

Remerciements :

En préambule à ce mémoire, je remercie ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces années d'étude.

Je souhaite adresser mes remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Mes remerciements sincères à **Mr BESSEDIK Madani** ainsi qu'à **Mr BENMANSOUR Abdelhalim** qui en tant qu'encadreurs de mémoire, se sont toujours montrés à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Egalement, je remercie les membres du jury **M^R CHERIF ZINE EL Abidine, M^{eme} BOUKLI HACENE Cherifa** et **M^r BOUMEDIENE Maamar** pour l'intérêt qu'ils ont porté à ma recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé :

Traiter une eau polluée de petites collectivités, cet action est impératif pour le développement des zones rurales et la protection de l'environnement.

Nous sommes intéressés au thème des économies d'énergies, ce thème est très vaste, donc nous avons ciblé notre réflexion sur la dépollution des eaux usées domestique en introduire l'énergie solaire.

Le but de ce travaille est d'étudier les différentes méthodes d'épuration des eaux usées et de choisir la filière pour introduire les énergies renouvelables afin de pouvoir concevoir une petite station d'épuration (500 EH) à lit bactériens qui fonctionne par l'énergie solaire, et une étude expérimentales de rabattement d'un lit bactérien par déffirentes granulométrie de garnissage (pouzzolane) pour améliorer la qualité de l'eau.

Mots clés : eaux usées, épuration des eaux, lit bactérien, énergie renouvelable, système solaire photovoltaïque, développement durable

Abstract:

To purify and treat a polluted water of small communities, these actions are imperative for the development of the rural zones and the environmental protection. Technical solutions exist to treat used water, but very often require the recourse to a power supply. We are interested in the topic of energy saving, this topic is very vast, therefore we targeted our reflexion on the depollution of worn water domesticates to introduce solar energy of it.

The goal of this works is to study the various methods of purification of worn water and to choose the die to introduce renewable energies in order to be able to conceive small a station of purification (500 EH) to bed bacterial which functions by solar energy, is a study experimental of folding back of a bed bacterial by demolished size grading of garnishing (pouzzolane) for improved quality of water.

Keywords: used water, purification of water, reads bacterial, renewable energy, photovoltaic solar system, and durable development.

ملخص:

معالجة المياه المستعملة في المناطق الريفية تساهم في تطوير و تنمية هذه المناطق و حماية البيئة. يوجد عدة حلول لمعالجة المياه المستعملة و تطهيرها و لكن في المناطق الريفية يجب توفير مصدر للكهرباء, في هذا البحث سوف ندرس طريقة معالجة المياه المستعملة التي تعتمد على الطاقة الشمسية. الهدف من هذا العمل هو دراسة مختلف طرق تنقية المياه المستعملة و اختيار الأنسب الذي يتماشى مع الطاقة المتجددة و تصميم محطة صغيرة لمعالجة المياه المستعملة (500 EH) المدعومة بالطاقة الشمسية كما قمنا بدراسة مخبريه لقدرة المرقد البكتيري على خفض تلوث المياه و قصد تحسين نوعية المياه النقية استعملنا حجمين مختلفين للبورولان. **الكلمات المفتاحية:** المياه المستعملة , معالجة المياه المستعملة , الطاقة الشمسية , التنمية المستدامة.

Liste des figures :

Figure 1.1 : Schéma de principe d'un lagunage nature	13
Figure 1.2 : Principe de fonction d'un lagunage aéré	15
Figure 1.3 : Principe d'un lit bacterien.....	19
Figure 1.5 : Disque biologique.....	27
Figure 2.1 : Croissance des émissions de CO2 liées à la consommation d'énergie fossiles..	39
Figure 2.2 : Consommation d'énergie en France	40
Figure 2.3 : Principe d'une éolienne	42
Figure 2.4 : Différentes énergies solaires	44
Figure 2.5 : Principe d'une cellule photovoltaïque	50
Figure 3.1 : Schéma d'un lit bactérien en couple verticale	67
Figure 3.2 : Pilote TE900.....	81
Figure 3.3 : La variation de la DCO en fonction du temps.....	83
Figure 3.4 : La variation de la DCO en fonction du temps.....	84

Liste des tableaux :

Tableau 1.1 : Facteur de β dépendant de la forme des barreaux.....	9
Tableau 1.2 : Les temps de décantation des différentes particules en fonction de leur dimension, leur densité.....	12
Tableau 1.3: Base de dimensionnement pour les lagunes aérées.....	17
Tableau 1.4 : Les caractéristiques de certains garnissages	20
Tableau 1.5 : Les caractéristiques de fonctionnement pour les eaux résiduaires urbaines:....	20
Tableau 1.6: Les points-clé du dimensionnement des lits bactériens	26
Tableau 1.7: Critères de dimensionnement.....	29
Tableau 1.8 : Composition générale des boues d'épuration	30
Tableau 1.9 : Avantages et les inconvénients de lits de séchage plantés de roseaux	33
Tableau 2.1 : Quantités de combustibles nécessaires pour produire 1000 MW par 1 an.	47
Tableau 2.2 : Émission de CO ₂ selon la source d'énergie	48
Tableau 2.3 : Prix du kWh selon la source d'énergie	48
Tableau 2.4 : Mode de montage des modules.....	53
Tableau 3.1 : Équipements susceptibles d'être alimentés par des énergies renouvelables....	58
Tableau3.2: Flux polluants spécifiques adoptés	59
Tableau 3.3: Charges hydrauliques.....	60
Tableau 3.4: Charges polluantes	60
Tableau 3.5 : Les valeurs limitants des paramètres de rejet dans un milieu récepteur	61
Tableau 3.6 : Les charges de l'entrée et à la sortie du décanteur-digesteur.....	67
Tableau3.7 : Bilan énergétique journalier de la STEP.....	74

Introduction générale

L'objectif de notre travail est de promouvoir des techniques simples de réduction des paramètres de pollution des effluents domestiques avec l'introduction des énergies propres (le système solaire), afin de mettre au point des stratégies de dépollution de ces eaux et ainsi préserver notre environnement.

L'augmentation de la consommation d'eaux potable, engendre un volume d'eaux usées de plus en plus important, le besoin de promouvoir l'épuration des eaux usées domestiques, avant d'être renvoyées vers les rivières ou la mer, ou de réutilisation dans l'irrigation, l'industrie et les usages municipaux. En zone rurale, en effet, outre les moyennes financiers, il faut tenir compte des spécificités de petites collectivités et trouver des techniques adaptées. Cependant, de nombreuses zones rurales sont éloignées du réseau électrique. Le coût de raccordement à ce réseau peut être élevé.

Pour résoudre le problème, il faut trouver les moyens de traiter efficacement les eaux usées

La station d'épuration reste un outil fondamental pour le traitement des eaux usées, dans ce travail on présente les différentes étapes de traitement des eaux usées et étudie les différentes filières de traitements biologiques avec l'introduction des énergies renouvelables pour alimenter la station par ces besoins énergétiques, en fait une comparaison entre les énergies fossiles et propres, et présente les compositions d'un système solaire.

Pour améliorer la qualité des eaux usées, nous allons travailler sur une mini station d'épuration TE900, en fait des analyses sur un lit bactérien par matières traditionnelles (pouzzolanes) pour étudier le rabattement de la pollution domestique des eaux de AIN EL HOUT, en prend les mesures de DCO à l'entrée et à la sortie du lit de différentes granulométries.

Différentes étapes seront nécessaires afin d'atteindre l'objectif escompté, on va distinguer donc 3 chapitres avec expérience laboratoire:

- Le premier chapitre présente des méthodes de dimensionnement des petites stations d'épuration (500 à 800 EH)
- Le deuxième chapitre en fait d'une comparaison entre les énergies fossiles et les énergies renouvelables, et donne un aperçu général sur le dimensionnement d'un système solaire photovoltaïque.
- Le troisième chapitre traite le dimensionnement d'une station d'épuration type lit bactérien de cinq cent équivalent habitant (500 EH) fonction à l'énergie solaire photovoltaïque plus une étude laboratoire de rabattement de pollution d'un lit bactérien avec matière traditionnelle (pouzzolane)

1. Chapitre I : épuration des eaux de petites collectivités de 500 à 800 EH

1.1. Introduction

Afin de mieux comprendre ce chapitre, on a envisagé de mettre en exergue la définition de l'eau usée. En effet, ce composé chimique doit être traité avant de le réintroduire vers d'autres sources d'eaux pour éviter leur pollution.

On distingue trois types d'eau usée:

- Les eaux de ruissellement : ce sont les eaux de pluie, de territoires, de lavage des routes, ainsi que les différents polluants qui s'écoulent dans les égouts, leur pollution est variable.
- Les eaux usées domestiques : comprennent les eaux ménagères (eaux de cuisines, eaux de douches ...etc.) et les eaux vannes (les eaux de toilettes). Elles sont relativement faciles à traiter.
- Les eaux usées industrielles : ce sont les eaux qui proviennent d'une zone d'activité, de sources agricoles. Elles contiennent des substances minérales et organiques ; leur pollution est variée. Leur traitement est difficile.

Dans les zones rurales les eaux usées sont de nature domestique, on a identifié des systèmes d'épuration simples et des faibles contraintes d'exploitation.

Ce qui va suivre présentera les systèmes d'épuration de petites collectivités (500 à 800 EH), et les méthodes de dimensionnement de ces systèmes.

1.2. Spécificité de petites collectivités

Afin d'améliorer le niveau de vie des communautés rurales, on doit en premier lieu faire des réformes économiques et techniques fixant le cadre de l'assainissement, et le traitement des eaux usées des collectivités rurales. Le niveau de traitement donne des résultats requis pour permettre de maintenir l'eau de qualité fixe

En second lieu, les contraintes locales particulières (taille de la collectivité, réseau, site, nature de sol, nature de l'urbanisation, etc.) guident alors le choix du procédé.

D'autre part, une contrainte relative au coût afférent à une exploitation minimale, et acceptable, doit être analysée, pour garantir la fiabilité satisfaisante du traitement qui est toujours recherchée.

En outre, pour la plupart des procédés, c'est en premier lieu le coût de la main d'œuvre qui s'avère primordial dans les conditions actuelles.

Pour certaines filières (lagunage aéré par exemple), le coût énergétique peut être le facteur économique dominant. D'autres encore ne se sont pas développés du fait du coût excessif des

réactifs ou du remplacement des composants. Certaines collectivités peuvent se trouver dans l'incapacité de financer, au niveau de l'exploitation nécessaire, le système de traitement qu'elles ont choisi, par exemple des boues activées même bien conçues, pour 100 ou 200 EH.

1.3. Estimation des rejets et charges polluantes

1.3.1. Équivalent-Habitant (EH)

L'équivalent habitant est la quantité de pollution émise par un habitant en un jour, cette quantité s'exprime selon les différents paramètres de mesure de la pollution (DBO₅, DCO, MES, NTK.....) L'équivalent habitant est une unité de mesure permettant d'évaluer la capacité d'une station d'épuration. A base de ce nombre d'équivalent habitant(EH), on fait le dimensionnement d'une station d'épuration [1].

1.3.2. Débits

Si l'on dispose de données mesurées, il sera facile d'évaluer la valeur du débit moyenne journalier correspondant à la population en place. En revanche, s'il n'est pas possible de réunir les informations indispensables on aura recours à un certain empirisme ; des valeurs moyennes ont été établies par la statistique dans la fourchette de 80 à 200 litres (couramment 150 litres) par habitant en un jour, suivant les types d'habitat et l'importance de l'agglomération, auxquelles il faut ajouter les volumes utilisés par les gros consommateurs : activités spécifiques, commerces, établissement scolaires ou hospitaliers, casernes etc. [2].

On distingue 3 types de débit (moyen horaire journalier, débit diurne et le débit de point).

Le débit moyen horaire journalier est la moyenne du débit observé au cours de la journée, mesuré à l'arrivée de la station d'épuration. L'enregistrement des débits moyens horaires d'eaux usées présente dans les cas généraux, une allure identique illustrée par une courbe en cloche. On observe un débit très faible entre 0 et 7h, une croissance rapide du débit entre 7 et 9h, une période de fort débit entre 9 et 14h au cours de laquelle la pointe se situe, suivant les cas, en début ou en fin de matinée ; il s'en suit un creux aux cours de l'après-midi et une reprise en fin de la journée jusqu' aux 20 à 22hen décroissance constante jusqu'à minuit.

Le débit moyenne horaire journalier est donné par :

$$Q_m = \frac{Q_j}{24} \quad (\text{I.1})$$

Le débit moyen diurne correspond à la période diurne de 16h consécutives au cours de laquelle, la station reçoit le plus grand volume d'eaux usées. Elle s'étend généralement de 8 à 24h.

Le coefficient de débit diurne est le rapport du débit moyen diurne au débit moyen journalier

(80% du volume journalier est reçu en 16h, et les 20% restantes qui s'écoulent pendant la période creuse correspondent à 8h).

Le débit moyen diurne est donné par :

$$Q_d = \frac{Q_j}{16} \quad (\text{I.2})$$

En fait, suivant les conditions et l'importance des rejets, la période de débit maximum varie entre 14 et 18h. Suivant le type d'agglomération, on déterminera la période de débit maximum.

Le débit de point de temps sec conduit à définir un coefficient de point comme étant le rapport du débit de moyen de l'heure la plus chargée au débit moyen journalier Q_m (l/s) par la formule :

Pour $Q_m \geq 2,8$ l/s :

$$C_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}} \quad (\text{I.3})$$

Pour $Q_m < 2,8$ l/s :

$$C_p = 3$$

Le débit de point de temps sec est donné par :

$$Q_p = C_p * Q_m = Q_m \left(1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}} \right) \quad (\text{I.4})$$

Avec Q_m et Q_p en l/S [2].

1.3.3. Charges polluantes

Elles constituent les données de base servant au dimensionnement de la STEP.

A. Charge en DBO

La demande biochimique en oxygène DBO, exprimée en mg d'oxygène par litre, permet l'évaluation des matières organiques biodégradables dans les eaux [3].

Plus précisément, ce paramètre mesure la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction des matières organiques grâce aux phénomènes d'oxydation par voie aérobie.

La DBO_5 est la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C dans l'obscurité et pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique d'une fraction de matière organique carbonée.

Les charges en DBO apportées par les eaux brutes par jour et par habitant sont estimées comme suivant, en se basant sur le type de réseau [4]:

- Réseau séparatif : 54 g/hab. Jour ;
- Réseau pseudo-séparatif : 60 g/hab. Jour ;
- Réseau unitaire : 74 g/hab. Jour ;

B. Charge en DCO

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg d' (O₂/l), correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique est dans des conditions définies de la matière organique ou inorganique contenue dans l'eau .Elle représente donc, la teneur totale de l'eau en matières oxydables, par exemple les sels minéraux et les composés organiques. EN France les concentrations moyennes de la charge en DCO varies entre 300 à 1 000 (mg/l) pour les eaux usées domestiques.

C. Charge en matières en suspension(MES)

Les matières en suspension (MES) représente la quantité de pollution organique et minérale non dissoute dans l'eau, c'est-à-dire les matières décantable, colloïdale, Les MES se subdivisent en diverses formes (les matières volatiles en suspension MVS, les matières minérales en suspension MMS). Les charges en matières en suspension sont organisées selon un ordre de 70 à 90 g/hab./jour avec 70% de matières organiques et 30% de matières minérales. Ceci correspond à une charge en MVS de 50 à 64 g/hab. Jour et 20 à 25 g/hab. Jour pour des matières minérales [4].

D. Charge en matière azotés et phosphatés

Les teneurs en azote et en phosphore sont également des paramètres très importants. Les rejets excessifs de phosphore et d'azote contribuent à l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau

D.1. Matière azotés

C'est elle ou domine l'élément fertilisant azote (d'où le symbole « N »). Elle exprime par les paramètres :

- NTK : Azote total Kjeldahl=Azote ammoniacal + Azote organique (leur concentration dans les eaux usées domestique est entre 30 à 100 mg/l) [5].
- L'azote ammoniacal est présent sous deux formes en solution, l'ammoniac NH₃ et l'ammonium NH₄⁺, L'ammonium est souvent dominant ; c'est pourquoi, ce terme est employé pour designer l'azote ammoniacal (leur concentration dans les eaux usées domestique est entre 20 à 80 mg/l) [6], [5].
- L'azote global (NGL) : somme de toutes les formes d'azote présentes dans un échantillon.

D.2. Matière phosphatés

Le phosphore est présent dans l'eau sous plusieurs formes : phosphates, polyphosphates, phosphore organique ... ; les apports les plus importants proviennent des déjections humaines et animales, et surtout des produits de lavage, la concentration moyenne de phosphore totale

dans les eaux usées domestiques varie entre 10 à 25(mg/l). Les composés phosphorés sont indésirables dans les réservoirs de distribution d'eau potable, parce qu'ils contribuent au développement d'algues et plus généralement du plancton aquatique.

Agents d'eutrophisation gênant dans le milieu naturel, les phosphates n'ont pas d'incidence sanitaire et les polyphosphates sont autorisés comme adjuvants pour la prévention de l'entartrage dans les réseaux [3].

1.4. Dimensionnement des stations d'épuration de petites collectivités

1.4.1. Choix du site d'implantation de la station

Le choix du site d'implantation de la station d'épuration projetée a été effectué dans le cadre des études antérieures du programme d'assainissement de la ville. Les critères de ce choix ont porté notamment sur :

- La recherche d'un site suffisamment éloigné du périmètre urbain et des agglomérations importantes pour prévenir les risques de nuisances (odeurs et bruits) et offrant les possibilités pour des extensions futures au-delà de l'horizon du projet ;
- La possibilité d'acheminer de façon gravitaire les eaux usées vers la station d'épuration ;
- La proximité d'infrastructures de base (réseaux d'eau, d'électricité, de téléphone et des routes, etc..) ;
- La nature juridique du terrain devant abriter la station. Sur le plan foncier, ce terrain correspond à un domaine collectif à vocation agricole, et son acquisition ne posera pas de problèmes ;
- La nature géologique du terrain qui doit être favorable pour des travaux de terrassement, afin de minimiser le coût d'investissement de la station ;
- La proximité des zones potentielles de réutilisation permettant d'optimiser l'effort technique pour l'alimentation des périmètres d'irrigation par les eaux épurées ;
- L'existence d'un milieu récepteur formant l'exutoire naturel des eaux épurées en cas de non réutilisation.
- L'impact sur l'environnement, par la prise en considération des aspects suivants :
 - impact sur le milieu récepteur (Limnologie, faune, flore, etc.)
 - impact sur les sols et les nappes phréatiques,
- Aspects de caractère socio-économique (espace de loisirs, parcours sanitaires, etc.)

La dépollution des eaux usées nécessite une succession d'étapes faisant sont :

- ✓ prétraitement,
- ✓ traitement primaire,
- ✓ traitement secondaire (dit traitement biologique),
- ✓ traitement tertiaire

1.4.2. Prétraitement

Les dispositifs de prétraitement sont présents dans toutes les stations d'épuration domestiques, quels que soient les procédés mis en œuvre en aval. Ils ont pour but d'éliminer les éléments solides les plus grossiers susceptibles de gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements et protéger les ouvrages contre l'abrasion (sable, limons), le colmatage (algues) et la corrosion (CO₂). Ils se composent de 3 étapes, présentes ou non selon les besoins, à savoir :

- Le dégrillage : élimination des déchets volumineux,
- Le dessablage : élimination des sables,
- Le dégraissage – déshuilage : élimination des corps gras [7].

1.4.2.1. Le dégrillage

Le dégrillage consiste à faire passer les eaux usées au travers d'une grille dont les barreaux, plus ou moins espacés, retiennent les éléments les plus grossiers. Après nettoyage des grilles les déchets sont évacués avec les ordures ménagères. Le dégrillage est une opération indispensable qui permet de :

- protéger la station contre l'arrivée d'éléments grossiers susceptibles d'engendrer des bouchages dans les différentes unités de l'installation.
- séparer et évacuer facilement les matières volumineuses charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements suivants, ou en compliquer l'exécution.

On distingue deux types de grilles :

- Les grilles manuelles : elles sont généralement constituées par des barreaux droits en acier, de section cylindrique ou rectangulaire. Elles peuvent être verticales ou inclinées (60° à 80°). Ce type de grille est adapté plus particulièrement aux petites stations
- Les grilles mécanique : pour les grandes stations d'épurations (plus de 2000 eq habitant) elles permettent de diminuer notablement les interventions manuelles de nettoyage et sont adaptées à toute taille de stations. Les grilles mécaniques sont classées en deux catégories : les grilles droites et les grilles courbes.

En général, le choix entre une grille à nettoyage manuel et une grille à nettoyage mécanique,

porte sur le coût d'exploitation et l'importance de la station d'épuration, mais en pratique les grilles à nettoyage mécanique sont plus sollicitées pour les raisons suivantes :

- Installation importante ;
- Diminuer la fréquence des interventions manuelles ;
- Effluents chargés
- Risque d'arrivée brutale de matières volumineuses [40].

A. Dimensionnement

Pour dimensionner un dégrilleur on détermine le nombre de barreaux, l'écartement entre barreaux, de la section minimale et de la hauteur minimale, en se basant essentiellement sur les paramètres suivants :

-La vitesse de passage de l'eau à travers la grille qui doit être comprise entre 0,6 et 1,2 m/s

-Les pertes de charge dans la grille.

La section d'une grille est donnée par l'équation suivante :

$$S = \frac{Q_p}{(V.a.C)} \quad (I.5)$$

Avec :

S : section minimale (m²)

Q_p : débit de point (m³/s)

V : vitesse de passage à travers la grille (m/s)

$$a = \frac{e}{(e+s)} = \frac{\text{espace libre entre les barreaux}}{(\text{espace libre} + \text{épaisseur de barreaux})}$$

C: coefficient de colmatage = 0,1 - 0,3 pour grille manuelle

= 0,4 - 0,5 pour grille mécanique

Les pertes de charge au niveau du dégrilleur sont données par la formule de KIRSCHMER Suivante : [2].

$$\Delta h = \beta * \left(\frac{s}{e}\right)^{4/3} * \left(\frac{v^2}{2g}\right) * \sin(\theta) \quad (I.6)$$

Avec:

e : espacement entre barreaux (mm)

s : largeur apparente des barreaux face au courant (mm)

g : accélération de la pesanteur (m/s²)

θ : angle d'inclinaison de la grille avec l'horizontale en degrés

β : facteur dépendant de la forme des barreaux :

Tableau 1.1 : Facteur de β dépendant de la forme des barreaux

Forme des barreaux	β
Rectangulaire	2,42
Rectangulaire avec face avant circulaire	1,83
Circulaire	1,79
Rectangulaire avec face avant et arrière circulaire	1,67

Source (S.BECHIR et S. MARC., 2006).

Le calcul des pertes de charges permet de se renseigner sur le bon fonctionnement du dégrilleurs et la fréquence de son nettoyage.

Pour les eaux résiduaires urbaines, le volume de résidus retenus, exprimé en l/hab./an, varie en fonction de l'écartement des barreaux, selon une première approximation [8] :

$$V = \frac{120 \text{ à } 150}{e} \quad \text{(I.7)}$$

V : le volume de résidus retenus en l/hab./an

e : écartement des barreaux en mm

1.4.2.2. Le dessablage

Par après, les eaux usées passent par le dessablage. Ce dernier est constitué d'un bassin où la réduction de vitesse d'écoulement permet la décantation des sables qui seront récupérés par pompage. Par ce processus, les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 microns sont enlevés de l'eau, le dessablage a pour but :

- Éviter les dépôts dans les canaux et le colmatage des conduites ;
- protéger les organes mécaniques des pompes et autres appareils contre le risque d'abrasion ;
- Eviter de perturber les stades de traitement ultérieur, en particulier le réacteur biologique ;
- Réduire la production des boues.

Il existe différents types de dessableurs dont on distingue :

- les dessableurs couloirs simples, utilisés pour les petites stations, dans lesquels la vitesse d'écoulement varie avec le débit. Le sable est extrait manuellement d'une cunette de capacité de stockage d'environ 4 à 5 jours.
- les dessableurs couloirs à vitesse d'écoulement constante (0,3m/s). le temps de séjour est d'environ 1 à 2 min.
- les dessableurs circulaires à alimentation tangentielle. Le sable stocké dans une trémie centrale est extrait par pompe ou par émulseur d'air et envoyé dans un compartiment d'essorage gravitaire. Le temps de séjour est d'environ 2 à 3min

- les dessableurs rectangulaires aérés dans lesquels l'air insufflé provoque une rotation du liquide créant ainsi une vitesse constante de balayage de fond, perpendiculaire à la vitesse de transit. L'air insufflé, en plus de son rôle moteur, favorise par son effet d'agitation la séparation des matières organiques pouvant être agglutinées aux particules de sables [8].

A. Dimensionnement

Le dimensionnement d'un dessableur consiste à déterminer sa longueur, sa largeur et sa hauteur. Lorsque le canal est de section rectangulaire, le débit est directement proportionnel à la hauteur de charge

$$Q = H.l.V \quad (I.8)$$

H : la hauteur dans le canal pour Q

l : est la largeur du bassin.

V : est la vitesse de passage

Le calcul de la longueur du canal du dessableur à courant horizontal est effectué par [7].

$$\frac{H_{max}}{v_c} = t = \frac{l}{v} \quad (I.9)$$

Avec :

H_{max} : est la hauteur dans le canal pour Q_{max}

v_c : est la vitesse de sédimentation des particules les plus petites (environ 2,3 cm/s)

t : est le temps de rétention en sec

v : est la vitesse de passage (30cm/s)

l : est la largeur du bassin.

Pour ne pas remettre les sables en suspension, il y a lieu de vérifier la condition suivante :

$$\frac{l}{H} \leq 15 \quad H : \text{hauteur max d'eau dans dessableur}$$

1.4.2.3. Le dégraissage – déshuilage

La dernière étape du prétraitement est le déshuilage-dégraissage. Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide. Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient en suite. Cette technique permet d'éliminer 80 à 90% des graisses et matières flottantes (soit 30 à 40 % des graisses totales) [8].

1.4.3. Traitement primaire

Le traitement "primaire" fait appel à des procédés physiques, avec décantation plus ou moins aboutie, éventuellement assortie de procédés physico-chimiques, tels que la coagulation-floculation.

Ces traitements éliminent 50 à 60 % des matières en suspension, mais ne suffisent généralement plus pour satisfaire les exigences épuratoires de la réglementation actuelle.

