



**Université Cadi Ayyad**

**Faculté des sciences et techniques**

**Département des sciences de la Terre**

## **Mémoire de stage de fin d'études**

**Licence Sciences et Techniques Eau et Environnement**

# **Essai de la dépollution des eaux usées de la mine de Draa Sfar par Phyto-épuration**

**Présenté par : Channab Kawtar**

**Sous la direction de :**

- **Pr. Ait Addi Abdellah**
- **Pr. Zaher Mustapha**

**Soutenu le 26 juin 2014 devant le jury composé de :**

- **Pr. Ait Addi Abdellah**
- **Pr. Zaher Mustapha**
- **Pr. Berrada Samia**

**Année : 2013/2014**

# Table des matières

Remerciement.....	5
Avant propos .....	6
Introduction générale .....	7
Objectif de l'étude.....	7

## Chapitre I : présentation de l'organisme d'accueil et du site étudié

1- Présentation de MANAGEM.....	8
2- Présentation de Draa Sfar.....	9
3- Cadre géographique et géologique de la zone d'étude.....	9
3-1- situation géographique .....	9
3-2- cadre géologique de la mine de Draa Sfar.....	10
4- minéralogie .....	13

## Chapitre II : l'assainissement des eaux usées

I-Généralités.....	14
I-1-Introduction .....	14
I-2- Définition de l'assainissement .....	15
I-3-Les objectifs de l'assainissement.....	15
I-4-L'importance de l'assainissement.....	15
I-5-Organisation de l'assainissement.....	15
I-6-Les enjeux généraux de l'assainissement.....	16
I-7-Normes de rejet .....	17
II-Les différents modes d'assainissement rural .....	18
II-1- Types de système d'assainissement .....	19
II-2- Système d'assainissement collectif .....	19

## Chapitre III : la phyto-remédiation – notions de base

I-Généralités .....	21
I-1- Histoire.....	21
I-2- Définition.....	22
I-3- Principe de la décontamination .....	22
I-4-Les différentes formes de phyto-remédiation.....	22
I-5- Avantages et limites de la phyto-remédiation .....	23
I-6- Les hyper-accumulateurs .....	24
II-types Phyto-remédiation appliquée .....	25
II-1-Exemples de plantes utilisés en phyto-épuration .....	26

II-2-Phragmite australis.....	27
II-3-Le bambou.....	30
II-3-1-La description .....	31
II-3-2-Les qualités du bambou.....	33
II-4-Quelques stations de phyto-épuration existantes.....	34
II-5-Autres techniques utilisées dans des endroits limités (maisons, mine.....)	35

#### Chapitre IV : Application de la technique de la dépollution des eaux usées par les plantes

I-Problématique .....	36
II-le traitement et la réutilisation des eaux usées .....	37
II-1-Introduction.....	38
II-2-Impacts des eaux usées.....	38
II-2-1- impacts environnementaux.....	39
II-2-2- impacts sur la santé humaine .....	40
II-3-Les stations d'épuration au Maroc.....	40
II-4-Le mode du système d'épuration utilisé dans le monde rural.....	40
III-Données de base pour l'établissement du projet .....	41
IV-La technique proposée pour la dépollution des eaux usées de la mine de Draa Sfar.....	42
V-Protocol expérimental.....	43
VI-Ouvrage de traitement .....	44
1-La fosse septique .....	45
1-1-Définition.....	46
1-2-Description de la fosse septique .....	47
1-3-Rôle de la fosse septique .....	47
1-4-fonctionnement d'une fosse septique .....	47
2-le filtre à sable .....	48
2-1-définition du filtre à sable.....	48
2-2-caractéristiques d'un filtre à sable.....	49
2-3-types des filtres à sable.....	50
3-filtre planté de roseaux.....	50
3-1-principe des filtres plantés .....	51
3-2-fonctionnement des filtres plantés.....	51
4-temps de rétention de l'eau dans le bassin.....	51
5-dimensionnement du bassin.....	52
VII-les rendements de la technique .....	52
VII-1-la fosse septique.....	52
VII-2-le filtre à sable.....	52
VII-3-le filtre planté de roseaux .....	53
VIII-résultats obtenus .....	54
VIII-1-gestion et entretien .....	54

<b>VIII-2-avantage et inconvénients de la technique .....</b>	<b>54</b>
<b>Conclusion.....</b>	<b>55</b>

## Remerciement

A l'issue de mon stage de fin d'étude, je tiens tout d'abord à remercier mes parents pour leur soutien le long de ma formation aussi bien scolaire qu'universitaire.

Ensuite, je tiens à remercier la direction de MANAGEM de m'avoir accueilli à titre de stagiaire.

Qu'il me soit permis au terme de ce travail, d'adresser mes sincères remerciements ainsi que ma profonde gratitude à mon encadrant professionnel Mr Mustapha Zaher qui n'a pas épargné aucun effort pour m'orienter à mener ce travail à son terme, Je suis reconnaissante pour le temps qu'il m'a consacré tout au long de l'expérience enrichissante qu'il m'a permise.

Sans oublier d'adresser mes vives considérations et respect à mon encadrant pédagogique Professeur Ait Addi Abdellah, un grand merci pour sa disponibilité, sa gentillesse, et ses conseils Judicieux, ainsi à tous mes enseignants, et à tout le corps pédagogique et administratif de la faculté des sciences et techniques de Marrakech et plus particulièrement le département des sciences de la terre, qui ne cesse de nous garantir une formation de haute qualité.

Je remercie également d'avance tous les membres de jury d'avoir bien voulu lire mon rapport et apporter un regard critique sur ce modeste travail.

Enfin, à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici l'expression de mes sincères gratitude et mes meilleures salutations.

# Avant Propos

Le choix de ce stage dans la mine de Draa Sfar a été fait sur la base de deux critères principaux :

- Critère pratique: un stage dans le secteur d'une mine comme celle de Draa Sfar (DSF) offre la possibilité de toucher de près le quotidien d'un géologue de mine et d'exploration. Ce quotidien commence par le travail technique et arrive jusqu'aux problèmes de sécurité au travail, en passant par plusieurs autres soucis.
- Critère scientifique : le présent projet apportera une solution préliminaire de dépollution des eaux usées de la mine de DSF qui peuvent être des sources de pollution de l'environnement naturel et provoquer d'éventuels sérieux problèmes de santé à la population locale suite à des contaminations éventuelles des ressources naturelles des eaux potables (nappes, sources ...). En effet, les eaux usées de la mine de DSF circulent à travers des roches de nature volcano-sédimentaire perméables encaissant l'un des trois principaux chapeaux de fer (CDF) qui affleurent dans les Jebilet centrales. Ces affleurements poreux et perméables peuvent favoriser des infiltrations considérables des eaux usées qui peuvent atteindre les eaux souterraines.

## **Introduction générale**

Les eaux résiduaires, autrement dénommées eaux usées, engendrent des effets majeurs de santé publique telles que des maladies diarrhéiques ou des épidémies de typhoïde ou de choléra.

Elles sont également synonymes, à travers l'image donnée par les media, de plans d'eaux pollués, de milieux aquatiques envahis d'algues ainsi que de disparition de vie animale. Elles constituent donc un réel problème environnemental.

La protection de la santé publique et de l'environnement deviennent aujourd'hui la préoccupation première des gouvernements et des collectivités locales qui cherchent les procédés les plus efficaces pour la décontamination des eaux usées. D'où l'importance de mener, que ce soit en milieu urbain ou rural, des études de réalisation des projets des systèmes d'assainissement simples, peu coûteux, mais indispensables pour garantir « la santé pour tous ». Toutefois, n'importe quelle étude doit comporter également une étude d'impact sur l'environnement en vue d'intégrer le projet dans son environnement sensible et de préconiser une solution qui préserve l'environnement.

## **Objectifs de l'étude**

Dans le contexte mondial actuel où le prix des matières premières et de l'énergie ne cesse d'augmenter, où le changement climatique global effraie; l'Homme essaye à présent de se tourner vers des matériaux plus propres et plus naturels. La tendance d'aujourd'hui veut que les chercheurs développent des matériaux et des technologies non polluants qui consomment un minimum d'énergie lors de leur production. Ils se sont naturellement orientés vers des matériaux non industriels et biodégradable, tel que les plantes. Les plantes seront-ils une des meilleures ressources végétales dont nous pourrions disposer dans la nature ?

Le présent travail, réalisé au sein de la société MANAGEM, a pour objectif de se familiariser avec les procédés naturels d'épuration des eaux usées de la mine en réalisant des systèmes pilotes expérimentaux. Ce fût donc l'occasion de conduire une étude pluridisciplinaire sur les performances épuratoires de l'assainissement par les plantes. Dans ce cadre, MANAGEM nous a proposé ce sujet pour étudier la possibilité de réaliser un projet d'assainissement par les plantes au sein de la mine de Draa Sfar.

Comme nous allons le voir dans la présente étude, les plantes sont exceptionnelles aux qualités remarquables, leurs diverses utilités et différents domaines d'application, et leurs caractéristiques en font un matériau prisé. Nous nous pencherons alors sur le cas particulier des plantes en tant que système d'épuration des eaux usées.

# Chapitre I : présentation de l'organisme d'accueil

## 1- Présentation de MANAGEM

L'activité minière est l'un des plus importants centres d'intérêt du Groupe ONA, qui s'y est investi depuis 1928. Le groupe minier MANAGEM, compte six sociétés d'exploitation dans la mine et l'hydrométallurgie au Maroc, une société Holding pour l'exploitation minière en Afrique de l'Ouest et deux sociétés de service. MANAGEM a acquis une expertise Internationale dans le développement minier, en exploitant des gisements au Maroc, puis en Afrique, puis en diversifiant ses compétences dans l'hydrométallurgie.

De 1928 à 1999, MANAGEM s'implante sur différents sites d'exploitation au Maroc, développe ses compétences autour des métiers de la mine et s'engage dans un nouveau métier, (l'hydrométallurgie). En 1928, un berger découvre à Bouazzer des pierres inconnues, au pouvoir raticide étrange. Après identification de ces pierres par un naturaliste français comme étant un minerai de cobalt oxydé, la mine de Bouazzer entre en activité. À partir de 1963, elle est gérée par la société CTT, filiale de MANAGEM et spécialisée dans la production et la valorisation du cobalt.

Par la suite, MANAGEM acquiert d'autres exploitations au Maroc. La mine d'Imiter, gérée par SMI, produit des lingots d'argent métal. Celle d'El Hammam, exploitée par Samine, est spécialisée dans la production de fluorine. Enfin, les gisements de Hajjar, Draa Sfar, exploités par la compagnie minière de Guemassa, produit des concentrés de zinc, de cuivre et de plomb et depuis 2002 de l'oxyde de zinc.

En 1985, MANAGEM crée la société de services Reminex, un puissant outil de développement, doté d'expertises pluridisciplinaires dans les domaines de l'ingénierie, de la recherche et de l'exploitation.

Le démarrage de la mine de Guemassa, en 1992, marque un tournant décisif dans la phase d'exploitation des richesses minières.

La même année, MANAGEM constitue Techsub, filiale spécialisée dans les sondages et les travaux souterrains. Disposant de moyens techniques évolués, Techsub met son expertise au service des filiales du groupe, mais offre aussi une gamme de services étendue en dehors du périmètre de MANAGEM.

À l'écoute des évolutions du marché et des nouvelles demandes de ses clients, MANAGEM sait, au fil de son histoire, se remettre en question, aller de l'avant et investir dans des projets créateurs de valeur. La mise en place d'équipes dédiées à la recherche-développement, ainsi que le démarrage des activités d'hydrométallurgie au Maroc, sont autant d'exemples concrets de défis relevés ces dernières années.

## **2-Présentation de Draa Sfar**

### **- Historique des découvertes**

Les affleurements paléozoïques de la meseta marocaine ont fait l'objet de nombreux travaux et en particulier de prospection minière. En effet, depuis les années trente, plusieurs organismes nationaux et internationaux ont entrepris dans ce domaine des recherches sur les minéralisations sulfurées. Ces recherches ont été couronnées par la découverte du gisement de Kettara qui a été exploité pour les ocres et ensuite pour le soufre.

Depuis la découverte de ce gisement, plusieurs travaux d'exploration visant la recherche d'autres gisements ont été démarrés. En effet, le programme de recherche est soutenu par l'application de la géophysique à la recherche de ces types de minéralisations. Ainsi, la région a été le siège de plusieurs compagnes géophysiques depuis les années 1960, dans le cadre de programmes lancés par la direction de la géologie du ministère de l'énergie et des mines, BRPM (Bureau de Recherches et Participations Minières/ Maroc) et par le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières/ France). Le chapeau de fer de Draa Sfar Nord, découvert en 1953 par le Service d'Etude des Gîtes Minéraux (SEGM), a été confirmé en 1962 par une anomalie magnétique au sol par la compagnie géophysique Cette même année, en continuant les levées magnétiques au Sud, Van Der Bosch, a découvert Draa Sfar Sud, dont l'anomalie a été confirmée par les levées au sol (1964), puis en aérien. Les premiers travaux d'exploration ont commencé en 1962 par le BRPM, qui par la suite s'associe avec la Compagnie Métallurgique et Minière (CMM). L'exécution de sondages dans le site minier a permis de rendre compte du caractère prometteur (richesse en métaux de base) de Draa Sfar Sud par rapport à son homologue au Nord. Les premiers travaux miniers ont eu lieu en 1968 et s'arrêtent après deux années à cause des problèmes d'exhaure, de réserve et de minéralurgie. Ce n'est qu'en 1983, que les premiers travaux géologiques ont eu lieu après une convention entre la direction de la géologie et le bureau de recherches géologiques et minières (BRGM). En 1988, les travaux d'exploration ont été repris par Reminex sur Draa Sfar (levés géophysiques et sondages carottés), puis ont été suspendus. Ils n'ont repris qu'en 1999, avec exécution d'autres sondages ainsi que des travaux d'infrastructure (puits, galeries,...).

En 2000, dans le cadre d'un programme bilatéral entre le BRPM et Outokumpu (Finlande), des compagnes d'exploration géophysiques ont aboutit à la découverte d'autres manifestations sulfurées situées plus au Sud du massif (région de Lakhouadra). Il s'agit de minéralisation sulfurée ayant les mêmes caractéristiques que celles de Draa Sfar.

## **3-Cadre géographique et géologique de la zone d'étude**

### **3-1- Situation géographique**

Le secteur de Draa Sfar est situé au niveau de l'extrémité sud de la partie centrale des Jbilet. Il est subdivisé en deux sous domaines : Draa Sfar Nord et Sud, localisés respectivement sur les rives nord et sud de l'Oued Tensift.

- Draa Sfar Nord : est représenté par un pointement de socle hercynien de dimension modeste (300m/100m) orienté NS, et où affleure un chapeau de fer matérialisé par des zones rubéfiées et blanchies.
- Draa Sfar Sud : apparaît au Sud de l'Oued Tensift, sous forme d'un pointement beaucoup plus grand que le précédent (environ 2 Km/700 Km), émergeant de la couverture mio-pliocène et quaternaire.



**Figure 1 : situation géographique du site minier de Draa Sfar**

Le site de Draa Sfar est situé à 13 km au Sud-Ouest de Marrakech, près des deux villages Wlad Lguern, et Koudyat Aicha II possède un potentiel important en minerais polymétalliques. De plus d'un kilomètre de profondeur, le projet Aval Draa Sfar est la mine la plus profonde de l'Afrique du Nord.(Fig.1).

Le gisement de Tighardine est situé à 70 km au Sud Est de la mine de Hajar, sur la faille topographique d'Amez Miz.

