique	2
1 Différents types et composition des eaux usées	3
2 Paramètres physico-chimiques de l'eau	3
2.1 Prélèvement et échantillonnage	4
2.2 La conservation de l'eau	4
2.3 Les paramètres physiques	4
2.3.1 La conductivité électrique	4
2.3.2 Les solides totaux dissous: TDS	5
2.3.3 Température	5
3 Les paramètres chimiques	6
3.1 PH	6
3.2 La matière en suspension	6
3.3 La demande chimique en oxygène	6
3.4 L'azote ammoniacal	7
3.5 Les nitrites	7
3.6 Le phosphore total	7
3.7 La dureté totale	7
3.8 Les sulfates	8
3.9 L'alcalinité de l'eau	8
4 Principes du traitement des eaux usées	8
4.1 Traitement préliminaire	8
4.2 Prétraitement	8
4.2.1 Le dégrillage	8
4.2.2 Le dessablage	9
4.2.3 Le dégraissage-déshuilage	9
4.2.4 Le déversoir d'orage de tête de station	9
4.2.5 Le canal de jaugeage :	10
4.3 Traitement primaire	10
4.4 Traitement biologique	11
4.5 Traitement physico-chimique	12
4.6 Décantation secondaire	12
4.7 Post-traitement	12
4.8 Traitement de boues	13
5 Généralités sur les différents procédés de traitement des eaux usées	13
5.1 Les systèmes de traitement intensifs	13
5.1.1 Lits bactériens	14
5.1.2 Disques biologiques	14
5.1.3 Boues activées	15
5.2 Les systèmes de traitement extensifs	15
5.2.1 Lagunage naturel	15
5.2.2 Lagunage aéré	16
5.3 Filtres plantés de macrophytes	16

5.4	Mécanismes épuratoires dans les filtres plantés de roseaux	17
5.5	Rôle des plantes	17
5.6	Rôle du matériau de remplissage	18
5.7	Rôle des micro-organismes	18
Conclusion :		18
Chapitre. 2 : Dimensionnement et conception des filtres plantés de roseaux		19
1	Données de bases pour le dimensionnement	20
1.1	Températures et pluviométries	20
1.2	Origine des eaux usées et profil du débit	20
1.3	Caractéristiques des eaux usées	21
2	Principe de base de la conception du système de traitement	22
3	Prétraitement	24
4	Filtres Plantés à Ecoulement Vertical premier étage (FPEV)	24
4.1	Détermination de la surface du filtre :	24
4.2	Nombre et forme des bassins	26
4.3	Profondeur des filtres	26
4.4	Pente	27
5	Filtres plantés à écoulement horizontal sub-surfacique (FPEH)	27
5.1	Nombre et forme des bassins	27
5.2	Profondeur	29
5.3	Pente de fond des filtres	29
5.4	Type de matériau de filtration	29
6	Filtres à Percolation Vertical du troisième étage (FPV)	29
6.1	Détermination de la surface du filtre	29
6.2	Type de matériaux pour le garnissage	31
6.3	Profondeur des filtres	32
6.4	Pente	32
7	Récapitulatif des résultats de dimensionnement	32
Conclusion		32
Conclusion générale		33
Bibliographie :		34

Liste de figures :

<i>Figure 1 : mesure de la conductivité électrique</i>	5
<i>Figure 2 : réactions d'azote</i>	7
<i>Figure 3 : Dégrilleur rotatif</i>	9
<i>Figure 4 : Chaîne de prétraitement</i>	10
<i>Figure 5 : Traitement primaire</i>	11
<i>Figure 6 : Traitement biologique</i>	11
<i>Figure 7 : Déshydratation de la boue</i>	13
<i>Figure 8 : Disques biologiques</i>	14
<i>Figure 9: filtres avec les plantes de roseaux</i>	20
<i>Figure 10 : Débit en fonction du temps (IAV)</i>	21

Liste tableaux

<i>Tableau 1: pH de l'eau</i>	6
<i>Tableau 2: mécanismes épuratoires dans les filtres plantés roseaux</i>	17
<i>Tableau 3: caractéristiques des eaux usés (IAV)</i>	21
<i>Tableau 4: les charges en fonction du filtre</i>	25
<i>Tableau 5: calcul des concentrations en DBO5</i>	30
<i>Tableau 6: concentrations en azote</i>	31
<i>Tableau 7: matériaux de garnissage</i>	31

Objectif de stage

Ce stage de fin d'études s'inscrit dans l'optique d'appliquer les connaissances fondamentales et théoriques acquises lors de notre formation en eau et Environnement à la FST-Fès. Il a également pour but d'acquérir une expérience professionnelle, d'autant plus qu'il est réalisé au sein de la Office National d'Electricité et d'Eau Potable de Fès. Sur le plan de notre épanouissement personnel et de notre cursus scientifique universitaire, ce stage nous a permis d'améliorer nos connaissances pratiques et nous a permis également de s'affronter au domaine du travail.

Objet de ce stage, porte sur deux grands axes :

- ✓ Le premier est de faire une étude bibliographique sur les différentes méthodes d'assainissement et d'épuration des eaux usées issus de différentes utilisations, la majorité de ces méthodes est adoptée dans les ONEEP du royaume
- ✓ Le 2eme axe, le sujet de notre travail, a pour but d'avoir une idée sur les performances et l'efficacité des filtres plantés de roseaux après leur utilisation comme processus d'épuration pour la 1ere fois au Maroc à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat.

Les objectifs spécifiques de notre travail se résument principalement en :

- ✓ Familiarisation avec les différentes méthodes d'épuration ;
- ✓ Conception sur les bassins des filtres plantés de roseaux;
- ✓ Détermination des réactions biologiques et chimiques qui se déroulent tout au long l'épuration par filtres plantés de roseaux.

Chapitre. 1 : Etude bibliographique

1 Différents types et composition des eaux usées

Les eaux usées sont fréquemment appelées eaux d'égout. Il s'agit d'eaux qui ont été utilisées pour le lavage et le nettoyage par chasse d'eau dans les maisons, ou encore certains procédés de fabrication. Les eaux usées sont constituées d'eau à 99 pour cent, le reste étant composé de matières de vidange, de déchets organiques et de détergents.

Les eaux usées (EU) sont classées selon leur origine en 4 catégories :

- EU domestiques,
- EU industrielles,
- Eaux pluviales et de ruissellement,
- EU d'origine agricole.

Les eaux usées sont les produits de différentes pollutions, La pollution de l'eau est la modification de sa qualité physico-chimique et biologique et la dégradation de son état.

Selon la nature du rejet, on peut distinguer trois types de pollution :

- La pollution physique
- La pollution chimique
- La pollution biologique

2 Paramètres physico-chimiques de l'eau

Les eaux usées drainent des sérieuses nuisances pour l'environnement ainsi que l'homme. Afin de les éviter, elles doivent suivre des procédés de traitement avant leur évacuation en milieu récepteur, ainsi, le choix du type de traitement dépend de la composition des eaux à traiter, d'où l'importance d'apprécier d'abord la qualité des eaux pollués.

2.1 Prélèvement et échantillonnage

Le prélèvement d'un échantillon d'eau est une opération importante à laquelle le plus grand soin doit être apporté, il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée.

L'échantillon doit être **homogène**, **représentatif** et obtenu sans changer les caractéristiques physico-chimiques de l'eau prélevé. On peut développer une méthodologie adaptée à chaque cas.

Les échantillons des eaux usées doivent être prélevés à l'aide des bouteilles en verre stériles de 500 ml et conservés à 4°C pour servir pour la totalité des analyses physicochimiques.