Avec coagulation et floculation dans des décanteurs lamellaires, on peut éliminer jusqu'à 90 % des MES [41].

- La décantation primaire classique consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les «boues primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage. Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspension et réduit d'environ 30 % la DBO et la DCO. C'est une opération simple mais longue, ne nécessitant que peu de matériel, donc peu coûteuse, mais peu sélective. Elle ne met en jeu qu'une force extérieure constante, la pesanteur, et ne nécessite que d'éviter toute agitation.
- La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable. La coagulation qui permet d'éliminer jusqu'à 90 % des matières en suspension et 75 % de la DBO.

A. Principe

La décantation est un procédé permettant de séparer : soit une phase solide de matières en suspension dans un liquide de masse volumique moindre ; soit deux phases liquides non miscibles de densités différentes. Si on laisse reposer une suspension solide dans une phase liquide, on observe que les particules sous l'action de la pesanteur et de la poussée d'Archimède, tendent à tomber vers le fond ou à remonter à la surface selon leur densité et leur taille. Cette décantation peut cependant être relativement lente pour les très fines particules (sensibles à l'agitation thermique) et les liquides particulièrement visqueux. Toutefois, il est possible d'agir sur plusieurs paramètres pour augmenter la vitesse de sédimentation, à savoir :

- le diamètre des particules, en utilisant des flocculant.
- la différence de densité.
- la viscosité du fluide, qui diminue avec l'élévation de la température.
- la surface de base du bac.

Pour que la décantation soit efficace, il faut que la vitesse de sédimentation des particules soit supérieure à 8 m/h. Les temps de séjour augmentent lorsque la vitesse de décantation diminue donc entre 5 et 8 m/h, une étude économique est nécessaire pour choisir la meilleure alternative entre décantation et aéroflottation. [9], [42].

B. Théorie de la décantation

Les colloïdes sont des suspensions stables qui existent sous forme d'ions négatifs dans l'eau, impossibles à décanter naturellement. Ils peuvent être d'origine organique (acides humiques, bactéries) ou minérale (argiles, glaise) [43].

Ces substances sont, en partie, responsables de la turbidité et de la couleur de l'eau. La chute d'une particule dans l'eau est régie par la loi de Stokes :

$$v = \frac{g}{18 * \eta} * (\varphi_s - \varphi_l) * d^2 \tag{I.10}$$

g : Accélération de la pesanteur (kg/m.s).

φ_l : Masse volumique du liquide (kg/m³).

η : Viscosité dynamique (m³/kg).

φ_s : Masse volumique de la particule (kg/m³).

d : Diamètre de la particule(m).

Tableau 1.2 : Les temps de décantation des différentes particules en fonction de leur dimension, leur densité.

Type de particules	Diamètre (mm)	Temps de chute		
		Densité de 2.6	Densité de 2.0	Densité de 1.1
Gravier	10.0	0.013 sec	0.02 sec	0.20 sec
Sable grossier	1.0	1.27 sec	2.09 sec	20.90 sec
Sable fin	0.1	2.11 min	3.48 min	34.83 min
Glaise	0.01	3.52 H	5.80 H	2.42 J
Bactéries	0.001	14.65 J	24.19 J	241.9 J
Collédales	0.0001	4.12 A	6.66 A	66.59 A
Collédales	0.00001	412.2 A	665.9 A	6659 A
Collédales	0.000001	41222 A	66590 A	665990 A

Sec : secondes ; min : minutes ; H : heures ; J : jour ; A : années.

Source : www.concours-webgeneration.fr (consulté le 24/09/2012)

1.4.4. Les traitements "secondaires", l'élimination biologique des matières polluantes

Dans la grande majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuie sur des procédés de nature biologique, basés sur la croissance de micro-organismes aux dépens des matières organiques "biodégradables" qui constituent pour eux des aliments.

Les micro-organismes, les plus actifs, sont les bactéries qui conditionnent en fonction de leur modalité propre de développement [10].

L'air insufflé leur fournit l'oxygène nécessaire pour respirer et ils se développent en ce nourrissant de la pollution organique. Ces microorganismes exercent également un effet physique une rétention de la pollution par leur propension à ce rassembler en films ou flocons.

Les techniques de traitement biologique les plus couramment employées sont :

- bioréacteurs à culture libre (lagunage naturel et aéré, boue actives) ;
- bioréacteurs à culture fixée (lits bactériens, disques biologiques) ;

1.4.4.1. Bioréacteur à culture libre

A. Lagunage naturel

Le lagunage est une technique biologique d'épuration des eaux usées, où le traitement est assuré par une combinaison de procédés aérobies et anaérobies, impliquant un large éventail de micro-organismes (essentiellement des algues et des bactéries). Les mécanismes épuratoires et les micro-organismes qui y participent sont, fondamentalement, les mêmes que ceux responsables du phénomène d'autoépuration des lacs et des rivières [11].

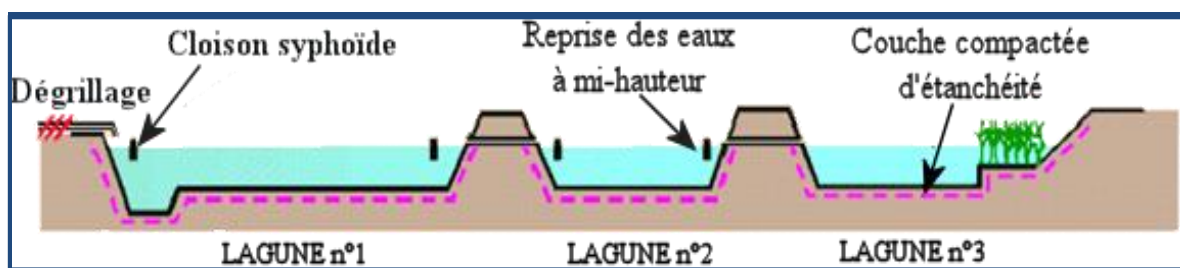


Figure 1.1 : Schéma de principe d'un lagunage naturel
SOURCE : <http://retraitementeaux.free-h.net>(consulté le 23/01/2013)

A.1. Principe

Le lagunage se présente comme une succession de bassins (minimum 2 et généralement 3) peu profonds (le plus souvent rectangulaires) dits lagunes. La surface et la profondeur de ces lagunes influencent le type de traitement (aérobie ou anaérobie) et confèrent un rôle particulier à chacune d'entre-elles. L'épuration par lagunage consiste à faire passer des effluents d'eau usée par écoulement gravitaire de lagune en lagune où la pollution est dégradée par [12] :

- L'activité bactérienne ;
- L'activité photosynthétique et l'assimilation des substances minérales ;
- Le pouvoir germicide de la lumière et de certaines algues.

L'épuration par lagunage naturel repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux en présence de rayonnements lumineux.

A.2. Domaine d'application

Le créneau privilégié d'application de ce procédé rustique peut être défini comme suit :

- Petites collectivités : 250 à 1500 EH (conseillé) voire 100 à 2000 EH (possible).
- Eaux résiduaires domestiques seules et peu concentrées ($DBO_5 < 300 \text{ mgO}_2/\text{l}$). Les réseaux strictement séparatifs sans eaux parasites sont à éviter.
- Nature du sol peu perméable (ou emploi de géomembranes si coefficient de Darcy $> 10^{-6} \text{ m/s}$).
- Acceptation de contraintes d'exploitation lourdes (curage, ...).
- Bonne élimination des germes pathogènes en été.
- Adaptation aux variations de charges hydrauliques (réseau unitaire, ...).

A.3. Dimensionnement

Le dimensionnement du lagunage naturel dépend de type de procédés mis en œuvre pour le traitement, du débit d'eau usées à traiter, du climat, le principe reste alors toujours le même. Les eaux vont passer successivement dans différents bassins dans lesquels différents organismes interviennent afin d'éliminer la charge polluante :

- La première lagune est le siège prépondérant de l'abattement de la charge polluante carbonée. En sortie de ce bassin, la concentration en algues microscopiques peut être importante.
- La deuxième lagune permet un abattement de l'azote, du phosphore et une réduction de la concentration en algues.
- La troisième lagune continue l'abattement obtenu dans la deuxième lagune. Elle permet aussi de conserver une bonne qualité de traitement lors d'un incident (dysfonctionnement) ou d'une opération d'entretien (curage) survenant sur le premier bassin.

Le fractionnement en trois unités contribue à obtenir une décontamination d'ordre sanitaire intéressante.

La profondeur des trois bassins est de 1m environ pour répondre à plusieurs contraintes : éviter la pousse des végétaux supérieurs (macrophytes), permettre une pénétration de la lumière et donc une oxygénation suffisante, et limiter les effets d'une éventuelle stratification thermique des bassins. [13]

B. Lagunage aéré

Le lagunage aéré est un procédé de traitement biologique, principalement aérobie, en cultures libres. Il se distingue aussi du lagunage naturel en ce que l'aération se fait artificiellement, soit en surface par des aérateurs ou des turbines flottantes (dans les pays chauds et tempérés), soit en immersion par insufflation d'air (dans les pays très froids) ; il nécessite des surfaces dix fois moindres que le lagunage naturel, de l'ordre d'un hectare pour dix mille habitants. Il se compose généralement de deux lagunes d'aération de 2,5 à 3 mètres de profondeur où les effluents séjournent environ 20 jours par temps sec et une lagune de finition d'une hauteur de 1 mètre, avec un temps de séjour de 1 à 2 jours [14].

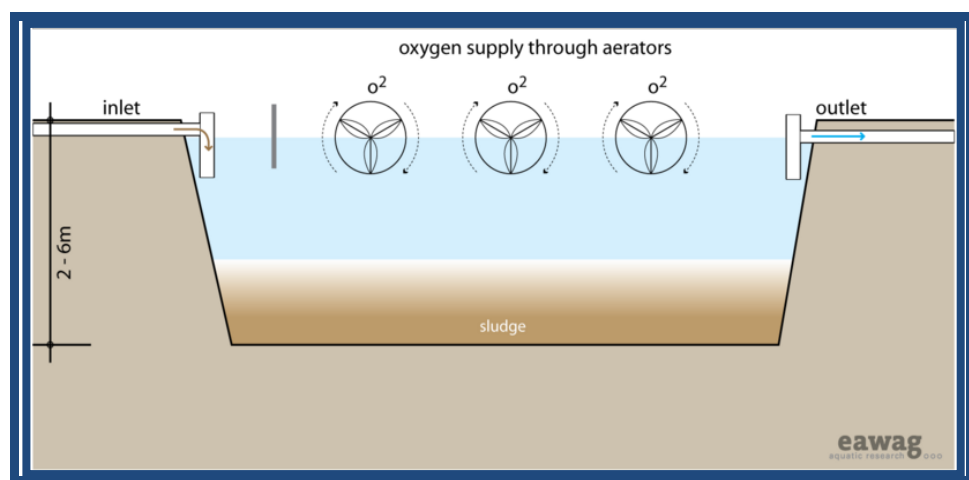


Figure 1.2 : Principe de fonction d'un Lagunage aéré

SOURCE : <http://retraitementeaux.free-h.net>(consulté le 23/01/2013)

Si ces lagunes aérées dégradent bien les matières organiques, elles ont l'inconvénient de libérer ensuite dans le milieu récepteur (rivière par ex.) les nitrates et phosphates, donc d'entraîner une pollution azotée et phosphatée de celui-ci, donc une eutrophisation. Il serait nécessaire d'envoyer ces eaux, avant leur rejet dans le milieu, dans des bassins à macrophytes pour terminer leur épuration.

B.1. Les type des lagunes aérées

Il existe deux types des lagunes aérées :

Lagune aérobie: dans laquelle l'oxygène et les M.E.S. sont uniformément répartis dans tout le bassin [15].

Lagune facultative (anaérobie-aérobie) : dans laquelle l'oxygène n'est présent que dans les couches supérieures du bassin et dans laquelle, seule, une partie des M.E.S. est maintenue en suspension. Le fond du bassin présente une zone anaérobie facultative (mixte).

Ces deux types de lagunage se distinguent principalement par la puissance à installer dans le

bassin. Dans le 1^{er} type et dans le cas des eaux usées urbaines, il est nécessaire de prévoir 5w/m^3 ; par contre dans le 2^e type, cette puissance est de l'ordre de $0,8\text{ w/m}^3$.

L'utilisation optimale de plusieurs bassins peut s'avérer plus efficace afin de :

- réduire les risques de prolifération des algues ;
- diminuer le temps de séjour ;
- réduire les risques d'odeurs dues à une activité microbienne anaérobie ;
- Assurer une vaste perdition calorifique et par conséquent élimination à une vitesse élevée [15] et [16].

B.2. Bases de dimensionnement

Le dimensionnement des lagunes aérées de traitement d'eaux résiduaires se calcule au moyen de la charge volumique et du temps de séjour. Il doit considérer une charge volumique en DBO_5 25 g/m^3 jour correspondant à un volume spécifique $2,4\text{ m}^3/\text{EH}$. En phase d'aération, même avec un apport important d'eaux parasites, le temps de séjour ne doit pas être inférieur à 5 jours. D'autre part, le besoin spécifique brut en oxygène pour dégrader les substances polluantes est basé à $1,5\text{ kg O}_2/\text{kg DBO}_5$.

En pratique, suivant les études, on atteint de bons résultats en disposant les aérateurs dans la lagune primaire de telle sorte que l'ensemble de l'apport d'oxygène s'effectue dans la zone la plus chargée. Concernant la circulation et l'homogénéisation, une puissance spécifique de 1 à 3 W/m^3 est nécessaire. La puissance varie en fonction du système d'aération et de la forme du bassin. Il est conseillé de fractionner le volume à aérer. La première étape correspondant à 60 % et la seconde de 40 % du volume total. Cette solution est plus efficace qu'en abaissant la charge volumique. Le temps de séjour favorise une biocénose avec un meilleur rendement [14].

Tableau 1.3: Base de dimensionnement pour les lagunes aérées

Paramètre	Base de dimensionnement
Temps de séjour	20 jours (temps de séjours réduit, en fait, à une quinzaine de jours après quelques années de fonctionnement suite au volume occupé par les dépôts de matières en suspension => il ne faut donc pas chercher à réduire ce temps de séjour lors de la conception).
Volume	3 m ³ par usager desservi.
Profondeur	2 à 3,50 m avec des aérateurs de surface (les turbines rapides de 4 kW correspondent à des profondeurs de l'ordre de 2,5 m, celles de 5,5 kW sont utilisées avec des profondeurs comprises entre 2,5 et 3) > 4,00 m possible avec insufflation d'air
Forme du bassin	Un carré autour de chaque aérateur
Puissance spécifique d'aération	Les besoins en oxygène sont de l'ordre de 2 kg O ₂ / kg DBO ₅ . Pour limiter les dépôts à un volume ne perturbant pas le traitement et, par ailleurs, prévenir la formation d'algues microscopiques, il est nécessaire de surdimensionner les aérateurs et d'utiliser une puissance comprise entre 5 et 6 W/m ³ . En fonctionnement, il est toujours possible de réduire le temps de marche de ces aérateurs par rapport aux temps de marche des aérateurs de puissance moindre, ce qui permet de limiter les surcoûts de fonctionnement.

Source : (P. PERERA et BAUDOT, 1991).

C. Avantages et inconvénients de Lagunage

Les avantages du lagunage sont :

- Bon Marché.
- système naturel et simple
- faible coûts d'exploitation.
- Système respectueux de l'environnement (Ecologique.)
- Elimine bien les éléments pathogènes.
- les coûts de fonctionnement sont faibles (Faible consommation d'énergie peu ou pas électricité)
- Elimine bien l'azote (70%) et le phosphore (60%).
- pas de contrat d'entretien ;
- Bonne intégration paysagère [46].

Les inconvénients du lagunage sont :

- Surface au sol importante.
- Contrainte due à la nature du sol.
- En cas de mauvaise fabrication ou exploitation, peut provoquer des nuisances (odeurs, moustiques ...).
- Difficulté d'extraction des boues (tous les 1 à 5 ans dans le premier bassin, tous les 10

à 20 ans dans les autres bassins).

- Pas de réglage possible durant l'exploitation
- Matière en suspension importante en rejet (organismes planctoniques) problématique pour de petits milieux récepteurs ;
- Mauvais traitement des métaux lourds [45], [47].

1.4.4.2. Bioréacteurs à culture fixée

Les procédés à cultures fixées sur supports grossiers sont intéressants pour les petites collectivités car ils offrent des contraintes d'exploitation limitées et de faibles coûts énergétiques. Les lits bactériens et les biodisques seront abordés dans ce document.

A. LES LITS BACTÉRIENS

Les lits bactériens est un procédé de traitement biologique aérobie à culture fixée. C'est une technique de traitement qui s'inspire de filtration par le sol. Le pouvoir auto épuratoire des sols permet une biodégradation des matières organiques.

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs (cf. schéma P19).

Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre-courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Le film biologique comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux [2].

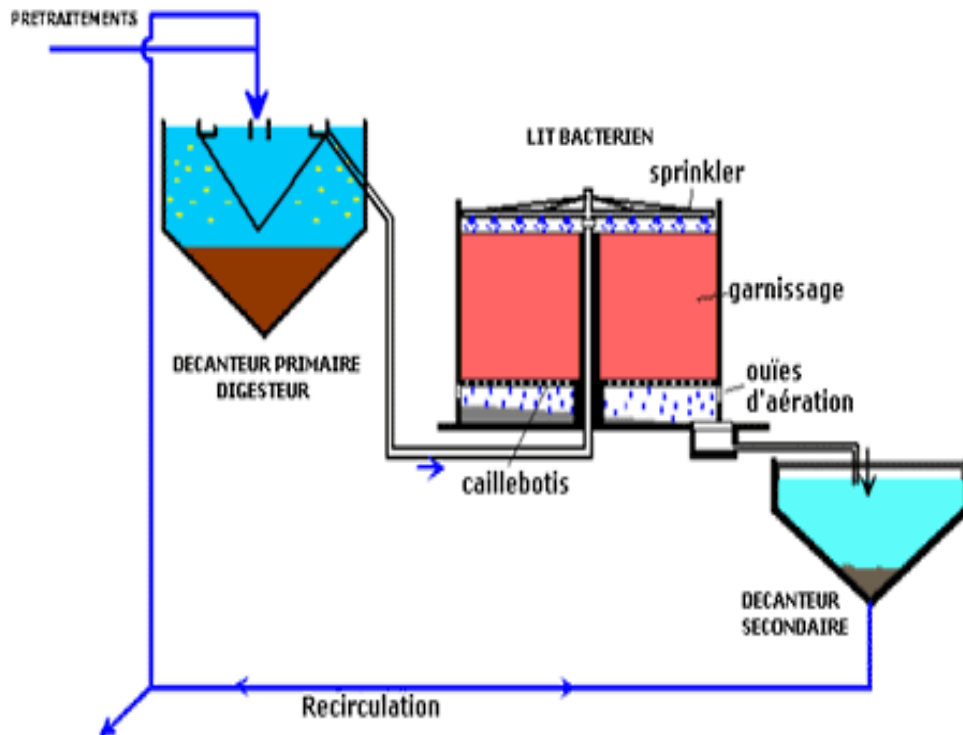


Figure 1.3 : PRINCIPE D'UN LIT BACTERIEN

Source : www.cartelleau.org (consulté le 12/04/2012)

Suivant la nature du matériau support (ou garnissage), on distingue :

➤ **Les lits bactériens à remplissage traditionnel (minéral)**

Dans ce cas on utilise comme matériau : la pouzzolane, ou des cailloux siliceux concassés dont la taille minimale est de 40 mm et la taille maximale est 80 mm, présentant un taux de vide de l'ordre de 50%. La hauteur maximale de remplissage est de 2,5 m. Ils sont peu employés en raison des risques de colmatage et de prolifération excessive de films biologiques filamenteux. Pour ce type de lit bactérien, une charge hydraulique maximale de 1,2 m³/m².h, permet d'atteindre des rendements supérieurs à 85% lors du traitement d'eaux usées domestiques [8].

➤ **Les lits bactériens à remplissage plastique**

Ces matériaux plastiques mis en œuvre en vrac ou ordonnés présentent des taux de vide supérieurs à 90%. Ils nécessitent une hauteur minimale de remplissage de 4 m environ. Les remplissages plastiques permettent de réduire considérablement les risques de colmatage et présentent un coefficient de transfert d'oxygène plus élevé que ceux à remplissage traditionnel.

Le tableau 1.4 : donne les caractéristiques de certains garnissages

Matériaux de garnissage	Densité (Kg/m ³)	Surface spécifique (m ² /m ³)	Indice de vide (%)
Pouzzolane	600	105	50
Galets	1600	90	50
Plastique vrac	40-80	95-200	95
Plastique ordonné	30-90	90-200	90

Source : A.EN-NAWAOUÏ., 2009.

A.1. Traitement primaire

Les cultures fixées sur supports grossiers nécessitent un traitement primaire en tête ne générant pas d'effluents septiques à traiter. Généralement, en tête des lits bactériens seront prévus des décanteurs-digesteurs

Le décanteur-digester assure :

- le dépôt des particules en suspension contenues dans les eaux usées préalablement prétraitées par simple séparation gravitaire,
- la digestion anaérobie de la fraction organique de ces dépôts progressivement accumulée.

A.2. Performances

Pourcentage d'élimination des MES = 50 % - de la DBO₅ = 30 %

A.3. Dimensionnement

Suivant la charge volumique appliquée, on distingue des lits à faible charge et des lits à forte charge

Tableau 1.5 : les caractéristiques de fonctionnement pour les eaux résiduaires urbaines:

Charge	Faible	moyenne	Forte
- DBO ₅ kg/m ³ .j	0,08 à 0,15	0,15 à 0,7	0,7 à 0,8
-charge hydraulique m ³ /m ² .h	< 0,4	0,4-0,7	> 0,7

Source : A.EN-NAWAOUÏ., 2009.

Les lits à forte charge nécessitent généralement une recirculation. Cette dernière a plusieurs avantages :

- L'autocrate du lit bactérien,
- L'ensemencement des eaux décantées,
- La dilution des eaux résiduaires à forte DBO.

La DBO éliminée sur un lit bactérien, dépend de la nature de l'eau à traiter, de la charge hydraulique, de la température et de la nature du matériau de remplissage. La formulation mathématique admet que dans un lit bactérien, les micro-organismes sont en phase de

croissance ralentie : [18]

$$\frac{S_f}{S_0} = e^{-k_1 \cdot t} \quad (I.11)$$

Avec

S_f : DBO₅ de l'effluent clarifié (mg/l),

S_0 : DBO₅ soluble de l'eau d'alimentation du filtre (mg/l),

t : temps de séjour moyen de l'eau dans le lit bactérien,

K_1 : constante dépendant :

De la température de l'eau,

Du matériau de remplissage,

De la nature de l'effluent à traiter.

La valeur de t est donnée par :

$$t = \frac{k_2 \cdot H}{Q^n} \quad (I.12)$$

Avec :

H : hauteur du lit,

Q : débit par unité de surface horizontale (m³/m².h)

K_2 et n : constantes.

On a donc:

$$\frac{S_f}{S_0} = \exp\left(\frac{-k_1 \cdot k_2 \cdot H}{Q^n}\right) = \exp\left(\frac{-k \cdot A_s \cdot H}{Q^n}\right) \quad (I.13)$$

Avec :

K = constante de biodégradabilité

A_s = surface spécifique du matériau plastique considéré (m²/m³)

n = coefficient calculé expérimentalement. Il est donné par :

$n = 0,91 - 21,48/A_s$ coefficient de remplissage

Les performances du lit bactérien sont influencées par la température du biofilm et celles des eaux appliquées. Une diminution de la température conduit à une diminution de la vitesse de respiration et de transfert de l'oxygène. L'influence de la température est décrite par la relation : (Eckenfelder)

$$K(T) = K_{20^\circ C} * 1,035^{(T-20)} \quad (I.14)$$

Avec :

T : température en °C.

- Calcul de la charge hydraulique

De l'équation (3) on tire Q :

$$Q = [k * A_s * \frac{H}{\ln(S_0/S_f)}]^{1/n} \quad (I.15)$$

Avec:

Q : charge hydraulique par unité de surface (l/m².s)

K : constante de biodégradable corrigée

H : hauteur de remplissage choisie (m)

S₀ : concentration en DBO₅ à l'entrée du lit (mg/l)

S_f : concentration en DBO₅ objectif de traitement (mg/l)

n : coefficient de remplissage (0<n<1)

- Calcul de la surface totale requise du lit

Elle est donnée par la formule suivante :

$$S_r = (Q_{mjs} * \frac{1000}{24*3600})/Q \quad (I.16)$$

Avec :

S_r : surface requise (m²)

Q_{mjs} : débit moyen journalier temps sec (m³/j)

Q : charge hydraulique par unité de surface (l/m².s)

- Calcul du volume rempli du lit

Il est donné par :

$$V_r = S_r * H \quad (I.17)$$

Avec :

V_r : volume rempli (m³)

S_r : surface requise (m²)

H : hauteur de remplissage choisie (m)

- Calcul de la surface unitaire d'un lit

C'est la surface totale requise du lit divisée par le nombre de lits choisis :

$$S_u = \frac{S_r}{N} \quad (I.18)$$

Avec :

S_u : surface unitaire (m²)

S_r : surface requise (m²)

N : nombre de lits choisis

- Calcul du diamètre requis du lit

Le diamètre requis du lit bactérien de forme circulaire est calculé par la formule suivante :

$$D_r = \sqrt{4 * \frac{S_u}{\pi}} \quad (I.19)$$

Avec :

D_r : diamètre requis (m)

S_u : surface requise (m^2) π

Calcul de la charge volumique :

La charge organique volumique d'un lit bactérien est donnée par :

$$C_v = Q_{mjs} * \frac{S_0}{V_{tr} * 1000} \quad (I.20)$$

Avec :

C_v : charge volumique (kg DBO5/ m^3 .j)

Q_{mjs} : débit moyen journalier temps sec (m^3 /j)

S_0 : concentration en DBO5 à l'entrée du lit (mg/l)

V_{tr} : volume total rempli (m^3)

A.4. Clarificateur

Le décanteur secondaire ou clarificateur est un bassin qui assure la séparation des eaux traitées de la biomasse. Son rôle essentiel c'est de séparer le floc bactérien de l'eau et ce par gravitation. Son dimensionnement consiste à déterminer sa surface et son volume nécessaire à cette opération [19].

Le décanteur secondaire est dimensionné uniquement sur sa seule capacité hydraulique.