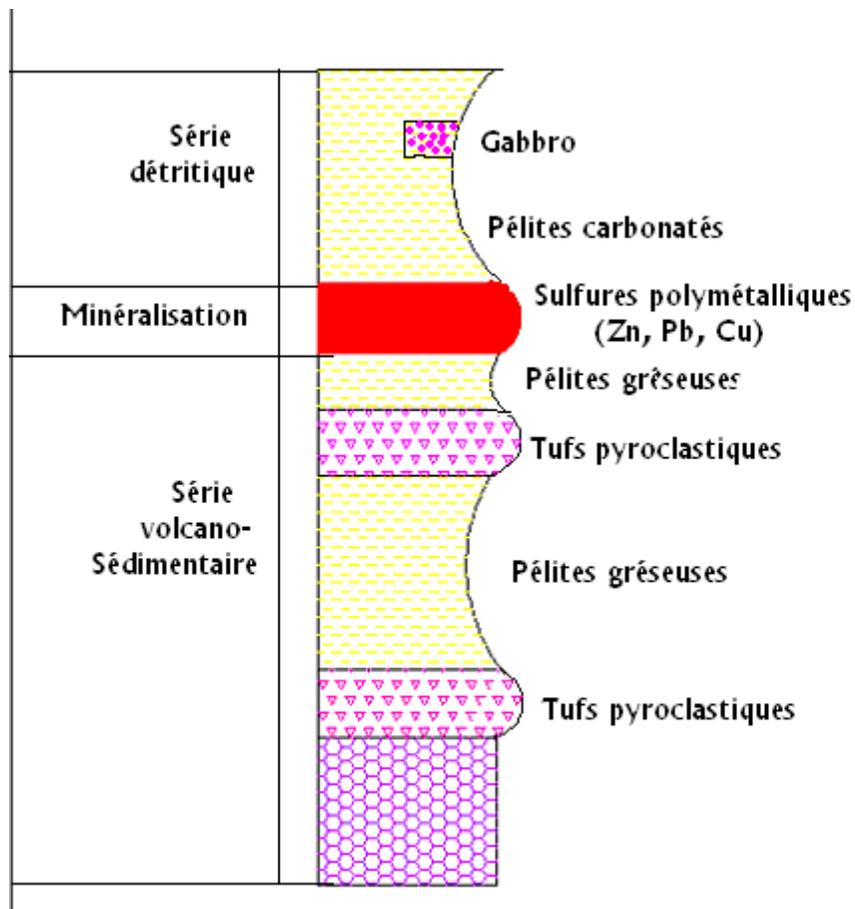
Ce district comprend plusieurs lentilles sulfurées formant un alignement méridien sub-vertical qui traverse l'Oued Tensift.

### **3-2-Cadre géologique de la mine de Draa Sfar**

La mine de Draa Sfar est un gisement sous forme d'amas sulfurés massifs polymétalliques, allongé selon la direction N-S, encaissé dans une série de dépôt volcano-sédimentaire dans sa partie est, et des dépôts détritiques dans sa partie Ouest :

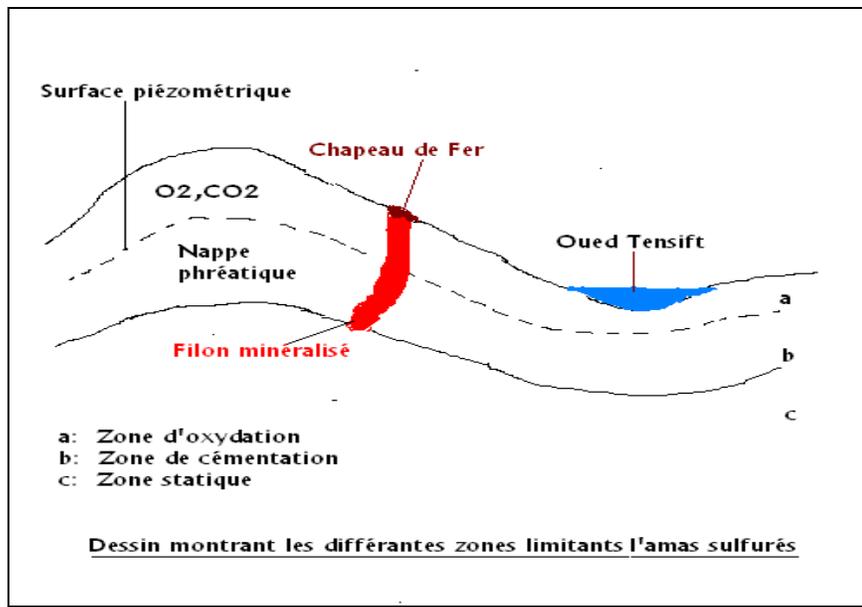
Les dépôts volcano-sédimentaires sont constitués de laves volcaniques (dacites et rhyodacites), des pélites gréseuses et des tufs (pyrolusites) (Fig.2).

Les dépôts détritiques sont constitués de pélites à carbonates, siltites et grès (Fig.2). Ces trois formations sont généralement plissées, métamorphosées et tectonisées. Elles sont redressées vers l'Ouest, avec une concavité dirigée vers l'Est, cette couverture (série de Sarhlef) d'âge Viséen supérieur-namurien a été affectée par l'orogénèse hercynienne et l'orogénèse alpine, elle est reposée en discordance sur un socle d'âge Cambro-ordovicien et Dévono-carbonifère.



**Figure 2 : log stratigraphique du site minier de Draa Sfar**

L'amas sulfurés de Draa Sfar est reconnu, surtout dans sa partie Nord, en surface par des oxydes issus d'une réaction exogène des minéralisations sulfurées (chapeau de fer, Fig. 3). Ce dernier est considéré comme l'indice indispensable à l'identification d'un amas sulfurés, et puisque cet amas sulfurés est liés à un volcanisme acide localisé dans une zone de compression.



**Figure 3 : les différentes zones limitant l'amas sulfurés de Draa Sfar**

La cartographie détaillée de la région a permis de relever une mégastucture anticlinale plongeant vers le Nord et dont les flancs sont surtout occupés par des faciès volcaniques et volcano-clastiques. Le cœur de cette mégastucture est essentiellement sédimentaire. Cette structure plissée a été en grande partie perturbée par les effets tardifs de la tectonique hercynienne (accidents E-W). Les terrains de la région sont constitués de formations volcaniques acides à charpente lithologique très complexes et de formations sédimentaires détritiques plus ou moins fines; toutes datées du Viséen supérieur.

Toutes ces formations sont plissées et métamorphisées respectivement, pendant et après l'orogénèse hercynienne. (Fig. 4)

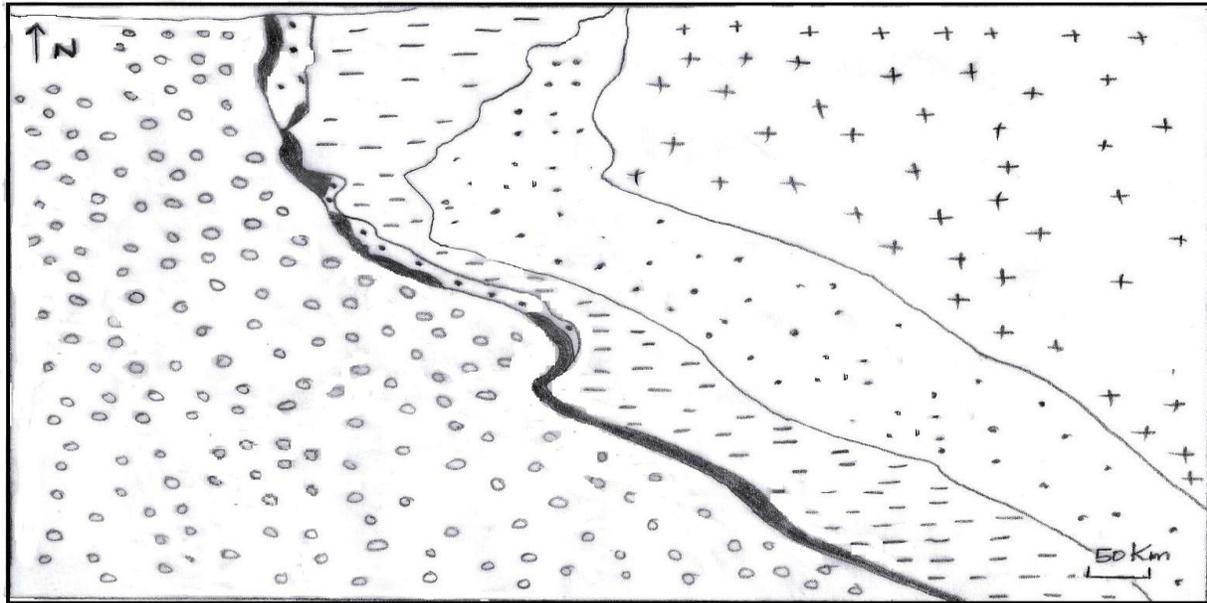


Figure 4 : carte géologique simplifiée de la région de Draa Sfar

#### 4- Minéralogie

La minéralisation polymétallique de Draa Sfar Sud est présentée sous forme de lentille allongée suivant une direction N-S, alors que le corps minéralisé est schistosé, boudiné et déversé vers l'Ouest. La minéralisation présente une zonalité verticale se traduit par la présence de :

- Pyrrhotite :  
Elle est plus abondante que les autres, elle est généralement massive et présente parfois une texture poreuse, maclée, elle contient des inclusions de sphalérite, de galène, d'arsénopyrite et de chalcopryrite.
- La sphalérite :  
C'est le deuxième minéral après la pyrrhotite, la sphalérite de couleur grise à gris sombre se présente soit en plages ou en cristaux sub-automorphe, parfois elle apparaît en couleur brune à rouge, ce qui se traduit par le début d'altération en oxydes recoupés par des micro fractures, La sphalérite présente des inclusions dans la pyrrhotite, la galène, chalcopryrite et l'arsénopyrite.
- La galène :  
Elle est généralement liée à la sphalérite, se présente soit sous forme des cristaux sub-automorphe, soit sous forme de plages xénomorphes, souvent étirées selon le plan de la schistosité, elle contient des inclusions de la pyrrhotite, la sphalérite, rarement l'arsénopyrite et la chalcopryrite.

- La chalcopryrite :  
Elle est moins abondante que la pyrrhotite et la sphalérite, elle se présente le plus souvent en inclusion dans la pyrrhotite, la sphalérite et rarement dans la galène, elle apparaît également en petites plages de taille millimétriques.
- L'arsénopyrite :  
L'arsénopyrite se présente presque dans tous les échantillons mais avec une faible quantité, sa couleur est jaune clair à blanche, elle se présente en cristaux automorphe, losangique, prismatiques, ou carrés, groupés ou isolés, disséminés dans la pyrrhotite et la sphalérite, elle se présente également des inclusions dans la pyrrhotite, la sphalérite et la galène.
- La pyrite :  
Elle est très peu abondante, présentée en cristaux automorphes fracturées, ou plus ou moins craquelés et recoupées par la sidérite.
- La sidérite :  
Elle est beaucoup plus rare que les autres, de couleur bleu clair, elle est étroitement liée à des micros fractures.
- La marcasite :  
Elle apparaît comme minéral rare.

## **Chapitre II : l'assainissement des eaux usées**

### **I-Généralités.**

#### **1-Introduction**

L'assainissement des eaux usées est devenu un impératif pour nos sociétés modernes. En effet, le développement des activités humaines s'accompagne inévitablement d'une production croissante de rejets polluants. Les ressources en eau ne sont pas inépuisables. Leur dégradation, sous l'effet des rejets d'eaux polluées, peut non seulement détériorer gravement l'environnement, mais aussi entraîner des risques de pénurie. La France dispose de ressources en eau suffisantes pour satisfaire les besoins en quantité. C'est dans la détérioration de leur qualité que réside le risque. Trop polluées, nos réserves d'eau pourraient ne plus être utilisables pour produire de l'eau potable, sinon à des coûts très élevés, du fait de la sophistication et de la complexité des techniques à mettre en œuvre pour en restaurer la qualité. C'est pourquoi il faut " nettoyer " les eaux usées pour limiter le plus possible la pollution de nos réserves en eau : rivières, lacs et nappes souterraines. Le grand chantier de l'après-guerre a consisté à mettre l'eau potable à la disposition de tous. Le grand défi contemporain est celui de l'assainissement.

#### **2-Définition de l'assainissement**

L'assainissement est une démarche visant à améliorer la situation sanitaire globale de **l'environnement** dans ses différentes composantes

Il Désigne l'ensemble des moyens de collecte, de transport et de traitement d'épuration des eaux usées avant leur rejet dans les rivières ou dans le sol. On parle d'assainissement collectif

pour les zones raccordées au réseau d'égout et équipées d'une station d'épuration traitant les rejets urbains. L'assainissement est dit non-collectif ou autonome dans les zones non-raccordées au tout à l'égout.

### 3-Les objectifs de l'assainissement

L'assainissement est fortement lié à la santé publique en raison des nombreuses maladies liées à un milieu pollué, ainsi il a pour objectif la protection de l'environnement, contre les risques liés aux rejets des eaux usées (contenant des polluants, essentiellement matière organique, azote et phosphore) des habitations et des eaux pluviales.

La proximité avec les eaux usées peut engendrer des maladies à transmission fécale-orale (diarrhée, typhoïde, hépatites, choléra), ou liées à un vecteur (paludisme, filariose, dengue). D'autres maladies sont également liées à un mauvais assainissement de base et en particulier à des latrines défectueuses (**Les latrines sont le mode d'assainissement de base le plus utilisé dans le monde**) ou inexistantes : bilharziose, nématodes ou autres vers. L'assainissement vise à assurer l'évacuation et le traitement des eaux usées et des excréments en minimisant les risques pour la santé et pour l'environnement.

Les déchets solides subissent une rapide décomposition, et peuvent être des sources pathogènes. Leur collecte et leur élimination contribue également à maintenir un environnement salubre.

### 4-L'importance de l'assainissement

L'amélioration des services d'assainissement, demeure une exigence de développement d'une importance multi facette et une priorité d'action puisqu'elle s'appuie sur :

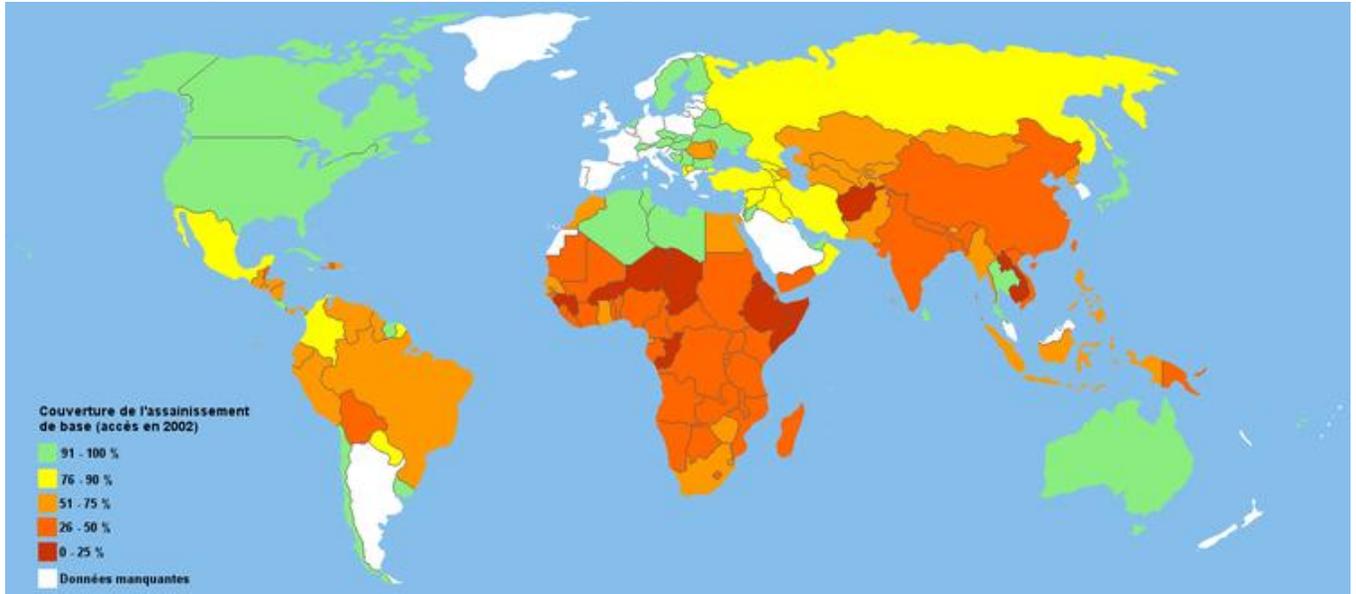
- Une importance environnementale : fournir à la population un environnement de meilleure qualité, et réduire la menace que représente les rejets incontrôlés des effluents, entre autres, sur les ressources en eau souterraine, et de surface.
- Une importance sociale : le déficit d'accès à un assainissement correct constitue un facteur de risque important pour la santé publique et touche notamment la dignité de la population
- Une importance économique : l'amélioration des services d'assainissement Pèse directement sur la capacité de travail des habitants et sur le dynamisme de l'économie par exemple le tourisme rural ainsi que l'objectif du plan Maroc Vert. A ce titre, l'assainissement comporte un taux de retour intéressant sur l'investissement.