2.2 La conservation de l'eau

Pour éviter des absorptions, des photo-décompositions, des volatilisations, des biodégradations, il faut conserver l'échantillon dans des conditions de températures et d'obscurité favorable.

En général le transport se fait à une température égale à **4°C** et à **l'obscurité** dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante.

2.3 Les paramètres physiques

2.3.1 La conductivité électrique

La conductivité de l'eau est une mesure de sa capacité à conduire le courant électrique. La mesure de la conductivité permet d'apprécier rapidement mais très approximativement la minéralisation de l'eau et de suivre son évolution. Elle se mesure en **S/m**.



Figure 1 : mesure de la conductivité électrique

2.3.2 Les solides totaux dissous: TDS

La mesure des solides totaux dissous (TDS) exprime la concentration en gramme/Litre des divers ions. La sonde de conductivité ne sélectionne pas pour les ions mais mesure la somme totale des concentrations des composants inorganiques de la solution.

2.3.3 Température

Elle joue un rôle dans la solubilité et la dissolution des sels, donc nous renseigne sur l'origine de l'eau, cette mesure doit être faite au moment du prélèvement.

3 Les paramètres chimiques

3.1 PH

Le pH d'une eau représente son acidité ou son alcalinité.

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

Tableau 1: pH de l'eau

3.2 La matière en suspension

C'est la teneur et la composition minérale et organique des matières en suspension contenue dans les eaux. Elles caractérisent la teneur en gramme/litre des éléments non dissous de diverses granulométries dans l'eau. Ces matières peuvent être minérales et inertes ou plus ou moins actives vis à vis de l'oxygène.

4.1 La demande biochimique en oxygène (DBO5)

La DBO exprime la consommation naturelle d'oxygène en g/litre des corps contenus dans l'eau, dégradés par les bactéries du milieu par une oxydation.

3.3 La demande chimique en oxygène

La DCO correspond à la teneur de l'ensemble des matières organiques que celles-ci aient un caractère biodégradable ou non. C'est la demande chimique en oxygène mesurée en g/litre qui exprime la quantité totale d'oxygène nécessaire pour oxyder en présence de permanganate, les substances contenues dans l'eau notamment les éléments chimiques.

3.4 L'azote ammoniacal

L'azote ammoniacal se présente sous la forme toxique NH_4^+ , sa présence dans les eaux traduit habituellement un processus de dégradation incomplète de la matière organique NH_4^+ , l'azote ammoniacal se transforme assez rapidement en nitrites et nitrates par oxydation.

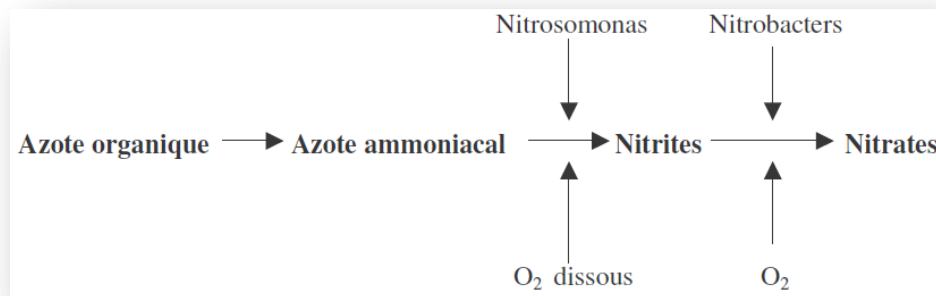


Figure 2 : réactions d'azote

3.5 Les nitrites

Les nitrites sont des composés intermédiaires du processus de nitrification ou de dénitrification. Ils sont associés du fait que la transformation de l'un en l'autre s'opère par des bactéries (nitrobacters) du sol et de l'eau.

3.6 Le phosphore total

Le phosphore total (PT) est obtenu après minéralisation en milieu acide, en présence de persulfate de sodium à 200°C pendant deux heures. Les formes organiques et combinées du phosphore sont ainsi transformées en orthophosphates solubles. Ces derniers sont dosés comme les orthophosphates.

3.7 La dureté totale

La dureté totale d'une eau est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle correspond à l'ensemble des ions alcalino-terreux, sont les ions calcium et magnésium principalement.

3.8 Les sulfates

Les sulfates sont précipités en présence d'acide chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de "Tween 20" ou de polyvinyle-pyrrolidone.

3.9 L'alcalinité de l'eau

Le titre Alcalimétrique Complet (TAC) est la grandeur utilisée pour mesurer le taux d'hydroxydes, de carbonates et de bicarbonates d'une eau.

4 Principes du traitement des eaux usées

4.1 Traitement préliminaire

En ce qui concerne le traitement des eaux usées, la première étape consiste à retirer les débris de l'eau dès qu'elle entre dans l'usine, c'est-à-dire du bois, des vêtements, du plastique, du verre, du métal, du sable ou du gravier. Il s'agit du traitement préliminaire.

4.2 Prétraitement

Ce sont des traitements physiques et mécaniques sert à bloquer les matières solides pour protéger les installations et les équipements utilisés après, ainsi que les huiles et les graisses pouvant nuire au traitement secondaire. Les prétraitements comprennent

4.2.1 Le dégrillage

Il sert à retenir les matières solides volumineuses par des grilles droites (verticales ou inclinées), ou de grilles courbes. Le nettoyage des grilles peut s'opérer soit manuellement soit mécaniquement à l'aide de dispositifs de nettoyage automatique.

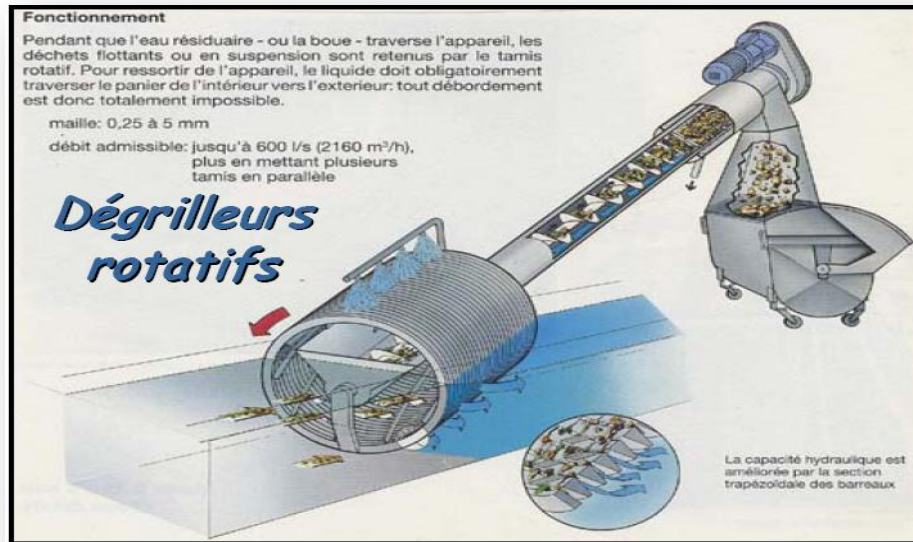


Figure 3 : Dégrilleur rotatif

4.2.2 Le dessablage

Cette méthode a pour but d'éliminer les graviers et les sables d'une granulométrie généralement supérieure à 200 μ m.

4.2.3 Le dégraissage-déshuilage

Il permet de séparer de l'effluent les huiles et les graisses contenues dans les eaux usées, dans le but de réduire les risques de colmatage des conduites par les dépôts de graisses et d'éviter les risques d'inhibition des processus biologiques. La séparation de ces effluents s'effectue par flottation.