Les critères de dimensionnement du clarificateur sont :

- Temps de séjour, temps sec >2,5 h
- Temps de séjour, temps pluvieux >1,5 h
- Charge surfacique $\approx 1,0 m^3 / (m^2 \cdot j)$ [8].

1^{er} calcul du débit par bassin

Le calcul du débit par bassin est donné par :

$$Q_b = \frac{Q_{mts}}{nb} \quad (I.21)$$

Avec :

Q_b : débit par bassin (m^3 /h)

Q_{mts} : débit moyen temps sec (m^3 /h)

Nb : nombre de bassin choisi

2^{ème} calcul de la surface de bassin requise

Elle est donnée par :

$$S_{br} = \frac{Q_b}{csts} \quad (\text{I.22})$$

Avec :

S_{br} : surface du bassin requise (m²)

Q_b : débit par bassin (m³/h)

Csts : charge surfacique temps sec (m³/m².h)

3^{ème} calcul du diamètre du bassin requis

Le diamètre du bassin requis d'un clarificateur circulaire est donné par :

$$D = \sqrt{4 * \frac{S_{br}}{\pi}} \quad (\text{I.23})$$

Avec :

D : diamètre en m

S_{br} : surface requise en m

4^{ème} calcul de la profondeur d'eau à la périphérie

La profondeur d'eau à la périphérie d'un clarificateur est donnée par :

$$H_{per} = w - \frac{(Is * Dc)}{3} \quad (\text{I.24})$$

Avec:

H_{per} : profondeur d'eau à la périphérie (m)

W : profondeur au 2/3 du D choisi (m)

Is : inclinaison du fond du bassin

Dc : diamètre choisi (m)

5^{ème} calcul de la profondeur d'eau intérieure

Elle est donnée par :

$$H_{int} = w + 2 * \frac{(Is * Dc)}{3} \quad (\text{I.25})$$

6^{ème} calcul de la profondeur d'eau au milieu

La profondeur d'eau au milieu d'un clarificateur est donnée par :

$$H_m = \frac{(H_{per} + H_{int})}{2} \quad (\text{I.26})$$

7^{ème} calcul du volume d'un bassin

Le volume d'un bassin d'un clarificateur est calculé comme suit :

$$\mathbf{Vu = Hm * A} \quad \mathbf{(I.27)}$$

Avec :

Vu : volume d'un bassin (m)

Hm : profondeur d'eau au milieu du bassin (m)

A : surface du clarificateur (m²)

A.5. Recyclage - Recirculation

Il existe différents modes :

- le recyclage d'eau clarifiée à l'aval du décanteur primaire
- la recirculation depuis le fond du clarificateur (eaux + boues secondaires concentrées) à l'amont du décanteur primaire

Il faut donc ne pas oublier de dimensionner les ouvrages correspondants en fonction du débit de recyclage.

Le recyclage a plusieurs objectifs :

- diluer les eaux brutes dont la concentration est trop élevée pour assurer un traitement secondaire efficace,
- nitrifier (en augmentant le nombre de bactéries autotrophes),
- augmenter le rendement par des passages successifs dans le massif filtrant,
- dénitrifier si la recirculation aboutit au niveau des prétraitements,
- éviter la prolifération des mouches,
- éviter les périodes de non alimentation du lit qui entraîneraient son dessèchement.

Tableau 1.6: Les points-clé du dimensionnement des lits bactériens

Paramètres	Unité	Valeurs standard ⁽¹⁾		Valeurs préconisées ⁽²⁾
Prétraitement				
Espacement barreaux dégrillage	cm	3		3
Décanteur-digesteur				
Vitesse ascensionnelle	m/h	1 à 1,5		1,5
Temps de séjour	h	1,5		/
Volume de digestion		1 à 1,5 x Vadmis		1,5 x Vadmis
Lit bactérien				
Hauteur de lit matériau traditionnel	m	2,5		2,5
Hauteur de lit matériau plastique	m	4		4
Charge organique				
Faible charge	kg DBO ₅ /m ³ /j	0,08 à 0,2		0,2
Forte charge	kg DBO ₅ /m ³ /j	0,7 à 0,8		0,7
Très forte charge	kg DBO ₅ /m ³ /j	1 à 5		1,1
Charge hydraulique				
Faible charge	m ³ /m ² /h	0,04 à 0,20		0,4
Forte charge	m ³ /m ² /h	0,6 à 1,6		1,05
Très forte charge	m ³ /m ² /h	1,5 à 3		1,05
Charge maximale	m ³ /m ² /j	40		25
Objectif de rejet	mg DBO ₅	≤ 35	≤ 25	≤ 30
Garnissage traditionnel				
Vitesse ascensionnelle	m/h	1,2	1,0	/
charge organique	kg DBO ₅ /m ³ /j	0,7	0,4	/
hauteur de matériau	m	2,5	2,5	/
charge hydraulique	m ³ /m ² /h	1,0	0,7	/
taux de recyclage	%	/	/	200
taux de recirculation	%	200	250	20
Garnissage plastique				
Vitesse ascensionnelle	m/h	1,2	1,0	
charge organique	kg DBO ₅ /m ³ /j	0,7	0,4	/
hauteur de matériau	m	4,0	5,0	/
charge hydraulique	m ³ /m ² /h	2,2	1,8	/
taux de recyclage	%	/	/	200
taux de recirculation	%	200	250	20
Clarificateur				
Vitesse ascensionnelle	m/h	1		1,4 si recyclage amont primaire, 1,0 si amont lit
Hauteur périphérique	m	2 (réseau séparatif) 2,5 (réseau unitaire)		2 (réseau séparatif) 2,5 (réseau unitaire)
Pente du radier (statique/raclé)	°	> 55 / < 5		> 55 / < 5

Source : Agence de l'eau. France, Juillet 2007

A.6. Avantage :

- faible consommation d'énergie ;
- fonctionnement simple demandant moins qu'une technique par boues activées.
- bonne décantabilité des boues ;
- plus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées ;
- généralement adaptés pour les petites collectivités et résistés au froid [11].

A.7. Inconvénients :

- performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. Cela tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'at.- teindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes
- coûts d'investissement assez élevés (peu- vent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ;
- nécessité de prétraitements efficaces ;
- sensibilité au colmatage ;
- ouvrages de taille importante [11].

B. LES DISQUES BIOLOGIQUES

Une autre technique faisant appel aux cultures fixées est constituée par les disques biologiques tournants. Les micro-organismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques étant semi-immergés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée. Il convient, sur ce type d'installation, de s'assurer :

- de la fiabilité mécanique de l'armature (entraînement à démarrage progressif, bonne fixation du support sur l'axe),
- du dimensionnement de la surface des disques (celui-ci doit être réalisé avec des marges de sécurité importantes).

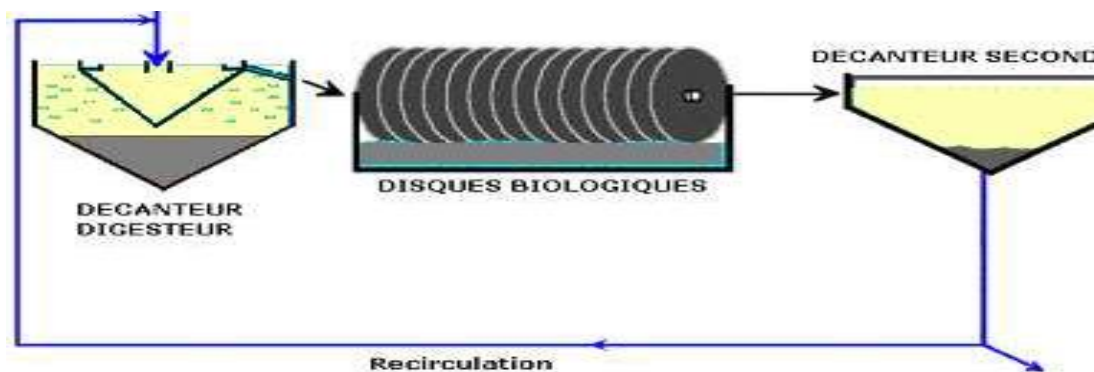


Figure 1.5 : Disque biologique (Source : www.cartelau.org (consulté le 12/04/2012))

B.1. Principe

Ce procédé de traitement biologique aérobie à biomasse fixée consiste à alimenter en eau usée, préalablement décantée voire tamisée, une cuve contenant des disques en rotation sur un axe horizontal.

Ces disques sont les supports d'un développement de microorganismes épurateurs (biofilm). Le mélange d'eau traitée et de biofilm décroché est dirigé ensuite vers un clarificateur pour la séparation des phases.

Les supports de la microflore épuratrice sont des disques partiellement immergés dans l'effluent à traiter et animés d'un mouvement de rotation lequel assure à la fois le mélange et l'aération.

Les microorganismes se développent et forment un film biologique épurateur à la surface des disques. Les disques sont semi-immersés, leur rotation permet l'oxygénation de la biomasse fixée.

L'effluent est préalablement décanté pour éviter le colmatage du matériau support. Les boues qui se décrochent sont séparées de l'eau traitée par clarification.

L'unité de disques biologiques est constituée de disques en plastique rotatifs montés sur un arbre dans un bassin ouvert rempli d'eaux usées. Les disques tournent lentement dans le bassin et lorsqu'ils passent dans les eaux usées, les matières organiques sont absorbées par le biofilm fixé sur le disque rotatif. L'accumulation de matières biologiques sur les disques en augmente l'épaisseur et forme une couche de boues. Lorsque les disques passent à l'air libre, l'oxygène est absorbé, ce qui favorise la croissance de cette biomasse. Quand cette dernière est suffisamment épaisse (environ 5 mm) une certaine quantité se détache et se dépose au fond de l'unité.

L'alternance de phases de contact avec l'air et l'effluent à traiter, consécutive à la rotation du support permet l'oxygénation du système et le développement de la culture bactérienne.

Lors de la phase immergée, la biomasse absorbe la matière organique qu'elle dégrade par fermentation aérobie grâce à l'oxygène atmosphérique de la phase émergée.

Les matériaux utilisés sont de plus en plus légers (en général du polystyrène expansé) et la surface réelle développée de plus en plus grande (disque plat ou alvéolaire) [20].

B.2. Dimensionnement [21]

Le dimensionnement (nombre de disque, capacité des cuves) est suivi le constructeur. Les données à fournir sont : la charge hydraulique, la charge biologique, la température de l'effluent la nature de prétraitement s'il existe la qualité de l'effluent désire a la sortie

Tableau 1.7:critères de dimensionnement

	A.T.V.	CEMAGREF
Elimination de la matière organique	Pour 2 unités en série : 8 g DBO5/m2/j Pour 4 unités en série : 10 g DBO5/m2/j	Pour pollution < 120 kg DBO5/j (DBO5 ≤ 35 mg/l) 9 g DBO5/m2/j Pour pollution > 120 kg DBO5/j (DBO5 ≤ 25 mg/l) 7 g DBO5/m2/j
Elimination de l'azote par nitrification	Pour 3 unités en série : 4 g DBO5/m2/j Pour 4 unités en série : 5 g DBO5/m2/j	4 g DBO5/m2/j

Source : P JOSEPH, P. Rakha, Laurent D Jacques et M .Jean-Marc., 2002.

Les avantages du disque biologique sont :

- consommation électrique faible ;
- Exploitation simple ;
- Bous bien épaissies ;
- Bonne résistance aux surcharges organiques et hydraulique passagères ;

Les inconvénients du disque biologique sont :

- Nécessite d'un personnel ayant des compétences en électromécanique (point faible de système)
- Abatement limite de l'azote ;
- Sensibilité de froid [16].

1.5. traitement de la boue

La station d'épuration produit en permanence des boues dont l'excès doit être évacuée à intervalles réguliers pour garantir un bon fonctionnement du système. En effet, l'extraction permet de maintenir une quantité de MES nécessaire et suffisante afin d'obtenir une qualité d'épuration optimale.

Ces boues, principalement constituées d'eau (> 97 %, le plus souvent) représentent des volumes importants que la filière de traitement des boues va s'attacher à réduire autant que faire se peut, afin d'abaisser les coûts d'évacuation de ces sous-produits de l'épuration.

Les boues issues des traitements mécaniques, physico-chimiques et biologiques des eaux usées représentent le principal déchet généré par les stations d'épuration urbaines, des quantités de pollution émises et du type d'habitat (rural ou urbain).

Dans tous les cas, il sera nécessaire de réduire la teneur en eau des boues, teneur qui représente en général 99 à 95% du volume des boues produites sur les STEP.

Cette déshydratation est nécessaire pour réduire les coûts de transport des boues

Une boue qui est destinée à être incinérée devra ainsi être tamisée, épaissie, déshydratée puis enfin séchée [49].

1.5.1. La production de boue

Le traitement des eaux usées a pour résultat de produire une eau propre, apte à être rejetée dans le milieu naturel, en faisant appel aux procédés de séparation liquide-solide.

Les phénomènes physiques, physico-chimiques et biologiques mis en jeu permettent de concentrer les éléments polluants l'eau et leurs produits de transformation dans des suspensions plus ou moins concentrées dénommées « boues ». Ces sous-produits, solides, se caractérisent principalement par leur siccité et leur teneur en éléments minéraux et organiques. Il est à noter que les éléments polluants souillant l'eau ne se retrouvent dans les boues que s'ils sont effectivement extraits de l'eau à rejeter [22].

Tableau 1.8 : Composition générale des boues d'épuration

Matière sèche (MS)	2 à 95% selon la siccité
Matière organique	50 à 70 % de la MS (30 % si boues chaulées)
Azote	3 à 9 % de la MS
Phosphore	4 à 6 % de la MS
Carbone/azote	à 12 %

Source : www.ADEME.fr (consulté le 12/04/2012)

1.5.2. Filières de traitement de boues

La destination finale des boues détermine le type de traitement qu'elle devra subir :

- Soit les boues seront évacuées sous forme liquide en vue d'épandage sur terres agricoles. Un épaissement des boues pourra être suffisant.

- Soit leur utilisation sous forme pâteuse ou solide imposera un épaissement et une déshydratation préalables.

La destination des boues est déterminée après une étude spécifique concernant notamment la valorisation agricole des boues.

1.5.2.1. Filière liquide

Sa mise en œuvre passe par la construction d'ouvrages de stockage des boues. Ces ouvrages, Silos ou lagunes, doivent permettre une autonomie de stockage de 6 à 12 mois selon les conditions locales (climat, culture, ...). D'une manière générale, les capacités de stockage des boues sont sous-dimensionnées.

Ces ouvrages seront impérativement brassés (homogénéisation du produit final) et doivent pouvoir être vidangés [21].

A. Epaissement

Pour des raisons économiques, il est intéressant de réduire les volumes de boues produites au cours du traitement des EU. L'épaissement des boues primaires et en excès est ainsi une étape essentielle avant leur stabilisation. En plus des systèmes traditionnels d'épaissement (épaisseurs à bandes et à tambours),

Le choix du meilleur procédé dépend des caractéristiques propres à chaque site : capacité de traitement, coûts d'investissement et d'exploitation, compromis entre flexibilité, fiabilité et complexité [23].

A.1. Epaisseurs gravitaires

Les épaisseurs gravitaires peuvent être choisis pour les stations de capacité < 1000 EH.

Deux raisons essentielles militent en faveur de temps de passage réduits des boues en phase d'épaissement :

- Un séjour prolongé des boues secondaires induit rapidement des phénomènes de fermentation. Les surnageants d'épaisseurs qui retournent en tête du traitement sont alors souvent septiques et responsables de problèmes biologiques (foisonnement, mousses) et de nuisances olfactives.

- Seules les boues biologiques « fraîches » se prêtent bien à une déshydratation ultérieure (mécanique ou gravitaire). [21]

A.2. Epaissement par égouttage

Cette technique permet d'obtenir des boues plus concentrées (60 à 70 g/l sur des boues biologiques) que les épaisseurs gravitaires. Elle présente l'avantage de fonctionner avec des boues (très fraîches) prélevées directement dans la bache de leur recirculation des boues. Le filtrat reste d'excellente qualité. Ces dispositifs d'égouttage, nécessitent peu de surveillance et sont à privilégier malgré leur surcoût en investissement

Il importe toutefois de souligner qu'un conditionnement préalable de la boue est indispensable pour faciliter son égouttage ultérieur. De plus, cet équipement, sensible au gel doit être abrité dans un local [21].

1.5.2.2. Filière pâteuse

▪ Systèmes de déshydratation mécanique

Ils restent peu employés dans les petites collectivités à cause de leur coût et des contraintes qu'elles génèrent (conditionnement des boues, réglages, ...).

1.5.3. Lits de séchage plantés de roseaux

A. Principe

C'est un procédé de traitement des boues qui permet l'épaississement, la minéralisation et le stockage. Les boues produites par la station d'épuration sont directement extraites du bassin d'aération et alimentent le lit planté de roseaux, les roseaux les plus utilisés sont : Phragmites communis. L'eau contenue dans les boues s'infiltré à travers le massif filtrant constitué de plusieurs couches de matériaux (sable, gravier, galets ...) et est récupérée ensuite par des drains. La boue est retenue à la surface du massif [24].

Cette technique intéresse de plus en plus les petites collectivités car elle présente les avantages et les inconvénients suivants :

Tableau 1.9 : avantages et les inconvénients de Lits de séchage plantés de roseaux

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> -Filière rustique demandant peu de technicité sur le plan de l'exploitation -Coût d'exploitation le plus faible -Expériences très positives en terme de traitement (fonctionnement hivernal satisfaisant et ceci contrairement aux lits de séchage) -Stockage des boues sur 5 années avant les premiers enlèvements (report des coûts d'exploitation) -Réduction du volume de boues produites (effet de minéralisation associée à une filtration naturelle) -Filière écologique sur le plan de l'exploitation : peu consommatrice d'énergie fossile (déshydratation naturelle) et absence d'utilisation de produits spécifiques (polymères, sables, chaux ...) -Pas de risque de repousses des rhizomes dans les champs si l'épandage est direct, à condition de respecter certaines consignes : épandage d'été sur sol sain (absence d'hydromorphie de surface). -Pas de nuisances olfactives en fonctionnement normal du dispositif 	<ul style="list-style-type: none"> -Mise en route de l'installation délicate impliquant de suivre à la lettre les modalités définies par le constructeur -Coût d'investissement le plus élevé (structure béton) -Produits pâteux rendant l'épandage direct en agriculture plus délicat -Pas de solution alternative au compostage et tout particulièrement en cas de pollution des boues -Nécessité d'une superficie importante pour l'implantation des lits -Filière moins écologique à la construction : utilisation de beaucoup de béton, matériaux nécessitant beaucoup d'énergie pour sa production. -Nécessité d'une grande rigueur dans la conception et le choix des matériaux filtrants -Fragilité des ouvrages en cas de bassin équipés de membranes d'étanchéité

SOURCE : (N. LUTZ., 2010.),(Limoges., Juin 2008)

Il s'agit de procédés adaptés aux stations rurales. Au delà de 2000 EH, les coûts d'investissement deviennent prohibitifs dans le cas de casiers construits en béton. Il est alors possible de passer à la création de bassins étanchéifiés avec une membrane jusqu'à 4000 EH

B. Dispositions constructives :

Voici quelques dispositions constructives visant un bon fonctionnement du lit de séchage plante de roseaux :

- Pour une charge de l'ordre de 50 kg MS/m².an, le dimensionnement correspond à 0,25 m²/EH. Il doit être basé sur la charge nominale de l'installation, mais une sous charge (50 % du nominal par exemple) durant les deux premières années permet un départ plus rapide des roseaux. En cas de variation estivale, on peut envisager un dimensionnement l'été de l'ordre de 0,17 m²/EH et 0,34 m²/EH l'hiver.
- Les apports doivent être répartis dans la journée mais suivis de périodes de repos de l'ordre de 10 jours pour favoriser le ressuyage et la minéralisation des boues. Il est nécessaire de prévoir plusieurs lits. (Quatre lits voire plus selon les quantités à traiter) afin de respecter les périodes de repos sur chaque lit.
- La géométrie et la disposition du lit doivent être adaptées à la taille des bras des pelles disponibles et aux possibilités de circulation autour des ouvrages lors des évacuations de boue.
- La hauteur totale sera de l'ordre de 2,5 m dont 1,8 m utile.
- Les lits doivent être aérés par des ventilations hautes et basses en nombre suffisant afin d'éviter les risques de fermentation au niveau des zones basses.
- La densité de plantation des roseaux est de 4 pieds par m² soit un pied tous les 50 cm dans toutes les directions. Il est recommandé de planter entre mars et septembre. En dehors de cette période, les roseaux meurent.
- Il est indispensable de surveiller la qualité du massif filtrant et les différents matériaux qui doivent satisfaire à certains critères notamment, la taille, la forme, composition, lavage si nécessaire avant la mise en place ... afin d'optimiser les performances hydraulique de l'installation.
- L'alimentation des lits (le fonctionnement des pompes d'extraction) peut être asservie à l'arrêt de l'aération par une horloge hebdomadaire/journalière de façon à bénéficier du bon brassage en fin d'aération [21].

1.6. Conclusion

Le développement durable des régions rurales demandent un traitement des eaux usées pour réduire la pollution, et en installer des stations d'épuration de petites tailles dont les principales sont: lagunage naturel, lagunage aéré, lit bactériens, disque biologique.

Leurs avantages sont: la fiabilité, la facilité d'exploitation, la faible consommation d'énergie, et coûts d'investissement plus réduits. On peut aussi noter quelques inconvénient à savoir : une sensibilité aux faibles températures, risques de colmatage dans certains procédés, abattement limite de l'azote et du phosphore.

Le choix de dimensionnement des outils épuratoires dépend principalement de la nature des eaux usées à traiter, qui est directement lié au type de réseau mis en œuvre. La population raccordée doit être prise en compte lors du choix de la filière, car elle influencera les caractéristiques qualitatives et quantitatives des eaux usées et les bases de dimensionnement. D'autres contraintes doivent être prises en compte pour le choix du procédé d'épuration tels : les contraintes liées au site d'accueil, les contraintes financières, les contraintes locales (intégration paysagère).

Toute filière de gestion de boues présente des avantages et des inconvénients qui ne peuvent être efficacement évalués qu'au regard du contexte local.

De nombreux éléments doivent être pris en compte pour choisir ces filières de gestion des boues d'épuration. Ainsi, les dispositifs offerts par l'entrée communalise, la qualité des relations avec le monde agricole, la nature des sols et les possibles besoins en éléments fertilisants ou en amendement organique, la présence d'un incinérateur, d'un centre de stockage de déchet, ou d'une plateforme de compostage à proximité sont des facteurs dont il faut tenir compte dans la prise des décisions.

2. Chapitre II : Energies renouvelables dans l'épuration des eaux usées

2.1. Introduction

Afin de parvenir à un développement il faut avoir un équilibre entre les zones urbaines et rurales à travers le développement rural.

Ce dernier a comme but de fournir une infrastructure moderne des routes et des réseaux de distribution d'eau potable et d'assainissement, et des stations d'épuration des eaux usées et ainsi qu'une assurance en matière d'électricité.

Fournir de l'électricité est l'un des plus grands défis rencontrés dans les zones rurales en raison de la nature géographique de la région, de l'espacement des habitations et des coûts importants.

Avec le boom technologique, il ya eu une tendance vers des sources d'énergie alternatives qui s'appuient sur l'énergie naturelle renouvelable.

Dans ce chapitre, nous allons comparer entre les énergies non renouvelables (appelées aussi énergies fossiles) et les énergies renouvelables (dites propres). Mais dans notre projet, nous allons nous axer sur le système solaire photovoltaïque.

2.2. Définition et présentation des énergies fossiles

L'homme, au cours de son existence, s'est créé une dépendance énergétique. En effet, dans sa vie quotidienne en a constamment besoin : pour se chauffer, pour stocker la nourriture, pour s'éclairer etc. Cependant, même si la nature a stocké les combustibles fossiles pendant des centaines de millions d'années, ces derniers ne sont ni renouvelables, ni pérennes et pour la plus part pollues gravement notre monde ! Depuis la révolution industrielle, nous avons, en effet, déjà utilisé une grande quantité d'énergies fossiles pour assurer notre développement économique. Au rythme où nous les consommons actuellement, il est pertinent de se demander combien de temps dureront ces réserves.

Les énergies fossiles, qui comprennent le charbon, le pétrole et le gaz sont issues de la matière vivante, qu'elle soit végétale ou animale. Ces énergies contiennent du carbone dont la combustion fournit de l'énergie et génère du gaz carbonique. Elles sont présentes en quantité limitée et non renouvelable [51].

Il existe de nombreuses énergies fossiles qui nous servent dans notre quotidien. En voici quelques exemples [52] :

2.2.1. Le pétrole

Ce phénomène, qu'il faut le rappeler est tout à fait exceptionnel, à débiter avec la mort d'organismes, qui enfouis et accumulés, donneront plus tard des hydrocarbures. Les réserves actuelles sont le résultat d'une série de longs processus: l'accumulation de matières organiques, la maturation de la matière organique et enfin le piégeage des hydrocarbures.

Au cours de sa formation, le pétrole subit de nombreuses transformations chimiques et physiques.

Sa formation est un processus complexe et au rendement très faible. Il est formé du plancton qui s'est déposé au fond des mers. En 2000, la production de pétrole brut mondiale était de 3,5 Gb (milliard de barils) La formation du pétrole est un processeur naturel qui a pris plusieurs millions d'années. Cependant, on remarque que tous les gisements ne contiennent pas le même pétrole.

Les avantages du pétrole sont les suivants :

- C'est une énergie disponible sur pratiquement tous les continents.
- Son transport est facile et peu coûteux par les bateaux,
- La chimie du pétrole est très riche. En effet, grâce au pétrole, on peut obtenir des gaz tels que le méthane, le propane et le butane, des carburants tels que l'essence, le kérosène, le gazole et le fioul et des composés aromatiques,
- C'est la forme d'énergie liquide la plus concentrée disponible actuellement.

Les inconvénients du pétrole sont les suivants :

- La recherche d'un nouveau gisement pétrolier est une activité de plus en plus difficile qui est très coûteuse,
- Son transport est à l'origine de nombreux polluants, en particulier des "marées noires".
- Comme pour le charbon, sa combustion produit du dioxyde de carbone, qui est libéré dans l'atmosphère, participe à l'accroissement de l'effet de serre.