### 5- Organisation de l'assainissement :

Situation Mondiale :

La couverture mondiale de l'assainissement de base montrée sur la carte ci-dessous (Fig. 5) provient d'une estimation effectuée par le *Water and Sanitation Program* en 2002 (branche de la Banque mondiale) en utilisant différentes sources. Dans ce contexte, l'« assainissement de base » correspondant à l'accès à « un système d'évacuation des excréta

amélioré », ce qui inclut les connexions à un système d'égout, à une fosse septique, à une latrine à siphon hydraulique, à fosse simple ou à fosse améliorée ventilée. En revanche, ne font pas partie des systèmes « améliorés » les latrines publiques ou partagées, les latrines à ciel ouvert (cas de nombreuses latrines à fosse simple), les latrines à seau et bien évidemment la défécation en plein air, en sachet plastique (Fig.5)



**Figure 5 : carte mondiale montrant la couverture de l'assainissement de base (d'après l'OMS 2002).**

Les Nations unies se sont fixé, dans le cadre des objectifs du millénaire, de réduire d'ici 2015 de moitié le nombre de personnes des pays en développement n'ayant pas d'accès à l'assainissement. Les Nations Unies estiment ainsi qu'en 1990, 35 % (respectivement 49 % pour le monde entier) avait accès à un système d'assainissement amélioré, en 2004 la proportion atteint 50 % (respectivement 59 %).

## **6-les enjeux généraux de l'assainissement**

L'importance des enjeux auxquels sont confrontées les collectivités en matière d'assainissement tient à la constance des ressources en eau sur terre. L'assainissement devient ainsi une nécessité absolue pour restaurer et/ou préserver les caractéristiques physico-chimiques qui font une eau de qualité, à savoir principalement la teneur en oxygène dissous, la présence limitée de matières en suspension et la capacité de dissoudre naturellement de très nombreuses substances indésirables. En plus de cet enjeu de préservation des milieux naturels, l'assainissement doit également contribuer à la qualité du cadre d'exercice de l'activité humaine. Ceci concerne en premier lieu l'amélioration de la qualité de la vie. Mais cela touche aussi le développement économique sous toutes ses formes. Face à l'impact de l'activité humaine sur les milieux naturels, la pollution apparaît ainsi comme l'ensemble des rejets libérés par l'homme dans l'écosphère, qui exercent une influence perturbatrice sur les organismes vivants, ainsi que l'environnement. La perception du niveau de pollution d'un milieu est souvent

relative. Elle dépend des exigences liées aux usages de la ressource en eau concernée. C'est pourquoi de nombreux paramètres permettent de mesurer la pollution.

## 7-Normes de rejet

Pour mener à bien une politique d'objectifs de qualité, les autorités chargées de la surveillance des eaux ont développé des grilles d'appréciation et des cartes, assignant des valeurs limites pour chaque section de cours d'eau, de façon à respecter des caractéristiques physiques, chimiques et bactériologiques compatibles avec les différents usages de l'eau.(Tabl. 1).

Paramètres	Valeurs de rejet direct	Valeur de rejet indirect	Valeur des eaux destinées à l'irrigation
Température	30°C	35°C	35°C
Ph	6.6-8.51	6.5-8.51	6.5-8.5
DBO5	100mg/l	500mg/l	
DCO	500mg/l	1000mg/l	
MES	50mg/l	600mg/l	2000mg/l
Conductivité	2700µs/cm		8.7ms/cm
Bicarbonate (HCO <sub>2</sub> ) Irrigation par aspiration			815mg/l
Sulfates		400mg/l	250mg/l
Azote	30mgN/l		
Phosphore total	10mgP/l	10mgP/l	
Chlorure(Cl)	Chlore actif Cl <sub>2</sub> (0.2 mg/l)		Irrigation de surface (350mg/l) Irrigation par aspersion (105 mg/l)
N			50mg/l

**Tableau 1: valeurs limites pour les différents rejets directs (eaux pluviales), indirects (eaux usées) où les eaux destinées à l'irrigation des cultures (région de Kenitra, Maroc)**

### Signification des abréviations :

- **Ph** : caractère acide ou alcalin des eaux
- **MES** : matière en suspension poids, volume et nature minérale ou organique des particules véhiculées par les eaux usées
- **DBO5** : demande biochimique en oxygène : consommation en 5 jours, à 20°C, résultant de la métabolisation de la pollution biodégradable par des microorganismes de contamination banale des eaux.
- **DCO** : demande chimique en oxygène : consommation d'oxygène dans les conditions d'une réaction d'oxydation, en milieu sulfurique, à chaud et en présence de catalyseurs.
- **Formes de l'azote** : azote ammoniacal, forme NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, azote Kjeldahl NTK, quantité d'azote exprimée en N correspondant à l'azote organique N-NH<sub>2</sub> et à l'azote ammoniacal.
- **Formes du phosphore** : ortho phosphore, forme la plus courante PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (70% du total), phosphore total, somme du p contenu dans les ortho phosphates, les poly phosphates et le phosphate organique.

## II-Les différents modes d'assainissement rural

### 1-Types de systèmes d'assainissement

Selon la nature de l'habitat et le choix de la collectivité, on distingue deux grands types d'assainissement:

- **l'assainissement non collectif (individuel ou autonome)**

En zone d'habitat dispersé, des systèmes d'assainissement sont mis en place pour chaque habitation (assainissement individuel) ou pour un petit groupe d'habitations (assainissement autonome). Un zonage délimite les zones d'assainissement autonome. Si la mise en œuvre des travaux relève des particuliers, la commune est cependant obligée d'en assurer le contrôle. Si elle le souhaite, elle peut également prendre en charge l'entretien, avec évidemment une contre-partie financière des particuliers concernés.

Paramètres	Qualité			
	1	2	3	4
O2 dissous mg/l	5	3	1	<1
O2 dissous % saturation	70	50	10	<10
DBO5 mg/l	5	10	25	>25
DCO mg/l	25	40	80	>80
NO3- mg/l	25	<50	80	>80
NH4- mg/l	0.5	2	8	>8
NO2- mg/l	0.3	1	1	
NTK mg/l	2	3	10	>10
PO42- mg/l	0.5	1	2	>2
MEST mg/l	70		>70	
Phosphore total	0.3	0.6	1	>1
Conductivité	2000		>2000	
pH	6.5 et 8.5		<6.5 ou > 8.5	

**Tableau 2 : Grille d'appréciation de la qualité générale des cours d'eau (d'après Delevoye 1990)**

Selon le Conseil de l'Union Européenne (2011), quatre grandes classes de qualité ont été notamment définies (Tabl. 3) :

**Qualité 1 : Bonne qualité**

Eau apte à la vie et à la reproduction piscicole normale. Cette qualité permet en outre :

- la fabrication d'eau potable avec traitement simple,
- l'abreuvement des animaux.

**Qualité 2 : Qualité moyenne.**

Eau apte à la fabrication d'eau potable

- vie piscicole normale mais perturbante de la reproduction.

Cette qualité permet:

- la fabrication d'eau potable avec traitement poussé,

- l'irrigation,
- l'utilisation industrielle

**Qualité 3 : Mauvaise qualité.**

Vie piscicole perturbée. Cette qualité permet :

- l'utilisation pour refroidissement,
- la navigation,
- à la limite, l'irrigation.

**Qualité 4 : Très mauvaise qualité.**

Cette qualité n'est bien entendu jamais un objectif

Tableau 3 : les quatre grandes classes de la qualité de l'eau (d'après le Conseil de l'Union Européenne 2011)

- **L'assainissement collectif**

En zone urbaine ou d'habitats regroupés, les eaux usées, collectées dans un réseau d'assainissement sont traitées en station d'épuration. (Fig. 6 a)

## **2-Système d'assainissement collectif**

Le collecteur principal présente une pente suffisante pour assurer un écoulement gravitaire des effluents. A chaque changement de diamètre ou de direction, ou aux points de raccordement de plusieurs collecteurs, les regards de visite permettent de contrôler le fonctionnement des ouvrages et de faciliter leur entretien. La collecte peut s'effectuer dans le cadre d'un système unitaire ou séparatif. Le choix entre les deux systèmes doit être étudié au regard des caractéristiques locales. (Fig. 6 b).

- **Système séparatif**

Le système séparatif se compose de deux réseaux : un pour les eaux usées et l'autre pour les eaux pluviales. La collecte séparatif des eaux usées domestiques nécessite des ouvrages de section réduite en raison du volume limite des effluents en cause. C'est un système économique pour autant que l'évacuation des eaux pluviales ne nécessite pas un autre réseau complet c'est-à-dire qu'elle puisse être réalisée en faisant un large appel au ruissellement dans les caniveaux.

Le recours à un assainissement séparatif peut être avantageux, si le réseau unitaire existant à l'aval, est sur le point d'être saturé, ou se trouve saturé.

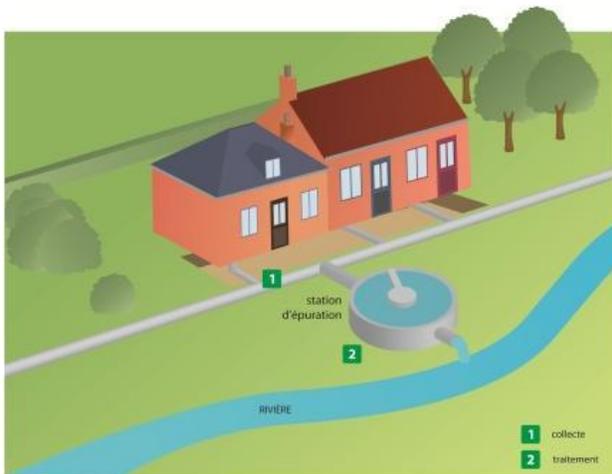
- **Système unitaire**

Il s'impose lorsqu'il n'y a pas de possibilité de concevoir économiquement un réseau des eaux pluviales de surface, c'est-à-dire :

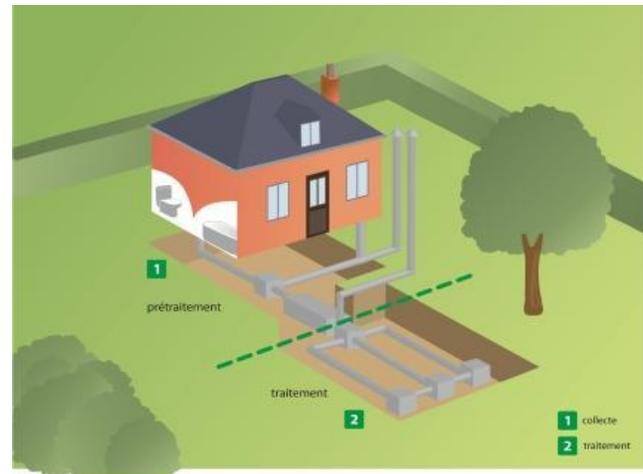
- Si l'exutoire est éloigné des points de collecte.
- Lorsque les pentes du terrain sont faibles, ce qui impose de grosses sections aux réseaux d'égout séparatif. Il est reconnu que le système unitaire est intéressant par sa simplicité, puisqu'il suffit d'une canalisation unique dans chaque voie publique et d'un seul branchement pour chaque habitation.

- **Système pseudo séparatif**

Il désigne un réseau séparatif dans lequel le réseau des eaux usées peut recevoir certaines eaux intérieures des maisons. Il peut être obligatoire dans certains quartiers où les maisons de type traditionnel à patio sont obligées de mélanger les eaux ménagères et vannes avec les eaux pluviales des terrasses. Ce système est intéressant lorsque les surfaces imperméabilisées collectives (voiries, parking, etc....) représentent une superficie importante avec de fortes pentes.



a) **Système d'assainissement collectif**



b) **Système d'assainissement non collectif**

**Figure 6 : les types de systèmes d'assainissement**

# Chapitre IV : la phyto-remédiation – notions de base.

## I-Généralités :

### 1-histoire :

L'étymologie provient du grec « phyton » = plante, et du latin « remedium » = rétablissement de l'équilibre, remédiation. La phyto-remédiation n'est pas un concept nouveau puisqu'il y a 3000 ans les hommes utilisaient déjà les capacités épuratoires des plantes pour le traitement de l'eau. Depuis les années 1970 cette pratique a trouvé un regain d'intérêt notamment pour le traitement des pesticides et des métaux.

Depuis l'antiquité et de par le monde entier sont connus les phénomènes naturels d'autoépuration des mares, étangs et marécages. A partir de 1920, le lagunage connaît un large développement à travers le monde. Mais ce n'est qu'en 1950 que des études ont été menées pour mieux comprendre le fonctionnement des écosystèmes. Des améliorations sont alors apportées comme un meilleur dimensionnement.

En 1960, en Californie, la première lagune à haut rendement fût construite ; elle mettait en jeu la culture intensive d'algues. Aujourd'hui, on trouve des bassins d'épuration écologique dans plus de 50 pays du monde et leur nombre augmente tous les jours.

Le lagunage écologique s'implante donc peu à peu en France et sous toutes les latitudes en raison de la crise économique et de la prise de conscience des problèmes environnementaux. Depuis 1960, où les premières stations d'épuration biologiques sont apparues, ce système a su évoluer et répondre à des problèmes notamment dans les petites et moyennes communes et sur le littoral en période estivale.

### 2-définition

La phytoremédiation est un ensemble de technologies utilisant les plantes pour réduire, dégrader ou immobiliser des composés organiques polluants (naturels ou de synthèse) du sol, de l'eau ou de l'air provenant d'activités humaines. Cette technique permet également de traiter des pollutions inorganiques (éléments traces métalliques (ETM), radionucléides).

### 3-principe de décontamination

Brièvement, les plantes vont soit absorber le contaminant pour le métaboliser ou le stocker, soit réduire voire empêcher la libération du contaminant dans d'autres compartiments de l'environnement (phyto-stabilisation). Le plus souvent, les composés organiques (xénobiotiques ou non) peuvent être dégradés et métabolisés pour la croissance de la plante. Le polluant est alors éliminé. Lorsqu'il s'agit de composés inorganiques polluants (métaux, métalloïdes ou radionucléides), il ne peut y avoir que phyto-stabilisation ou phyto-extraction car ces types de polluants ne sont pas biodégradables.

#### 4-Les différentes formes de phyto-remédiation

- **Phyto-extraction** : utilisation de plantes qui absorbent et concentrent dans leurs parties récoltables (feuilles, tiges) les polluants contenus dans le sol (souvent des Élément-trace métallique : ETM) On utilise souvent des plantes accumulatrices et/ou hyper accumulatrices qui sont capables de tolérer et d'accumuler les ETM. Il est possible d'améliorer cette extraction par l'ajout de chélateurs au sol. Le plus souvent les plantes sont récoltées et incinérées ; les cendres sont stockées (en CET) ou valorisées pour récupérer les métaux accumulés.

-**Phyto-transformation, ou phyto-dégradation** : certaines plantes produisent des enzymes (déhalogénase, oxygénase...) qui catalysent la dégradation des substances absorbées ou adsorbées ; celles-ci sont transformées en substances moins toxiques ou non-toxiques par la métabolisation des contaminants dans les tissus des plantes ou par les organismes de la rhizosphère maintenue par la plante

-**Phyto-filtration ou rhizo-filtration** : utilisée pour la dépollution et la restauration des eaux de surface et souterraines. Les contaminants sont absorbés ou adsorbés par les racines des plantes en milieu humide.

-**Phyto-volatilisation** : les plantes absorbent l'eau de la lithosphère contenant des contaminants organiques et autres produits toxiques, transforment ceux-ci en éléments volatils, et les relâchent dans l'atmosphère via leurs feuilles. Elles peuvent aussi dans certains cas transformer des contaminants organiques en éléments volatils avant de les transférer dans l'atmosphère - toujours via les feuilles. La phyto-volatilisation n'est pas toujours satisfaisante, car si elle décontamine les sols elle libère parfois des substances toxiques dans l'atmosphère. Dans d'autres cas plus satisfaisants, les polluants sont dégradés en composants moins - ou non-toxiques avant d'être libérés.