4.2.4 Le déversoir d'orage de tête de station

Dont le rôle est de limiter le débit de pluie sur les ouvrages de traitement de la station et même d'éviter une surcharge hydraulique des ouvrages. Les effluents qui ne sont pas conduits vers le traitement peuvent être, soit rejetés directement au milieu récepteur, soit stockés partiellement ou totalement dans un bassin tampon (ou bassin de pollution).

4.2.5 Le canal de jaugeage :

Consiste sur le prélèvement d'échantillons pour le suivi du fonctionnement, de l'installation par des mesures de débits et des prélèvements sur lesquels sont réalisées les analyses physico-chimiques.

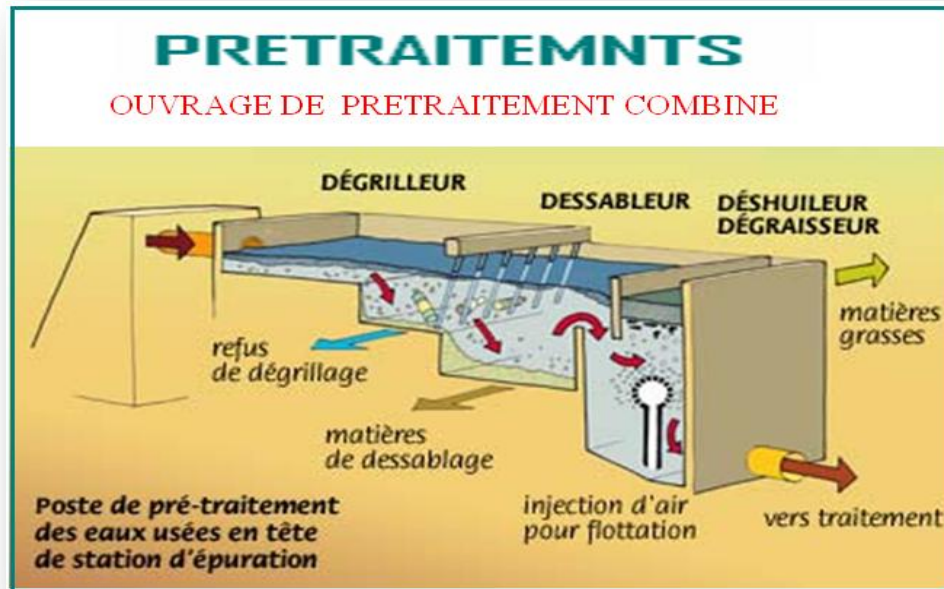


Figure 4 : Chaine de prétraitement

4.3 Traitement primaire

On parle essentiellement de la décantation primaire favorisée par l'ajout de réactifs de coagulation-floculation, dont le rôle est de retenir les matières minérales et organiques décantables en permettant ainsi de réduire les charges de la pollution à épurer par les traitements secondaires et donc la taille de ces ouvrages.

Dans le traitement primaire amélioré, des produits chimiques sont versés dans les bassins de décantation pour que les particules se lient les unes aux autres et se déposent plus facilement.

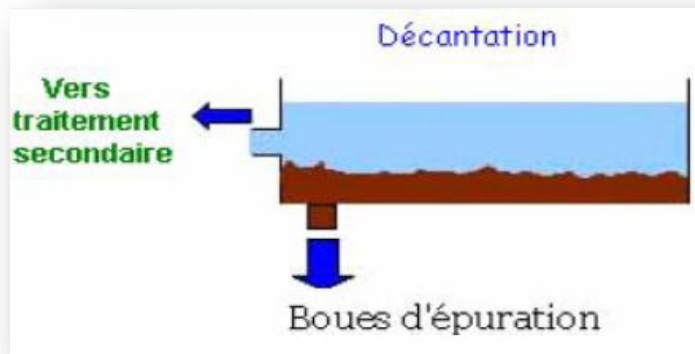


Figure 5 : Traitement primaire

4.4 Traitement biologique

Les procédés biologiques sont utilisés pour le traitement secondaire des eaux résiduaires urbaines et industrielles. Dans leur configuration de base, ils sont essentiellement employés pour l'élimination des composés carbonés présents sous forme soluble tels que sucres, graisses, protéines, etc...

Le but des traitements biologiques est d'éliminer la pollution organique carbonées, la nitrification, la dénitrification, l'enlèvement du phosphore et le traitement de la turbidité au moyen de micro-organismes, bactéries principalement qui utilisent la matière organique comme source de carbone et d'énergie.



Figure 6 : Traitement biologique

4.5 Traitement physico-chimique

Les filières physico-chimiques utilisent des moyens physiques (décantation, flottation, filtres et membranes) et/ou des produits chimiques, notamment des coagulants (Chlorure ferrique, Sulfate d'aluminium...) et des flocculants.

On les utilise pour certains effluents industriels (toxiques) ou lorsque l'on doit gérer des variations rapides des flux à traiter (cas des stations d'épuration de communes touristiques)

Dans l'état actuel des technologies, les membranes de microfiltration, ultrafiltration et nanofiltration sont surtout utilisées pour la potabilisation de l'eau. D'ailleurs il peut renforcer les rendements des traitements primaires ou secondaires comme il peut les remplacer.

4.6 Décantation secondaire

Les phases précédentes ont formé des flocons de boue qui, dans grâce à cette décantation, vont se déposer au fond du bassin. Ces détritiques déposés au fond du bassin sont appelées boues biologiques.

Celles-ci seront réutilisées comme engrais organiques pour l'agriculture. La durée de cette décantation est de 3 heures. Et à la fin on pourrait dire qu'on a éliminé 95% de la pollution se trouvant dans l'eau usée.

4.7 Post-traitement

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'influent peut, dans la majorité des cas, être rejeté dans le milieu naturel après prétraitement. Cependant, selon les objectifs visés, un ou plusieurs traitements complémentaires peuvent s'avérer nécessaires et on parle dans ce cas de traitement tertiaire qui peut comporter:

- Un traitement biologique visant l'élimination de l'azote et, ou du phosphore ;
- Un traitement chimique en vue de précipiter puis décanter le phosphore ;
- Et une troisième possibilité qui consiste à un traitement physico-chimique de désinfection (par chlore, UV, etc.).

4.8 Traitement de boues

La boue est un mélange de particules individualisées de substances dissoutes de colloïdes, de micro-organismes et de réactifs chimiques. C'est un traitement un peu long (épaississement, digestion, déshydratation).

Ce traitement de boues sert à :

- Elimination des germes pathogènes;
- Réduction du volume des boues;
- Valorisation agricole des boues;
- Récupération de produits ayant une valeur économique (boue industrielle : Alun, boue minérale : Uranium).



Figure 7 : Déshydratation de la boue

5 Généralités sur les différents procédés de traitement des eaux usées

5.1 Les systèmes de traitement intensifs

Ce sont des systèmes de traitement sophistiqués nécessitant plus ou moins d'espace et exigeant une main d'œuvre qualifiée et une surveillance plus ou moins poussée. Le principe de ces procédés, les plus développés dans les stations d'épuration urbaines, est de localiser sur des surfaces réduites des phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques. On distingue les principaux systèmes :

5.1.1 Lits bactériens

L'épuration des eaux par **lit bactérien** est une méthode d'épuration biologique par cultures fixées. Ce système est le plus souvent utilisé pour les eaux très chargées provenant d'industries agroalimentaires,...

Cette technique consiste à faire supporter les micro-organismes épurateurs par des matériaux poreux. L'eau à traiter est dispersée en tête de réacteur, traverse le garnissage et peut être reprise pour une recirculation.