2.2.2. Le gaz

Le gaz est un combustible fossile provenant de gisements souterrains. Tout comme le pétrole est issu d'un processus complexe. L'utilisation de celui-ci est assez récente et est actuellement en plein développement; on peut alors penser que cette croissance se poursuivra. La consommation mondiale du gaz en 2010 a été de 810 milliards de mètres cubes par an, ce qui représente 24,7% de la consommation mondiale d'énergie.

Les avantages du gaz naturel sont les suivants :

- C'est une énergie disponible sur tous les continents,
- La forme gazeuse du gaz nécessite une extraction qui consomme peu d'énergie,
- Le traitement du gaz est pratiquement nul, on peut presque le consommer sous sa forme primaire,
- C'est le combustible fossile le moins polluant, qui émet le moins de dioxyde de carbone,
- On peut le transporter très facilement grâce à des gazoducs et des canalisations.

Les inconvénients du gaz naturel sont les suivants :

- Il est dangereux car il peut devenir explosif lorsque certaines conditions de concentration et de température sont remplies,
- Celui-ci est incolore et inodore. Il est donc indétectable par les sens humains,
- Le gaz, est par nature, peu dense.

2.2.3. Le charbon

Est une énergie fossile formée à partir des végétaux engloutis par les eaux lors de bouleversements géologiques importants. Il contient des matières organiques et du carbone. C'est un excellent combustible très difficile à enflammer et qui libère beaucoup de chaleur. C'est une énergie relativement beaucoup utilisée puisqu'en 2000, la France a extrait 4,1 millions de tonnes de charbon [25].

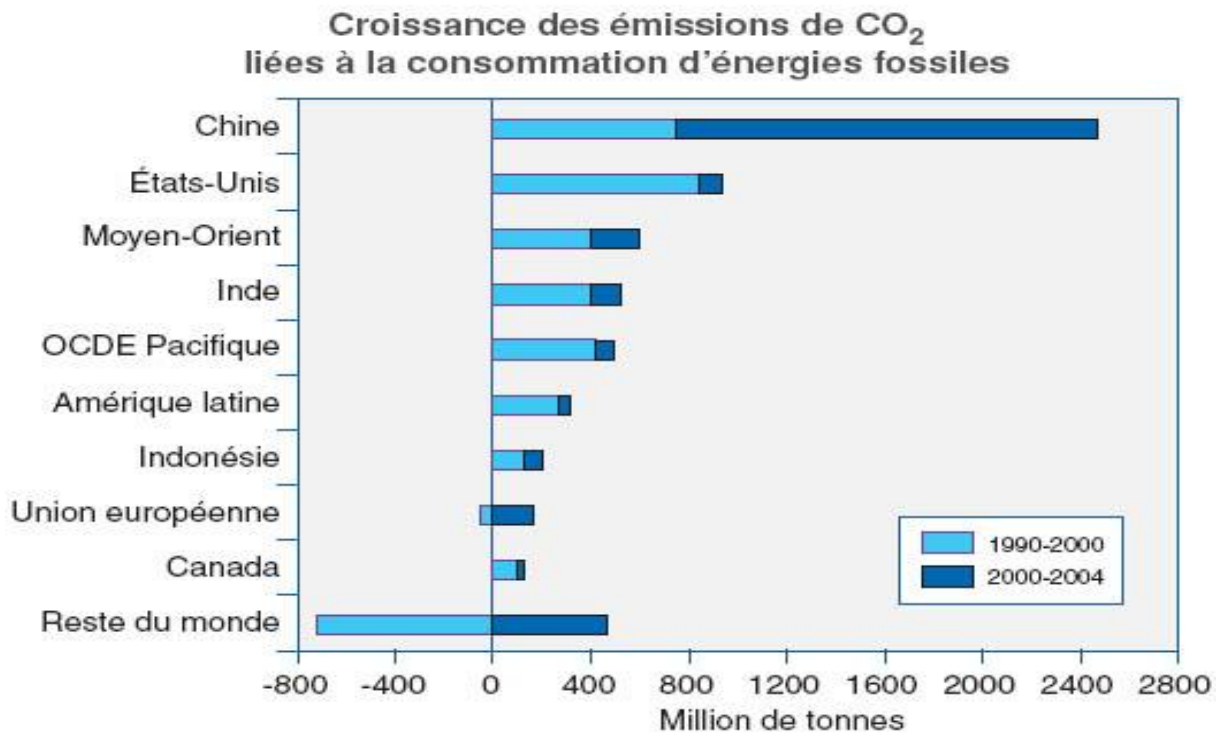
Les avantages du charbon sont les suivants :

- C'est la seule forme d'énergie fossile qui est solide.
- Il est disponible dans de nombreux pays à travers le monde.
- Les gisements connus sont très importants.
- Il permet de produire du gaz de houille et un grand nombre de produits chimiques carbonés ou hydrogénés.

Chapitre 2 : Energies renouvelables dans l'épuration des eaux usées:

Les inconvénients du charbon sont les suivants :

- C'est une énergie non-renouvelable et très couteuse à extraire,
- C'est une énergie fossile très polluante surtout à cause de ses impuretés qui se dispersent dans l'atmosphère lors de sa combustion.
- De plus, lors de sa combustion, c'est une énergie fossile qui libère beaucoup de dioxyde de carbone. Ce phénomène est à l'origine de l'accroissement de l'effet de serre.



Source : World Energy Outlook 2006

Figure 2.1 : croissance des émissions de CO₂ liées à la consommation d'énergie fossiles (source : <http://energiespropres.e-monsite.com> (consulté le : 26-09-2012))

2.3. Les énergies propres (énergies renouvelables)

Les énergies fossiles sont vraiment très productives. Cependant, ces dernières sont aussi très mauvaises pour notre environnement. L'Homme, ayant pris conscience de ceci, a donc décidé d'utiliser des ressources naturelles telles le soleil, le vent, l'eau, le bois et les autres produits végétaux. De plus, elles pourraient permettre à plus de deux milliards de personnes isolées d'accéder enfin à l'électricité. Cependant, leur faible rendement, ne correspond pas aux besoins de notre monde. En effet, on observe que la consommation d'énergie annuelle de chaque habitant augmente chaque année. Ainsi, les énergies propres ne remplaceront jamais totalement les énergies fossiles.

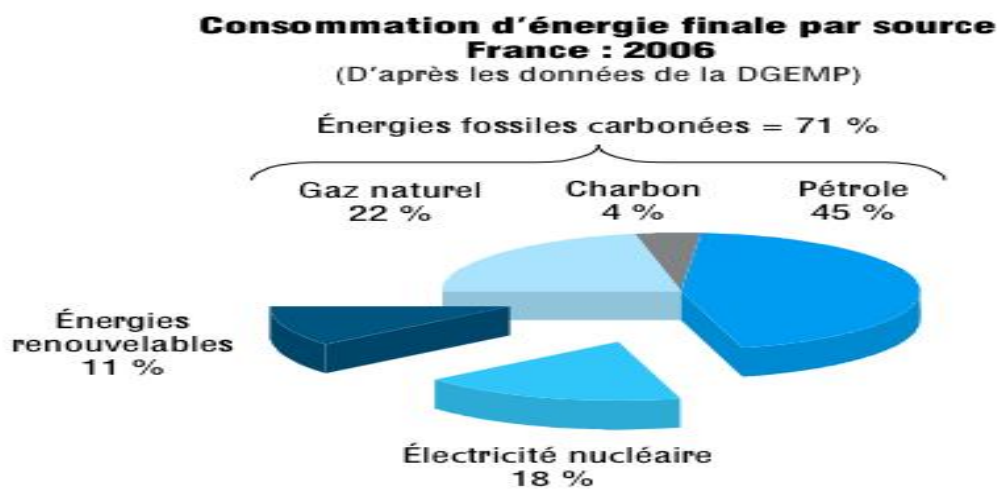


Figure 2.2 : consommation d'énergie en France

(Source : <http://energiespropres.e-monsite.com> (consulté le : 26-09-2012))

2.3.1. Définition d'énergie propre (ou énergie renouvelable)

Les énergies renouvelables (aussi appelées énergies vertes) correspondent à des sources d'énergie qui sont non seulement issues des phénomènes naturels, mais qui se régénèrent également par elles-mêmes, à l'aide de processus naturels indépendants des humains, cette source d'énergie primaire produit une quantité faible de polluants. Le soleil et la chaleur interne de la Terre font partie des sources d'énergie naturelles les plus importantes. Le fait qu'une ressource soit renouvelable ou non dépend aussi de la vitesse par laquelle celle-ci est consommé. Prenons par exemple, le bois : tant que le nombre d'arbres coupés n'excède pas le nombre d'arbres qui pousse, le bois peut être considéré comme étant une ressource renouvelable. La question n'est donc pas seulement d'utiliser des énergies vertes, mais aussi de ne pas consommer l'énergie de façon abusive.

2.3.2. Les différents types d'énergies renouvelables

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables liées à l'ordre de sa source :

2.3.2.1. Energie éolienne

C'est l'une des plus anciennes énergies utilisée par l'homme principalement pour remonter les eaux d'irrigation des terres agricoles. Energie produite à partir de la force du vent sur les pales d'une éolienne. Lorsque le vent se met à souffler, les forces qui s'appliquent sur les pales des hélices induisent la mise en rotation du rotor. L'énergie électrique ainsi produite peut être distribuée sur le réseau électrique grâce à un transformateur.

Une éolienne est un dispositif qui utilise la force du vent pour produire de l'électricité ; cette force peut être utilisée mécaniquement, grâce à une éolienne de pompage par exemple, ou pour produire de l'électricité dans le cas d'un aérogénérateur. Pour décrire un groupe d'éolienne, on parle de parc éolien.

Elle est composée de pales en rotation autour d'un rotor et actionnée par le vent.

Le rotor, entraîné par le vent va faire tourner l'arbre, qui lui-même entrainera le mécanisme d'une génératrice qui elle produira de l'électricité. C'est un aérogénérateur [26].

A. Principe de fonctionnement d'une éolienne

L'énergie cinétique contenue dans le vent est captée par les pales aérodynamiques de l'éolienne qui freine le vent. En effet, en freinant le vent, les pâles de l'éolienne sont soumises au-dessus et en dessous à un système de pressions qui génère la rotation du rotor. Le vent fait alors tourner le rotor. De plus, pour augmenter sa vitesse, l'éolienne doit avoir un multiplicateur de vitesse qui multiplie la vitesse du rotor. Cette rotation créera une énergie mécanique qui sera transmise à l'arbre de la génératrice afin de produire une électricité utilisable [53].

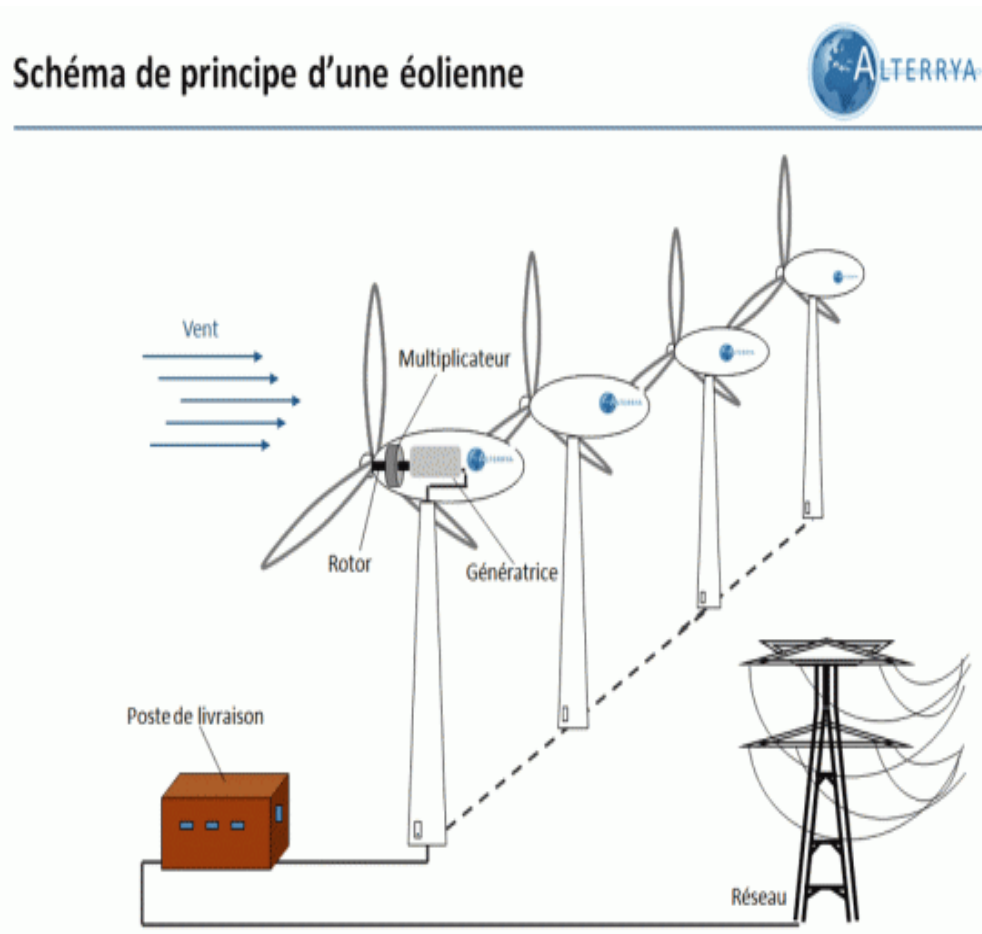


Figure 2.3 : principe d'une éolienne (Source : <http://energiespropres.e-monsite.com> (consulté le : 26-09-2012))

Il existe deux types d'éoliennes :

- Les éoliennes à axe horizontal

Les éoliennes à axe horizontal souvent appelées "éolienne à hélices" sont basées sur le principe des moulins à vent. Elles s'orientent suivant la direction du vent

Les éoliennes à axe horizontal sont les plus employées car leur rendement est supérieur à celui des éoliennes à axe vertical, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques et sont moins coûteuses. [53].

- Les éoliennes à axe vertical

L'axe du rotor est perpendiculaire au sol. Ces éoliennes n'ont pas besoin de systèmes pour les orienter dans la direction du vent, mais leur efficacité est médiocre par rapport au type horizontal, car elle capte deux fois moins d'énergie dans le vent.

Chapitre 2 : Energies renouvelables dans l'épuration des eaux usées:

La quantité d'énergie électrique que peut produire une éolienne est calculée en fonction de la quantité d'énergie cinétique qu'elle peut récupérer du vent.

Cependant, un principe physique énoncé par l'allemand Albert Betz indique que toute éolienne avec un rotor en forme de disque ne pourra jamais convertir plus de 59 % de l'énergie cinétique contenue dans le vent en énergie mécanique.

Ce résultat exprime la puissance maximale récupérée par m^2 de surface en forme de disque lorsqu'un vent la traverse de façon perpendiculaire. Cependant, il faut que les conditions suivantes soient remplies: la température est de $15^{\circ}C$, la densité de l'air est de $1.225Kg/m^3$ et la pression de l'atmosphère est normale. [53].

B. Les avantages et les inconvénients de l'énergie éolienne

Les avantages d'énergie éolienne:

- Il s'agit d'une forme d'énergie indéfiniment durable et propre, qui ne nécessite aucun carburant.
- ne produit pas de déchets toxiques ou radioactifs car une éolienne est entièrement en métal et plastique.
- ne produit pas de pollution.
- est entièrement renouvelable, hautement fiable et très efficace.
- est l'une des sources les plus économiques de nouvelle production d'électricité à grande échelle.
- devient de plus en plus économique à produire à mesure que des économies d'échelle sont réalisées et que le prix de l'électricité augmente [54].

Mais cette source d'énergie a aussi des inconvénients:

- L'éolien a un faible rendement.
- Il n'y a pas de vent tout le temps.
- Cela fait du bruit.
- C'est dangereux pour les oiseaux.

L'énergie éolienne n'entraîne aucune émission atmosphérique. Les aérogénérateurs sont actionnés par le vent, tout naturellement. Ils ne polluent pas l'air. L'énergie éolienne ne provoque ni le smog ni les pluies acides ni un changement climatique [55].

2.3.2.2. Energie solaire

- Il existe différentes énergies solaires.

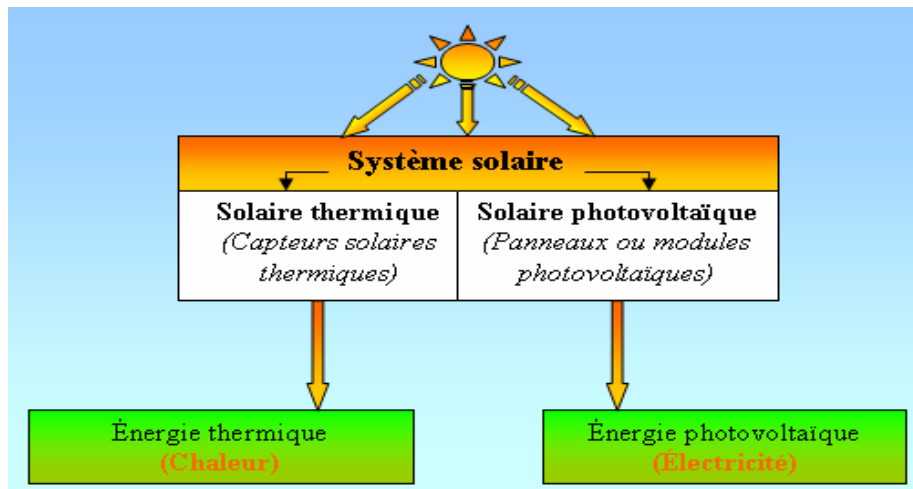


Figure 2.4 : différentes énergies solaires

Source : <http://energiespropres.e-monsite.com> (consulté le : 26-09-2012)

A. L'énergie solaire thermique

C'est la transformation des rayons solaires en chaleur. Cette transformation en chaleur, et donc en énergie thermique, permet de chauffer de l'eau ou de l'air et de les utiliser dans différentes situations. Elle peut être utilisée directement, pour chauffer un bâtiment par exemple ou bien indirectement, pour obtenir de l'énergie électrique. Cependant, son utilisation la plus courante est l'usage direct.

A.1. Principe du fonctionnement d'un système solaire thermique

L'énergie solaire thermique utilise le rayon solaire et le transforme en énergie thermique. Le principe général est de concentrer les rayons solaires en un seul endroit. Tout d'abord, le système solaire thermique va capter les rayons du soleil, grâce à ses capteurs solaires qui transmettent l'énergie solaire à des absorbantes métalliques.

Puis, dans un deuxième temps, ces derniers réchauffent des tuyaux dans lesquels circule un fluide colporteur, c'est à dire un circuit qui reçoit de la chaleur en un point et qui la rejette en un autre point.

Enfin, cette chaleur va être transférée, grâce à un dispositif de transport de chaleur jusqu'à l'endroit de la pièce que l'on veut chauffer [27].

B. L'énergie solaire photovoltaïque :

On remarque que l'énergie lumineuse, que produit le soleil, peut couvrir dix mille fois les besoins en énergie nécessaire pour les six milliards habitants sur terre

Toutefois, l'on ne peut pas se servir de cette énergie propre directement. Il faut donc se servir d'un montage appelé système solaire. Ce dernier a pour but de convertir l'énergie solaire délivrée en énergie utilisable, c'est à dire en énergie thermique ou électrique.

L'énergie solaire photovoltaïque est une forme d'énergie renouvelable. Elle permet de produire de l'électricité par transformation d'une partie du rayonnement solaire grâce à une cellule photovoltaïque [28].

Les avantages des l'énergie solaire sont :

- Une bonne source d'énergies renouvelable.
- Une énergie non-polluante.
- La lumière ne coute rien.
- Peut de soutient et dure longtemps.

Les inconvénients des l'énergie solaire sont :

- A besoin de beaucoup d'espace.
- Le placement peut modifier l'énergie pris dans les panneaux.
- Panneau fragile

2.3.2.3. Energie géothermique :

L'énergie géothermique est exploitée dans des réseaux de chauffage et d'eau chaude depuis des milliers d'années en Chine, dans la Rome antique et dans le bassin méditerranéen. Provient de la chaleur accumulée dans le sous-sol. Elle est perpétuellement réapprovisionnée par la radioactivité des roches et la proximité du magma en dessous de la croûte terrestre.

L'exploitation par l'homme de cette énergie renouvelable porte le nom de géothermie [56].

A. La géothermie :

C'est la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre et la technique qui vise à l'exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi l'énergie géothermique issue de l'énergie de la Terre qui est convertie en chaleur.

B. Types de géothermie

La géothermie peu profonde à basse température (>180°C) elle exploite des sources hydrothermales très chaudes, ou des forages très profonds où de l'eau est injectée sous pression dans la roche. Cette géothermie est surtout utilisée pour produire de l'électricité

La géothermie profonde à haute température : est la géothermie des nappes profondes (entre

quelques centaines et plusieurs milliers de mètres) aux températures situées entre 30°C et 100°C. Ses principales utilisations sont les réseaux de chauffage urbain.

La géothermie très profonde à très haute température : est la géothermie des faibles profondeurs aux niveaux de température compris entre 10°C et 30°C. Ses principales utilisations sont le chauffage et la climatisation individuelle [56].

C. Avantages et Inconvénients

Les Avantages

- Pollution non-toxique
- Beaucoup d'énergie pour peu de place.

Les Inconvénients

- Répartitions des sources.
- Le transport de l'énergie des usines.
- installation couteuse.

2.3.2.4. Autres énergies propre

A. L'énergie hydraulique

L'énergie hydraulique tire son origine dans les phénomènes météorologiques et donc du Soleil. Ces phénomènes prélèvent de l'eau principalement dans les océans et en libèrent une partie sur les continents à des altitudes variables. On parle du cycle de l'eau pour décrire ces mouvements. De l'eau en altitude possède une énergie potentielle de pesanteur. Cette énergie peut être alors captée et transformée, lors des mouvements de l'eau qui retourne vers les océans. Avant l'avènement de l'électricité, les moulins à eau permettaient de capter cette énergie mécanique pour entraîner des machines-outils (machines à tisser, moulins à moudre le blé...). Plus tard, avec l'invention de l'électricité, on a transformé cette énergie mécanique en énergie électrique.

A.1. Autres énergies hydrauliques

- ✓ **Energie des vagues:** utilise la puissance du mouvement des vagues,
- ✓ **Energie marémotrice :** issue du mouvement de l'eau créé par les marées (variations du niveau de la mer, courants de marée),
- ✓ **Energie hydrolienne :** Les hydroliennes utilisent les courants sous-marins,
- ✓ **Energie thermique des mers:** produite en exploitant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans,
- ✓ **Energie osmotique:** La diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau salée de la mer est source d'énergie.

A.2. Avantages et Inconvénients

Les Avantages

- Une énergie naturelle non-polluante.
- L'eau est autour du monde entier.

Les Inconvénients

- Une perturbation de l'équilibre écologique.
- Grands barrages couteux

B. La biomasse:

Il s'agit d'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse. Elle est exploitée par combustion. Cette énergie est considérée comme renouvelable si on admet que les quantités brûlées n'excèdent pas les quantités produites. On peut citer notamment le bois et les biocarburants [29].

2.4. Comparaison des énergies

Le tableau 2.1 représente les quantités de combustibles nécessaires pour produire 1000 MW pendant 1 an, on remarque que les quantités consommées par les énergies fossile sont très élevées par rapport à l'autre type d'énergie, elle est nom renouvelable c'est-à-dire il y'a de gaspillage de ces énergies.

Les énergies propres ont une faible densité énergétique. Par exemple l'énergie photovoltaïque est de l'ordre de 1 kW/m². Sans utilisation de technologies pour les concentrer, elles pour consommer moins et réduire les gaspillages, ne peuvent produire de grandes puissances.

Tableau 2.1 : Quantités de combustibles nécessaires pour produire 1000 MW par 1 an.

Source d'énergie.	Requit.
Photovoltaïque (une énergie propre)	100 Km ²
Eolien (une énergie propre)	5600 éoliennes de 600Kw.
Charbon. (une énergie fossile)	2 600 000 tonnes de charbon.
Pétrole. (une énergie fossile)	1 800 000 tonnes de pétrole.

Source : <http://energiespropres.e-monsite.com> (consulté le : 26-09-2012)

Le développement des activités humaines a eu une incidence sur la concentration de CO₂ dans l'atmosphère, principalement à cause de la déforestation et de la combustion des matières fossiles comme le pétrole, le charbon et le gaz naturel.

Comme nous pouvons l'observer sur le Tableau 2.2, presque toutes les émissions de CO₂ proviennent de l'utilisation de combustibles fossiles, surtout du charbon, du gaz naturel et du pétrole. Par contre, Les énergies propres rejettent des quantités négligeables de CO₂ par rapport aux énergies fossiles. Veut diminuer ses émissions de CO₂

Tableau 2.2 : Émission de CO₂ selon la source d'énergie.

Source d'énergie	Emission de CO ₂ en gramme de CO ₂ par kWh
Charbon. (énergie fossile)	900 à 1150.
Gaz. (énergie fossile)	400 à 420
Solaire. (énergie propre)	20 à 130
Biomasse. (énergie propre)	20.
Eolien. (énergie propre)	20 à 25.

Source : <http://energiespropres.e-monsite.com> (consulté le : 26-09-2012)

Les énergies propres le soleil, l'eau, le vent, la biomasse sont gratuits "naturellement". Pour les énergies fossiles, nous ne pouvons en disposer naturellement comme nous disposons des énergies renouvelables. Nous devons les payer pour y avoir accès. Comme nous pouvons l'observer sur le Tableau 2. 3, Le prix du kWh selon la source des énergies propres est du même ordre de grandeur que celui des énergies fossiles.

Tableau 2.3 : Prix du kWh selon la source d'énergie.

Source d'énergie	Coût en millier EURO par kWh.
Charbon. (énergie fossile)	80 à 150.
Gaz. (énergie fossile)	60 à 100.
Solaire / Biomasse (énergie propre)	80 à 85.
Eolien. (énergie propre)	60 à 70.

Source : <http://energiespropres.e-monsite.com> (consulté le : 26-09-2012))

2.5. Electricité solaire photovoltaïque

Contrairement au solaire thermique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur, le photovoltaïque produit de l'électricité.

Avec l'énergie solaire, on peut produire du courant électrique, au moyen d'une surface photosensible (panneaux de Silice). Cette technique sert par exemple à alimenter des calculatrices de poche, mais aussi des satellites traversant notre système solaire.