-**Phyto-stabilisation** : réduit simplement la mobilité des contaminants. La technique la plus utilisée est de se servir des plantes en réduisant les écoulements de surface et de sub-surface, en limitant l'érosion et en réduisant les écoulements souterrains vers la nappe. Cette pratique intègre ce que l'on appelle communément le Contrôle hydraulique, ou phytohydorégulation<sup>3</sup>. Le pompage hydraulique (traduit littéralement de l'anglais) peut se faire quand les racines atteignent les eaux souterraines tout en prélevant de larges volumes d'eau et en contrôlant le gradient hydraulique et les migrations latérales de contaminants au sein de l'aquifère. En deux mots, il s'agit d'utiliser des plantes à forte évapotranspiration pour réduire le mouvement des polluants par les écoulements (latéraux ou en profondeur).

-**Phyto-restauration** : cette technique implique la restauration complète de sols pollués vers un état proche du fonctionnement d'un sol naturel (Bradshaw 1997). Cette subdivision de la phytoremédiation utilise des plantes indigènes de la région où sont effectués les travaux de phytorestauration. Ceci dans le but d'atteindre la réhabilitation entière de l'écosystème naturel originel, du sol aux communautés végétales.

-**Phyto-stimulation** : localisée essentiellement dans la rhizosphère, c'est la stimulation par les plantes des activités microbiennes favorables à la dégradation des polluants. Cet aspect, quand il a été étudié, a été constaté chez tous les hyper accumulateurs.

-**Rhizo-filtration ou rhizo-épuration** (pour épuration de l'eau ; elle peut se faire en système

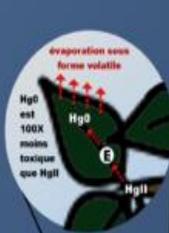
hydroponique ou in situ sur des îles flottantes Construites avec des coussins flottants de matière synthétique pouvant être traversé par des racines

## GRANDS PRINCIPES DE LA PHYTOREMEDIATION

### PHYTO VOLATILISATION

certaines plantes absorbent des contaminants et les libèrent dans l'atmosphère par la transpiration. le contaminant arrive au niveau des feuilles est transformé ou dégradé pour créer une substance moins toxique puis est libéré dans l'air .

cette technique n'est possible que pour un très petit nombre de métaux. la volatilisation s'effectue tout au long de la vie de la plante . elle est donc continue .



### PHYTO DEGRADATION

des plantes absorbent et décomposent les contaminants par la libération d'enzymes ainsi que par des processus métaboliques comme l'oxydation et la réduction . par ces processus les polluants organiques sont dégradés et incorporés dans la plante ou libérés dans le sol.

### PHYTO STABILISATION RHIZO FILTRATION

certaines plantes peuvent séquestrer (rhizofiltration) ou immobiliser ( phytostabilisation) les polluants en les absorbant au sein de leurs racines . elles peuvent également mibérer une enzyme qui convertit les contaminants en molécules moins toxiques . cette stabilisation limite la migration des éléments nuisibles dans le sol par la lixiviation , l'eau et le vent.



### PHYTO EXTRACTION

certaines plantes absorbent les contaminants ( surtout les métaux , les metalloïdes et les radionucléïdes) avec leurs racines et les accumulent en grandes quantités dans leurs tiges et les feuilles. ces plantes doivent être récoltées et éliminées comme des déchets spéciaux.

Ces plantes hyperaccumulatrices sont nombreuses pour le nickel (plus de 300 taxons), pour le cobalt et pour le cuivre. Leur diversité est plus faible pour les autres éléments trace métalliques.

Sources : 1) Urbanomnibus, from brownfields to greenfields, a field guide to phytoremediation, 2) Wikimedia commons, meuble arbre.svg, 3) Wikimedia commons, loose soil.jpg

Figure 7 : Représentation des grands principes de la phyto-remédiation

La phyto-remédiation repose essentiellement sur les interactions entre les plantes, le sol et les micro-organismes. Le sol est une matrice complexe servant de support au développement des plantes et des micro-organismes qui se nourrissent des composés organiques ou inorganiques le composant. Les composés en excès peuvent alors être utilisés comme source d'énergie par les plantes et les micro-organismes. Dans le système plante - sol - micro-organismes, la biodégradation bactérienne est souvent en amont de l'absorption racinaire. Plantes et micro-organismes ont Co-évolué pour disposer d'une stratégie à bénéfices mutuels pour gérer la phyto-toxicité où les microorganismes profitent des exsudats racinaires, lors même que la plante bénéficie des capacités de dégradation des micro-organismes rhizosphériques pour réduire le stress dû à la phyto-toxicité. Au final, la plante est l'agent essentiel de l'exportation d'un contaminant hors du milieu environnant.

- **Effet rhizosphérique :**

La rhizosphère désigne le volume de sol soumis à l'influence de l'activité racinaire. Ce volume de sol est plus ou moins important et varie selon les plantes et le sol. Les processus qui se déroulent dans la rhizosphère sont essentiels pour la phyto-remédiation. L'activité et la biomasse microbienne y sont beaucoup plus importantes que dans un sol sans racines. Les racines libèrent naturellement des substances dans le sol où elles se développent, par les exsudats racinaires. Ceux-ci favorisent et entretiennent le développement des colonies microbiennes en fournissant de 10 à 20 % des sucres produits par l'activité photosynthétique de la plante (photosynthétats). De nombreux composés peuvent ainsi être libérés, par exemple, des hormones, des enzymes ainsi que de l'oxygène et de l'eau. Les micro-organismes rhizosphériques en retour favorisent la croissance de la plante (réduction des pathogènes, mise à disposition de nutriments...). En théorie, plus les racines sont abondantes plus elles fournissent une surface de développement importante pour la microfaune et microflore rhizosphériques. De fait, les exsudats racinaires favorisent la biodégradation des polluants organiques en stimulant l'activité microbienne.

- **Principe de décontamination :**

Brièvement, les plantes vont soit absorber le contaminant pour le métaboliser ou le stocker, soit réduire voire empêcher la libération du contaminant dans d'autres compartiments de l'environnement (phyto-stabilisation). Le plus souvent, les composés organiques (xénobiotiques ou non) peuvent être dégradés et métabolisés pour la croissance de la plante. Le polluant est alors éliminé. Lorsqu'il s'agit de composés inorganiques polluants (métaux, métalloïdes ou radionucléides), il ne peut y avoir que phyto-stabilisation ou phyto-extraction car ces types de polluants ne sont pas biodégradables.

**5-Avantages et limites de la technique :**

✓ **Les avantages :**

- Le coût de la phyto-remédiation est bien moindre que celui de procédés traditionnels in situ et ex situ ;
- Les plantes peuvent être facilement surveillées ;
- Récupération et réutilisation de métaux de valeur (des entreprises se spécialisent dans le «phytominage»);
- C'est la méthode la moins destructrice car elle utilise des organismes naturels et préserve l'état naturel de l'environnement (micro-organismes, animaux et structure du sol) (contrairement à l'emploi de procédés chimiques, il n'y a pas d'impacts négatifs sur la fertilité des sols) ;
- Exploitation des végétaux produits.

✓ **Les limites :**

- La phyto-remédiation est limitée à la surface et la profondeur occupées par les racines (noter que de nombreux polluants à base de métaux restent aussi dans la couche de sol supérieure) ;
- Bioaccumulation possible de contaminants passant dans la chaîne alimentaire, du niveau des consommateurs primaires à ceux du niveau secondaire. Il est essentiel de disposer des plantes de façon responsable, et de ne pas consommer des plantes utilisées pour nettoyer un terrain ;
- Pour que la technique se perfectionne, une sélection végétale est indispensable. Mais cela prends du temps pour sélectionner, hybrider, reproduire, etc. Des dizaines d'années peuvent être nécessaires. Il faut aussi savoir que les propriétés de certaines plantes ne se retrouvent pas dans l'espèce à tous les coups ;
- Le problème du futur des végétaux ne contenant pas de minerais commercialisable, mais des polluants devant être stockés dans un endroit où cela ne gênera personne.

### **6-les hyper-accumulateurs**

Les plantes sélectionnées en phyto-remédiation sont choisies pour leur capacité à extraire des volumes importants de polluants. Elles sont appelées plantes hyper-accumulatrices ou hyper-accumulateurs. Les caractéristiques communes aux hyper-accumulateurs sont souvent : une pousse rapide ; des végétaux résistants, faciles à planter et maintenir ; une grande capacité pour l'évapotranspiration (évaporation de l'eau par les feuilles) ; et la capacité de transformer les contaminants concernés en des produits non-toxiques ou moins toxiques.

### **II-types de phyto-remediation appliquée**

D'après la société « Phytorestore », 800 espèces végétales sont recensées à ce jour. Une liste (non-exhaustive) des plantes hyper accumulatrices est jointe en annexe. Il faut noter qu'il y a des recherches en cours concernant les plantes génétiquement modifiées pour améliorer la capacité hyper accumulatrice de ces plantes et afin de trouver des plantes plus résistantes à des niveaux de pollutions élevés.

1- Exemple de plantes utilisées en phyto-épuration



a) *Alyssum alpestre*



b) *Eichornia crassipes*



c) bambou



d) *typha latifolia*



e) *Festuca*



f) *Brassica*

Figure 9: exemples de plantes utilisées pour l'épuration des eaux usées

Dans notre cas, Les plantes utilisées sont sélectionnées pour répondre à certains critères (Figs. 11,12):

- Capacité d'adaptation à certains environnements
- Bonne structure de racines
- Résistance aux températures de l'hiver.

## **2-phragmite australis**

### **2-1-introduction**

Les filtres plantés de macrophytes, largement utilisés pour le traitement des eaux usées, deviennent aujourd'hui une alternative intéressante pour le traitement des eaux usées vues les grands avantages qu'ils présentent Ils sont moins coûteux à réaliser et à exploiter; sont construits directement sur le site de rejet des eaux usées, nécessitent peu d'équipements mécanisés et finalement sont moins sensibles aux variations des charges polluantes (Brix, 1997). Par ailleurs l'utilisation de végétaux locaux à intérêt économique et environnemental sur ces systèmes, comme Phragmites Australis les rend plus captivant. Phragmite est un genre de plantes herbacées de la famille des Poaceae, sous-famille des Arundinoideae. Le genre comprend quatre espèces dont une comportant trois sous-espèces. Certaines de ses espèces sont appelées « roseaux des marais »

Elle est présente naturellement ou introduite en Asie, en Europe, en Amérique, en Afrique et en Australie. Elle a une tendance à devenir envahissante.

### **2-2- Définition :**

Le Phragmite Australis est une plante très productive qui s'adapte facilement aux différentes conditions du milieu. Ce sont les rhizomes horizontaux et verticaux qui fournissent un support pour la croissance des bactéries. Avec les racines du Phragmites Australis ces rhizomes (Fig.12) assurent une grande surface de contact entre sol-eau usées. Ces derniers produisent des exsudats toxiques pour les bactéries pathogènes. Ces techniques d'épuration dont le traitement par les plantes bénéficient d'une attention croissante.



**Fig. 10 : a) jeune pousse de Phragmite australis, a) rhizomes de Phragmite australis**  
**2-3-caractéristiques générales :**

Très appréciés dans la phyto-épuration, les phragmites permettent, du fait de leur simple présence dans un bassin, d'éliminer une grande partie des graisses présentes dans les eaux viciées contribuant ainsi à réhabiliter celles-ci de manière écologique.

- ils ont l'aptitude de transmettre l'oxygène des feuilles à travers la tige dans la rhizosphère qui stimule la dégradation de la matière organique et croissance des bactéries nitrifiantes.
- ils assurent une porosité suffisante pour la percolation des eaux en traitement grâce à leurs systèmes racinaires.

#### 2-4-Aspect général de la plante

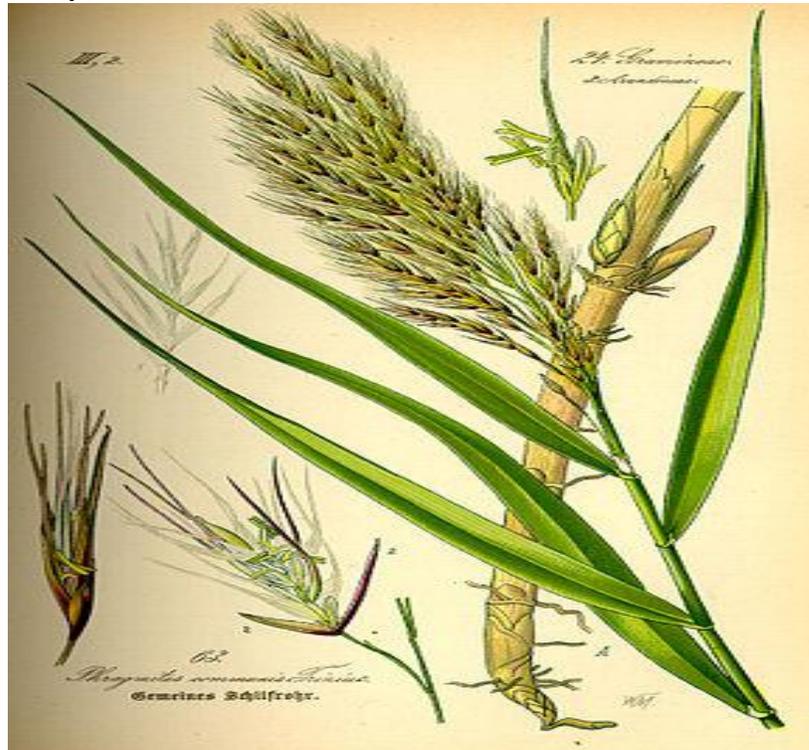


Figure 11 : aspect général du phragmite australis

Plantes utilisées	Nature de l'eau usée	Temps de rétention	Paramètre et % d'abattement	Nature et dimension du
-------------------	----------------------	--------------------	-----------------------------	------------------------

				<b>système</b>
<b>Phragmites australis.</b>	Effluents de raffineries sucrières prétraitées	10 jours	DCO (89 %) ; MES (94%) ; So4 (77%)	Marécage artificiel de 3 ha, Conductivité hydraulique : 0,025-0,5 m.m-2.d-1
<b>Phragmites sp.</b>	Eaux usées domestiques	--	DBO5 (49-85 %) ; NTK (9-46%) ; PT (6-54%)	Surface : 361 -4100 m2, conductivité hydraulique : 13-158 l. m-2.j-1
<b>Phragmites</b>	Eaux usées résiduaires	3 jours	P (80%) ; DCO (80%) ; COT (50%) ; NTK (80%)	Marécage artificiel avec écoulement d'eau souterrain vertical
<b>Phragmites carca</b>	Eaux usées résiduaires	--	Cu (68-78%) ; Cr (72-75%) ; Zn (70-75 %) ; Mn (74-80 %) ; Fe (73-80 %) ; Cd (70 -75 %)	Marécage artificiel de 40 cm de Ø et 90 cm de profondeur

**Signification des abréviations:** NTK : azote kjeldahl total, COT: Carbone organique total, PT : phosphore total, DCO : demande chimique en oxygène, DBO5 : demande biochimique en oxygène, MES : Matière en suspension, P : phosphore, ST : solides totaux

**Tableau 4: Performances épuratoires de quelques systèmes naturels d'épuration des eaux usées par les Phragmites**

### 3-Le bambou

#### 3-1-description

Les bambous ou Bambuseae forment une tribu appartenant à la famille des Poaceae (Graminées). Ils sont caractérisés par des tiges formées d'un chaume creux lignifié à la croissance très rapide. Les bambous se sont adaptés à de nombreux climats (tropicaux, subtropicaux, et tempérés). Ils sont donc présents naturellement sur tous les continents à l'exception de l'Europe et de l'Antarctique.

Le bambou fut très largement utilisé au cours de l'histoire : en tant que plante ornementale, d'aliment et de matériaux.

#### a- Rhizome

Tous les bambous ont des tiges souterraines, appelées rhizomes. Ils permettent à la plante de croître en formant des touffes plus ou moins serrées. C'est aussi un organe de réserve. Les racines sont adventives et se développent autour des nœuds du rhizome.

On peut distinguer généralement deux grands types de système de rhizome :



A



B

**Fig. 12 : A) Rhizome pachymorphe de bambou B) Rhizome leptomorphe de bambou**

### **b- Le chaume**

La tige principale est un chaume, ou canne, lignifié, fistuleux (c'est-à-dire en tube) cloisonné aux nœuds. La cicatrice visible aux nœuds est la trace de la gaine des feuilles tombées. Le chaume peut se diviser en rameaux feuillés, eux-mêmes divisés en ramuscules.