Dans les lits bactériens (ou filtres bactériens ou bio-filtre), la masse active des micro-organismes se fixe sur des supports poreux inertes ayant un taux de vide d'environ 50 % (minéraux, comme la pouzzolane et le coke métallurgique, plastiques, les roches volcaniques, les cailloux) à travers lesquels on filtre l'effluent à traiter.

Pour ne pas avoir un colmatage rapide de la culture bactérienne, il faut effectuer les opérations de prétraitement : dégrillage, dessablage, dégraissage et décantation primaire (décanteur-digesteur).

5.1.2 Disques biologiques

Procédé de traitement biologique aérobie à biomasse fixée. Les supports de la microflore épuratrice sont des disques partiellement immergés dans l'effluent à traiter et animés d'un mouvement de rotation lequel assure à la fois le mélange et l'aération. Les microorganismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques.

Les disques sont semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée. L'effluent est préalablement décanté pour éviter le colmatage du matériau support. Les boues qui se décrochent sont séparées de l'eau traitée par clarification.

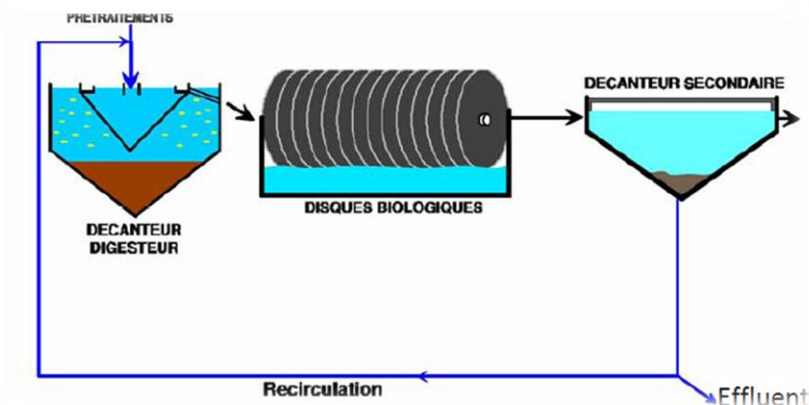


Figure 8 : Disques biologiques

5.1.3 Boues activées

La boue activée est une masse biologique vivante constituée de micro-organismes, de substrat et de métabolites. L'ensemble se maintient, sous l'effet de l'aération, en suspension dans l'eau sous forme de floccs brunâtres.

Le procédé dit « à boues activées » utilise l'épuration biologique dans le traitement des eaux usées. C'est une mode d'épuration par cultures libres.

Quatre utilisations principales spécifiques du procédé à boues activées:

- Élimination de la pollution carbonée (matières organiques)
- Élimination de la pollution azotée
- Élimination biologique du phosphore
- Stabilisation des boues : procédé dit d'« aération prolongée » ou « digestion aérobie »

L'épuration par boues activées consiste à mettre en contact les eaux usées avec un mélange riche en bactéries par brassage pour dégrader la matière organique en suspension ou dissoute. Il y a une aération importante pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières, suivie d'une décantation à partir de laquelle on renvoie les boues riches en bactéries vers le bassin d'aération.

5.2 Les systèmes de traitement extensifs

Les systèmes de traitement extensifs sont des unités de traitement utilisant des surfaces plus ou moins importantes. La gestion de ces systèmes nécessite moins de qualifications, comparées aux systèmes intensifs.

5.2.1 Lagunage naturel

Le lagunage, est une technique naturelle d'épuration des eaux fondée sur la déséutrophisation. Le principe est de recréer des bassins « tampons » durant lesquels les eaux usées vont transiter, avant d'être rejetées dans le milieu naturel. Les phénomènes d'auto-épuration des eaux se font ainsi dans ces bassins, de grande surface, plutôt que dans le milieu naturel (lac, rivière) qui est ainsi préservé des conséquences néfastes de ce phénomène d'auto-épuration (la dégradation de la matière organique par les micro-organismes aérobies, entraîne une chute du taux d'oxygène dissous, ce qui a pour conséquence d'asphyxier la macrofaune et la microflore aquatique).

5.2.2 Lagunage aéré

Le lagunage aéré est une technique d'épuration biologique par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène. Dans l'étage d'aération: les eaux usées sont dégradées par des micro-organismes qui consomment et assimilent les nutriments. Dans l'étage de décantation: les matières en suspensions (amas de micro-organismes et de particules piégées) s'agglomèrent lentement sous forme de boues.

5.3 Filtres plantés de macrophytes

Les filtres plantés interviennent dans plusieurs dispositifs de traitement des effluents. Ils contribuent à éliminer les matières organiques et impuretés présentes dans les eaux usées. Ils sont parfois appelés « lits de séchage plantés ».

Leur principe est de faire circuler l'eau à travers un filtre de graviers sur lequel poussent des macrophytes (plantes aquatiques). Leurs racines apportent de l'oxygène au sol et créent un environnement propice au développement de micro-organismes qui purifient l'eau. Le processus reproduit d'une manière naturelle d'épuration de l'eau dans les marais, dans lesquels les eaux usées commencent par décanter en se déchargeant de leurs particules solides, puis subissent des traitements naturels physiques, chimiques et surtout biologiques favorisés par des plantes aquatiques ayant pour effet de dégrader les matières organiques, de supprimer les nutriments liés aux particules et de réduire sensiblement les germes pathogènes des eaux usées.

Il existe deux types de filtres : les horizontaux et les verticaux. Ils diffèrent par leur mode d'alimentation, par le sens de l'écoulement de l'eau et par les conditions aérobies de traitement. Les filtres verticaux nécessitent un mode d'alimentation en eau par discontinuité et mettent en œuvre des mécanismes biologiques assez complexes leur permettant de réduire de façon sensible les germes pathogènes et la DBO.

Les filtres horizontaux nécessitent un prétraitement des eaux, par exemple par un filtre vertical, des fosses septiques ou un petit bassin de lagunage pour ne pas risquer de se colmater. Ils conviennent davantage pour les eaux usées assez eu chargées.

5.4 Mécanismes épuratoires dans les filtres plantés de roseaux

Les mécanismes d'épuration qui se déroulent dans les filtres plantés de roseaux sont régis par des phénomènes physiques, chimiques, physico-chimiques et biologiques. Les eaux usées passant à travers le massif filtrant vont subir différentes actions (Molle, 2003) :

- Les MES seront filtrées de façon plus ou moins poussée selon la granulométrie des matériaux de remplissage du filtre ;
- Les bactéries qui se développent sur le support et les rhizomes subiront une dégradation biologique ;

Le tableau suivant résume les différents mécanismes épuratoires dans les filtres plantés de roseaux:

Polluants	Mécanismes d'élimination
Matières en suspension	Filtration
	Dégradation microbienne anaérobie
	Dégradation microbienne aérobie
Matière organique	Ammonification suivie d'une nitrification et d'une dénitrification microbienne.
	Volatilisation de l'ammoniac
	Assimilation végétale
Phosphore	Adsorption sur la matrice
	Assimilation végétale
Métaux	Adsorption et échange de cations,
	Complexation
	Précipitation
	Assimilation végétale
	Oxydoréduction microbienne
Micro-organismes	Filtration
	Mort naturelle
	Prédation
	Sécrétion d'antibiotiques par les racines des macrophytes

Tableau 2: mécanismes épuratoires dans les filtres plantés roseaux

5.5 Rôle des plantes

Les plantes les plus utilisées en Europe sont les roseaux (*Phragmites australis*); aux Etats-Unis, ce sont les massettes ou quenouilles (*Typha*) qui sont les plus fréquentes. Ces deux espèces ont démontré leur capacité à tolérer des eaux usées peu, moyennement et fortement concentrées. Pour un traitement de finition, on peut utiliser des espèces très variées de plantes de zones humides et même des espèces

ligneuses telles que les saules (*Salix*). Les plantes ont de nombreux rôles supposés, mais dont l'apport quantifié au processus d'élimination n'est pas toujours bien établi.