L'énergie solaire photovoltaïque convertit directement l'énergie solaire en électricité, en utilisant les propriétés des surfaces photosensibles qui libèrent des électrons lorsque des photons (des rayons solaires) les éclairent.

Les systèmes photovoltaïques sont utilisés depuis 40 ans. Les applications ont commencé avec le programme spatial pour la transmission radio des satellites. Elles se sont poursuivies avec les balises en mer et l'équipement de sites isolés dans tous les pays du monde, en utilisant les batteries pour stocker l'énergie électrique pendant les heures sans soleil [27].

Les avantages d'un système photovoltaïque sont :

- ils sont très fiables;
- ils sont flexibles et peuvent être élargis à n'importe quel moment pour répondre à vos besoins en matière d'électricité;
- Les panneaux solaires nécessitent très peu d'entretien ;
- Les panneaux solaires réduisent considérablement la facture domestique d'électricité ;
- Les panneaux solaires sont simples et rapides à monter et à installer ;
- Le système est silencieux et sans danger pour les humains ;
- Des formes d'aides gouvernementales peuvent aider à financer l'installation des panneaux

Pour les endroits isolés ou les petites installations, rien de tel que les panneaux solaires pour les rendre autonomes.

2.5.1. L'énergie solaire photovoltaïque

Un système photovoltaïque est composé de petites cellules ou photopiles qu'il suffit de placer à la lumière pour obtenir du courant électrique. L'énergie solaire photovoltaïque désigne l'électricité produite par transformation d'une partie du rayonnement solaire avec une cellule photovoltaïque. Plusieurs cellules sont reliées entre elles et forment un panneau solaire (ou module) photovoltaïque. Plusieurs modules qui sont regroupés dans une centrale solaire photovoltaïque sont appelés champ photovoltaïque. Le terme photovoltaïque peut désigner soit le phénomène physique - l'effet photovoltaïque - ou la technologie associée [30].

2.5.1.1. La cellule photovoltaïque

On observe que la cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de matériaux appelés semi-conducteur. Plus de 90% des cellules photovoltaïques sont en Silicium. De plus, cette cellule est composée de deux couches:

-D'une part, la couche supérieur de la cellule, qui est composée de Silicium, est appelée la zone N (voir la figure 2.5), il existe une plus grande quantité d'électrons libres supérieur à la couche de silicium pur: on dit que cette couche est dopée N (voir la figure 2.5). En effet, cette dernière est négative, à cause des électrons.

Cependant, le matériau reste électriquement neutre: c'est le réseau du cristallin qui supporte une charge positive.

-D'autre part, la couche inférieur de la cellule, qui est, aussi, composée Silicium, est appelée la zone P (voir la figure 2.5). Dans cette couche, il existe une moins grande quantité d'électrons libres par rapport à la couche de silicium pur. Les électrons sont liés au réseau cristallin qui

est donc chargé positivement [31].

Le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (des « impuretés ») sont substitués dans un réseau cristallin. Cette action est appelée dopage.

Lorsque la lumière arrive sur le panneau solaire, elle dépose des photons. Ces derniers sont à l'origine de la rupture entre les atomes de Silicium et les électrons, ce qui modifie les charges électriques: on appelle ceci l'effet photovoltaïque [32].

Les atomes qui sont, eux chargés positivement, vont alors dans la zone P et les électrons, chargés négativement vont dans la zone N. Une différence de tension électrique entre les électrons et les protons est alors créée.

Une cellule solaire est alors obtenue en constituant une jonction de deux zones de type opposées (jonction PN). au voisinages de la jonction apparait un champ électrique qui maintient la séparation des charges positives et négatives. Des contacts métalliques en forme grille (contact avant et arrière) sont déposés sur chaque face de cellule.

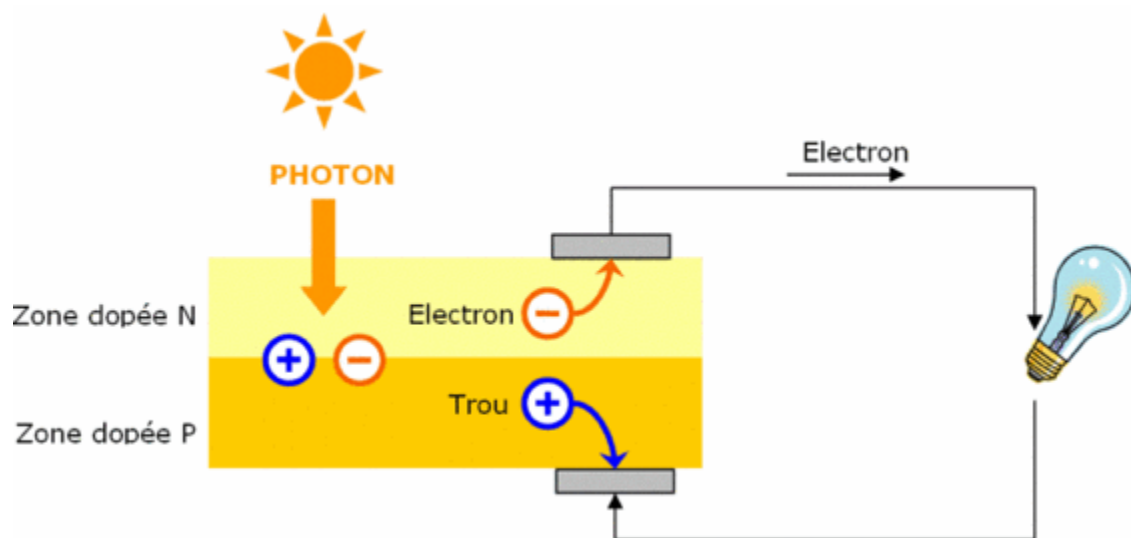


Figure 2.5 : Principe d'une cellule photovoltaïque
Source : www.ac-noumea.nc/ (consulté le : 26/09/2012)

On remarque trois types de cellules photovoltaïques qui sont plus ou moins productives selon la qualité du Silicium:

- **Les cellules monocristallines :** 35% du marché mondiale, matériau sans influence sur l'environnement le rendement est très satisfaisant (15 à 22% *) mais le coût de fabrication est élevé. Application : modules de grandes dimensions pour toits et façades, appareils de faibles puissances [57], [27].

- **les cellules polycristallines** : 50% du marché mondiale, elles sont moins chères à fabriquer mais le rendement est un peu moins satisfaisant (10 à 13% *).
Application : modules de grandes dimensions pour toits et façades, générateurs de toutes tailles [57], [27].
- **les cellules amorphes** : 9% du marché mondiale, leur coût est très faible mais le rendement l'est aussi (5 à 10% *). Application : appareils de faible puissances, production d'énergie embarquée (calculatrices, montres), modules de grands dimensions [57], [27].

2.5.1.2. Effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque se produit lorsqu'un électron se trouvant dans la bande de valence d'un matériau (généralement un semi-conducteur) passe dans la bande de conduction raison de l'absorption d'un photon (quantum de rayonnement électromagnétique) sur le matériau. De fait, dans les matériaux semi- conducteurs, à l'instar des matériaux isolants, les électrons de valence ne peuvent pas se déplacer librement. Toutefois, par rapport aux matériaux isolants, l'écart énergétique entre la bande de valence et la bande de conduction (typique des matériaux conducteurs) est réduit, de sorte que les électrons peuvent facilement se déplacer vers la bande de conduction lorsqu'ils reçoivent de l'énergie de l'extérieur. Cette énergie peut être fournie par le rayonnement lumineux, d'où l'effet photovoltaïque [27].

2.5.1.3. Module photovoltaïque

Pour produire plus de puissance, les cellules solaires sont assemblées pour former un module. Les connections en série de plusieurs cellules augmentent la tension pour un même courant, tandis que la mise en parallèle accroît le courant en conservant la tension. Ces cellules sont protégées de l'humidité par encapsulation dans un polymère EVA (éthylène-vinyl- acétate) et protégées sur la surface avant d'un verre, trempé à haute transmission et de bonne résistance mécanique, et sur la surface arrière d'une ou des polyéthylènes.

Les modules sont généralement entourés d'un cadre rigide en aluminium anodisé comprenant des trous de fixation.

A l'arrière de chaque module se trouve une boîte de jonction contenant 2 diodes antiparallèles. Ces diodes antiparallèles permettent d'éviter qu'un module au soleil ne se décharge dans un module à l'ombre.

Les modules photovoltaïques assurent les fonctions suivantes :

- Protection des cellules contre les agents atmosphériques
- Protection mécanique et support.

- Connexion électrique entre cellules et avec l'extérieur.

Les modules en silicium mono cristallin (c-Si, 64% de marché), poly cristallins ou multi cristallins (xc-Si, 28% du marché) ou silicium amorphe (a-Si, 13% du marché), délivrent des puissances entre 10 et 100 WC (watt-crête: puissance obtenue pour (l'ensoleillement maximal) [32].

La plupart des modules commercialisés sont composés de 36 cellules en silicium cristallin, le courant de sortie, et la puissance seront proportionnels à la surface du module .Il ont une efficacité de conversion (énergie électrique produite/énergie solaire incidente) de l'ordre de 10 à 20% [33].

A. Caractéristiques d'un module

Les principales caractéristiques d'un module sont [32] :

- La puissance de crête, P_c : Puissance électrique maximum que peut fournir le module dans les conditions standards (25°C et un éclairement de 1000 W/m²).
- Rendement : le rendement dépend des conditions de fonctionnement électrique (intensité, tension) des cellules. Il passe par un maximum à ce que l'on appelle le point de puissance maximale.
- La caractéristique I/V : Courbe représentant le courant I débité par le module en fonction de la tension aux bornes de celui-ci.
 - Tension à vide V_c : Tension aux bornes du module en l'absence de tout courant, pour 0 un éclairement " plein soleil ".
 - Courant de court-circuit, I_{cc} : Courant débité par un module en court-circuit pour un éclairement " plein soleil ".
 - Point de fonctionnement optimum, (U_m, I_m) : Lorsque la puissance de crête est maximum en plein soleil, $P_m = U_m * I_m$
 - Rendement : Rapport de la puissance électrique optimale à la puissance de radiation incidente
 - Facteur de forme : Rapport entre la puissance optimale P_m et la puissance maximale que peut avoir la cellule : $V_{co} * I_{cc}$.

Les modules photovoltaïques doivent être conformes aux conditions d'homologation définies dans les normes CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 1215 et CEI 1646. Les modules doivent notamment pouvoir supporter les conditions ambiantes suivantes :

- Température : de 40°C à +85°C
- Humidité : jusqu'à 100% d'humidité relative

- Vent : jusqu'à 190km /heure
- Grêlons : diamètre inférieure à 25 mm
- Atmosphère salée

2.5.2. Composition d'un système photovoltaïque

2.5.2.1. Générateur photovoltaïque

Un générateur PV est considéré comme un générateur de courant dont l'intensité dépend principalement de l'intensité de la lumière incidente (irradiation ou éclairement, noté «E» en W/m²) et de la tension imposée aux bornes du module. Par conséquent, on représente la caractéristique d'un module PV par sa production de courant en fonction de la tension imposée à ces bornes pour un éclairement donné. On parle alors de courbe (ou caractéristiques) courant/tension (I/V). La puissance de sortie d'un module est le produit du courant et de la tension.

Les modules peuvent être montés en série, en parallèle ou en série parallèle.

Tableau 2.4 : mode de montage des modules:

En série	Les tensions s'ajoutent, Le courant reste celui d'un seul module
En parallèle	La tension reste constante, Les courants de chaque module s'ajoutent
En série /parallèle	Pour obtenir la tension et le courant (donc la puissance) souhaites.

Source : (E ., MICHEL, A., DEVES ,2003)

Pour choisir l'implantation du panneau solaire, quatre éléments sont à considérer :

- L'orientation du champ de module : favoriser au maximum une orientation sud dans l'hémisphère nord,
- L'inclinaison du modules : en fonction de la période de fonctionnement de l'installation, il faudra favoriser soit le fonctionnement été (inclinaison de 30° sur l'horizontal) soit le fonctionnement hiver (inclinaison de 60°) soit faire une compromis (inclinaison de 45°),
- L'ombre portée sur le champ de modules : une relève de profils d'ombre sur le site est primordial au démarrage du projet afin de contrôler la qualité de l'ensoleillement,
- La distance module-batteries : en courant continu basse tension, la chute de tension peuvent être importantes. Une distance importante entre les modules et la batterie peut rendre nécessaire la pose du câble des sections importantes (10 ou 16 mm² voir plus).il faut donc limiter au maximum la distance entre le champ de module et les usages en courant continu [34].

2.5.2.2. Stockages de l'énergie

L'un des principaux inconvénients de l'énergie solaire est son caractère intermittent. Pour une utilisation permanente, il est donc nécessaire de stocker une partie de l'énergie produite. Pour ce faire il existe plusieurs méthodes de stockage : d'hydrogène, dans un volant d'inertie, dans une batterie électrochimique (plomb, lithium) ou un super condensateur [35]. Les caractéristiques de l'énergie solaire imposent d'utiliser un organe de stockage de l'énergie électrique dans les installations autonomes. Ses fonctions sont les suivantes :

- Permettre un déphasage entre la production et la consommation : jour / nuit, courtes périodes de mauvais temps (quelques jours à 15 jours) ;
- Permettre une puissance élevée, sur un temps court, compatible avec la production journalière, avec une puissance crête installée faible.

2 types de batterie sont utilisés dans les applications photovoltaïques :

- Accumulateurs plomb/acide ($Pb / Pb SO_4$) ;
- Accumulateurs nickel/cadmium (Ni Cd) [35].

2.5.3. Dimensionnement d'un système photovoltaïque

2.5.3.1. Principales règles de dimensionnement

N'utiliser le générateur photovoltaïque que pour les usages spécifiques de l'électricité, l'éclairage, les télétransmissions, les pompes,

Rejeter les applications thermiques de l'électricité (chauffage, cuisson),

Choisir les chaînes de puissances les plus courtes : éviter si possible les onduleurs,

Adapter la tension en courant continu, en jouant sur les assemblages de module,

12 V pour $P_c < 150 W_c$

24 V pour $150 W_c < P_c < 1000 W_c$

48 V pour $1000 W_c < P_c$

Choisir des récepteurs à haut rendement : lampes basse consommation, réfrigérateurs sur isolés, etc. [34].

2.5.3.2. Estimation de la puissance crête nécessaire

Soit :

- E_j : l'énergie moyenne journalière nécessaire pour fonctionnement des équipements à courant continu
- E_i : le rayonnement solaire global journalier reçu dans des modules
- P_c : la puissance crête des modules.

Formule simplifiée : d'après [34].

$$P_c = \frac{E_j}{(0,6 E_i)} \text{ ou } E_j = 0,6 .E_i. P_c \quad (\text{II.1})$$

Avec :

E_j en [Wh / jour]

E_i en [KWh/m²/j]

P_c en [Wc]

Cette formule est utilisable pour un générateur photovoltaïque fonctionnant sur batterie. Pour un usage au « fil du soleil », sans batterie, le coefficient 0,6 doit être remplacé par 0,75

2.5.3.3. Estimation de la capacité de stockage (méthode simplifiée)

Nombre de jour d'autonomie (N_j) : variera selon le lieu géographique et l'application de 4 jours à 1 mois.

Capacité utile : consommation moyenne x nombre de jours d'autonomie

Capacité réelle : capacité utile / D_p (D_p : pourcentage de décharge profonde entre 70 et 80 %)

Il faut s'assurer que la décharge journalière (D_j) est de l'ordre de 10 à 20 % soit au minimum

$N_j = 5$ Jour

$$C \text{ réelle [Wh]} = \frac{N_j.E_j}{D_p} \quad (\text{II.2})$$

$$C \text{ réelle [Ah]} = \frac{N_j.E_j}{D_p.V} \quad (\text{II.3})$$

Avec :

V : tension aux bornes de la batterie

Il faut choisir la batterie de capacité nominale immédiatement supérieure, avec un courant de décharge adapté aux besoins [34].

2.6. Conclusion

Grâce à notre étude des sources d'énergie, il en existe deux types : renouvelables et non renouvelables. L'énergie renouvelable à long terme est le meilleur choix comme source d'énergie, car elle est renouvelable, disponible dans la nature, et facile à utiliser. On peut ajouter aussi que c'est une source pure et non polluante.

Il existe plusieurs type d'énergies renouvelables à l'ordre de sa source (éolienne, solaire thermique, solaire photovoltaïque, géothermique, hydraulique, la biomasse).

Après une comparaison entre les différents types d'énergies renouvelables, nous avons opté pour le système solaire photovoltaïque, grâce à ses multiples avantages à savoir : sa fiabilité, flexibilité, il demande peu d'entretien ; simple et rapide à monter et à installer, possibilité d'adapter cette solution à tous les sites sous réserve de respecter certaines règles de mises en œuvre (absence de bruit, réduction des infrastructures nécessaires).

De plus, des études économiques menées pour des cas similaires, montrent que les générateurs photovoltaïques peuvent être tout à fait compétitifs, tant en terme d'investissement qu'en terme de cout de fonctionnement. Aussi apparait-il important d'analyser cette technologie comme solution potentielle d'alimentation électrique des appareillages isolés pour la fourniture d'eau potable et le traitement des eaux usées.

L'utilisation d'énergie solaire photovoltaïque peut être appliquée au traitement des eaux usées en zones rurales, soit pour alimenter la station complète et éviter le raccordement au réseau d'un site isole, soit pour diminuer la facture d'électricité.

3. Chapitre III : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonctionnant à l'énergie solaire

3.1. Introduction

Deux grands groupes de filières existent pour l'assainissement en milieu rural de collectivités inférieures à 2 000 EH :

- ✓ Les cultures fixées sur support grossier
 - Lits bactériens
 - Disques biologiques.
- ✓ Les cultures libres ;
 - Boues activées
 - Lagunage naturel
 - Lagunage aéré

Dans chaque filière, l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque peut être étudiée, soit pour alimenter la station complète et éviter le raccordement au réseau d'un site isolé soit pour diminuer la facture d'électricité et la puissance totale installée en n'alimentant que certains équipements périphériques de la station d'épuration.

3.2. Choix de la filière pour l'épuration des eaux

Notre but est le dimensionnement d'une STEP fonctionnant à l'énergie solaire.

3.2.1. Équipements susceptibles d'être alimentés par des énergies renouvelables et sa puissance

Dans chaque station les équipements qui consomment de l'énergie sont :

- Poste de relevage
- Dégrillage mécanique
- Agitateur
- Alarme-télémesure

Tableau 3.1 : Équipements susceptibles d'être alimentés par des énergies renouvelables

Équipements	Fonctionnement et consommation
Poste de relevage	Fonctionnement intermittent Quelques heures / jour
Dégrillage	Fonctionnement intermittent Quelques minutes / heure
Dégraisseur Dessableur	Pas de consommation électrique
Décanteur – digesteur	Pas de consommation électrique
Bassin d'aération	Consommation trop importante
Lits bactériens	Sprinkler motorisé Fonctionnement permanent Pompes de recyclage Environ 8 heures / jour
Disques biologiques	Moteur d'entraînement Fonctionnement permanent
Clarificateur	Pompe de recirculation des boues Environ 8 heures / jour
Épaississeur	Pas de consommation électrique
Agitateur de silos à boues	Fonctionnement intermittent 1 heure / jour
Aérateur de lagunes	Consommation trop importante

Source : (M. Eric et A. DEVES COSTIC,. 1999)

Après avoir comparé les différentes filières d'épuration, on a choisi le procédé d'épuration « lit bactérien »

Le lit bactérien en tant que tel consomme peu d'énergie. Les consommations électriques proviennent essentiellement de deux postes :

- Du dégrillage et du poste de relevage
- Des pompes de recirculation.

3.3. Données de base et critères de dimensionnement de la STEP

3.3.1. Production d'eau usée

La consommation moyenne domestique est rapportée au nombre d'habitant, elle est exprimée en l/hab./jour. Cette consommation varie en fonction de plusieurs paramètres et elle évolue en fonction du temps en liaison avec l'évolution de niveau de vie.

Pour notre station type on admet une consommation d'eau de 150 l/hab./jour. Et pour 500 équivalents habitant on a :

$$\text{Le volume journalier} = 150 \text{ l/hab./jour} \times 500 = 75\text{m}^3$$

Le taux de rejet habituellement utilisé pour les eaux domestiques est compris entre 70 et 80 % du débit consommé, dans notre cas on le prend égal a 0,8 pour les usagers domestiques et administratifs et ce qui correspond a un volume de rejet journalier : $0,8 \times 75 = 60\text{m}^3$

3.3.2. Charge hydraulique

En temps sec, le débit moyen journalier des eaux usées arrivant à la station d'épuration est composé des eaux usées domestiques, administratives, industrielles et des eaux parasites.

Notre station d'épuration est dimensionnée sur la base de 150 l/hab./jour. En déterminant les besoins d'eau potable pour 500 équivalents habitant :

$$\text{Besoins} = 150 \times 500 = 75000 \text{ l/jour} = 75 \text{ m}^3/\text{jour}$$

Soit Q_m le débit moyenne journalier des eaux usées et Q_p le débit de point de temps sec, on considère que 80% des besoins représentent le volume des eaux usées et ce qui donne :

$$Q_m = 0,8 \times 75000 = 60000 \text{ l/jour} = 60 \text{ m}^3 / \text{jour}$$

$$Q_m = 60000 / 86400 = 0,71/\text{s}$$

On admet un coefficient de point horaire $K = 3$, le débit de point de temps sec est donné par :

$$Q_p = K \times Q_m = 3 \times 0,69 = 2,1 \text{ l/s}$$

3.3.3. Charge polluante

Le tableau donne la quantité moyenne de pollution produite en un jour par personne. En adopte ces valeurs pour évaluer la pollution journalière arrivant à la STEP

Tableau3.2: flux polluants spécifiques adoptes

Paramètres de pollution	g/hab. /j
DBO ₅	60
DCO	120
MES	80
N (tot)	15
P (tot)	3

Le flux journalier en DBO₅ est calculé sur la base de 60 g/hab. / .jour et ce qui donne :

$$q_{\text{DBO}_5} = 60 \times 500 \times 10^{-3} = 30 \text{ kg/jour}$$

La concentration en DBO₅ est donnée par

$$C_{\text{DBO}_5} = \frac{q_{\text{DBO}_5} \text{ (mg/jour)}}{Q_m \text{ (l/jour)}} = 3000000 / 60000 = 500 \text{ mg/l}$$

Le calcul se fait de la même manière pour les autres charges et en a les résultats suivants :

Le flux journalier en DCO = 60 kg/jour

La concentration en DCO = 1000 mg/l

Le flux journalier en MES = 40 kg/jour

La concentration en MES = 666,7 mg/l

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

Le flux journalier en N (total) = 7,5 kg/jour

La concentration en N (total) = 125 mg/l

Le flux journalier en P (total) = 1,5 kg/jour

La concentration en P (total) = 25 mg/l

3.3.4. Récapitulatif des charges hydrauliques et polluantes arrivant à la STEP

Les charges hydrauliques et polluantes qui peuvent arriver à la station d'épuration sont récapitulées dans les tableaux suivants. Elles représentent ainsi les paramètres de base pour le dimensionnement de la station. En effet, le paramètre clé pour le dimensionnement d'une station d'épuration c'est la charge journalière en DBO₅.

Tableau 3.3: charges hydrauliques

charges hydrauliques	m ³ /jour	m ³ /heur	l/s
Qm (débit moyenne)	60	2,5	0,7
Qp (débit de point avec K=3)	-	7,5	2,1

Tableau 3.4:charges polluantes

charges polluantes	flux journalier (kg/jour)	Concentration (mg/l)
DBO ₅	30	500
DCO	60	1000
MES	40	666,7
N (total)	7,5	125
P (total)	1,5	25

3.3.5. Norme de rejet

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leur éventuelle origine et de connaître l'importance de leur charge polluante. Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, elles doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement

Tableau 3.5 : Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur

Paramètre	unité	Norme
Température	°C	30
PH		5,5 à 8,5
MES	mg/l	30
DBO ₅	mg/l	30
DCO	mg/l	120
N(total)	mg/l	40
P(total)	mg/l	80% de réduction

SOURCE : (Journal Officiel de la République Algérienne, 2006)

3.4. Dimensionnement et calcul des ouvrages de la STEP

3.4.1. Poste de relevage

Un poste de relevage peut être nécessaire pour amener les eaux usées afin de pouvoir évacuer les eaux épurées dans un exutoire (en cas de faible dénivelée entre la sortie des eaux usées de l'habitation et l'exutoire). Le poste de relevage peut aussi être nécessaire pour alimenter les autres dispositifs de traitement en fonction de la topographie du terrain, des cotes de sorties d'eaux usées et des fonds de fouille à respecter.

Ce poste est installé en tête de station d'épuration pour relever les eaux usées qui sont collectées plus bas que le site de traitement. Afin de permettre une alimentation par bâchée ce qui améliore la répartition de l'effluent sur la surface de traitement et donc contribue à la pérennité du dispositif.

Pour notre station Le poste de relevage sera équipé de deux pompes fonctionnant alternativement. En cas de défaillance d'une des pompes, l'autre doit pouvoir fonctionner en secours. La fonction de poste se fait de la manière suivante :

- Démarrage alterne de chacun des groupes, a chaque vidange de bache,
- Démarrage de cascade des deux groupes, lorsque le débit are lever dépasse le débit unitaire d'une des pompes
- Secours automatique de la 2^{eme} pompe sur défaut de la 1^{ere}.

Le choix de la pompe dépend de :

- la nature des eaux usées : eaux usées brutes (sortie d'habitation) ou eaux prétraitées (sortie fosse toutes eaux) ou eaux traitées (ex : sortie de filtre à sable drainé),
- la hauteur et la distance de refoulement,
- la quantité d'eaux usées à relever (débit).

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

Le poste de relevage doit être dimensionné pour faire véhiculer le débit max (le débit de pointe) à la STEP et qui correspond à trois fois le débit moyen journalier en temps sec.