Le bois des chaumes, riche en silice, est très dur et très résistant. La taille des tiges varie selon les espèces de moins d'un mètre à près de 10 m. La vitesse de croissance peut chez certaines espèces être spectaculaire, jusqu'à un mètre par jour (vigueur que les Chinois auraient utilisée pour en faire un supplice).

Les chaumes se balancent aux vents forts et se plient sous le poids de la neige mais ils se cassent rarement. Cette flexibilité est due aux entrenœuds creux de chacun des chaumes.

### **c- Branches, Feuilles et Fleurs**

Les bambous fleurissent rarement mais ces feuilles qui se forment au niveau de ces branches se renouvellent naturellement même en été ce qui confère un bon paysage en milieu de son implantation.

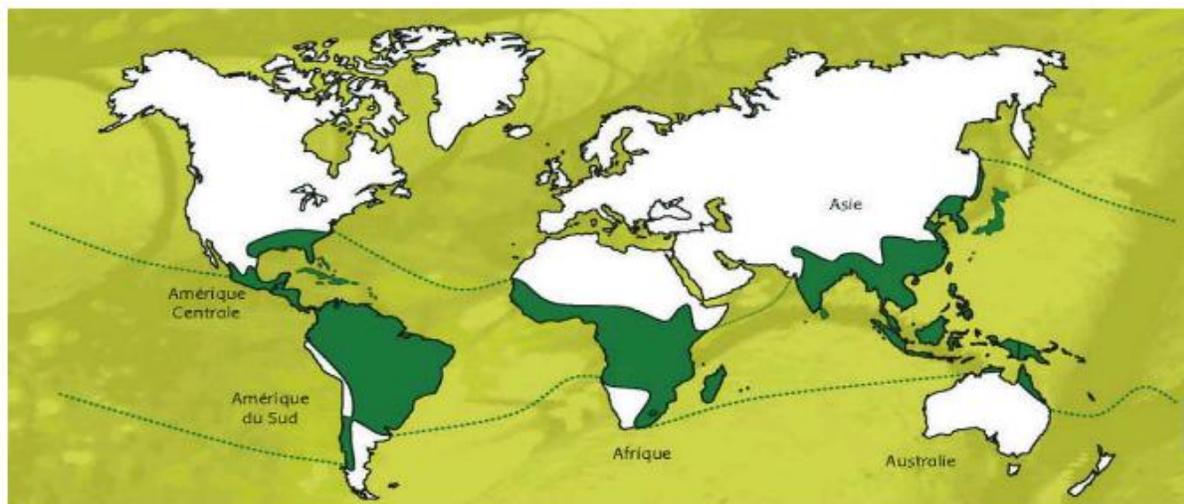
### **3-2-Distribution du bambou**

La majeure partie des espèces de bambous sont principalement originaires d'Asie et d'Amérique où on les trouve à des altitudes variables, jusqu'à 3 000 m dans l'Himalaya. Quelques rares espèces sont spontanées en Afrique continentale et en Océanie. Aucune n'est spontanée en Europe. Leur aire de répartition a connu une forte progression par la culture. (Tabl. 5).

Distribution mondiale du bambou			
Localisation	Sous tribu	Genres	Espèces
Asie	6	44	Environ 600
Amérique	4	21	Environ 400
Madagascar	2	6	20
Afrique	2	3	5
Pacifique	2	2	4
Australie	2	7	3

**Tableau 5: distribution mondiale du bambou**

Plante aux particularités uniques dans le monde végétal, le bambou ne présente pas pour autant un aspect uniforme. Il en existe plus d'un millier d'espèces aux caractéristiques propres. Suivant l'endroit où il pousse, la nature du terrain, le climat, l'altitude, il peut être très différent de taille, de forme, voire de couleur.



**Figure 14 : Distribution Mondiale du Bambou**

D'après la carte le tableau de la distribution mondiale du bambou on voit que le Maroc ne fait pas partie de sa zone de répartition. Toutefois ce végétal apte de se familiariser avec les changements climatiques à marqué une nette adaptation avec le climat marocain surtout après avoir l'importer essentiellement par l'entreprise lader en manipulation du bambou au Maroc « Maroc Bambou Développement » Donc l'absence du Maroc dans la distribution mondial du bambou ne justifie que par l'ignorance de la valeur environnementale et l'inexploitation du bambou au Maroc. Dans ce volet la présente recherche met en valeur les qualités remarquables du bambou qui s'intègre dans une démarche de consommation et économie responsable.



**Figure 15 : Le Bambou à la pépinière expérimentale de Maroc Bambou Développement**

### 3-3-Les qualités du Bambou

Qualités	Explications
<b>Un grand pouvoir d'absorption et de dépollution</b>	-Le bambou est une plante à feuillage persistant, elle est dite « verte » car elle peut absorber beaucoup de dioxyde de carbone (dont une partie est stockée dans ses rhizomes). En effet, elle est abondante avec un rendement au m <sup>2</sup> très important. - L'étroitesse de ses feuilles améliore l'infiltration de l'eau dans le sol. - Son système racinaire a des vertus purificatrices car il élimine certaines toxines présentes dans les eaux polluées.
<b>Une pousse rapide</b>	Le bambou pousse très rapidement. Certaines espèces de bambou peuvent atteindre leur pleine croissance en quelques mois, d'une manière générale le bambou pousse beaucoup plus vite qu'un arbre, ce qui pourrait être une alternative à la déforestation. Il possède également la capacité de s'auto-régénérer avec ses rhizomes qui font des bourgeons sous la terre.
<b>Une limitation d'érosion</b>	Grâce à son immense système racinaire le bambou limite l'érosion des sols.
<b>Produit 100% bioécologique</b>	la culture du bambou ne nécessite ni engrais ni produits phytosanitaires.
<b>Résistance remarquable</b>	Son bois est très apprécié puisqu'il possède une forte résistance aux efforts mécaniques d'ordre de 40kg/mm <sup>2</sup> . Cette caractéristique en fait un bon matériau pour la construction, de plus il possède la capacité d'être associé à d'autres matériaux (béton, plastique).
<b>Adaptation au climat</b>	Le bambou est une plante aux particularités remarquables. Il en existe plus de 1200 espèces aux caractéristiques propres. Il s'adapte à quasiment tous types de climats notamment le climat tropical. En effet, il aime la chaleur et supporte le froid.
<b>Une énergie renouvelable</b>	-Un hectare de bambou peut produire de 20 à 40 tonnes de matière sèche par an, si l'on couple cette faculté à son étonnant Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI), le chaume de bambou est une culture idéale pour la production de chaleur et d'électricité. - La plante possède un pouvoir calorifique plus élevé que la plaquette de bois. Son PCI est d'environ 4500 kcal/kg, contre 3870 pour la plaquette, ce qui le rend très rentable pour la production d'électricité ou de chaleur.

Tableau 6 : les qualités du bambou

Et voilà on a fait un tour dans le monde du bambou et du phragmite australis Maintenant que nous les connaissons mieux, cela sera plus facile pour les choisir, les planter, et les utiliser en tant que système d'épuration des eaux usées de la mine de Draa Sfar.

#### 4-Quelques stations de phyto-épuration existantes a-station d'épuration de la ville de Lude (France)

- quelques chiffres :
- Capacité de la Station :  
6000 Equivalents Habitants (1 Equivalent Habitant représente 60 g de DBO5 par jour et 150 L d'eaux usées)
- Débits :  
Débit journalier temps de pluie : 2100 m3/jour  
Débit journalier temps sec : 815 m3/jour  
Débit horaire maximum : 100 m3/heure
- **Qualité du traitement**

Paramètres	Concentration entrée	Concentration sortie	Rendement minimum
DBO5	440mg/l	20mg/l	95.5%
DCO	880mg/l	100mg/l	91.2%
MES	660mg/l	20mg/l	97%
NGL (azote globale)	110mg/l	15mg/l	86.4%
PT (phosphore total)	23mg/l	2mg/l	93%

**Tableau 7 : la qualité du traitement de la station d'épuration de la ville de Lude**

##### ➤ Cycle De Traitement (Fig. 16)

- Alimentation :  
L'alimentation est l'étape au cours de laquelle l'effluent entre dans le bassin. Elle ne dure pas plus de deux heures et une fois que le niveau est à son maximum l'étape de réaction est mise en marche.
- Réaction :  
C'est au cours de l'étape de réaction que le traitement de la pollution se fait réellement. En effet, l'effluent passe tout d'abord dans un bassin anoxie (privé d'oxygène), où l'élimination biologique du phosphore et la dénitrification ont lieu. Il passe ensuite dans un bassin aérobie (aéré par injection de microbulles d'air), où l'élimination de la pollution carbonée et la nitrification se font. L'effluent est recirculé dans ces deux zones tout au long de l'étape.
- Décantation :  
Après plusieurs heures de réaction, l'effluent subit une étape de décantation. Au cours de cette étape, les particules décantent et se retrouvent au fond du bassin. On a alors une séparation entre l'eau clarifiée et les boues.
- Soutirage :  
Une fois la décantation terminée, les eaux claires et les boues peuvent être soutirées. Les eaux propres sont évacuées en sortie de station, et les boues sont extraites vers la filière boues.

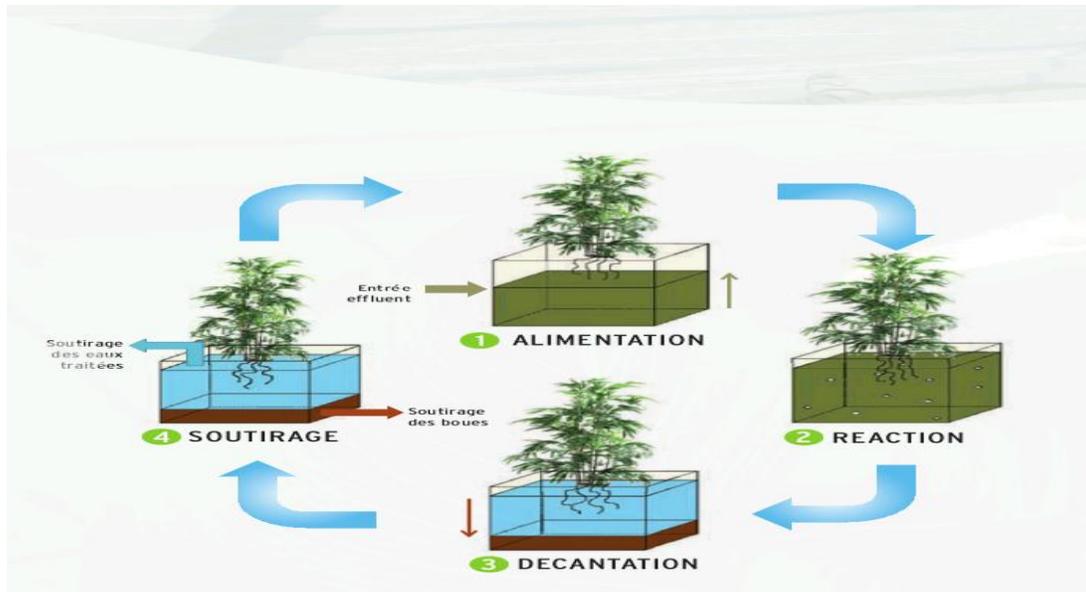


Figure 16 : cycle de traitement de la station d'épuration de la ville de Lude

**b-Station de phyto-épuration à la région de sidi moussa El Hamri (Maroc) :**

- Plante utilisée : le bambou
- Technique utilisée :

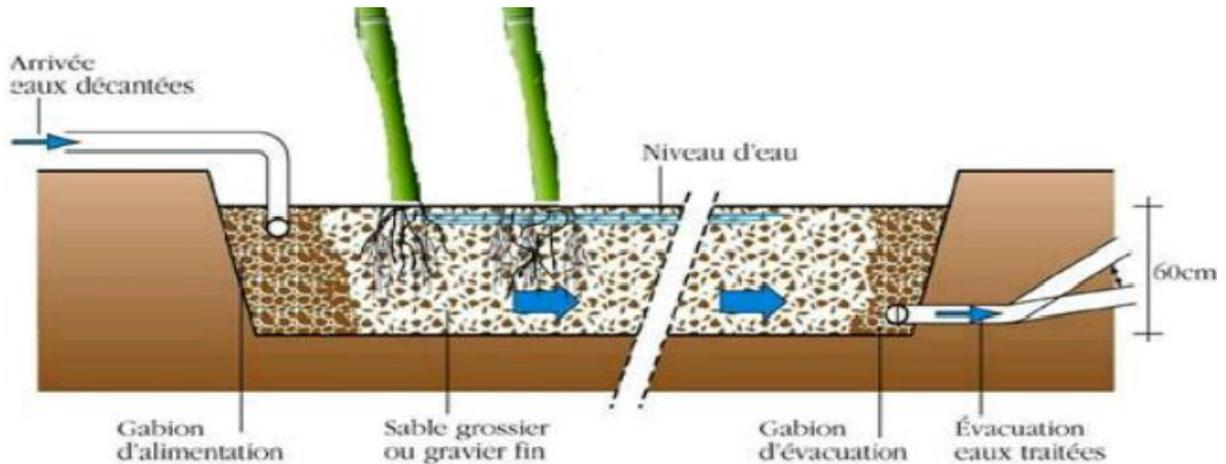
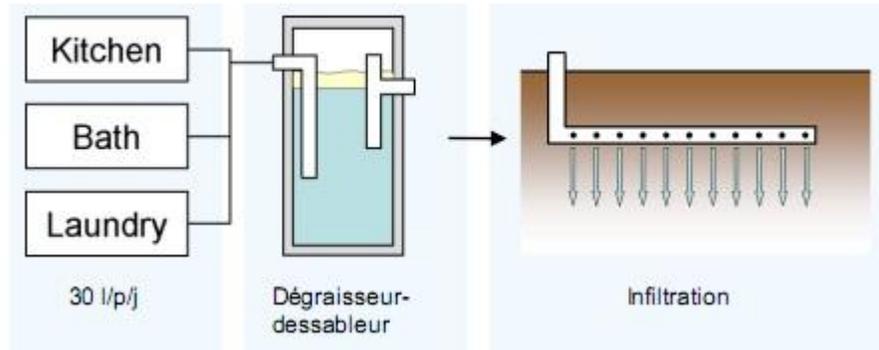


Figure 17 : technique utilisée pour l'épuration des eaux usées dans la région de sidi moussa el Hamri

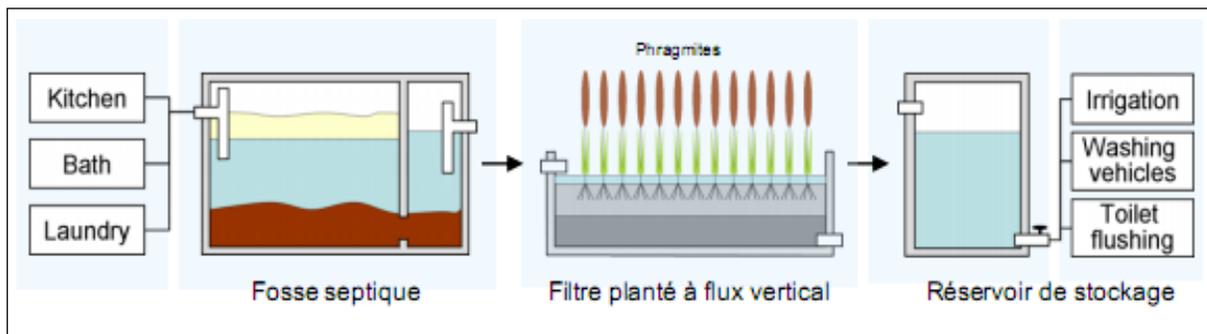
L'avantage de ce lit de filtration, me permettra de mieux diffuser les eaux à traiter et avoir une homogénéité d'écoulement des eaux.