5.6 Rôle du matériau de remplissage

De par sa granulométrie, le matériau de remplissage a un rôle évident de filtration des matières en suspension présentes dans les eaux usées. Son efficacité dans ce rôle dépend en grande partie de la texture du matériau que l'on approche par sa granulométrie et qui interviendra notamment sur les caractéristiques hydrodynamiques (conductivité hydraulique en milieu saturé ou non).

5.7 Rôle des micro-organismes

Le principal rôle des micro-organismes est, comme dans tout procédé de traitement biologique, la dégradation de la matière organique. Ce sont eux qui assurent les différents processus d'oxydation et de réduction. Ils génèrent grâce à la dégradation de la matière organique l'énergie nécessaire à la biosynthèse. Ils minéralisent les composés azotés et phosphorés, et les rendent ainsi assimilables par les plantes. Ils assurent également les réactions de nitrification/dénitrification.

Conclusion :

Le taux des eaux usées augmente à chaque instant, surtout avec le grand développement démographique et industriel dans tout le globe terrestre.

Avec toutes les appétences humaines à conserver les eaux pures restantes, à chaque fois on a l'apparition d'une nouvelle méthode d'épuration des eaux usées pour en profiter à nouveau et minimiser le taux d'exploitation des eaux pures.

La majorité des méthodes d'épuration utilisées se base sur des techniques biologiques, physiques et chimiques, et malgré la diversité et l'efficacité de ces méthodes elles restent toujours relatives, et les eaux traitées ont une utilité très limitée, donc c'est préférable de bien réfléchir aux séquelles avant d'exploiter les eaux avec monstrosité.

***Chapitre. 2* : Dimensionnement et
conception des filtres plantés de
roseaux**

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

L'objectif de ce chapitre est de présenter le principe de conception du système hybride à mettre en place; ceci permettra par la suite de dimensionner les filtres qui seront utilisés dans le système d'épuration. Cette partie sera consacrée essentiellement à la conception et au dimensionnement des filtres plantés à écoulement vertical ou horizontal ainsi que les filtres à percolation vertical.

Les roseaux sont des plantes ayant une grande affinité d'adsorption des éléments intrusifs polluants dans l'eau, ils se trouvent principalement sur les cotés des rivières



Figure 9: filtres avec les plantes de roseaux

1 Données de bases pour le dimensionnement

Pour concevoir et dimensionner un système d'épuration d'eaux usées un certain nombre de données sont nécessaires. Celles-ci comprennent, entre autres, les caractéristiques des eaux à traiter, le climat (essentiellement la température et la pluviométrie) etc.

1.1 Températures et pluviométries

La pluviométrie annuelle, pour la ville de Rabat est de 500 mm en moyenne. Et la température annuelle varie généralement entre 8 et 30°C.

1.2 Origine des eaux usées et profil du débit

Les eaux usées à traiter proviennent de l'internat de l'IAV Hassan où réside une population d'environ 1500 habitants. Elles sont interceptées à la sortie principale de l'institut au niveau d'un puisard à partir duquel une pompe permet de les refouler jusqu'à la station.

La conduite d'amenée à une longueur de 1030 m et la HMT de la pompe est de 11 m. Le débit journalier d'eau usée arrivant à la STEP a été mesurée plusieurs fois durant les années précédentes. La figure 11 montre l'évolution du débit au cours d'une journée. Le volume total au cours d'une journée varie de 34 à 65 m³ avec une valeur moyenne de 54 m³.

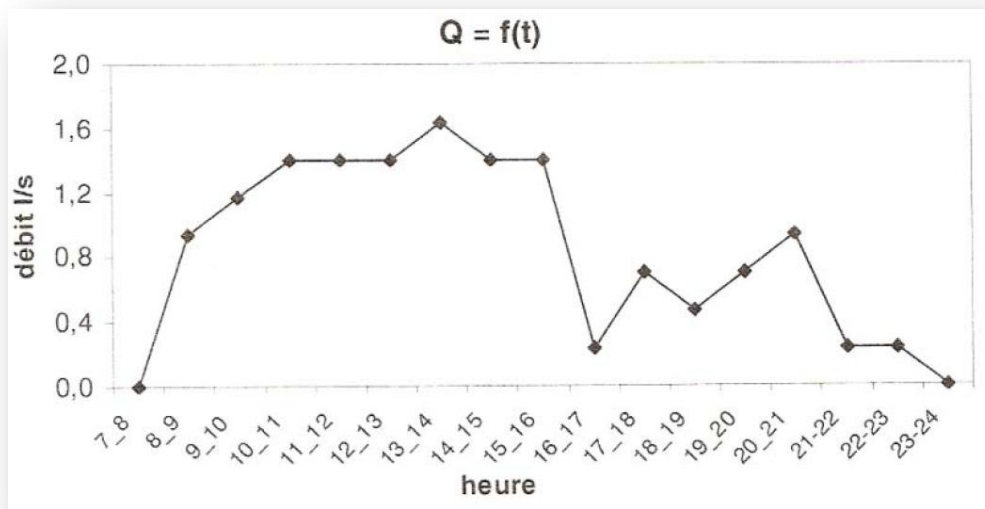


Figure 10 : Débit en fonction du temps (IAV)

Le débit de projet pour l'unité expérimentale qui sera construite est fixé à 9 m³/j soit environ un sixième du débit quotidien des eaux usées produites au niveau de l'institut.

1.3 Caractéristiques des eaux usées

Les données de bases utilisées pour le dimensionnement des différentes composantes du système pilote ont été tirées essentiellement des études antérieures effectuées au niveau de la station d'épuration de l'IAV. Les caractéristiques des eaux usées domestiques de l'IAV, ont été étudiées à travers de nombreuses études depuis 1997. Les principales caractéristiques déterminées sont reprises dans le Tableau suivant :

Paramètre	Valeurs (g/m ³)
DCO	800
DBO ₅	390
MES	330
NTK	72
N-NH ₄	46

(Source : El Hamouri, 2004)

Tableau 3: caractéristiques des eaux usés (IAV)

2 Principe de base de la conception du système de traitement

La station devra permettre de traiter les matières organiques (DBO5 et DCO), les matières en suspension (MES), les nitrates, le N-NH₄⁺ ainsi que les pathogènes.

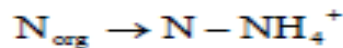
Les **matières en suspension** seront éliminées principalement par filtration au niveau du massif filtrant. Les filtres plantés à écoulement vertical, contrairement à ceux à écoulement horizontal, sont réputés être adaptés pour le traitement des eaux usées brutes sans être colmatés.

Les **matières en suspension** seront arrêtées à la surface du filtre sous forme de boues qui seront minéralisées progressivement. Une nitrification partielle et une réduction des matières organiques (MO) peuvent également être effectuées au niveau de ce type de filtre. Un premier étage de filtres à écoulement vertical sera donc utilisé pour assurer, entre autre, l'enlèvement de **MES**.

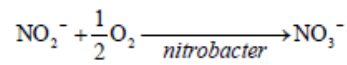
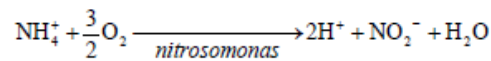
Pour la dégradation de la **matière organique**, elle s'opère en partie dans les filtres verticaux du premier étage et se poursuit dans les filtres horizontaux qui seront utilisés en second étage.