La bache d'aspiration de la station de relevage constitue un volume tampon permettant de régulariser le fonctionnement des pompes. Son volume total doit être suffisant pour que le nombre de déclenchements par heure des moteurs ne dépasse pas une valeur maximale donnée par le constructeur. Le volume V (en m³) de la bache peut être déterminé par la formule suivante [21]:

$$V = \frac{Q_m}{4 * n * z}$$

Avec :

V= le volume utile de la bache (volume constitue entre les niveaux bas et hauts d'enclenchement de la pompe)

Q_m = débit moyen de la pompe (m³/h)

Z = nombre maximum de démarrage par heure (8 à 10)

n = nombre de pompes

Dans notre cas le volume de la bache est :

$$V = \frac{7,5}{4 * 1 * 8} = 0,234 \text{ m}^3$$

Il est prévu un trop plein au niveau de la bache qui doit permettre, en cas de panne, d'évacuer les eaux usées vers un exutoire proche, pouvant recevoir une pollution accidentelle.

La hauteur manométrique totale à fournir par la pompe se compose de :

- la hauteur géométrique de relevage
- la somme des pertes de charge dans la conduite

3.4.2. Calcul du prétraitement :

Les prétraitements sont indispensables au bon fonctionnement de la station mais génèrent de fortes contraintes d'exploitation (récupération des refus, salubrité, entretien, ...).

3.4.2.1. Le dégrillage

Les dégrilleurs assurent la protection des équipements électromécaniques et réduisent les risques de colmatage des conduites mises en place dans la station d'épuration. Le plus souvent il s'agit de grilles qui récupèrent les déchets plus ou moins volumineux entraînés par les eaux usées.

Notre modèle type est une station d'épuration de 500 EH, un dégrillage manuel sera mis en place en amont de station pour limiter au maximum les dépenses énergétiques.

La vitesse au travers du dégrillage doit être comprise entre 0,6 et 1,2 m/s. pour le

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

dimensionnement on prendra une vitesse de 1,2 m/s (tableau 1.6).

On effectue alors le calcul suivant :

$$S = \frac{Q_p}{(V.a.C)}$$

Avec :

S: section minimale (m²)

Q_p : Débit point (Q_p=0,0021 m³/s)

V : vitesse de passage à travers la grille (V=1,2m/s)

$a = \frac{e}{e+s}$ avec : e espace libre entre les barreaux et s : épaisseur de barreaux)

C: coefficient de colmatage = 0,25 pour grille manuelle

On prendra un espacement libre entre les barreaux égal à 30 mm et l'épaisseur des barreaux sera prise égale 10 mm.

Avec ces valeurs conseillées, on obtiendra :

$$a = \frac{30}{30+10} = 0,75 \text{ (sans unité)}$$

Donc :

$$S = \frac{0,0021}{0,75 * 0,25 * 1,2} = 0,01 \text{ m}^2$$

Dans le cas d'un dégrilleur manuel l'angle d'inclinaison de la grille par rapport à l'horizontal θ est compris entre 60° à 80°. On prendra θ de la grille égal à 60°

$$\text{Longueur mouillée } L_0 = \frac{t}{\sin \theta}$$

Avec : t = tirant d'eau amont

Pour préciser le calcul hydraulique on prendra t= 0,1

D'où :

$$L_0 = \frac{0,1}{\sin 60^\circ} = 0,11 \text{ m}$$

La largeur minimale l de la grille (grille rectangulaire) est donnée par :

$$l = \frac{S}{L_0} = \frac{0,01}{0,11} = 0,1 \text{ m}$$

La largeur commerciale de la grille égale a 1 m.

La hauteur minimale de la grille h est :

$$S = h * l \rightarrow h = \frac{S}{l} = \frac{0,01}{0,1} = 0,1 \text{ m}$$

On retient une hauteur de la grille h = 1 m

Pour un espacement libre entre les barreaux de 30 mm et l'épaisseur des barreaux de 10 mm

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

le nombre des barreaux à installer est égal à 25.

Les pertes de charge a travers la grille est :

$$\Delta h = \beta * \left(\frac{S}{e}\right)^{4/3} * \left(\frac{V^2}{2g}\right) * \sin\theta$$

$$\Delta h = 2,42 * (10/30)^{4/3} * (1,2^2/2*9,81) * \sin 60 = 0,035 \text{ m}$$

On peut estimer le refus annuel de dégrillage par équivalent habitant. v est exprimé en litres par équivalent habitant et par an.

$$v = \frac{120 \text{ à } 150}{e}$$

e : écartement des barreaux pris égal a 30 mm.

On peut calculer le volume de refus journalier maximal et minimal à partir de relation précédente. On a donc :

$$v \text{ min} = \frac{120*500}{30*365} * 10^{-3} = 0,0054 \text{ m}^3$$

Et

$$v \text{ max} = \frac{150*500}{30*365} * 10^{-3} = 0,0068 \text{ m}^3$$

3.4.2.2. Dessableur/Déshuileur :

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, les sables et les particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites, à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et à éviter de surcharger les stades de traitements suivants.

L'écoulement de l'eau, à une vitesse réduite, dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Les sables récupérés, par aspiration, sont ensuite essorés, puis lavés avant d'être soit envoyés en décharge, soit réutilisés selon la qualité du lavage [18].

Pour notre cas STEP 500 EH, le choix est porté sur des dessableurs non aérés. Ainsi, il est préconisé une conception à deux filières de dessablage dans des canaux de section rectangulaire qui fonctionnent en alternance en temps sec, pour permettre l'évacuation des sables décantés. Le curage des canaux se fera manuellement.

On effectue alors le calcul suivant :

Le calcul de la longueur du canal du dessableur à courant horizontal est effectué par.

$$\frac{H_{\max}}{V_c} = t = \frac{l}{v} \quad [4]$$

Hmax est la hauteur dans le canal pour Qmax

Vc : est la vitesse de sédimentation des particules les plus petites (environ 2,3 cm/s)

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

t : est le temps de rétention en sec

V : est la vitesse de passage (30cm/s)

l: est la largeur du bassin.

Calcul Hmax :

$$Q_p = V * S$$

Avec

S : section minimale (m²)

Qp : Débit point (QP= 0,0021m³/s)

V : vitesse de passage (V=0,3 m/s)

$$S = \frac{Q_p}{V} = \frac{0,0021}{0,3} = 0,007 \text{m}^2$$

En prend Hmax la hauteur dans le canal est 2m pour Qmax

Calcul le temps de rétention t :

$$t = \frac{H_{\max}}{V_c} = \frac{2}{0,023} = 86,95 \text{s}$$

Calcul le largeur du bassin l :

$$t = \frac{l}{V} \rightarrow l = t * V = 86,95 * 0,3 = 26,085 \text{ m}$$

En prend le largeur du bassin l commerciale =26m

Il y a lieu de vérifier la condition suivante :

$$10 \leq l/H \leq 15 = 10 \leq 26/2 \leq 15$$

3.4.3. Calcul du traitement primaire

Les cultures fixées sur supports grossiers nécessitent un traitement primaire en tête ne générant pas d'effluents septiques à traiter. Généralement, en tête des lits bactériens seront prévus des décanteurs-digesteurs

3.4.3.1. décanteurs-digesteurs

Le décanteur digesteur assure, dans deux compartiments séparés, la décantation des matières en suspension et la digestion anaérobie de la fraction organique des boues décantées.

La digestion (ou fermentation) est plus ou moins avancée selon le temps de séjour des particules solides décantées, elle est pour but de minéraliser les bous par l'action des bactéries anaérobies.

Le processus de la minéralisation se décompose en deux phases :

- Transformation des boues avec formation d'acides organiques,
- Dégradation des acides organiques en gaz carbonique et en méthane.

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

Dans les stations d'épurations à lit bactérienne inférieures à < 2000 EH, il est recommandé de prendre comme donnée de base une vitesse ascensionnelle de 1 à 1,5 m/h et un temps de séjour de 1,5 h (tableau 1.6) dans le dimensionnement du décanteur- digesteur

Nous avons pris une vitesse d'ascensionnelle $V = 1$ m/h et un temps de séjour de l'eau dans le décanteur $T=1,5$ h. avec ces données de base en fait les calculs suivants :

Le débit Q_d de dimensionnement du décanteur en tenant compte du débit de recirculation est :

$$Q_d = Q_p * (1+r) = 7,5 * 2 = 15 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_p : \text{Débit point (QP=7,5 m}^3/\text{h)}$$

r : taux de recirculation (pour le calcul voir poste de recirculation)

Le volume de décanteur est :

$$V = Q_d * T$$

$$V = 15 * 1,5 = 22,5 \text{ m}^3$$

La surface de décanteur :

$$S = \frac{Q_d}{V} = 15 / 1 = 15 \text{ m}^2$$

Avec :

Q_d : Le débit de dimensionnement du décanteur ($Q_d=15 \text{ m}^3/\text{h}$)

V : la vitesse de ascensionnelle ($V = 1$ m/h)

Le diamètre du décanteur :

$$S = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 15}{3,14}} = 4,37 \text{ m}$$

On prend un diamètre normalisé du décanteur $D=4,5$ m

La surface du décanteur par le diamètre normalisé :

$$S = \pi * \frac{D^2}{4} = \frac{3,14 * 20,25}{4} = 15,89 \text{ m}^2 = 16 \text{ m}^2$$

D'après le tableau (1.6) le volume de digestion varie de 1 à 1,5 x V_{admis} , on prend un volume de digestion de 1,5 x V_{admis} pour 150 l/EH₆₀.

Pour 500 EH, le volume de digestion V_d est :

$$V_d = 150 * 500 * 1,5 = 112500 \text{ l soit } 112,5 \text{ m}^3$$

Le volume du décanteurs-digesteurs est égal à la somme de volume du décanteur et le volume correspondant à la digestion.

D'où on a un décanteur-digesteur de volume : $V = 22,5 + 112,5 = 135 \text{ m}^3$.

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

On prévoit donc un décanteur-digesteur avec les caractéristiques suivantes :

- $V= 135\text{m}^3$
- $S=16 \text{ m}^2$
- $D=4,5\text{m}$

La décantation primaire élimine 30% de DBO_5 et 60% de matières en suspension (MES). Les charges de l'entrée et à la sortie du décanteur-digesteur sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3.6 : Les charges de l'entrée et à la sortie du décanteur-digesteur

Charges polluantes	DBO_5 en (Kg / j)	MES en (Kg / j)
Charges polluantes à la rentrée du DP en Kg / j	30	40
Charges polluantes éliminées en Kg/j	9	24
Charges polluantes à la sorties du DP en Kg / j	21	16

Les charges polluantes à la sortie du décanteur primaire (DP) correspondent aux charges polluantes a la rentrée du lit bactérien.

3.4.4. Traitement biologique

3.4.4.1. Dimensionnement du lit bactérien

La technique d'épuration par lit bactérien est un procédé de traitement biologique aérobie à culture fixée.

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux (pouzzolane ou plastique) poreux ou caverneux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs.

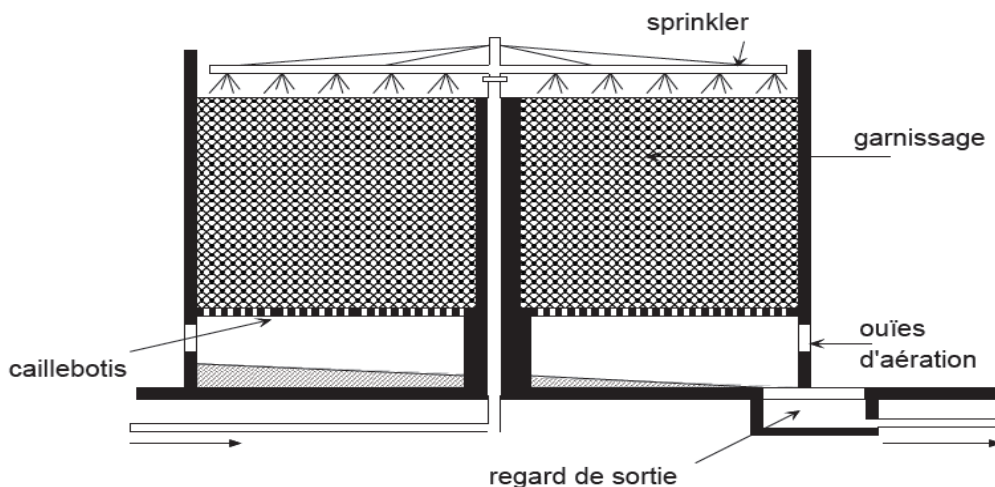


Figure 3.1: Schéma d'un lit bactérien en couple verticale (source : F.SÉGURET., 1998.)

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

Les micro-organismes sont retenus sur un support, appelé garnissage, sous la forme d'un biofilm. Il s'agit d'une couche dense de bactéries, qui ont la capacité de produire des polymères leur permettant de former un film et d'adhérer à un support. Le garnissage est arrosé avec l'eau usée à traiter, après une décantation primaire ou un simple tamisage fin. Le temps de passage de l'eau au sein du système est très court, de l'ordre de quelques minutes.

Pour ne pas avoir un colmatage rapide de la culture bactérienne, il faut effectuer les opérations de prétraitement suivantes : dégrillage, dessablage, dégraissage et décantation primaire (décanteurs-digesteurs). Puis, l'effluent (eau à traiter) est réparti aussi uniformément que possible (dispersion en pluie par une grille de répartition rigoureusement plane) à la surface du filtre.

Ensuite l'effluent (eaux à traiter) va être aspergé sur le lit bactérien grâce à un sprinkler, là les bactéries aérobies vont minéraliser la matière organique en suspension. L'aération dans le lit bactérien est réalisée par tirage naturel ou par ventilation. Ainsi, une aération abondante, par le sommet et le bas du massif filtrant provoque sur ce dernier le développement d'une flore microbienne aérobie de plus, la percolation lente de l'effluent rend le processus d'oxydation efficace.

Lorsque la pellicule bactérienne devient trop importante, elle se détache naturellement; elle doit alors être séparée de l'effluent par décantation. L'eau va donc dans un décanteur secondaire (ou clarificateur) afin d'éliminer les éventuelles boues restantes.

La concentration de la DBO₅ à l'entrée de la station est égale 500 mg /l, après une décantation primaire qui élimine 30% de la DBO₅, il reste à l'entrée du lit bactérien, une concentration de DBO₅ égale 350 mg/l,

Comme on désire une DBO₅ de sortie de l'ordre de 30 mg /l, le rendement d'épuration est alors égale a :

$$\eta(\%) = \frac{350-30}{350} * 100 = 91,4 \%$$

Nous avons dimensionné un lit bactérien de fort charge et des matériaux traditionnel (pouzzolane) d'après le tableau 1.6 en prend comme donnée de base :

Hauteur de lit (matériau traditionnel) = 2,5 m

Charge organique (forte charge) = 0,7 Kg DBO₅ /m²/j

Charge hydraulique = 1,05 m³/m²/h

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

Calcul de la surface totale requise du lit

Elle est donnée par la formule suivante :

$$S_r = \frac{(Q_{mjs} * 1000/24/3600)}{Q}$$

$$S_r = \frac{(60*1000/24*3600)}{(1,05*1000/3600)} = 2,381 \text{ m}^2$$

Avec :

S_r : surface requise (m^2)

Q_{mjs} : débit moyen journalier temps sec (m^3/j)

Q : charge hydraulique par unité de surface ($\text{l}/\text{m}^2.\text{s}$)

Calcul du volume rempli du lit

Il est donné par :

$$V_r = S_r * H$$

$$V_r = 2,381 * 2,5 = 5,95 \text{ m}^3$$

Avec :

V_r : volume rempli (m^3)

S_r : surface requise (m^2)

H : hauteur de remplissage choisie (m)

Calcul de la surface unitaire d'un lit

C'est la surface totale requise du lit divisée par le nombre de lits choisis :

$$S_u = \frac{S_r}{N}$$

$$S_u = \frac{2,381}{2} = 1,19 \text{ m}^2$$

Avec :

S_u : surface unitaire (m^2)

S_r : surface requise (m^2)

N : nombre de lits choisis

Calcul du diamètre requis du lit

Le diamètre requis du lit bactérien de forme circulaire est calculé par la formule suivante :

$$D_r = \sqrt{\left(\frac{4 * S_u}{\pi}\right)} \rightarrow D_r = \sqrt{(4 * 1,19/3,14)} = 1,23 \text{ m}$$

Avec :

D_r : diamètre requis (m)

S_u : surface requise (m^2)

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

Calcul de la charge volumique

La charge organique volumique d'un lit bactérien est donné par :

$$C_v = \frac{Q_{mjs} * S_0}{(V_{tr} * 1000)}$$

$$C_v = \frac{60 * 350}{(5,95 * 1000)} = 3,53 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3.\text{j}$$

Avec :

C_v : charge volumique (kg DBO₅/m³.j)

Q_{mjs} : débit moyen journalier temps sec (m³/j)

S_0 : concentration en DBO₅ à l'entrée du lit (mg/l)

V_{tr} : volume total rempli (m³)

3.4.4.2. Dimensionnement de la recirculation

Les lits à forte Charge nécessitent généralement une recirculation. Cette dernière a plusieurs objectifs : diluer les eaux brutes dont la concentration est trop élevée pour assurer un traitement secondaire efficace, augmenter le rendement par des passages successifs dans le massif filtrant,

Selon le tableau 1.6, pour les stations de 300 à 2000 EH, on adopte un taux de recyclage de 200%.

Pour notre station on prend un taux de recyclage de 200%.

Le taux de recyclage r est donné par la formule :

$$r = \frac{R}{Q_p}$$

Avec

r : taux de recyclage

R : débit de recirculation

Q_p : débit de point

Le débit de recirculation R est :

$$R = r * Q_p = 2 * 7,5 = 15 \text{ m}^3/\text{h}.$$

3.4.5. Traitement secondaire

3.4.5.1. Dimensionnement du clarificateur

Dans une station d'épuration, le clarificateur est l'ouvrage fondamental qui assure la séparation gravitaire de la boue et de l'eau épurée rejetée dans le milieu récepteur.

La forme circulaire a été choisie pour clarificateur de notre station à courant horizontal avec alimentation centrale et sortie périphérique par déversement.

Son dimensionnement consiste à déterminer sa surface et son volume nécessaire à cette

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

opération.

Le clarificateur doit être dimensionné en tenant compte du débit de recirculation, le débit Q_c de dimensionnement est :

$$Q_c = Q_p + R = 7,5 + 15 = 22,5 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00625 \text{ m}^3/\text{s}$$

Les données de base pour dimensionner le clarificateur (tableau 1.6) :

$$\text{Vitesse ascensionnelle ou charge surfacique } V_{\text{asc}} = 1 \text{ m/h}$$

$$\text{Hauteur périphérique } H_{\text{per}} = 2,5 \text{ m}$$

$$\text{Pente du radier (statique/raclé) inclinaison du bassin } I_b = 0,02 \%$$

La surface du bassin requise S_r :

$$Q_c = V_{\text{asc}} * S_r \rightarrow S_r = \frac{Q_c}{V_{\text{asc}}} = 22,5 / 1 = 22,5 \text{ m}^2$$

Le diamètre D_r du bassin requis d'un clarificateur circulaire est donné par :

$$D_r = \sqrt{\left(\frac{4 * S_r}{\pi}\right)} = \sqrt{\frac{4 * 22,5}{3,14}} = 5,35 \text{ m}$$

On prend un diamètre normalisé de bassin $D_r = 5,5 \text{ m}$ et la surface S_r du bassin est :

$$S_r = \frac{\pi}{4} D_r^2 = \frac{3,14}{4} * 5,5^2 = 23,75 \text{ m}^2 = 24 \text{ m}^2$$

La profondeur d'eau à la périphérie d'un clarificateur est donnée par :

$$H_{\text{per}} = w - \frac{(I_b * D_r)}{3}$$

$$W = H_{\text{per}} + \frac{(I_b * D_r)}{3} = 2,5 + \frac{0,02 * 5,5}{3} = 2,53 \text{ m}$$

La profondeur d'eau intérieure : est donnée par :

$$H_{\text{int}} = w + \frac{2 * (I_b * D_r)}{3} = 2,5 + \frac{2 * 0,02 * 5,5}{3} = 2,57 \text{ m}$$

La profondeur d'eau au milieu d'un clarificateur est donnée par :

$$H_m = \frac{(H_{\text{per}} + H_{\text{int}})}{2} = \frac{2,53 + 2,57}{2} = 2,55 \text{ m}$$

Le volume d'un bassin d'un clarificateur est calculé comme suit :

$$V_u = H_m * S_r = 2,55 * 24 = 61,2 \text{ m}^3$$

Le temps de séjour T_s de l'eau dans le bassin est :

$$T_s = \frac{V_u}{Q_c} = \frac{61,2}{22,5} = 2,72 \text{ h.}$$

On prévoit donc un clarificateur avec les caractéristiques suivantes :

$$V = 61,2 \text{ m}^3$$

$$S = 24 \text{ m}^2$$

$$D = 5,5 \text{ m}$$

3.4.6. Gestion des boues

3.4.6.1. Evaluation de volumes des boues

La connaissance du volume journalier des boues produites est nécessaire pour le choix de la filière de traitement des boues.

On doit distinguer deux boues : boue primaires (boue produite par le décanteurs-digesteurs) et boues secondaires (boue produite par le clarificateur ou décanteur secondaire).

Le volume des boues primaires est évalué de la manière suivante :

Le flux q_{MES} de matière en suspension (MES) entrant est de 40 kg/j.

Après décantation qui élimine 60% de MES, on a :

$$q_{MES} = 0,6 * 40 = 24 \text{ kg/j}$$

En admettant une concentration des boues primaires C_{bp} égale à 50 g/l, le volume journalier des boues primaire V_{bp} est :

$$V_{bp} = \frac{q_{ME}}{C_{b_p}} = \frac{24}{50} = 0,48 \text{ m}^3$$

L'évaluation des boues secondaire est la suivante :

La masse des boues secondaire M_s est donnée par :

$$M_s = a_m * L_e$$

Avec :

a_m : quantité oxygène nécessaire a l'oxydation de 1 kg de DBO_5

L_e : pollution éliminée

Pour un DBO_5 de sortie de 30 mg/l, la pollution éliminée est :

$$L_e = 320 * 60 * 10^{-3} = 19,2 \text{ kg/j}$$

En adoptant une valeur de a_m de l'ordre de 0,9, la masse M_s est :

$$M_s = 0,9 * 19,2 = 17,28 \text{ kg}$$

En admettant une concentration des boues secondaire C_{bs} égale a 40 g/l, le volume journalier des boues secondaire V_{bs} est :

$$V_{bs} = \frac{M_s}{C_{bs}} = \frac{17,28}{40} = 0,43 \text{ m}^3$$

Le volume journalier total des boues produites V_{tb} est égale à celui des boues primaires et secondaires, on a donc :

$$V_{tb} = V_{bp} + V_{bs} = 0,384 + 0,43 = 0,814 \text{ m}^3$$

3.4.6.2. Choix de la filière de traitement des boues

Nous choisissons comme filière de traitement des boues, le lit de séchage plante de roseaux. En effet, ce traitement semble le mieux adapté considérant le faible débit et présente des meilleurs perspectives en vue de la valorisation agricole.

Les lits plantes de roseaux sont des ouvrages étanches qui ont à leur base un massif drainant reposant sur un plancher aère. Le massif permet l'épaississement des boues tout en facilitant l'évacuation de l'eau interstitielle. Il est en outre naturellement ventile. Sa bonne aération permet l'obtention de percolas aérobies, lesquels sont recyclés en tête de station d'épuration sans nuire a son fonctionnement.

Le principe de séchage des boues sur lit plantes de roseaux repose sur la mise en place d'un massif filtrant reconstitue, de granulométrie croissant de la surface vers le fond et drainé, sur lequel des boues sont disposées et dans lequel des macrophytes se développent.

3.4.6.3. Dimensionnement et disposition constructives

En se référant au document technique (FNDAE) établit par l'office internationale de l'eau et le fond national pour le développement des adductions d'eau on adopte les données de base suivantes pour le dimensionnement (Agence de l'eau. France, Juillet 2007):

- ✓ Pour un charge admissible de l'ordre de 50 kg MS/m²/an, le dimensionnement correspond à 0,25 m²/EH.
- ✓ La hauteur totale sera de l'ordre de 2,5 m dont 1,8 m utile.
- ✓ La densité de plantation des roseaux est de 4 pieds par m² soit un pied tous les 50 cm dans toutes les directions.il est recommandé de planter entre mars et septembre. En dehors de cette période, les roseaux meurent.

Avec ces données de base, on effectue le calcul suivant :

La surface totale S à mettre en œuvre pour une STEP de 500 EH est :

$$S = 0,25 * 500 = 125 \text{ m}^2.$$

Il est nécessaire de prévoir plusieurs lit (quatre lits voir plus selon les quantités à traiter) afin de respecter le période de repos sur chaque lit (FNDAE N°22 bis). En choisissant 4 lits,

La surface S_l de chaque lit est :

$$S_l = \frac{S}{4} = \frac{125}{4} = 31,25 \text{ m}^2.$$

Pour une hauteur de 2,5 m, le volume V du lit est :

$$V = 31,25 * 2,5 = 78,12 \text{ m}^3.$$

On prend un volume normalisé de 80 m³. Donc chaque lit aura un volume de 80 m³.

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

Le nombre N de pied de roseaux à planter est :

$$N = 125 * 4 = 500 \text{ pieds soit } 125 \text{ pieds par lit.}$$

Il est indispensable de surveiller la qualité du massif filtrant et les différents matériaux qui doivent satisfaire à certains critères notamment, la taille, la forme, composition, lavage si nécessaire avant la mise en place afin d'optimiser les performances hydraulique de l'installation.

3.5. Besoins énergétique de la STEP

Certaines stations d'épuration d'eaux usées nécessitent la fourniture d'électricité pour la recirculation des boues, le poste de relevage, l'aération etc.

Dans le cas de petites collectivités locales, les besoins énergétiques de la station d'épuration peuvent être suffisamment faibles pour qu'une installation photovoltaïque soit rentable. Des procédés ne nécessitant pas une énergie trop importante, tels les disques biologiques et le lit bactérien à forte charge, qui peuvent s'insérer dans un projet d'électrification photovoltaïque.

3.5.1. Bilan énergétique de la STEP

Le bilan énergétique de la station d'épuration est résumé dans le tableau suivant, il est prévu aussi la consommation des lampes pour l'éclairage de la station et divers autres équipement nécessaire à la station.