## 5-Autres techniques utilisées dans des petits endroits (maisons, mines,...)



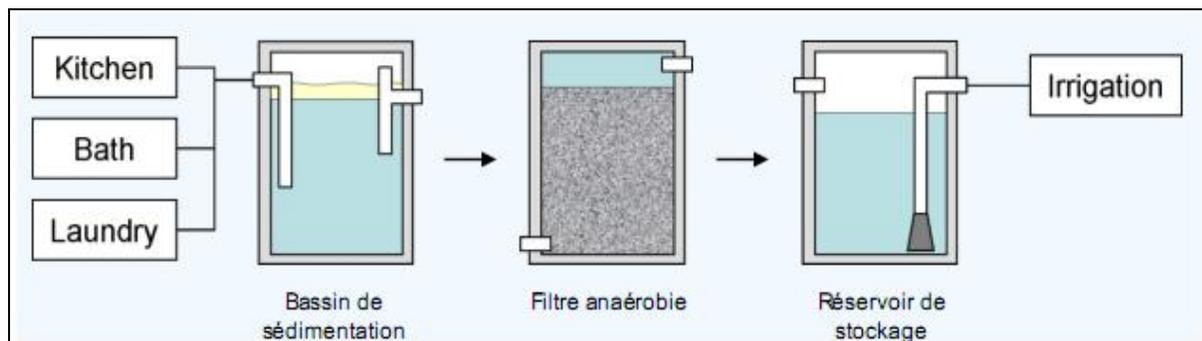
**Figure 18 : Infiltration verticale avec un prétraitement (dégraissage et dessablage)**

Le traitement des eaux par cette technique débute par dégraisseur et un dessableur. En laissant l'eau décanter, le sable tombe au fond et la graisse remonte à la surface, les eaux vont ensuite s'infiltrer dans le filtre à sable et vont être réutilisées. (Fig.18)



**Figure 19 : Une fosse septique, un filtre planté à flux vertical et un bassin de stockage**

La fosse septique élimine les grosses particules ont les faisant décanté au fond, les eaux se dirigent par des conduites vers le filtre planté à flux vertical, les plantes absorbent les polluants selon leurs besoins, l'eau ainsi épurée passe à un réservoir de stockage pour être utiliser dans différents domaines (irrigation, lavage des engins, toilettes...) (fig. 19).



**Figure 20 : Un bassin de sédimentation et filtre anaérobie avec un bassin de stockage des eaux traitées.**

Les eaux usées (cuisines, toilettes..) passent par un bassin de sédimentation pour faciliter l'élimination de la matière en suspension. Quand l'eau usée traverse le filtre anaérobie, les particules sont piégées et la matière organique est dégradée par la biomasse fixée au matériau

filtrant.(fig. 20 ), l'eau peut donc être destinée par la suite à l'irrigation.

# **Chapitre V : Application de la technique de dépollution des eaux usées par les plantes**

## **I- Problématique**

A l'instar des pays en développement, le Maroc est de plus en plus confronté à des problèmes environnementaux parmi lesquels on peut mentionner la dégradation des ressources naturelles, les pollutions chimiques, les sites contaminés, l'aménagement et la planification du territoire, la gestion des réseaux et des ressources en eau et celle des déchets urbains. Leur mise en œuvre se heurte à plusieurs contraintes qui sont essentiellement d'ordre institutionnel, financier, technique, socio-économique ainsi qu'un manque d'informations appropriées et de données actualisées. Les pratiques appliquées actuellement en matières de gestion de l'environnement ne sont pas en conformité avec les normes de développement durable, qui vise à améliorer la vie des citoyens grâce au développement socio-économique et à la protection de l'environnement. Ces pratiques ont des impacts désastreux, à court et à long terme, sur l'état sanitaire des populations, les sols, l'air et les ressources hydrauliques. Le développement démographique et l'accroissement des activités économiques ne font qu'amplifier les problèmes, en contribuant à la dégradation de l'environnement et à la contamination ou l'épuisement des ressources naturelles.

Il est primordial de souligner que le domaine de la gestion de l'environnement, en tant que composante du système de gestion de l'aménagement et de planification du territoire, représente un défi majeur pour les prochaines années et un domaine prometteur pour la protection de l'environnement. Il devrait en effet être intégré à tous les secteurs d'activité susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement

## **II- le traitement et la réutilisation des eaux usées**

### **1- Introduction**

À l'échelle mondiale, le traitement des eaux usées constitue le premier enjeu de santé publique : plus de 4 000 enfants de moins de 5 ans meurent chaque jour de diarrhées liées à l'absence de traitement des eaux et au manque d'hygiène induit.

Les eaux usées sont toutes les eaux chargées de différents éléments provenant de la population mais aussi des activités commerciales et industrielles du fait qu'elles ont été utilisées pour le lavage ou les toilettes, qui sont de nature à polluer les milieux dans lesquelles elles seront déversées. C'est pourquoi, dans un souci de respect de ces différents milieux, des traitements sont réalisés sur ces effluents par le réseau d'assainissement urbain. L'objectif des traitements n'est pas toujours de rendre l'eau potable : certains usages ne nécessitent pas d'eau propre à la consommation. On parle alors de recyclage des eaux usées.

Dans tous les cas, les traitements peuvent être réalisés de manière collective dans une station d'épuration ou de manière individuelle. La plupart des stations d'épuration fonctionnent selon les mêmes processus de base, mais des différences plus ou moins

importantes peuvent exister dans la manière de mettre en place ces processus. Le traitement se divise généralement en plusieurs étapes :

Prétraitement, dégrillage et tamisage, dessablage, dégraissage, traitement primaire, traitement secondaire, traitement par voie biologique, traitement par voie physico-chimique, traitement tertiaire...

## **2- Impact des eaux usées**

### **2-1- Impacts environnementaux**

Le rejet des eaux usées dans les rivières ou dans le lagon provoque une dégradation de la qualité de leurs eaux. Les substances toxiques contenues dans les eaux usées peuvent avoir de graves conséquences sur les milieux aquatiques. Les produits chimiques peuvent provoquer des perturbations biologiques qui se traduisent par des troubles dans la reproduction, la croissance ou le système immunitaire des organismes aquatiques.

Les apports microbiens engendrent une contamination des eaux côtières. Il arrive que certaines plages de Nouméa soient interdites à la baignade pour cause de pollution bactériologique. En cas de contact ou d'ingestion, ces eaux peuvent transmettre des maladies à l'Homme.

Les éléments nutritifs contenus dans les eaux usées provoquent un enrichissement des eaux côtières. Ceci favorise le développement rapide d'algues qui peuvent asphyxier les herbiers et les récifs coralliens. Ces algues entraînent aussi une diminution de la quantité d'oxygène dans les eaux et peuvent causer la mort de certains organismes aquatiques.

Les eaux usées peuvent également contenir des métaux, tels que du mercure qui s'accumule dans les organismes marins. Ce mercure peut avoir de graves conséquences sur l'Homme en cas d'ingestion.

**Les eaux usées ont des impacts sur les milieux aquatiques, mais aussi sur la santé humaine.**

### **2-2- impacts sur la santé humaine**

L'eau, ressource naturelle indispensable à la vie, est aussi devenue, de manière directe ou indirecte, la première cause de mortalité et de maladie au monde. L'inégalité dans la répartition des ressources en eau associée à la dégradation de la qualité de l'eau engendrent de grands problèmes de santé. Ainsi, dans les pays en développement, 80 % des maladies sont dues à l'eau, un Africain sur deux souffre d'une maladie hydrique.

Selon l'OMS 1,6 million d'enfants meurent chaque année en raison de l'insalubrité de l'eau, l'absence de services d'assainissement de base et le manque d'hygiène.

En Guyane, le réseau d'assainissement est sous dimensionné et peu fonctionnel. Selon le SDAGE 2000, 21 % de la population ne disposeraient pas de système d'assainissement et rejetteraient les eaux usées directement dans le milieu naturel.

### **3- Les stations d'épuration au Maroc**

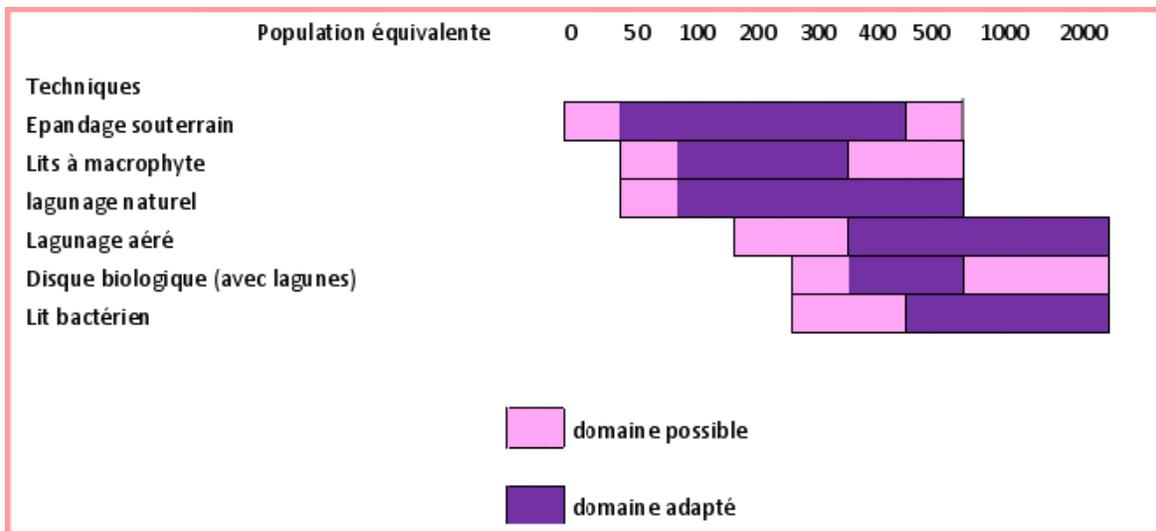
Une station d'épuration est une usine de traitement des eaux usées destinée à les rendre propre à être rejetées sans inconvénients majeurs dans le milieu naturel et rejoindre le cycle de l'eau. Il ne s'agit en aucun cas d'une usine de traitement des eaux naturelles, de surface ou issues d'un captage, en vue de leur potabilisation et de leur fourniture aux besoins des hommes. Le taux d'épuration des eaux usées urbaines est monté de 6% en 2005 à 28% à fin 2012. Les différentes régions publiques ont réalisé, ou vont bientôt inaugurer, 14 stations. Avec une capacité de 130 000 m<sup>3</sup>/j, la station de Fès prévue pour 2014 sera la plus grande du pays.

Il faut désormais bien plus d'une paire de mains pour compter le nombre de systèmes de dépollution des eaux usées, plus simplement appelés stations d'épuration (STEP), en service au Maroc. Au total, le pays en compte aujourd'hui 70 localisées principalement dans le Nord. Concessionnaires, régions publiques et Office national de l'électricité et de l'eau (ONEE) ont consenti d'importants efforts en la matière ces dernières années. D'après les données fournies par la direction des régions et des services concédés, au sein du ministère de l'intérieur, les différentes régions publiques ont réalisé, ou vont bientôt inaugurer, 14 stations de traitement des eaux usées. Elles sont situées à M'zar, El Jadida, Oualidia, Meknès, Fès, Marrakech, Oujda, Settat, Soualem, Deroua, Sidi Rahal, Ras El Aïn, Ouled Saïd, et Sidi El Aïdi. Onze parmi elles sont dotées d'un système de traitement tertiaire, tel que le recommande l'Organisation mondiale de la santé (OMS). Celui-ci permet d'améliorer la qualité de l'eau épurée en vue de son rejet dans le milieu naturel ou d'une réutilisation. Au total, les régions publiques ont investi 2,713 milliards de DH dans ces infrastructures.

**Les stations d'épuration utilisent beaucoup d'énergie, ainsi tout en purifiant l'eau, on dégrade l'environnement, malgré que des moyens alternatifs soient recherchés et leur installation nécessite une très grande surface et un coût très élevé.**

### **4- Le mode du système d'épuration utilisé dans le monde rural**

Selon les lectures menées et les études consultées, j'ai remarqué que l'ensemble des projets de l'assainissement rural se heurtent au choix entre deux modes de traitement, conditionné essentiellement par le nombre d'équivalent par habitant (EH). Ainsi, l'ensemble des études traite deux modes à savoir un « système collectif avec lagunage » et un système semi collectif à individuel par « fosse septique ». Le choix d'un tel processus ou un autre s'appuie essentiellement sur l'évaluation financière du projet de point de vue investissement et exploitation. J'ai retenu que globalement, les domaines d'application préférentielles d'une telle méthode ou autre se justifie comme suit :



**Figure 21 : Les domaines d'application préférentiels des principales techniques en matière d'assainissement des communes rurales (d'après Delevoye 1990)**

Après avoir un aperçut générale sur l'assainissement liquide et déterminer les modalités des différentes techniques d'épuration des eaux usées, nous avons déduit qu'ils sont basées sur des méthodes physico-chimiques, qui nécessitent du personnel spécialisé et des équipements spécifiques. Ces procédés sont donc très coûteux. De plus, dans la plupart des cas, ces méthodes ont un effet néfaste sur l'activité biologique et la fertilité des sols. Cela nous a poussés à chercher des voies de décontamination biologiques, qui utilisent le métabolisme et l'activité des organismes vivant qui présentent un net avantage sur les méthodes précédentes. En effet nous avons réfléchi à une démarche d'assainissement basé sur le principe de la phyto-remédiation.

### III-Données de base pour l'établissement du projet

La maintenance des engins circulant au fond de la mine se fait à l'atelier central au jour où leur lavage aussi est réalisé, et les eaux de lavage chargées des boues en provenance du fond de la mine drainent des sulfures jusqu'à la fosse de collecte des eaux usées. Le réseau d'assainissement collecte les eaux usées issues des douches, restaurant, toilettes, et les eaux issues de lavage des engins et nettoyage des ateliers.

Le dimensionnement de la station nécessite le calcul des mêmes paramètres (débit, vitesse d'écoulement de l'eau ...) calculés pour la réalisation d'une station d'épuration des eaux usées traditionnelle. Dans le cas de notre projet les analyses physico-chimiques des eaux usées de la mine montrent des teneurs élevées en sulfates et des valeurs de conductivité qui dépasse largement la norme d'irrigation (Tabl. 9). Les teneurs élevées en sulfates sont liées probablement à la présence des minéraux sulfatés dans certaines roches présentent dans la mine, sous forme de sulfate de sodium, de sulfate de magnésium et de sulfate de calcium (gypse). Aussi, les valeurs élevées de la conductivité peuvent être liées aux teneurs élevées en

ions de sulfate ( $SO_4^{2-}$ ) et de chlorure ( $Cl^-$ ). Ces données poussent les responsables de la mine à chercher des solutions d'épuration de ces eaux usées en vue de leur réutilisation plus particulièrement dans l'irrigation des espaces verts.

éléments	pH	Conductivité	So4 (ppm)	T° (deg c)	Hydrocarbures	Huiles et graisses
Normes d'irrigation	6.5 à 8.4	12000 $\mu s/cm$	250	35	20	20
Eaux de la fosse	7.1966	18820	1400	21.86	12.9	18

Tableau 8 : paramètres physico-chimiques des eaux usées de la mine de Draa Sfar.

#### IV-La technique proposée pour le traitement des eaux usées de la mine de Draa Sfar

La technique proposée pour l'épuration des eaux usées de la mine est intermédiaire entre les techniques : l'infiltration verticale, les bassins de sédimentation et de stockage, la fosse septique et le bassin de stockage (Figs. 18, 19 et 20). Son principe de base est composé respectivement d'une fosse septique, d'un filtre à sable, d'un filtre planté de roseaux et d'un réservoir de stockage dans lequel seront évacuer les eaux traitées et qui seront destinées par la suite à l'irrigation des espaces verts de la mine (Fig. 21). Le choix de la technique revient à ses performances épuratoires, car plus on ajoute des bassins de filtration, plus l'eau sera mieux purifiée.