Le traitement de **l'azote** se fera par des processus de nitrification/ dénitrification au niveau des massifs filtrant.

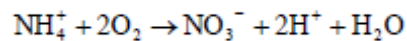
L'azote passe de la forme organique à la forme ammoniacale, c'est ce qu'on appelle l'ammonification. Elle a lieu aussi bien en milieu aérobie qu'en milieu anaérobie. La dégradation de l'azote organique s'effectuera alors au niveau des filtres comme suit :



En milieu aérobie, l'azote ammoniacal est oxydé en nitrites puis en nitrates par les bactéries nitrifiantes qui se développent dans le matériau de filtration. Le passage de la forme ammoniacale à la forme nitrate est donné par les équations suivantes :



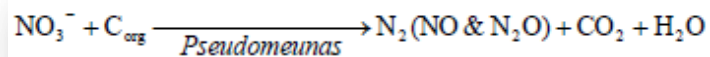
L'équation globale de la conversion de l'azote ammoniacal en nitrate permet de se rendre compte de la nécessité de l'oxygène dans la nitrification.



Cependant dans les filtres horizontaux, règnent des conditions essentiellement anaérobies (absence d'oxygène) ce qui fait que la nitrification y est limitée. Les filtres à écoulement vertical sont par contre bien aérés et donc une bonne nitrification y est possible. Un troisième étage de filtres verticaux sera alors utilisé pour assurer cette étape de la dégradation de l'azote.

Le milieu doit également être suffisamment alcalin pour que la nitrification s'effectue correctement. En d'autres termes si l'alcalinité est faible, ceci limite le processus de nitrification.

Les nitrates ainsi formés peuvent être réduits en composés gazeux (NO, N₂O, N₂) mais en milieu anaérobie et en présence d'une source de carbone, c'est la dénitrification.



L'équation ci-dessus montre que la dénitrification nécessite également la présence de carbone. En effet les bactéries nitrifiantes sont hétérotrophes et par conséquent elles ont besoin de matières organiques pour se développer. Or comme nous l'avons vu précédemment, la nitrification se produit après la dégradation de la matière organique et précède la dénitrification.

Enfin l'azote moléculaire (N₂), obtenu à partir de la respiration des bactéries dénitrifiantes, s'évapore dans l'atmosphère.

3 Prétraitement

Le prétraitement constitue une étape importante dans un système d'épuration puisqu'il s'avère indispensable pour un bon fonctionnement des filtres situés en son aval. Cependant il faut noter que la plus grande partie des eaux usées de l'institut proviennent d'un restaurant à caractère industriel et sont souvent très chargées de matières grasses.

Un premier dégrillage est effectué au niveau d'un puisard principal situé à sortie de l'internat. Les eaux sont ensuite pompées vers un regard de dissipation permettant ainsi leur dessablage. Un dernier dégrillage plus fin est réalisé à l'entrée à la station et permet de retenir les solides tels que les plastiques et les bouchons des emballages de produits laitiers provenant du restaurant.

Ces objets, peu biodégradables ou quasiment pas, ne doivent pas arriver au niveau du filtre au risque de l'encombrer et favoriser son dysfonctionnement. Ce prétraitement devrait permettre une protection de la station et évite les obstructions à l'écoulement. Le second dégrillage est effectué grâce à des paniers dégrilleurs dont le maillage est renforcé par des grillages de 10 mm.

4 Filtres Plantés à Ecoulement Vertical premier étage (FPEV)

4.1 Détermination de la surface du filtre :

La surface de filtres nécessaire pour traiter une eau usée est fonction de ses caractéristiques, du débit journalier à traiter mais aussi des objectifs visés. Différentes approches sont utilisées pour déterminer la surface requise et il n'existe pas, du moins jusqu'à maintenant, de formule rationnelle comme dans le cas des filtres horizontaux. Les formules empiriques proposées dans la littérature sont développées à l'étranger, dans des conditions souvent très différentes de celles du Maroc. Il convient alors, si on les utilise, de vérifier leur adaptabilité aux conditions climatiques marocaines.

Pour déterminer la surface des filtres verticaux un certain nombre de formules, généralement empiriques, sont proposées dans la littérature.

La surface totale de filtre requise A (m²) dépend du type de réseau. Elle peut être calculée en fonction de la taille de la population et répartie sur deux étages (Boutin et Lienard, 2003 ; Lienard, 2003)

Dans le cas de la station à construire, des filtres verticaux seront placés au premier étage et recevront des eaux usées brutes qui ont subi un simple dégrillage des grossiers. Ces filtres à écoulement vertical sont conçus sur la base de la capacité des filtres verticaux à réduire les solides (Molle et al, 2004). Cet étage comportera trois lits de filtres qui fonctionneront en alternance. Le dimensionnement est basé sur une charge organique acceptable. Les charges acceptables pour le filtre en opération et pour la totalité des filtres du premier étage sont données ci-dessous :

Charge hydraulique (m ³ •j ⁻¹ •m ⁻²)		Charge DCO (g•m ⁻² •j ⁻¹)		Charge MES (g•m ⁻² •j ⁻¹)		Charge NK (g•m ⁻² •j ⁻¹)	
Tous*	Opér.**	Tous*	Opér.**	Tous*	Opér.**	Tous*	Opér.*
0,12	0,37	100	300	50	150	8-10	25-30

(Molle et al., 2004)

*charge relative à la superficie totale des trois filtres.
** charge relative à superficie au filtre opérationnel.

Tableau 4: les charges en fonction du filtre

La superficie totale du filtre doit être telle que : $A \geq 1,2 \text{ m}^2/\text{EH}$.

EH= Equivalent habitant, l'équivalent habitant est un paramètre permettant de quantifier la pollution d'une agglomération à partir de la population qui y réside et des autres activités non domestiques.

L'EH au plan réglementaire européen correspond à un flux journalier de DBO5 de 60 g DBO5/j.

En considérant les charges limites mentionnées ci-dessus (Molle et al, 2003), pour chaque filtre on peut calculer la superficie minimale requise:

Pour un débit de 9 m³/j, la surface minimale de chaque filtre est de :

$$A_{\min}(\text{m}^2) = \text{TCH} * Q = 9/0,37 = 24 \text{ m}^2$$

Pour la charge organique (DCO)

$$A_{\min}(\text{m}^2) = \text{MES} * Q/300 = 800 * 9/300 = 24 \text{ m}^2$$

Pour les matières en suspension, la surface minimale serait de :

$$A_{\min}(\text{m}^2) = \text{MES} * Q = 330 * 9 / 150 = 20 \text{ m}^2$$

Surface minimale pour le NTK

$$A_{\min}(\text{m}^2) = \text{NTK} * Q / 27,5 = 72 * 9 / 27,5 = 24 \text{ m}^2$$

La superficie minimale du filtre à prendre en compte est alors de 24 m².

4.2 Nombre et forme des bassins

Comme nous l'avons déjà signalé dans la partie bibliographie, pour ce type de filtre en premier étage, le temps de repos nécessaire est égal à deux fois le temps de fonctionnement. La surface totale sera alors répartie sur trois bassins de filtres qui fonctionneront en alternance.

Les bassins peuvent être de forme carrée, on retient des dimensions de 5 m x 5 m soit une superficie de 25 m².

4.3 Profondeur des filtres

L'épaisseur totale des couches de graviers est de 55 cm ce qui correspond à environ à la profondeur d'enracinement moyenne des plantes. A cette épaisseur de matériaux il faut ajouter une revanche en tenant compte d'une part de l'accroissement potentiel de l'épaisseur des boues qui est de l'ordre de 1 à 1,5 cm par an soit 15 cm au maximum après 10 ans de fonctionnement des filtres en Europe.