Tableau3.7 : bilan énergétique journalier de la STEP

Equipement	Fréquence ou durée d'utilisation quotidienne	Puissance(W)	Energie (KWh/j)
Poste de relevage	4 heures par jour	900	4
Lit bactérien	Fonctionnement permanent 24h	1500	7,5
Poste de recirculation	8 heures par jour	900	8
Eclairage et divers	Fonctionnement permanent 24h	150	3,6
Total	-	3450	23,1

Source : (M. Eric et A. DEVES COSTIC,, 1999)

3.5.2. Dimensionnement du système photovoltaïque

Dans le cas d'un système photovoltaïque alimentant en énergie électrique un site autonome, ce qui compte, c'est d'assurer la production électrique tout au long de l'année et de garantir un approvisionnement en énergie électrique correspondant à la demande journalière prédéfinie. Le gisement solaire est fonction du lieu (et de sa latitude), des conditions climatique, de l'orientation du plan des modules photovoltaïque, ainsi que de l'inclinaison par rapport à l'horizontal et bien sûr de l'époque de l'année.

3.5.2.1. Dimensionnement des modules photovoltaïques

Pour dimensionner la surface des panneaux nécessaires on procède en trois étapes :

Etape 1 : calcul de l'énergie qui sera consommée par jour (voir bilan des puissances et énergies dans le tableau 3.7)

Etape 2 : calcul de l'énergie à produire. Pour que les besoins soient assurés il faut que l'énergie consommée(E_j) égale l'énergie produite (E_p) à un coefficient près.

Etape 3 : calcul de la taille du générateur photovoltaïque (ensemble des panneaux) à installer.

La puissance crête des panneaux P_c à installer dépend de l'irradiation du lieu d'installation.

On la calcule en appliquant la formule suivante :

$$P_c = \frac{E_j}{0,6 E_i} \text{ ou } E_j = 0,6 .E_i . P_c$$

Avec :

E_j en [Wh / jour]

E_i en [KWh/m²/j]

En considérant une irradiation moyenne $E_i = 5$ KWh/m².jour, ce qui correspond à une irradiation quotidienne moyenne annuelle reçu Algérie, on a :

$$P_c = \frac{23100}{0,6 * 5} = 7700W_c \text{ ou } 7,7KW_c$$

Notre choix des panneaux est fait en fonction de ce qui est disponible sur le marché local. Le type des panneaux disponibles est le 80W Momo-cristalline solar panel (solarland) et il a les caractéristiques suivantes :

- Puissance crête $P_c = 80W_c$
- Tension maximum de puissance : 17,2 V
- Courant maximum de puissance : 4,65 A
- Surface : 1196*541 (mm²) ou 0,64 m²

Le nombre K des panneaux pour 7700W_c est

$$K = \frac{7700}{80} = 96,25$$

Donc $K=97$ panneaux

La surface S_p à prévoir pour la mise en place des panneaux est :

$$S_p = 0,64 * 97 = 62,08 \text{ m}^2 = 62 \text{ m}^2$$

3.5.2.2. Dimensionnement des batteries

Pour réaliser le dimensionnement de la batterie, on procède de la façon suivant :

Etape1 : on calcul l'énergie consommée(E_j) par les différents récepteurs

Etape2 : on détermine le nombre de jour d'autonomie nécessaire

Etape3 : on détermine la profondeur de décharge acceptable pour le type de batterie utilisée

Etape4 : on calcule la capacité (C) de la batterie en appliquant la formule ci-dessous :

$$C = \frac{E_j * N}{D * U}$$

Avec :

C : la capacité de la batterie en Ampère.heur (Ah)

E_j : l'énergie consommée par jour (Wh/j)

N : nombre de jour d'autonomie

D : décharge maximale admissible (0,8 pour les batteries au plomb)

U : tension de la batterie(V)

Comme pour les panneaux, nous avons choisi une batterie disponible sur le marché local et dont les caractéristiques sont :

- Tension nominal : 12 V
- Capacité : 120 Ah
- Surface : $332*174(\text{mm}^2)$ ou $0,057 \text{ m}^2$

Pour une autonomie $N=5$ jour, la capacité C à prévoir est :

$$C = \frac{23100*5}{0,8*12} = 12031,25 \text{ Ah}$$

Le nombre c de batterie nécessaire est :

$$c = \frac{12031,25}{120} = 100,26 \text{ batteries}$$

On prend $C=100$ batterie

La surface S_k à prévoir pour les batteries est:

$$S_k = 0,057*100 = 5,7 \text{ m}^2 = 6 \text{ m}^2$$

3.5.2.3. Dimensionnement du régulateur

Le dimensionnement de régulateur de charge (à l'entrée) fonction de la puissance du générateur donc du courant produit par les modules (courant de charge). Le dimensionnement de la régulation de décharge (à la sortie) fonction de la puissance totale des récepteurs (courant de décharge ou courant d'utilisation) [37].

D'après les caractéristique techniques du module choisi, l'intensité maximale produite par un module est de 4,65 A. pour 97 modules montes en parallèle, le courant I_k a l'entrée du

régulateur est :

$$I_k = 4,65 * 97 = 451,05 \text{ A}$$

L'intensité de sortie I_s du régulateur doit être supérieure à la valeur maximale appelée par les récepteurs. Elle peut être déterminée par la formule :

$$I_s = \frac{P}{U}$$

Avec :

P : la puissance totale (en watt) des récepteurs lorsqu'ils fonctionnent tous au maximum de leur puissance.

U : est la tension aux bornes génératrices (en volt).

D'où l'intensité de sortie est :

$$I_s = \frac{3450}{17,2} = 200,58 \text{ A}$$

3.5.2.4. Dimensionnement de l'onduleur

Lorsque l'application se compose d'appareils fonctionnant en électricité alternative (AC), il faut convertir l'électricité continue que produisent les panneaux PV en électricité alternative compatible et utilisable par ces appareils. D'après l'AIEA agence internationale de l'énergie atomique, pour déterminer la puissance adéquate (en volts ampères VA) de l'onduleur, il faut multiplier la puissance installée (en watts W) relative au site calculé par 1,5[37].

D'où la puissance P_o de l'onduleur est :

$$P_o = 1,5 * 3450 = 5175 \text{ W}$$

3.5.2.5. Dimensionnement des câbles électriques

Nous voulons déterminer la section des câbles permettant de minimiser les pertes lors du transport de l'électricité. Il est nécessaire de limiter de longueur des liaisons entre le générateur photovoltaïque et les récepteurs. Cette distance n'excède jamais quelque mètre. Le but est de réduire les pertes à moins de 3% de l'énergie produite (maximum conseillée) [37].

✓ Section du câble module/batteries :

La puissance du module étant de 80Wc, on ne doit pas dépasser 2,4W de pertes. En appliquant la formule :

$$P = R * I^2$$

Avec :

P : pertes de puissance entre le module et batterie en W

R : résistance du câble en Ω (ohm)

I : courant circulant entre le module et batterie

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

$$P = R \cdot I^2 \rightarrow R = \frac{P}{I^2} = \frac{2,4}{(4,65)^2} = 0,11 \Omega$$

Il ne reste plus qu'à calculer la section du câble offrant une résistance inférieure à 0,11 Ω

En utilisant l'équation :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S}$$

Avec :

R : résistance du câble

L : longueur de câble entre le module et les batteries (pris égale à 8m)

S : section du câble en m^2

ρ : résistivité linéaire du conducteur constitutif du câble $\rho = 16 \cdot 10^{-9}$ ohm, mètres pour le cuivre, $\rho = 25 \cdot 10^{-9}$ ohm, mètres pour l'aluminium.

On obtient le résultat suivant :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S} \rightarrow S = \frac{\rho \cdot L}{R} = 16 \cdot 10^{-9} \cdot 8 / 0,11 = 1,16 \cdot 10^{-6} m^2 \text{ ou } 1,16 mm^2$$

On prend une section normalisée S = 1,5 mm^2

✓ Section du câble batteries /onduleur :

En suivant exactement la même méthode que la précédente, avec de nouvelles données :

L'onduleur tolère jusqu'à 5175 W

En ne doit pas dépasser 132,75 W de perte (3%)

$$\text{Courant circulant entre les batteries et onduleur : } I = \frac{P}{U} = \frac{5175}{17,2} = 301 \text{ A}$$

On obtient:

$$P = R \cdot I^2 \rightarrow R = \frac{P}{I^2} = \frac{132,75}{301^2} = 0,0014 \Omega$$

La section du câble est :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{S} \rightarrow S = \frac{\rho \cdot L}{R} = 25 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{2}{0,0014} = 35,71 \cdot 10^{-6} m^2 \text{ ou } 37,7 mm^2$$

3.6. Travail expérimental

Nous allons travailler sur une mini station d'épuration TE900, qui possède les différentes étapes du traitement secondaire ainsi qu'une colonne dans laquelle on va l'utiliser comme lit bactérien pour atteindre nos objectifs qui est l'amélioration de la qualité de l'eau. Pour notre travail nous allons utiliser de la pouzzolane comme garnissage du lit avec deux granulométries différentes. Notre but est d'étudier le rabattement de pollution des eaux usées domestiques pour chaque granulométrie et choisir la meilleure granulométrie.

Dans toute station d'épuration des eaux usées il est nécessaire d'effectuer des analyses de l'eau brute et de l'eau traitée afin de déterminer les différents paramètres physicochimiques et bactériologiques permettant d'évaluer le niveau de pollution dans chaque phase de traitement. Les analyses ne sont valides que si le prélèvement et l'échantillonnage ont été entourés de soins suffisants ; la séquence prélèvement échantillonnage-conservation-analyse constitue alors une chaîne cohérente pour laquelle on aura conscience de ne négliger aucun maillon.

3.6.1. Objectifs principaux des expériences

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

- Faire fonctionner le pilote.
- Dépollution des eaux d'origine urbaine issue de la STEP de AIN EL HOUTZ.

Pour faire une expérience dans le laboratoire on a ramené des eaux usées de STEP de AIN EL HOUTZ.

Les eaux usées de STEP sont toutes les eaux qui parviennent dans les canalisations d'eaux usées de réseau d'assainissement de la ville de Tlemcen, ces sont des eaux d'origine domestique. La station d'épuration de la ville de Tlemcen conçue pour une population de 150 000 eq/hab. d'une capacité de 30 000 m³/j.

3.6.2. Garnissage du lit bactérien utilisé

Dans notre expérience nous avons utilisé le garnissage traditionnel, la pouzzolane qui est une roche siliceuse d'origine volcanique, faiblement agglomérée, friable, dont la couleur varie du gris au rougeâtre, utilisée depuis l'Antiquité comme constituant secondaire des ciments et des mortiers.

Les pouzzolanes ont des caractéristiques intéressantes, ce sont des roches poreuses qui laissent les eaux passer, ne se colmatent pas facilement et abritent de très nombreuses bactéries minérales, insolubles, ce sont des pierres qui ne se dégradent pas dans l'eau et qui n'interagissent pas entre elles au niveau du PH.

3.6.2.1. Caractéristiques techniques de la pouzzolane

A. Teneur en eau naturelle

Par rapport aux autres roches naturelles, la teneur en eau de la pouzzolane est élevée et peut varier de 8 à 13 % suivant l'état hygrométrique ambiant.

B. Porosité

La Pouzzolane peut varier de 30 à 60 % en volume suivant les granulométries. Contrairement aux agrégats lourds, ce sont les gros éléments qui possèdent le coefficient de porosité le plus important.

C. Légèreté

La pouzzolane a une faible densité du fait de sa porosité.

Densité : $1 \text{ m}^3 = 1 \text{ tonne}$ environ selon granulométrie (vrac et non-tassé).

D. Capacité d'absorption d'eau

Les essais d'absorption d'eau à 24 heures montrent que la texture cellulaire, et la porosité de la pouzzolane lui confèrent une grande capacité d'absorption qui peut varier de 20 à 30 % en poids du granulat sec.

E. Résistance à la chaleur

la température de fusion de la pouzzolane est de 1140°C mais sa mauvaise conductibilité est telle qu'un élément de 0,150 m d'épaisseur exposé sur une face 8 heures à cette chaleur présente sur la face opposée une température d'environ 100°C seulement. La face exposée se vitrifie [58].

3.6.3. Composition de L'équipement

L'équipement est composé de :

- Pilote de l'épuration à lit bactérien (TE 900).
- Des appareils de mesures des paramètres physiques et chimiques de l'eau.

3.6.3.1. Description du pilote TE900

Le pilote **TE900** (**figure.III.1**) est un appareil envisagé pour l'étude de l'épuration des eaux par voie bactérienne.

L'expérimentation consiste à faire maintenir en contact l'eau à épurer avec des floccs bactériens dans le bassin d'oxydation en présence d'oxygène, les floccs sont ensuite séparés par une séparation solide liquide comme la décantation, la clarification ou la flottation



Figure 3.2 : Pilote TE900.

3.6.4. Prélèvement et échantillonnage

Notre étude expérimentale a été faite au niveau du laboratoire de traitement et d'épuration des eaux du département d'hydraulique de l'université de Tlemcen en utilisant : 300 litres d'eau usée brute de la station d'épuration d'Ain El Houtz (cuve d'alimentation du pilote), avec 5 litres de boue fraîche introduite dans le réacteur biologique pour accélérer le processus de dégradation biologique.

Dans toutes nos expériences nous avons travaillé sous les conditions suivantes :

- Un débit d'entrée = 8,5l/h,
- Un temps de séjours = 6h,
- Un débit d'oxygène dissous = 500l/h.

Le prélèvement est l'opération qui consiste à prendre une partie aliquote du milieu à étudier ; alors que l'échantillonnage consiste à retenir une fraction du prélèvement sur laquelle sera effectuée l'analyse.

L'échantillonnage peut se faire sans prélèvement intermédiaire, l'eau est prise directement dans des flacons sans transiter par une bouteille de prélèvement, c'est l'étape la plus délicate dans la chaîne de mesure de la qualité des eaux, car elle conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. Il conviendra donc que :

- D'une part, toutes les précautions soient prises pour que l'eau prélevée subisse le

Chapitre 3 : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire

minimum de modification entre l'instant du prélèvement et celui de l'analyse.

- D'autre part, les échantillons soient homogène et aussi représentatif que possible du milieu.

Avant de commencer le prélèvement, il convient de nettoyer le matériel avec de l'eau et du détergent puis le rincer à l'eau distillé. On peut avant utilisation, rincer le matériel d'échantillonnage dans l'eau dans laquelle sera effectué le prélèvement, afin de réduire au minimum le risque de contamination.

L'analyse des échantillons terminée, il convient de présenter les résultats de telle façon qu'ils soient facilement exploitables pour déterminer la pollution résiduelle des eaux de la station d'épuration de AIN EL HOUTZ. Il est également présenté, dans ce qui suit, l'interprétation des résultats obtenus pour chaque paramètre analysé.

Pour voir s'il y'a une influence de la granulométrie du garnissage utiliser dans le lit bactérien sur l'effet épuratoire, nous avons utilisé deux garnissages de la pouzzolane différents d'une granulométrie de (20/50 mm) et de (6/10mm).

3.6.4.1. Épuration avec un lit bactérien d'une granulométrie de (6/10mm)

En se référant uniquement aux valeurs de DCO des échantillons après leur filtration, représentés sur la figure par la série, nous remarquerons alors la variation de la charge polluante globale (matières organiques et inorganiques) des eaux interceptées par le pilote variation de la DCO en fonction du temps.

Les résultats sont résumés dans la figure suivante :

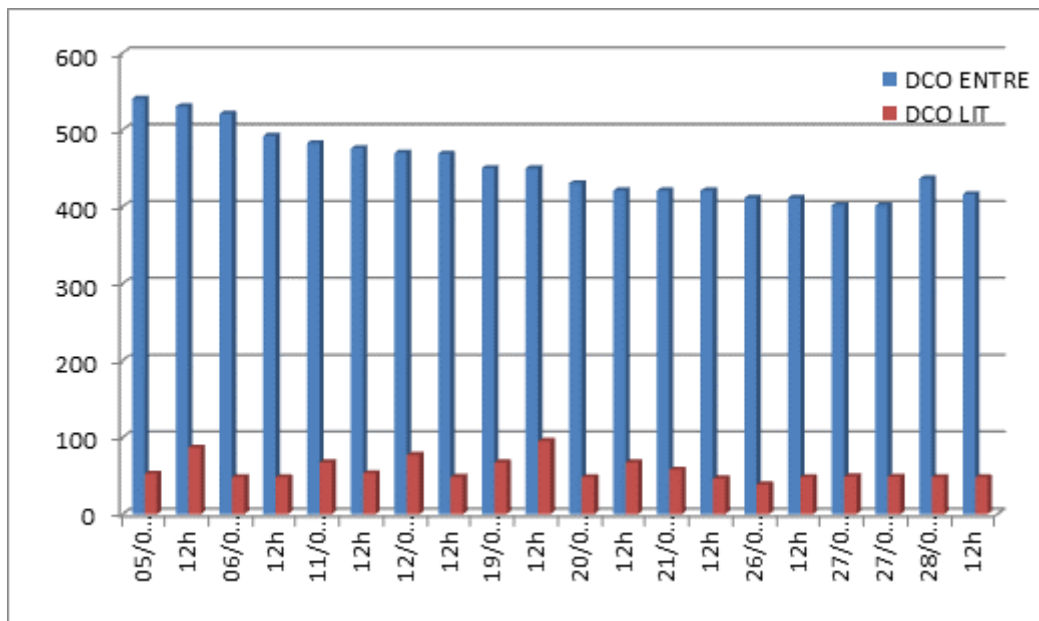


Figure 3.3 : La variation de la DCO en fonction du temps.

D'après le graphique précédent on remarque une instabilité dans le paramètre de la DCO ceci est dû à la production de la culture bactérienne sur le lit utilisé jusqu'au 10ème prélèvement où cette dernière a commencé à se stabiliser à 48mg/l dans le lit bactérien, ou elle a été 540 mg/l dans l'eau brute. On peut remarquer que la DCO de sortie est nettement inférieure à celle de l'entrée. Donc le lit bactérien contribue à diminuer pratiquement 91% de DCO d'entrée qui arrive du lit bactérien ce qui confirme l'action positive de l'introduction d'une telle unité dans le processus épuratoire.

3.6.4.2. Épuration avec un lit bactérien d'une granulométrie de (20/50 mm)

Vérification de variation de la DCO en fonction du temps.

Les résultats sont résumés dans la figure suivante :

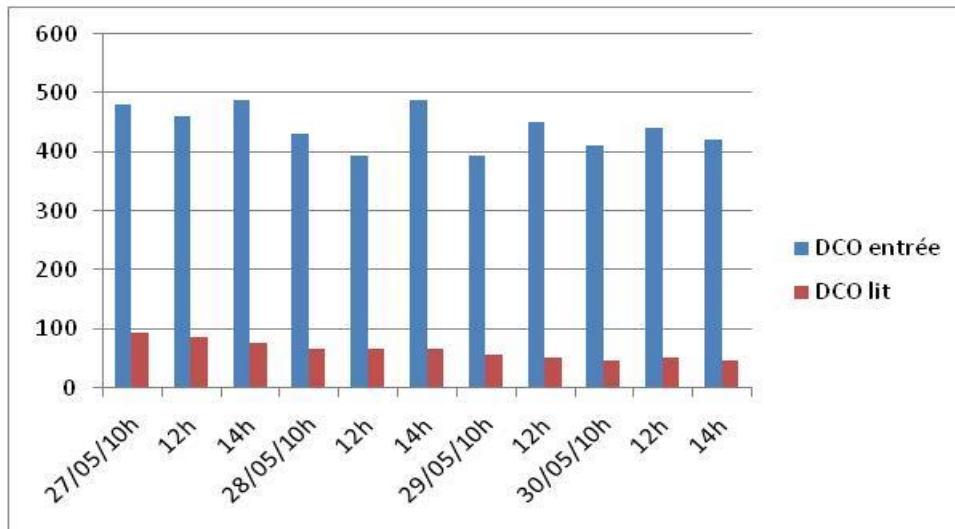


Figure 3.4 : La variation de la DCO en fonction du temps.

La demande chimique en oxygène de l'eau brute est de 480 mg/l et de la sortie est estimée à de 48 mg/l dans le lit bactérien cela nous conduit à dire qu'il y-a vraiment une élimination de la substance oxydable. Donc le lit bactérien diminue pratiquement 89% de DCO d'entrée et ce qui confirme l'action positive de l'introduction d'une telle unité dans le processus épuratoire,

3.6.4.3. Comparaison des résultats

En Comparant les résultats obtenus liés aux deux granulométries du garnissage utilisées et d'après nos expériences effectuées au laboratoire et nos calculs du rendement de la DCO, pour les deux granulométries utilisées pour le garnissage de ce lit bactérien, nous sommes arrivés à conclure que le procéder du traitement avec lit bactérien avec une granulométries de 6/10 mm donne les meilleurs résultats avec une élimination de 91% de DCO d'entrée, que l'utilisation d'une granulométries de 20/50 mm qui donne une élimination de l'ordre de 89% DCO d'entrée, et nous remarquons que le risque de colmatage est plus dans le lit bactérien avec une granulométries de 6/10 mm, donc plus la granulométrie du garnissage est petite plus le risque de colmatage augmente. Un garnissage plus grand nous donne des résultats moins bons mais demeurent toujours dans les normes de rejet, l'épuration des eaux usées par lit bactérien, nous donne de bons résultats et une meilleur qualité d'eau épurée, mais il y'a toujours nécessité d'un décanteur primaire pour diminuer le risque de colmatage de lit.

Conclusion générale

Le développement des communes rurales, nous pousse à trouver des solutions de traitements des eaux usées adaptées à leurs besoins avant de le rejeter au milieu naturel, et en même temps tenter de résoudre le problème d'alimentation en énergie (électricité) de ces sites de traitement.

Pour les stations d'épurations des petites collectivités, il existe plusieurs procédés de traitement d'eaux usées : lagunage naturelle et aéré, disques biologiques, lit bactérien, boues activées. Reste que le choix de la meilleure filière d'épuration se base sur plusieurs critères parmi ses critères la consommation d'énergie.

Le choix d'une filière à faible consommation énergétique s'impose, le lit bactérien consomme moins d'énergie (jusqu'à cinq fois moins par rapport à une installation qui fonctionne avec les boues activées), et donne des eaux traitées très appréciables en termes de respect des normes des rejets dans le milieu naturel ou pour la réutilisation en agriculture.

La station d'épuration est une installation qui sert à dépolluer l'eau usée pour éviter la destruction totale des écosystèmes aquatiques et naturels due aux effluents pollués. Donc une station d'épuration a plusieurs objectifs : Protection de santé publique, Protection des sources naturelle d'eau potable.

L'application des énergies renouvelables pour l'alimentation électrique du système d'épuration des eaux usées donne plusieurs avantages : l'indépendance énergétique est assurée, production locales, facilité d'installer, Coût au kWh fixe, faible et stable, L'investissement et le rendement sont prévisibles à long terme.

Le système solaire photovoltaïque pour assurer le bon fonctionnement d'une petite station d'épuration (500 EH) avec procédé lit bactérien nécessite 97 panneaux solaire de surface totale de 62 m², pour assurer une puissance crête des panneaux de l'ordre de 7700Wc.

Le travail de laboratoire a pour but d'améliorer la qualité des eaux à épurer, par lit bactérien à garnissage en matière traditionnelle (pouzzolane). L'analyse des eaux pour une granulométrie de 6/10 mm a éliminé 91% DCO d'entrée et pour granulométries de 20/50 mm a éliminé 89% DCO d'entrée.

La réalisation de la station d'épuration qui fonction par l'énergie solaire photovoltaïque est très faisable. Elle devrait encore se développer dans les années à venir car les besoins sont importants. Elle est économiquement rentable, environnementale acceptable et socialement équitable, ce qui est conforme aux principes du concept du développement durable.

Références bibliographiques

- [1] **L. Mercoiret., 2009.** Qualité des eaux usées domestiques produites par les petites collectivités : Application aux agglomérations d'assainissement
- [2] **S.BECHIR et S. MARC., 2006.** Guide technique de l'assainissement. 3^{ème} édition, le moniteur paris-762P.
- [3] **J. BONTOUX., 1993.** Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 166p.
- [4] **A.GAID., 1984.** Epuration biologique des eaux usées (tome 1). Office des publications universitaires (OPU) Alger-261P.
- [5] **D. GAUJOUS., 1995.** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 220p.
- [6] **A.AMINOT, M. CHAUSSEPIED., 1983.** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO, 395p.
- [7] **S. Vandermeersch., 2006.** Etude comparative de l'efficacité des traitements d'épuration des eaux usées pour l'élimination des micro-organismes pathogènes. TFE. Diplômé d'Etudes Spécialisées en Gestion de l'Environnement. Bruxelles.
- [8] **A.EN-NAWAOUI., 2009.** Dimensionnement d'une STEP à Lits bactériens précédés d'étangs anaérobies et Gestion des sous-produits, cas de la ville de Kalaa des Sraghna. PFD. MAROC
- [9] **M. DESHAYES., 2008.** Guide pour l'établissement des Plans d'Assurance de la Qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de type boues activées en lots séparés. PFE INSA Strasbourg.
- [10] **R. VILAGINES., 2003.** professeur d'hydrologie à la faculté des sciences ... Broché: 198 pages; Editeur : Tec & Doc Lavoisier; Édition : 2e édition.
- [11] **Seine et Marne., 2011.** Suivi des systèmes d'assainissement collectif en Seine-et-Marne. Conseil général d'Observatoire de l'eau. 96P.
- [12] **VALIRON F., 1983.** La réutilisation des eaux usées. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 207p.
- [13] **Limoges., Juin 2008.** Bilan de fonctionnement des procédés de traitement des eaux usées pour les stations d'épuration de petite capacité du bassin Loire-Bretagne-105P
- [14] **D.XANTHOULIS., 2004.** Systèmes d'épuration de petites tailles. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux Asbl EPUVALEAU.
- [15] **S YAHIA TENTE et E.T TAHIRIM., 2010.** Réflexion sur la caractérisation physico-chimique des effluents liquides rejetés dans la grande sebkha d'Oran. PFE Université d'Oran.
- [16] **P. PERERA et BAUDOT, 1991.** Guide procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petits et moyennes collectivités-44p
- [17] **J.Christophe BAUDEZ et Philippe F. Cousso., 1998.** Rhéologie des boues de stations d'épuration : études préliminaires pour la maîtrise des stockages et épandages- p 33 à 46
- [18] **DEGREMONT., 1978.** Mémento technique de l'eau (Tome 1). Dixième édition. dégrèvement-suer, Cachan.
- [19] **J. LEVENARD., 2012.** Construction de la station d'épuration Vezelois Merous a Vezelois. Dossier de déclaration au titre de la loi sur l'eau version n°1-105P.
- [20] **Agence de l'eau. , Juillet 2007.** Procédés d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse : Éléments de comparaison techniques et économiques -173P.