#### V-Protocol expérimental

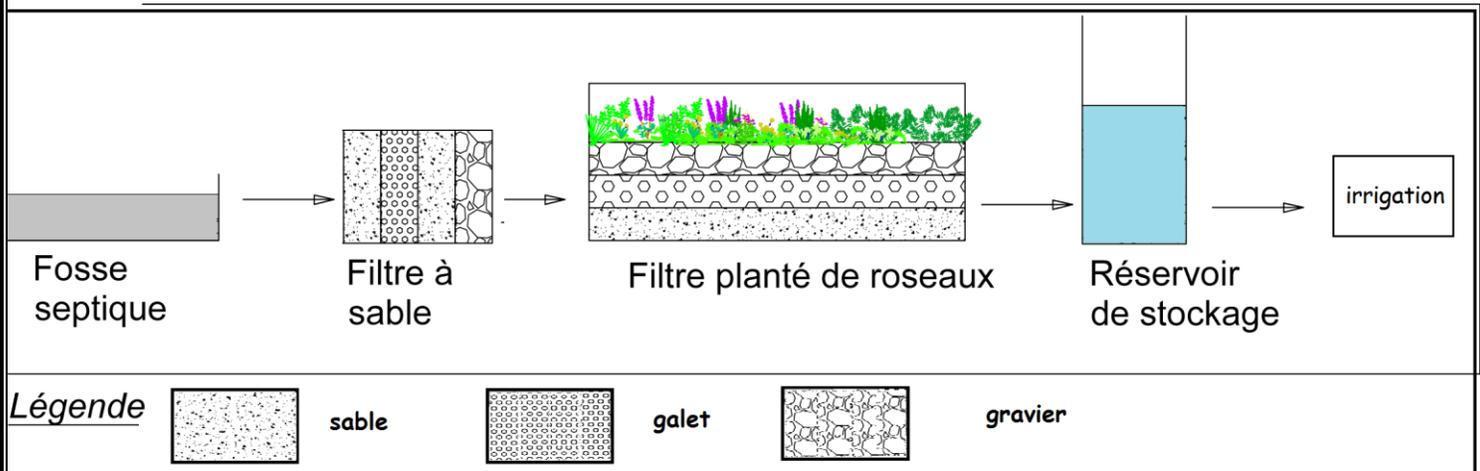


Figure 22 : schéma des composants de la technique proposée pour l'épuration des eaux usées de la mine de Draa Sfar

## VI-Ouvrages de traitement

### 1- la fosse septique

#### 1-1 définition de la fosse septique

Destinée à recevoir les eaux-vannes, la fosse septique est un élément faisant partie d'une installation d'assainissement non collectif dans les milieux ruraux ne disposant pas d'un réseau d'égouts. Dans le cas où la fosse reçoit à la fois les eaux-vannes et les eaux ménagères, on parle de « fosse toutes eaux ».

#### 1-2-description de la fosse septique

La fosse septique consiste en une cuve, généralement en béton, dans laquelle les matières solides décantent et se liquéfient grâce à l'action de bactéries anaérobies. Ainsi, un prétraitement des eaux usées est effectué avant que celles-ci ne soient rejetées dans la nature ou vers une station de traitement si le volume d'eau est important.

#### 1-3-rôle de la fosse septique

Le but d'une fosse septique est de faire décanter les matières solides en les rendant liquides, c'est-à-dire de les « hydrolyser ». Ainsi, leur traitement est nettement facilité. Cette liquéfaction est provoquée par fermentation au moyen de bactéries anaérobies, autrement dit, vivant sans oxygène.

La fosse septique assure le prétraitement de ces « eaux grises » où 30% de la pollution est éliminée. Les eaux usées se dirigent ensuite vers des tranchées d'épandage. A ce stade, les caractéristiques du sol ont une importance considérable. Il sera perméable mais pas trop, afin que les eaux souillées ne se dirigent pas trop vite dans la nappe phréatique.

#### 1-4- Schéma de fonctionnement d'une fosse septique

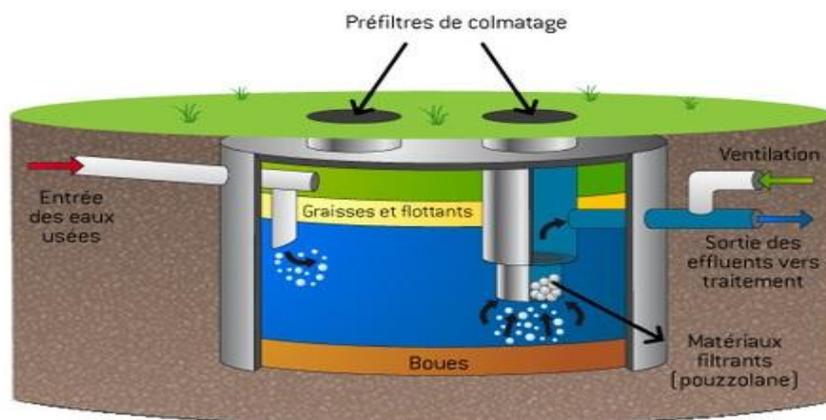


Figure 23 : schéma du fonctionnement d'une fosse septique

## 2-Le filtre à sable

Le filtre à sable, aussi appelé lit filtrant, est un traitement en sol reconstitué. Pour l'assainissement individuel, il faut installer une fosse toutes eaux ainsi qu'un dispositif de traitement des eaux usées, comme un **filtre à sable** ou un lit d'épandage. Il est aussi possible d'opter pour une solution tout en un : la micro-station d'épuration qui effectue à la fois le prétraitement et le traitement.

### 2-1- définition

Le filtre à sable, ou **lit filtrant**, vient en complément d'une fosse toutes eaux : les eaux usées sont d'abord traitées dans la fosse avant d'être conduites vers le filtre à sable. L'épuration de l'eau s'effectue grâce aux micro-organismes fixés sur le sable.

Le filtre à sable est un traitement **fréquemment utilisé en assainissement non collectif** et fait partie des traitements traditionnels. Ce type de filtre est utilisé :

- lorsque le sol en place n'est pas apte à infiltrer les eaux ;
- lorsque la surface disponible n'est pas suffisante pour les solutions d'épandage ;
- lorsque la nappe phréatique est proche.

Le sol naturel est alors remplacé par un sol reconstitué de sable siliceux lavé et de graviers. Le dispositif étant recouvert de 20 cm de terre végétale.

### 2-2 Caractéristiques du filtre à sable

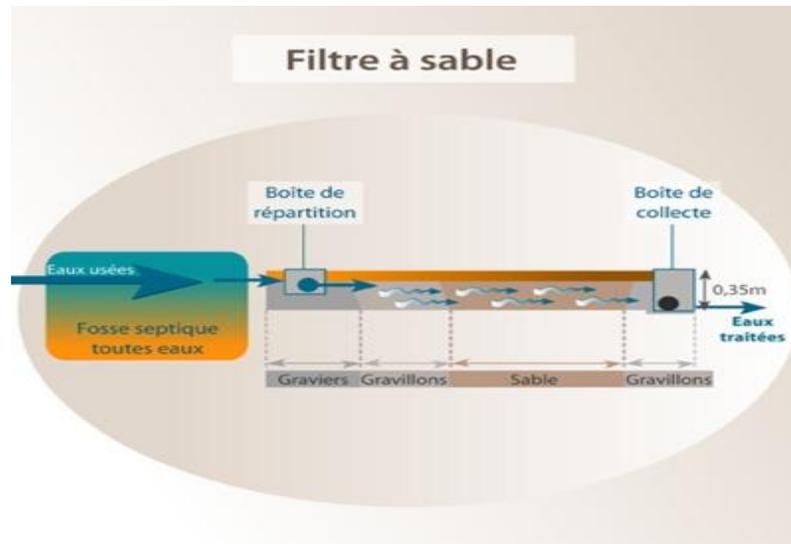
On trouve différents types de filtres à sable, mais ils présentent des caractéristiques communes :

- Le filtre est toujours constitué de sable et de graviers de différentes granulométries : ils permettent de débarrasser les eaux de toute substance polluante, avant d'être rejetées dans le milieu naturel.
- Les eaux passent toujours du milieu ayant la granulométrie la plus élevée (gros graviers) à la granulométrie la plus fine (sable).

### 2-3-Types des filtres à sable

Il existe différents types de filtre à sable : le choix se fait principalement en fonction du terrain à équiper.

- **Le filtre à sable horizontal**



**Figure 24 : filtre à sable horizontal**

Le filtre à sable horizontal se présente sous la forme d'une **fosse creusée dans le sol**. Une fois passées dans la fosse toutes eaux, les eaux usées :

- sont dirigées vers un regard de distribution qui va répartir les eaux de façon égale dans le filtre grâce à une canalisation de répartition (un drain rigide) ;
- passent ensuite à travers plusieurs couches de sable et de graviers. Elles sont réparties successivement d'amont en aval : des matériaux les plus gros vers les plus fins ;
- s'épurent ainsi par les micro-organismes présents, puis ressortent du filtre par une boîte de collecte avant d'être rejetées dans le milieu naturel.

**À noter : le filtre à sable horizontal est recouvert d'un film anti-contaminant qui garantit l'étanchéité entre le filtre et la terre végétale, mais qui laisse passer l'eau et l'air.**

### -Le filtre à sable vertical

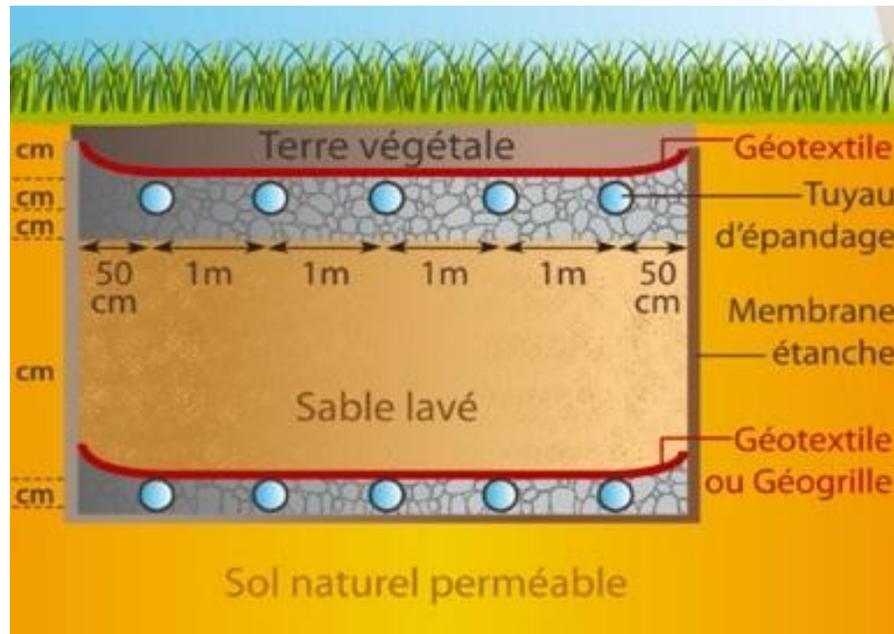


Figure 25 : filtre à sable vertical

Le filtre à sable peut aussi être vertical. Il doit alors comporter une épaisseur de 70 cm de gravier et de sable, toujours du plus gros au plus fin. La fosse doit être de 1,1 m à 1,70 de profondeur, pour une largeur maximum de 5 m et une longueur de 4 m minimum. L'écartement entre les tuyaux d'épandage est d'environ 1 m.

### 3-Filtres plantés de roseaux

Ce dispositif d'assainissement écologique est l'un des rares agréés, c'est-à-dire pouvant fonctionner sans fosse toutes eaux.

Les filtres plantés font partie des installations d'assainissement écologique avec le bambou d'assainissement, le lagunage, le filtre à coco, le filtre à sable et les toilettes sèches.

#### 3-1- Principe des filtres plantés

Les filtres plantés font partie des filières agréées. Le principe est d'utiliser des plantes pour épurer l'eau. Ces dispositifs peuvent faire l'ensemble des traitements de l'eau usée ou bien être utilisés en traitement après une fosse toutes eaux ou en complément de toilettes sèches.

Les eaux usées passent à travers des bassins remplis de graviers plus ou moins gros dans lesquels on plante différents végétaux macrophytes : roseaux, massettes, jonc, scirpes... Ces plantes, notamment le roseau, développent un système de racines qui drainent, oxygènent et favorisent les bactéries épuratrices aérobies (fig. 26).

Le système de racines évite également le colmatage. Le système produit peu ou pas de boue, mais de l'humus.

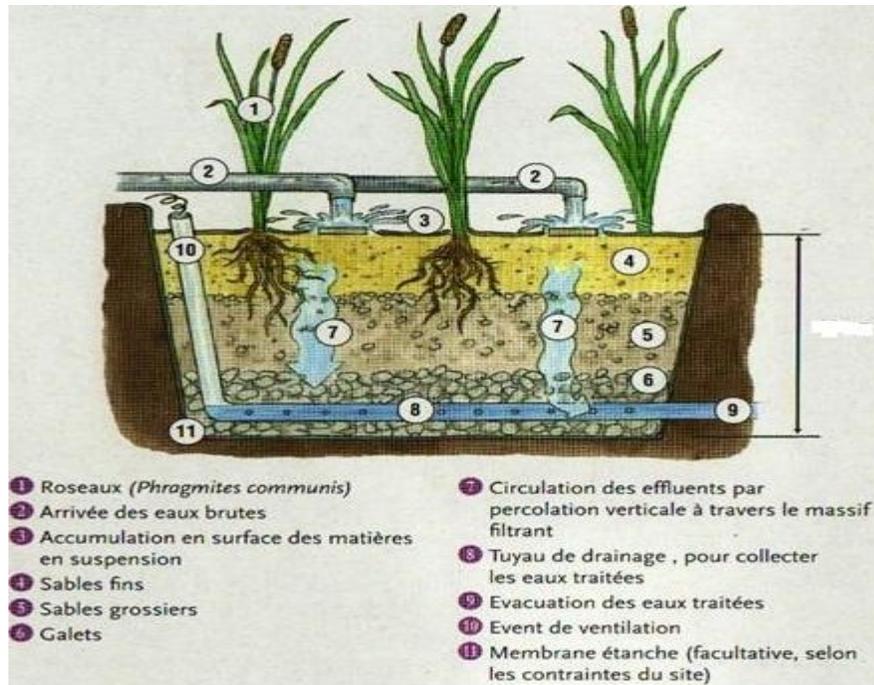


Figure 26 : filtre planté de roseaux

### 3-3- Fonctionnement des filtres plantés

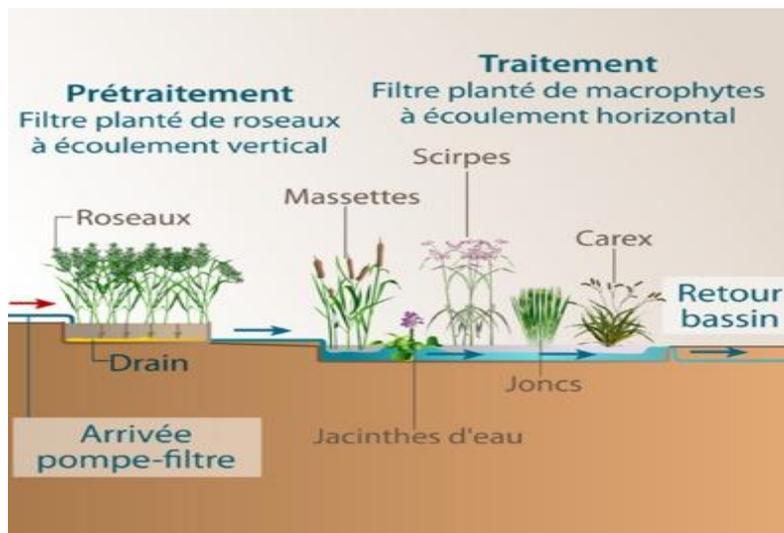


Figure 27 : fonctionnement d'un filtre planté de roseaux

La technique des filtres plantés repose sur l'existence de deux étages de filtres en série, garnis de graviers et de sable, sur lesquels se fixent des bactéries épuratrices. Les eaux usées collectées passe d'abord dans un pré filtre (une grille), pour récupérer les gros déchets.

Des bassins remplis de graviers de différentes granulométries (gros, moyens et fins) sont rendus étanches par une géo membrane.

On compte généralement deux bassins, l'un au dessus de l'autre. L'eau du premier étant drainée par le fond vers le second.

Dans le premier bassin, on installe principalement des roseaux.

Dans le second on peut y associer massettes, jacinthes d'eau, scirpes, joncs, carex et pourquoi pas menthe aquatique ou reines-des-prés.

Les massifs sont alimentés par les effluents bruts et non prétraités, ce qui rend cette filière particulièrement intéressante. Dans de bonnes conditions, cette solution d'assainissement offre des rendements épuratoires très élevés sur les matières organiques : jusqu'à 95 %. L'élimination des pollutions azotées et phosphorées peut atteindre 70 %.