Cependant les eaux à traiter sont très chargées ce qui peut entraîner un accroissement plus important et il faudrait en tenir compte. D'autre part on devra tenir compte de la charge hydraulique à apporter par dose qui ne devrait pas dépasser 10 cm. En effet la vitesse d'alimentation doit être supérieure à celle d'infiltration dans le matériau de filtration et donc on aura une accumulation temporaire de l'eau à la surface du filtre. Une revanche d'au moins 50 cm serait nécessaire pour éviter tout débordement éventuel. On retiendra une profondeur de 1,20 m pour les filtres de cet étage.

4.4 Pente

Le fond des filtres peut être légèrement en pente pour permettre de faciliter leur vidange. La surface du filtre doit rester plane afin de permettre une meilleure répartition de l'eau pendant l'alimentation du filtre. Une pente de 1% peut suffire.

5 Filtres plantés à écoulement horizontal sub-surfacique (FPEH)

Les filtres à écoulement horizontal sont utilisés au deuxième étage en traitement secondaire. Ils seront conçus pour effectuer un traitement secondaire, suite logique du traitement primaire, mais aussi pour permettre une dénitrification de l'effluent du troisième étage qui sera recirculé en partie. En effet, du fait que les filtres à écoulement horizontal sont peu oxygénés, une dénitrification est possible à ce niveau.

Ces filtres seront dimensionnés pour non seulement réduire la DBO5 (i.e. réduction des matières organiques), mais aussi ils devront permettre de dénitrifier l'effluent qui sera recirculé à partir des filtres à écoulement vertical du troisième étage.

5.1 Nombre et forme des bassins

Il est recommandé d'avoir au moins deux bassins en parallèle (EPA, 1999). Pour le cas de la station à construire, trois bassins d'une superficie de 45 m² chacun.

En ce qui concerne la forme des bassins, dans la littérature il est recommandé d'avoir un rapport longueur/largeur de l'ordre de 0,5 à 1. La largeur étant le côté perpendiculaire au sens de l'écoulement.

Les règles pour un bon fonctionnement des filtres à écoulement horizontal selon Molle (2007) sont les suivantes :

- Profondeur d'entrée minimale : 0,4 m ;
- Niveau d'eau de sortie minimum : 0,4 m ;
- Ratio longueur/largeur entre 0,5 et 1 m ;
- Pente de fond de bassin : 0,5 à 1% ;
- Largeur maximale : 60 m ;
- Profondeur maximale de sortie : 0,8 m ;
- Surface maximale de filtre : 500 m².

Les dimensions en plan du filtre, longueur et largeur, sont calculées en utilisant la loi de Darcy qui s'écrit comme suit :

$$Q_j = k_s * A_{st} * (dh / dL)$$

Avec :

Q_j : Débit journalier (m^3 / j)

k_s : Conductivité hydraulique du matériau à saturation (m / j)

A_{st} : Aire de la section transversale du filtre perpendiculaire à l'écoulement (m^2)

$A_{st} = y * l$ (y étant la profondeur moyenne et l la largeur)

dh / dL : Gradient hydraulique (m/m).

Dans cette équation les inconnues sont la largeur et la longueur ; la surface, la profondeur et le débit étant déjà déterminés. La longueur et la largeur seront alors calculées par itération.

Si on trouve une longueur de filtre très élevée, on peut alors subdiviser le filtre en plusieurs étages en série.

La valeur de K_s est prise égale à $0,34 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (NAZIH, 2005). Cette valeur doit être multipliée par facteur de colmatage (0,25) pour tenir compte du futur colmatage des filtres en raison des racines des plantes et des dépôts.

$$\text{Soit } K_s = 0,25 * 0,34 * 86400 = 7344 \text{ m}\cdot\text{j}^{-1}.$$

La largeur des filtres horizontaux peut être calculée en utilisant la loi de Darcy reprise ci-dessous.

$$Q_j = K_s * A_{st} * (dh / dL)$$

En substituant dans cette équation A_{st} par $l * y$ et dL par $\frac{A}{l}$, on obtient

$$Q_j = K_s * l^2 * y * (dh / A)$$

Soit

$$l = \sqrt{Q_j * A / (K_s * y * dh)}$$

Assumons une hauteur d'eau moyenne de 0,6 m (profondeur de racine de roseaux) et admettons une perte de charge égale à 2/1000 de cette hauteur soit $dh=0,0012 \text{ m}$.

La largeur de chaque bassin serait alors donnée par :

$$l = \sqrt{6 * 45 / (7344 * 0,6 * 0,0012)} = 7,15 \text{ m.}$$

On adapte une largeur de 7,5 m soit une longueur égale à $45/7,5=6$ m.

Le rapport longueur/largeur = $6/7,5=0,8$.

5.2 Profondeur

La profondeur moyenne des filtres correspond généralement à celle atteinte par les racines des plantes utilisées, qui est de l'ordre de 60 cm pour les roseaux.

5.3 Pente de fond des filtres

Une pente de fond du filtre est généralement nécessaire afin de permettre une vidange totale du filtre. Une pente de l'ordre de 1% pourrait suffire. La surface de la couche de gravier dans le filtre est également plane.

5.4 Type de matériau de filtration

Le matériau de filtration des filtres horizontaux sera constitué de gravier dont les diamètres varient entre 12 et 20 mm. Des gabions dont la taille est de l'ordre de 40 mm et plus seront utilisés, sur 1 m dans le sens de l'écoulement, à l'entrée et à la sortie des bassins.

6 Filtres à Percolation Vertical du troisième étage (FPV)

Les FPV sont situés au niveau du troisième étage, assurant un traitement tertiaire, et seront dimensionnés pour nitrifier l'ammonium contenu dans l'eau sortant des FPEH. Ces filtres permettront également de poursuivre les traitements entamés dans les étages précédents. Leur dimensionnement est basé sur le concept de transfert d'oxygène en vue d'une nitrification avec des filtres plantés à écoulement vertical (Cooper, 2004).

6.1 Détermination de la surface du filtre

La surface totale de filtre est déterminée sur la base du taux de transfert de l'oxygène tel que défini par Cooper (2004) et repris ci-dessous.

$$TTO = \frac{Q[(DBO_{5,entrant} - DBO_{5,sortant}) + 4,3(NH_4N_{entrant} - NH_4N_{sortant})]}{A}$$

TTO : Taux de Transfert d'oxygène, $gO_2 \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$;

Q : Débit entrant dans le filtre, $m^3 \cdot j^{-1}$;

A : Surface totale de lits, m^2 ;

$DBO_{5,entrant}$: DBO_5 de l'effluent entrant dans le filtre, $g \cdot m^{-3}$;

$DBO_{5,sortant}$: DBO_5 de l'eau traitée à la sortie du filtre, $g \cdot m^{-3}$;

$NH_4N_{entrant}$: Concentration de l'eau en $NH_4 - N$ à l'entrée du filtre, $g \cdot m^{-3}$

$N - NH_4^+$ sortant : Concentration de l'eau en $N - NH_4^+$ à la sortie du filtre, $g \cdot m^{-3}$

Le TTO calculé par Cooper et al.(1996, 1997, 2001) varie de 57 à 71 $g \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$, dans le cas de filtres verticaux utilisés en traitement tertiaire pour la nitrification. Pour le dimensionnement des filtres, nous prendrons la valeur la plus faible, c'est-à-dire un taux de transfert d'oxygène de 57 $g \cdot m^{-2} \cdot j^{-1}$.

Pour utiliser la formule précédente, il faut connaître la DBO_5 ainsi que les concentrations de $N - NH_4^+$ et $N - NO_3^-$ à l'entrée et à la sortie du filtre vertical à dimensionner.

Taux de recirculation (%)	0	50	75	100	200
Débit alimentant le filtre ($m^3 \cdot j^{-1}$)	3	4,5	5,25	6	9
Temps de séjour théorique (j)	3,77	2,51	2,15	1,88	1,26
DBO_5 (g/m ³)					
Entrée FH*	176	117	101	90	59
Sortie FH**	1	2	4	5	9
Sortie FV***	1	1	1	1	1

*entrée filtre horizontal ; ** sortie du filtre horizontal ; *** sortie du filtre vertical

Tableau 5: calcul des concentrations en DBO_5

Concentrations en azote (ammonium et nitrates)						
Taux de recirculation		0 %	50 %	75 %	100 %	200 %
NH ₄ ⁺ (g/m ³)	Entrée FH	46	31,00	26,71	23,50	16,00
	Sortie FH	35	25	22	20	14
	Sortie FV	1	1	1	1	1
NO ₃ ⁻ (g/m ³)	Entrée FH	0	9	11,45	11,75	10,67
	Sortie FH	1	2	4	5	6
	Sortie FV	35	27	26	24	14

Tableau 6: concentrations en azote

D'après l'équation précédente, la surface totale du filtre est donnée par :

$$A = \frac{Q[(\text{DBO}_5 \text{ entant} - \text{DBO}_5 \text{ sortant}) + 4,3(\text{NH}_4 \text{ Nentrant} - \text{NH}_4 \text{ Nsortant})]}{\text{TTO}}$$

$$A = 6 [(101-4) + 4,3 (26,71-22)] / 57 = 12,34\text{m}^2$$

On adapte des filtres de dimensions en plan 4m x 4m, soit 16 m² par filtre

6.2 Type de matériaux pour le garnissage

Les matériaux de garnissage des filtres verticaux du troisième étage seront constitués de trois couches dont les caractéristiques sont mentionnées dans le Tableau ci-dessous.

Tableau 7: Épaisseur et taille des graviers utilisés dans le FNPEV		
Couches	Épaisseur	Taille des granulats
Couche de surface	20 cm	12 à 20 mm
Couche filtrante	40 cm	1 à 5 mm
Couche de fond	20 cm	12 à 20 mm

Tableau 7: matériaux de garnissage

Le gravier de la couche filtrante est très fin comparé à celui de la couche drainant. Pour cette raison, les couches sont séparées entre elles avec du géotextile empêchant le sable, matériau fin, de passer par les vides du gravier et d'aller dans les drains.

6.3 Profondeur des filtres

La profondeur des filtres est basée sur le dimensionnement des filtres à sables (Crites & Tchobanoglous, 1998). Les filtres seront alimentés en surface par des siphons et donc il faut une dénivelée suffisante entre le bassin du siphon et celui des filtres.

6.4 Pente

Le fond des filtres sera légèrement en pente. Une pente de 1% peut suffire pour fond du bassin ; la surface du massif filtrant doit par contre rester plane.

7 Récapitulatif des résultats de dimensionnement

Les résultats relatifs aux dimensions des filtres sont résumés ci-dessous :

Filtres	Surface/bassin	Dimensions en plan
• Verticaux (étage1)	25 m ²	5 m x 5 m
• Horizontaux (étage2)	45 m ²	7,5 m x 6 m
• Verticaux (étage3)	16 m ²	4 m x 4 m
• Surface totale pilote	258 m ²	-

Conclusion

Les filtres plantés de roseaux est une méthode d'épuration très adaptée en Europe, et c'est la première fois qu'elle est utilisée au Maroc à l'institut agronomique et vétérinaire du Rabat. Cette méthode est basée sur l'utilisation de deux types de filtre, vertical et horizontal .Elle est utilisée pour l'élimination de la pollution azotée surtout avec la nitrification et la dénitrification à fin de volatiliser l'élément azote et purifier l'eau domestique issus du cité de l'institut. Le dimensionnement est issu du calcul fais par l'utilisation des équations empiriques.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était essentiellement de concevoir et dimensionner les installations d'un système d'épuration pour le traitement des eaux usées domestiques adapté aux petites communautés avec une attention particulière à l'azote. La conception ainsi que la réalisation des filtres, ont été inspirées sur des expériences étrangères. Il faut noter également que dans cette station, tous les bassins des filtres ont été faits en béton armé. Les travaux relatifs à la conception, et la construction de bassins, ainsi que la plantation des filtres ont duré près de trois mois.

La nitrification est également forte notamment au niveau du troisième étage. On peut également conclure que la recirculation permet de mieux traiter les nitrates.

Il faut bien veiller à ce que les plantes reçoivent suffisamment d'eau pour ne pas compromettre leur croissance durant la période de démarrage.

Les formules proposées dans la littérature sont développées à l'étranger, dans des conditions souvent très différentes de celles marocaines, et sont empiriques. Il convient alors si on utilise de telles formules de vérifier leur adaptabilité aux conditions climatiques marocaines.

Bibliographie :

- **André, P.** (2008), Le filtre planté de roseaux : ou le versant vert de l'épuration des eaux usées, du Rouergue, 2008 ;
- **Cabrit-Leclerc, S.** (2008). Fosse septique, roseaux, bambous, traiter écologiquement ses eaux usées ?, Éditions Terre Vivante ;
- **Dominique, C.** (1994), Biologie des eaux: Méthodes & techniques, Masson, mars 1994 ;
- **Dupuy, G. Knaebel, G.**, Assainir la ville hier et aujourd'hui, Paris, Dunod, 1982 ;
- **El Hamouri, B.** (2004), Réacteur Anaérobie et Chenal à Haut Rendement pour l'épuration des eaux usées des petites communautés. Réalisation, exploitation et performances. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. ISBN : 9981-1769-8-2. Rabat, 2005 ;
- **El Hamouri, B.** (2007), Réacteur Anaérobie et Chenal à Haut Rendement Pour l'épuration des eaux usées des petites communautés. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II- Rabat, 2008 ;
- **Groupe français « macrophytes et traitement des eaux », Agences de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse et Rhin Meuse**, Epuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes – Recommandations techniques pour la conception et la réalisation, juin 2005 ;
- **Petracco, M.** « Percolation », dans Espresso coffee: the science of quality, Academic Press, 2005 ;
- **Molle, P.** (2003), Filtres plantés de roseaux : limites hydrauliques et rétention du phosphore ; Thèse de Doctorat de l'université de Montpellier II. pp : 3-17 ;
- **Nahzi, J.** (2005), Adaptation du filtre planté de roseaux à écoulement horizontal (Constructed Wetlands) pour l'épuration des eaux usées des petites communautés au Maroc : caractéristiques hydrauliques, performances et dimensionnement. Mémoire de 3eme cycle, IAV Hassan II, Rabat ;
- **Yves, P. Daniel, B.** (1994), Le Lagunage écologique, Economica, Paris, 1994 ;

Webographie

- **Agences de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse et Rhin Meuse**, Epuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes
<http://www.aquatiris.fr/definitions-phytoepuration/index.html>
- **Berland J., Boutin C., Molle P. et Cooper.,** (1991), Procédés extensifs d'épuration des eaux usées, office des publications officielles des communautés européennes,
[http://www.lyon.cemagref.fr/ge/epuration/guide-Macrophytes:](http://www.lyon.cemagref.fr/ge/epuration/guide-Macrophytes)
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Eaux_us%C3%A9es
- <http://www.aquatiris.fr/definitions-phytoepuration/index.html>