**À noter : il existe une autre filière utilisant les plantes macrophytes, dite « filtre horizontal ». Un bassin est rempli de graviers et étanché par une géo membrane. On maintient un niveau d'eau jusqu'à 5 cm sous la surface. Mais cette filière ne se place qu'après un prétraitement en fosse toutes eaux, ce qui en réduit fortement l'intérêt. Par ailleurs, l'épuration dans un milieu faible en oxygène est moins efficace.**

**C'est un dispositif pratique et peu contraignant pour l'utilisateur**

Le système des filtres plantés est peu contraignant :

- une surface de 20 m<sup>2</sup> pour 5 habitants, 2 à 4 m<sup>2</sup> par habitant supplémentaire ;
- un entretien plus régulier que pour une installation traditionnelle, mais qui est d'ordre « jardinier », donc moins pénible et moins coûteux.

L'entretien consiste à réaliser un désherbage manuel ou mécanique :

- tous les 2 ans, les roseaux doivent être coupés après les premières gelées ;
- tous les 10 à 15 ans, selon l'état de sa formation, la couche superficielle de compost présente dans les filtres doit être enlevée.

#### **4-Le temps de rétention de l'eau dans le bassin**

Pour avoir un bon rendement, les eaux à traiter restent plus longtemps (plus de 20 jours) dans les bassins d'épuration pour traitement des effluents par lagunage aéré seul. L'emploi de la technique de filtres plantés prend un avantage pour cette durée. Le temps de rétention des effluents dans un bassin à filtres plantés est de 7 jours environ (Macrophytes et traitements des eaux, 2005). C'est pourquoi que les bassins se fonctionnent en alternance.

#### **5-Le dimensionnement du bassin**

Le calcul du dimensionnement des bassins dans un lagunage à macrophytes se fait en fonction du débit, en fixant la largeur à 5m et en faisant varier la longueur d'une façon qu'elle soit maximale à 13m.

Le débit à traiter : 1200 m<sup>3</sup>

- Dimensions du filtre à sable :
  - Largeur : 5m
  - Longueur : 5m
  - Profondeur : 60 cm

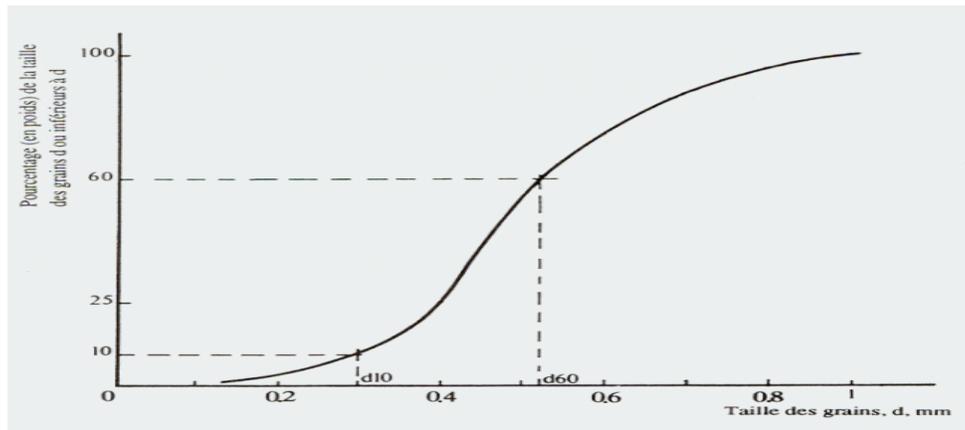
- Dimensions du filtre planté :
  - Largeur : 10m
  - Longueur : 5m
  - Profondeur : 60 cm
  - 4 roseaux/m<sup>2</sup>

## VII-Les rendements de la technique

### 1-La fosse septique

La diminution de DBO (demande biochimique d'oxygène) obtenue varie entre 30 % et 50 %. La diminution des MES (matières en suspension) se situe entre 20 % et 90 %. Il y a peu ou pas de diminution de germes pathologiques ni d'azote. D'où la nécessité d'évacuer l'effluent vers une station d'épuration collective.

### 2-le filtre à sable



**Figure 28 : efficacité du filtre en fonction de la granulométrie  
(Source : Centre International de l'Eau et de l'Assainissement)**

En principe à granulométrie fine, le lit filtrant peut être constitué de n'importe quel matériau stable. On emploie le plus fréquemment le sable car il est bon marché, inerte, durable, et donne d'excellents résultats (voir schéma ci-dessus). On choisit normalement du sable dont la dimension des grains se situe entre 0,15 et 0,30 mm (il faut parfois le tamiser) et dont le coefficient d'uniformité est inférieur à 2 (bien qu'acceptable jusqu'à 5). Pour le bon fonctionnement du processus d'épuration, il faut prévoir un lit filtrant d'une hauteur minimum de 0,6 mètre.

Paramètres de la qualité de l'eau	Effet d'épurations de la filtration sur sable
Couleur	Réduction de 30 à 100%
Turbidité	La turbidité est généralement réduite jusqu'à 1 UNT
Coliformes fécaux	Réduction de 95 à 100 % et souvent 99 à 100 %
Cercaires	Elimination presque complète de schistosomes, cystes et œufs
Virus	Elimination complète
Matière organique	Réduction de 60 à 75 %
Fer et manganèse	Elimination en grande partie
Fers lourds	Réduction de 30 à 95 %

**Tableau 9 : rendement de filtres lents sur sable**  
(Source : Centre International de l'Eau et de l'Assainissement)

### 3-Le filtre planté de roseaux

L'efficacité moyenne de ce système est de 95% pour les MES, 69% pour la DCO, 78% pour le zinc, 81% pour le plomb, 21% pour le cadmium et 82% pour les hydrocarbures totaux.

#### VIII-Les résultats obtenus

- en passant par le filtre à sable :

D'après la relation :

$$M_o = 2/3 \text{ DBO}_5 + 1/3 \text{ DCO}$$

$$\text{DBO}_5 = 154 \text{ mg/l}$$

$$\text{DCO} = 57 \text{ mg/l}$$

On obtiendra les résultats suivants :

Eléments	Avant passage	Rendement	Après passage
Mo	102mg/l	60%	41mg/l
DBO5	154mg/l	60%	62mg/l
DCO	57Mmg/l	60%	23mg/l

- en passant par le filtre planté de roseaux :

Eléments	Avant passage	Rendement	Après passage
Mo	41mg/l	60%	17mg/l
DBO5	62mg/l	60%	25mg/l
DCO	23mg/l	60%	10mg/l
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1400 ppm	70%	420mg/l

La teneur en so<sub>4</sub><sup>2-</sup> dépasse toujours la norme, c'est pour cela on ajoutera 4 roseaux / m<sup>2</sup> pour avoir de très bonne performances épuratoires.

## 1-Gestion et entretien

Une fois par an, en automne, il faut couper la partie végétative des roseaux. Cette opération qu'on appelle le faucardage, permet d'apporter de l'oxygène aux bassins. En effet, en hiver, les roseaux sont secs et ne peuvent plus apporter de l'oxygène par leurs racines. En revanche les rhizomes étant creux et toujours en place quelque soit la saison, l'air circule à l'intérieur et c'est ainsi que se fait l'aération des bassins essentielle aux bactéries.

Les roseaux doivent être coupés à environ 20-30 cm de la surface du bassin, afin que les effluents n'entrent pas dans les tiges coupées (si l'eau gèle à l'intérieur des tiges, elle les fera éclater).

## 2-Avantages et inconvénients de la technique :

### ➤ Confort :

- Excellente intégration paysagère
- Aucune odeur
- Pas besoin de clôture
- Entretien facile
- Personnalisation possible de votre massif de roseaux
- Pas d'eau en surface

### ➤ Ecologie :

Plus près de l'environnement :

- Un traitement 100% naturel, sans produit chimique
- Durée de vie très longue (plus de 20 ans)
- Réutilisation des eaux traitées en irrigation
- L'exotisme d'un massif de roseaux

### ➤ Économie :

- Rapport qualité-prix excellent
- Coûts d'exploitation faibles
- Aides au financement proposées par l'État et les collectivités locales\*
- Éligible à l'Éco-Prêt à Taux Zéro\*
- Economie d'eau sur l'arrosage de votre jardin
- Une filière roseau a une durée de vie au-delà de 20 ans.

A contrario, la durée de vie constatée d'une filière classique utilisant un filtre à sable est de l'ordre de 10-15 ans

Domaine		Avantages / inconvénients
Technique	Avantages	<ul style="list-style-type: none"> <li>• exploitation simple : très faible technicité requise pour l'exploitant</li> <li>• alimentation directe par les eaux brutes, sans décantation préalable pour les filtres à écoulement vertical</li> <li>• acceptation des eaux parasites</li> <li>• maintien de la perméabilité par les roseaux : le colmatage des filtres est ainsi évité</li> <li>• pas ou peu de gestion des boues primaires</li> <li>• accumulation de boues minéralisées sans diminution de la perméabilité.</li> </ul>
	Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>• maintenance simple de faible durée mais régulière</li> <li>• risque de sous-charge de l'installation lors de la mise en service (problème de colonisation par les roseaux)</li> <li>• risques de colmatage, à la fin de l'hiver, par une hauteur importante de dépôts organiques non minéralisés à la surface du filtre, et donc une moindre oxygénation du milieu</li> <li>• faucardage annuel de la partie aérienne flétrie des roseaux, en hiver, à partir de la 2<sup>nd</sup>e année suivant la plantation</li> <li>• désherbage manuel sélectif avant la prédominance de la colonisation par les roseaux</li> <li>• période de plantation conseillée entre avril et octobre, entraînant un manque de souplesse dans la mise en eau d'installations neuves</li> </ul>
Economique	Avantage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• adapté aux petites collectivités et aux fonctionnements estivaux saisonniers</li> <li>• faibles coûts d'exploitation</li> <li>• rusticité du procédé</li> </ul>
	Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nécessité d'un dessabler</li> </ul>
Environnement	Avantage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• performances épuratoires satisfaisantes</li> <li>• désinfection partielle</li> <li>• bonne intégration paysagère</li> <li>• absence d'odeur</li> </ul>
	Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> <li>• faible dénitrification</li> <li>• Appréhension des agriculteurs pour la valorisation agricole des boues quant à la dissémination des roseaux</li> <li>• Il se pose la question du risque d'accumulation de pollution vers les plantes, notamment de métaux lourds ? (aucune étude à ce jour)</li> </ul>

Tableau 10 : avantages et inconvénients de la phyto-épuration

## Conclusion

La réalisation de ce projet de fin d'études m'a permis d'assimiler et de comprendre le fonctionnement et le dimensionnement des techniques de la phyto-épuration des eaux usées. Le système de la phyto-épuration est très pratique puisqu'il marche avec tous types de plantes, aussi bien les plantes macrophytes tels que les roseaux, que les plantes micropyles comme les micro-algues. Différentes techniques de phyto-épuration ont été inventées et testées dont la plus utilisée est celle des filtres plantés de roseaux.

En effet, la phyto-épuration est un système d'épuration biologique qui marche grâce aux plantes. Elle est très avantageuse comparée aux autres systèmes biologiques puisqu'elle traite les eaux convenablement, crée un écosystème sain et présente aussi un aspect esthétique. Pour le cas de la mine de Draa Sfar, les eaux usées n'ont pas encore atteint un niveau très élevé de pollution, Il s'agit d'eau de la catégorie 2 (qualité Moyenne) d'après la classification du conseil de l'union européenne (2011), et malgré que la technique n'a pas abattu toute la pollution mais elle a permis quand même de s'approcher de la norme. La technique de phyto-épuration proposée correspond à un système composé d'une fosse septique, d'un filtre à sable, d'un filtre planté de roseaux et d'un réservoir de stockage où seront évacuées les eaux traitées. Cette technique présente plusieurs avantages, nous citons entre autres :

- performances épuratoires satisfaisantes
- faibles coûts d'exploitation
- maintien de la perméabilité par les roseaux : le colmatage des filtres est ainsi évité
- Un traitement 100% naturel, sans produit chimique
- Durée de vie très longue (plus de 20 ans).

## Liste des figures

- Fig. 1 :** situation géographique du site minier de Draa Sfar  
**Fig. 2 :** log stratigraphique du site minier de Draa Sfar  
**Fig. 3 :** les différentes zones limitant l'amas sulfuré  
**Fig. 4 :** représentation des différentes formations de Draa Sfar  
**Fig. 5 :** carte mondiale montrant la couverture de l'assainissement de base (d'après l'OMS en 2002 )  
**Fig. 6 :** type des systèmes d'assainissement  
**Fig. 7 :** Les domaines d'application préférentiels des principales techniques en matière d'assainissement des communes rurales «d'après, Jean Paul Deleyoye 1990 »  
**Fig. 8 :** représentation des grands principes de phyto-remédiation  
**Fig. 9 :** exemples de plantes utilisées pour l'épuration des eaux usées  
**Fig. 10 :** jeune pousse de phragmite australis  
**Fig. 11 :** rhizome de phragmite australis  
**Fig. 12 :** aspect général de phragmite australis  
**Fig. 13 :** les types de systèmes du rhizome chez le bambou  
**Fig. 14 :** distribution mondiale du bambou  
**Fig. 15 :** le bambou à la pépinière expérimentale de Maroc bambou développement  
**Fig. 16 :** cycle de traitement de la station d'épuration de la ville de Lude  
**Fig. 17 :** technique utilisée pour l'épuration des eaux usées de la région de sidi moussa El Hamri  
**Fig. 18 :** infiltration verticale avec un prétraitement (dégraissage et dessablage)  
**Fig. 19 :** Une fosse septique, un filtre planté à flux vertical et un bassin de stockage  
**Fig. 20:** Un bassin de sédimentation et filtre anaérobie avec un bassin de stockage des eaux traitées  
**Fig. 21 :** schéma des composants de la technique proposée pour l'épuration des eaux usées de la mine de Draa Sfar  
**Fig. 22 :** schéma du fonctionnement d'une fosse septique  
**Fig. 23 :** filtre à sable horizontal  
**Fig. 24 :** filtre à sable vertical  
**Fig. 25 :** filtre planté de roseaux  
**Fig. 26 :** fonctionnement d'un filtre planté de roseaux  
**Fig. 27 :** Efficacité du filtre en fonction de la granulométrie (Source : Centre International de l'Eau et de l'Assainissement)

## Liste des tableaux

- Tabl. 1 :** Valeurs limites pour les différents rejets que se soit directs (eaux pluviales), indirects (eaux usées) ou les eaux destinées à l'irrigation des cultures « Caractérisation physico-chimique des eaux usées d'abattoir en vue de la mise en œuvre d'un traitement adéquat : cas de Kenitra au Maroc »  
**Tabl. 2 :** Grille d'appréciation de la qualité générale des cours d'eau (Valeur des paramètres selon les niveaux de qualité) d'après Jean Paul Deleyoye 1990»  
**Tabl. 3:** les quatre grandes classes de la qualité de l'eau  
**Tabl. 4 :** Performances épuratoires de quelques systèmes naturels d'épuration des eaux usées par les Phragmites  
**Tabl. 5:** distribution mondiale du bambou  
**Tabl. 6 :** les qualités du Bambou  
**Tabl. 7 :** les qualités du traitement de la station d'épuration de la ville de Lude  
**Tabl.8 :** paramètres physico-chimiques des eaux usées

**Tabl. 9:** Rendement de filtres lents sur sable (Source : Centre International de l'Eau Et de l'assainissement)

**Tabl. 10 :** avantages et inconvénients de la phytoépuration

### **Références bibliographiques**

Centre International de l'Eau et de l'Assainissement (1988).

Chaguer N. (2012). Étude du bambou-assainissement du chef lieu de la commune rural de sidi moussa el Hamri., 35-37.mémoire de fin d'études

Delevoye J.P. (1990). Guide de l'assainissement des communes rurales.

OMS (2002). Couverture de l'assainissement de base dans le monde.

### **Sites web consultés**

<http://www.lenntech.fr/sulfates.htm>

[http://formad-environnement.org/2013-DEA\\_%20justoberthe.pdf](http://formad-environnement.org/2013-DEA_%20justoberthe.pdf)

<http://sites.univ-provence.fr/winfocom/site01/thema-le-bambou/>

[http://www.troussedeslacs.org/pdf/fiche\\_conductivite.pdf](http://www.troussedeslacs.org/pdf/fiche_conductivite.pdf)