- [21] **P JOSEPH, P. Rakha, Laurent D Jacques et M .Jean-Marc., 2002.** Stations d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation. Document technique fndae n°22bis 86p.
- [22] **Agence de l'eau., 2008.** Bilan de fonctionnement des procédés de traitement des eaux usées pour les stations d'épuration de petite capacité du bassin Loire-Bretagne. Recommandations pour l'exploitation des filtres plantés de roseaux à écoulement vertical et Synthèse bibliographique 2007-2008 volume 2.
- [23] **J. Laurent., 1994.** L'assainissement des agglomérations techniques d'épuration actuelles et évolutions-165P.
- [24] **C. Bernard, J.Chauvin, D. Lebrun, J.F Muraz, P., 2006.** Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes de l'expérience de radio détection à l'Observatoire Pierre
- [25] **Y., GENAY. MARS 2005.** Observatoire régional de l'environnement de Bourgogne. Guide Pédagogique. L'ENERGIE.-113P
- [26] **M., FOLLIASSON. 2007.** Les éoliennes. Rapport du groupe de travail de l'académie des Baux. Arts-56P
- [27] **B.Flèche et D. Delagnes., 2007.** Energie solaire photovoltaïque. Document d'application technique n°10.
- [28] **A., Labouret, M., villoz. 2006.** Énergie solaire photovoltaïque, 3^{me} édition, Editions du Moniteur - Dunod,
- [29] **R. RIVERA TINOCO., 2009.** Etude technico-économique de la production d'hydrogène à partir de l'électrolyse haute température pour différentes sources d'énergie thermique. Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'école nationale supérieure des mines de paris
- [30] **T. DESRUES., 2009.** Développement de cellules photovoltaïques à hétérojonctions silicium et contacts en face arrière. THÈSE Pour obtenir le grade de Docteur en Science des Matériaux-Ecole Doctorale Matériaux de Lyon.
- [31] **C.SEMASSOU., 2011.** Aide a la décision pour le choix de sites et systèmes énergétiques adaptés aux besoins du bénin. THESE présentée pour obtenir le titre de Docteur de l'université bordeaux.
- [32] **M. Belhadj., 2008.** Modélisation D'un Système De Captage Photovoltaïque Autonome. Mémoire de Magister centre Universitaire De Bechar.
- [33] **A.Guen., 1992.** Contribution à l'étude des systèmes de télécommunications mobiles Alimentés par énergie solaire. Thèse de magister, Université de Tlemcen, février.
- [34] **D.MICHEL et A. DEVES., 2003.** énergie renouvelable : application au traitement de l'eau potable et des eaux usées an zones rurales, Document technique, paris
- [35] **A.Tchapo SINGO., 2010.** Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome. Thèse pour l'obtention du titre de Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy-I.
- [36] **F.SÉGURET., 1998.** Etude de l'hydrodynamique des procédés de traitement des eaux usées à biomasse fixée Application aux lits bactériens et aux biofiltres. Thèse pour obtenir le grade de docteur. L'université BORDEAUX I.
- [37] **C.NKOUIMI et M. JIMMY., 2009.** Outil d'aide au dimensionnement des systèmes photovoltaïques domestiques. PFE diplôme d'ingénieur- Option Génie électrique a l'Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, Cameroun
- [38] **M. Eric et A. DEVES COSTIC., 1999.** application des énergies renouvelables a la potabilisation et a l'épuration des eaux. Document technique FNDAE n°23.
- [39] **N. LUTZ., 2010.** Étude des techniques alternatives de gestion des eaux pluviales et usées an aménagement. PFE-92P.

Références sites web

- [40] En ligne Traitement des eaux usées le dégrillage, disponible sur le site web : <http://www.hydranet.net> consulté le 24-09-2012
- [41] En ligne Les étapes et procédés de traitement des eaux usées. Disponible sur le site web : <http://pf-mh.uvt.rnu.tn/>(consulté le 24/09/2012)
- [42] En ligne La décantation, disponible sur le site web : <http://www.emse.fr/> (consulté le : 02/01/2012)
- [43] En ligne sédimentation, disponible sur le site web : www.concours-webgeneration.fr (consulté le 24/09/2012)
- [44] En ligne chromatographie et techniques séparatives décantation filtration, Disponible sur le site web <http://www.techniques-ingenieur.fr> (consulté le 02/01/2012)
- [45] En ligne Le Retraitement des Eaux Disponible sur le site web: <http://retraitementeaux.free-h.net>(consulté le 23/01/2013)
- [46] En ligne le lagunage Disponible sur le site web: www.villanatura.be.net (consulté le 03-03-2012)
- [47] En ligne L'épuration des eaux usées-Le lagunage naturel Cas de la station de Mèze-Loupian Disponible sur le site web: <http://www.merelittoral.com/> (consulté le 01-10-2012)
- [48] En ligne PRINCIPE D'UN LIT BACTERIEN Disponible sur le site web:<http://www.cartteau.org> (consulté le 12/04/2012)
- [49] En ligne Technologies pour l'Environnement dans le monde entier, disponible sur le site web www.huber-technology.com (consulté le 24-09-2012)
- [50] En ligne Composition générale des boues d'épuration Disponible sur le site web: [.www.ADEME.fr](http://www.ADEME.fr) (consulté le 12/04/2012)
- [51] En ligne présentation des énergies fossiles, disponible sur le site web : <http://energiespropres.e-monsite.com> (consulté le : 26-09-2012)
- [52] En ligne Exemple d'énergie fossiles, disponible sur le site web www.techno-science.net (consulté le 26-09-2012)
- [53] En ligne l'énergie eolienne, disponible sur le site web : WWW.ADEME.fr (consulté le 18/04/2012)
- [54] En ligne: L'énergie éolienne: avantages, disponible sur le site web : <http://apres.girou.free.fr/> (consulté le : 14/02/2012)
- [55] En ligne les avantages de l'énergie éolienne, disponible sur le site web <http://www.canwea.ca> (consulté le : 14/02/2012)
- [56] En ligne les énergies renouvelable disponible sur le site web : (<http://www.mouhandess.org/>) (consulté le : 26/09/2012)
- [57] En ligne Notions de base sur l'énergie solaire photovoltaïque disponible sur le site web (<http://www.ac-noumea.nc/>) (consulté le : 26/09/2012)
- [58] En ligne caractéristiques technique de la pouzzolane Disponible sur le site web: <http://www.pouzzolane-dugour.com> (consulte le 16/05/2012)

Annexe I

Tableau 1 : Résultats du prélèvement garnissage du lit (6 / 10mm)

Date & heures	DCO ENTREE (mg/l)	DCO LIT (mg/l)
05/06/10h	540	52,3
12h	530,4	86,4
06/06/10h	520,8	48
12h	492	48
11/06/10h	482,4	67,2
12h	475,8	53
12/06/10h	470	76,8
12h	468,8	48,2
19/06/10h	450	67,2
12h	449,6	95
20/06/10h	430,4	48
12h	420,8	67
21/06/10h	420,8	57,6
12h	420,8	46,2
26/06/10h	411,2	38,4
12h	411,2	48
27/06/10h	401,6	48,8
27/06/12h	401,6	48,6
28/06/10h	436,4	48
12h	416	48

Annexe II

Tableau II : Résultats du prélèvement garnissage du lit (20 / 50mm)

Date & heures	DCO ENTREE (mg/l)	DCO LIT (mg/l)
27/05/10h	480	95
12h	460,8	86,4
14h	489,6	76,8
28/05/10h	432	67,2
12h	393,6	67
14h	489,6	67,2
29/05/10h	393,6	57,6
12h	451,2	52,3
30/05/10h	412,8	48
12h	441,6	53
14h	422,4	48,2

Annexe III

La détermination Demande Chimique en Oxygène (DCO) :

La détermination de la DCO se fait essentiellement par oxydation avec le dichromate de potassium, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dans une solution portée à ébullition à reflux pendant 2 heures en présence d'ions Ag^+ comme catalyseurs d'oxydation et d'ions Hg^{2+} permettant de complexer les ions chlorures.

Plus il y a de substances oxydables dans un échantillon d'eau, plus on utilise de dichromate. La DCO est déterminée par le dosage de l'excès de dichromate titré avec du sulfate de fer II et d'ammonium (sel de Mohr) car la quantité de matière oxydable est proportionnelle à la quantité de dichromate réduit.

A. Matériel nécessaire :

- DCO-mètre ;
- Granules : pierres ponces ou billes de verre.

B. Réactifs à utiliser:

- Solution d'acide sulfurique et sulfate d'argent ;
- Solution sulfate de fer (II) et d'ammonium (sel de Mohr) $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ à 0,12 mol/l ;
- Solution de dichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) à 0,04 mol/l et contenant du sulfate de mercure (II) ;
- Hydrophthalate de potassium ($\text{KC}_8\text{H}_5\text{O}_4$) à 2,0824 mmol/l ;
- Ferroïne.

Matériels utilisé pour la mesure de la DCO :



A-DCO-mètre.



B-billes de verre.

C. Mode opératoire :

- Transvaser 10 ml de l'échantillon pour l'analyse (diluer si nécessaire) dans le tube de l'appareil, ajouter 5 ml de solution de dichromate de potassium et quelques régulateurs d'ébullition (granules : billes de verre) ;
- Ajouter avec précaution 15 ml d'acide sulfurique et sulfate d'argent et raccorder immédiatement le tube au réfrigérant ;
- Répéter les deux étapes précédentes pour tous les échantillons à analyser mais aussi pour deux échantillons à blanc (10 ml d'eau distillée)
- Amener le mélange réactionnel à l'ébullition pendant 120 minutes à 150 °C ;
- Rincer les réfrigérants à l'eau distillée et refroidir les tubes ;
- Enlever le réfrigérant et diluer à 75 ml et laisser refroidir ;
- Titrer l'excès de dichromate avec la solution de sel de Mohr en présence d'une ou de deux gouttes de l'indicateur coloré Ferroïne.

✓ Expression des résultats :

La DCO exprimée en mg d'O₂/l est donnée par la formule :

$$\text{DCO} = 8000 \times C_{\text{Fe}} (\text{VT} - \text{VE}) / E \dots \dots \dots (2)$$

Où :

C_{Fe} : Concentration de la solution de sel Mohr déterminée par étalonnage, soit dans le cas présent 0,12 mol/l ;

E : Volume de la prise d'essai en ml ;

VT : Volume en ml de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium titré pour l'essai à blanc ;

VE : Volume en ml de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium titré pour l'échantillon
8000 : Masse molaire en mg/l de $1/2 O_2$.

Note : On doit vérifier la validité de la méthode en calculant la DCO de l'essai témoin, qui doit être de 500 mg d' O_2 /l, en remplaçant dans l'équation VE par VR Où :

VR : Volume en ml de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium titré pour l'essai témoin ; Avec la valeur de la DCO, contrairement à la valeur de la DBO5, les composés difficilement dégradables ou non dégradables biologiquement sont également mesurés.

Tableau : Valeurs typiques de DCO (BLIEFERT C., PERRAUD R., 2001. Chimie de l'environnement : Air, Eau, Sols, Déchets. Edition de boeck, 477p.)

DCO (en mg/l)			Type d'eaux usées/substrat
5 ...	20		eaux courantes
20 ...		100	eaux usées communales après épuration biologique
300	...	1000	eaux usées communales non épurées
22 000			eaux d'infiltration de décharges

✓ **VERRERIE USUELLE**



B-Pipette



A-Burette



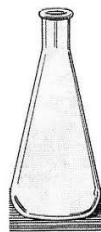
C-Énrouvette



E-Becher



D-Fiole jaugée



F-Erlenmeyer

Annexe IV : PRÉPARATION DES RÉACTIFS NÉCESSAIRES POUR LA DÉTERMINATION DE LA DCO.

1- Solution de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) à 0,040 mol/l contenant du sulfate de mercure (II) :

- ✓ Dissoudre 80 g de sulfate de mercure dans 800 ml d'eau déminéralisée ;
- ✓ Ajouter avec précaution 100 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré ($n = 1,84$) ;
- ✓ Laisser refroidir et ajouter 11,767 g de dichromate de potassium préalablement séché à 105 °C pendant 2 h
- ✓ Transvaser dans une fiole jaugée d'un litre et compléter au volume avec de l'eau distillée.
- ✓ Cette solution reste stable pendant 1 mois.

2- Solution d'acide sulfurique et sulfate d'argent :

- ✓ Ajouter 10 g de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) à 40 ml d'eau distillée ;
- ✓ Mélanger avec 960 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré ($n = 1,84$) ;
- ✓ Agiter et laisser refroidir.
- ✓ Laisser reposer 1 à 2 jours.

3- Solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium (sel de Mohr) $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ 0,12 mol/l :

- ✓ Dissoudre 47 g de sulfate de fer (II) et d'ammonium dans de l'eau déminéralisée ;
- ✓ Ajouter 20 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré ($n = 1,84$) ;
- ✓ Laisser refroidir et diluer à 1000 ml.
- ✓ Cette solution doit être étalonnée journalièrement.

4- Solution d'indicateur coloré (Ferroïne) :

- ✓ Dissoudre 0,7 g de sulfate de fer (II) dans de l'eau distillée ;
- ✓ Ajouter 1,50 g de phénanthroline-1,10 monohydraté ;
- ✓ Diluer à 100 ml.

5- Solution d'hydrogénophthalate de potassium ($K_8C_8H_5O_4$) à 2,0824 mmol/l :

- ✓ Dissoudre 0,4253 g d'hydrogénophthalate de potassium, préalablement séché à 105°C dans de l'eau distillée et diluer jusqu'à 1000 ml dans une fiole jaugée.
- ✓ Cette solution à une DCO théorique de 500 mg/l et est stable au moins une semaine à 4°C.

6- Granules :

- ✓ Ce sont des régulateurs d'ébullition : pierres ponce ou billes de verre.

SOURCE : REJSEK F., 2002. Analyse des eaux : Aspects Réglementaires et Techniques. Edition SCEREM, 360p.

Annexe V : glossaire

à l'énergie consommée par un appareil de 1 000 watts (1 kW) de puissance pendant une durée d'une heure.

Aérobic : Milieu permettant à un organisme de se développer en présence d'oxygène.

Anaérobic : Milieu permettant à un organisme de se développer en l'absence d'oxygène.

Auto surveillance : Dispositif de contrôle de performance mis en oeuvre par l'exploitant de la station d'épuration lui-même (efficacité de l'épuration, respect des normes de rejet, de la bonne élimination ou évacuation des sous-produits, éventuels dysfonctionnement).

Azote ammoniacal(NH₄) : Concentrations en masse de la somme de l'azote ammoniacal

Azote Kjeldahl (NK) : Concentrations en masse de la somme de l'azote organique et ammoniacal

Bassin d'aération : Ouvrage dans lequel les eaux à traiter et les boues activées sont mélangées et aérées

Boues : Boues résiduaires, traitées ou non, provenant de stations d'épuration des eaux urbaines résiduaires

Capacité de la batterie : la capacité d'un élément d'accumulateur est la quantité d'électricité qu'un élément chargé peut fournir pendant la période de décharge, elle s'exprime en ampères-heures [AH].

Charge admissible sur lit de séchage : matières sèches admissible sur le lit par mètre carré et par an ne pas dépasser sa capacité de traitement

Charge hydraulique : débit journalier reçu par la station sous forme de hauteur d'eau (exprimée en m³/jour).

Charge massique (C_m) : C'est le rapport entre la charge polluante entrante (en kg de DBO₅/j) et la masse de boue présente dans le système.

Charge organique surfacique : quantité de pollution(DBO₅) admis par mètre carré de lit. Elle est choisie en fonction de l'objectif de rejet.

Charge volumique (C_v) : flux de DBO₅ entrant par jour dans le système biologique par unité de volume du système (en kgDBO₅.m⁻³.j⁻¹)

Clarificateur : Ouvrage dans lequel les boues activées, ou les boues de cultures fixées sont séparées des eaux épurées pour des boues activées ou des cultures fixées

Courant maximum de puissance : courant fourni par le module et qui correspond au fonctionnement sous sa puissance crête.

DBO₅ : Demande biochimique d'oxygène sur 5 jours. Exprimée en mgO₂/l, elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour assurer par voie biologique l'oxydation et la stabilisation

des matières organiques présentes dans l'eau usée à 20°C et à l'obscurité.

DCO : Demande chimique en oxygène. Exprimée en mgO₂/l, Elle représente la teneur totale en matières oxydables. Ce paramètre correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder par voie chimique ces matières.

Débit (Q) : Volume de fluide s'écoulant à travers une certaine section pendant une unité de temps

Débit de pointe(Q_p) : Quantité maximale de fluide passant à travers une certaine section pendant une unité de temps

Débit moyen (Q_m) : Débit moyen pendant une durée spécifiée

Décanteur primaire : Bassin dans lequel la majorité des matières décantable sont séparées par décantation des eaux usées brutes ou prétraitées qui le traversent

Décharge maximal admissible des batteries : il s'agit de la décharge maximal de l'accumulateur qui n'est tolérable que quelque jour par an (1 à 3 jour par an).

Dégraisseur, déshuileur : Ouvrage ou appareillage destiné à séparer des eaux usées les graisses, huiles et autres matières flottants

Dégrilleurs : Appareil destiné à séparer des particules grossières et des objets des eaux usées, par rétention sur des barreaux raclés manuellement ou mécaniquement, sur des bandes mobiles, des disques ou tambours rotatifs constitués de surfaces perforées, de grilles

Dessableur : Ouvrage destiné à séparer les graviers, le sable et les autres matières minérales similaires des eaux usées.

Eau usées (EU) : Eau qui n'a ne subit aucun traitement de quelque sorte que ce soit, ou eau qui entre dans une station afin d'y subir un traitement ou traitement supplémentaire

Eaux usées domestiques : Eaux usées provenant des établissements et services résidentiels et produites essentiellement par le métabolisme humain et les activités ménagères

EH : Equivalent-habitant. C'est la quantité moyenne de pollution produite en un jour par une personne. Selon la directive européenne du 21 mai 1991, relative au traitement des eaux urbaines résiduaires, 1 EH représente 60 g de DBO₅ par jour.

Epaississeur : Ouvrage ou appareil assurant la réduction de la teneur en eau de la boue, sous l'effet de la gravité, avec ou sans herses d'épaississement, en assurant l'élimination ultérieure du surnageant

Flux journalier en Azote : quantité d'azote entrant à la STEP. Il est obtenu sur la base de 15 grammes d'azote total par habitant et par jour.

Flux journalier en DBO₅ : quantité de DBO₅ entrant à la STEP. Il est obtenu sur la base de Demande biochimique d'oxygène sur 5 jours de 60 grammes d'oxygène par habitant et par

jour.

Flux journalier en DCO: quantité de DCO entrant à la STEP. Il est obtenu sur la base de 120 grammes de DCO par habitant et par jour.

Flux journalier en MES: quantité de MES entrant à la STEP. Il est obtenu sur la base de 80 grammes de MES par habitant et par jour.

Flux journalier en phosphore : quantité de phosphore entrant à la STEP. Il est obtenu sur la base de 3 grammes de phosphore par habitant et par jour.

Hauteur géométrique : différence entre la cote de départ (poste de relevage) et d'arrivée des eaux (bâche de relevage).

Hauteur Manométrique Totale (HMT) : C'est la somme des hauteurs géométriques et des pertes de charge à l'aspiration et au refoulement d'une pompe.

Hauteur périphérique : hauteur d'eau en périphérique du clarificateur. En générale elle varie de 2 à 2,5 m et selon le type de réseau (unitaire, séparative) mise en œuvre.

Inclinaison de la grille : angle que fait la grille avec l'horizontal. Cet angle est compris entre 60 à 80°

Irradiation quotidienne moyenne annuelle : rayonnement solaire global reçu par les modules. Il est donné par les cartes de rayonnement solaire de la région considérée.

Kilowatt-heure (KWh) : Le Kilowatt-heure est une unité de mesure d'énergie correspondant

Lagunage naturel : Procédé d'un traitement biologique constitué d'une série de lagunes à eaux usées sans aération artificielle

Lagune aérée : Lagune de traitement des eaux usées avec aération artificielle et sans recirculation de boues

Lagune : Bassin de construction simple, le plus souvent en terre et destiné au traitement des eaux usées ; exemple : lagune naturelle, lagune d'aération; lagune de finition

Lit bactérien : Réacteur à culture fixée sur un lit de matériau support à travers lequel les eaux à traiter percolent. L'aération peut être naturelle ou forcée

Mégawatt (MW) : unité de puissance électrique égale à un million de watts.

MES : Matières en suspension, exprimées en mg/l. Particules organiques ou minérales de taille supérieures à 1 µm, ce sont les matières non dissoutes contenues dans l'eau.

Nitrification : Transformation de l'azote organique en nitrates par voie bactérienne.

Nombre de jour d'autonomie : nombre de jours nécessaires pour assurer une alimentation en continue en cas des intempéries par exemple.

Nombre de Reynolds (RE) : rapport des forces d'inerties sur les forces de viscosité. Il renseigne sur le type d'écoulement (laminaire ou turbulent).

Onduleur : converti le courant continu fourni par les modules en courant alternatif nécessaire au fonctionnement des certains équipements.

Perte de charges a traverse de la grille : dépend de la forme, de l'espacement des barreaux et aussi de l'inclinaison de la grille. Elle renseigne sur colmatage de la grille.

Pertes de puissances tolérées : pertes d'énergie tolérée entre deux équipements, par exemple entre module et batterie ou batterie-onduleur. Elle doit être raisonnable.

Phosphore total (Pt) : Concentrations en masse de la somme du phosphore organique et minéral

Ppv : Puissance fournie par les panneaux photovoltaïques

Ppv_av : Puissance moyenne fournie par les panneaux

Prétraitements : Etape de traitement concernant l'élimination des solides grossiers, des sables et graviers ou des matières flottants des eaux usées

Puissances crêtes : la puissance crête correspond a une puissance maximum que le module peut fournir. Elle s'exprime en Wc.

PV : Photovoltaïque

Recyclage : Retour d'une fraction des eaux traitées par un réacteur à culture fixée afin de la mélanger avec les eaux qui l'alimente

Régulateur : réguler la charge et la décharge de la batterie.

Rugosité de la conduite : hauteur moyenne des aspérités de la conduite et dépend de la nature de la conduite.

Station d'épuration des eaux usées STEP : Système destiné à la purification des eaux usées comprenant des ouvrages et des équipements techniques

Surface de lit nécessaire : surface totale des lits a mettre en œuvre pour atteindre un rendement donné. Obtenu en faisant le rapport du flux en DBO5 par la charge organique surfacique.

Taux de recirculation : Quotient du volume de boues recirculées par le volume des eaux à traiter

Temps de séjour de l'eau : durée théorique pendant laquelle le fluide séjourne dans une unité ou un système donne, calculée en divisant le volume de système par le débit du fluide à l'exclusion des débits de recirculation.

Tension maximum de puissance : tension fourni par le module et qui correspondant au fonctionnement sous sa puissance crête.

Tirant d'eau amont : hauteur d'eau a l'amont de la grille. Pour un nombre d'EH inférieure a 1000 il est pris approximativement égale a 0,1.

Traitement des boues : Toute étape de transformation de la boue en vue de sa réutilisation ou de son évacuation. Par exemple, épaissement, stabilisation, conditionnement des boues, déshydratation, séchage, désinfection, incinération

Traitement primaire : Traitement des eaux urbaines résiduaires par un procédé physique et/ou chimique comprenant la décantation des matières solides en suspension ou par d'autres procédés par lesquels la DB05 des eaux résiduaires entrantes est réduite d'au moins 20% avant le rejet et le total des matières solides en suspension des eaux résiduaires entrantes, d'au moins 50 %

Traitement secondaire : Le traitement des eaux urbaines résiduaires par un procédé comprenant généralement un traitement biologique avec décantation secondaire

Vitesse de décantation : Vitesse de décantation des matières en suspension déterminées, dans des conditions spécifiées, par exemple par une courbe de décantation

Vitesse max a travers la grille : la vitesse de passage de l'eau a travers la grille qui doit être comprise entre 0,6 et 1,2 m/s.

Vitesse ascensionnelle : charge hydraulique limite admissible (ou vitesse ascensionnelle) qui dépend des caractéristiques de la boue.

Volume de digestion : volume nécessaire a la digestion des boues au niveau du décanteur-digestion. En général, il varie entre 100 a 150 L/EH.

Volume de refus : volume de débris retenu par la grille. il est estimé par : 12 a 15L.

Wc : Watt crête

Table des matières :

Remerciements	I
Résumé.....	II
Abstract.....	II
ملخص.....	II
Liste des figures	II
Liste des tableaux	VI
<i>Introduction générale</i>	1
<i>1. Chapitre I : Epuration des eaux de petites collectivités de 500 à 800 EH</i>	2
1.1. Introduction	2
1.2. Spécificité de petites collectivités	2
1.3. Estimation des rejets et charges polluantes	3
1.3.1. Équivalent-Habitant (EH)	3
1.3.2. Débits	3
1.3.3. Charges polluantes	4
1.4. Dimensionnement des stations d'épuration de petites collectivités	6
1.4.1. Choix du site d'implantation de la station	6
1.4.2. Prétraitement	7
1.4.2.1. Le dégrillage	7
1.4.2.2. Le dessablage	9
1.4.2.3. Le dégraissage – déshuilage	10
1.4.3. Traitement primaire	11
1.4.4. Les traitements "secondaires", l'élimination biologique des matières polluantes	13
1.4.4.1. Bioréacteur a culture libre	13
1.4.4.2. bioréacteurs à culture fixée.....	18
1.5. Traitement de la boue	30
1.5.1. La production de boue	30
1.5.2. Filières de traitement de boues	31
1.5.2.1. Filière liquide	31
1.5.2.2. Filière pâteuse	32
1.5.3. Lits de séchage plantés de roseaux.....	32
1.6. Conclusion	35
<i>2. Chapitre II : Energies renouvelables dans l'épuration des eaux usées</i>	36
2.1. Introduction	36
2.2. Définition et présentation des énergies fossiles	36

2.2.1. Le pétrole.....	37
2.2.2. Le gaz	38
2.2.3. Le charbon	38
2.3. Les énergies propres (énergies renouvelables)	40
2.3.1. Définition d'énergie propre (ou énergie renouvelable)	40
2.3.2. Les différents types d'énergies renouvelables	41
2.3.2.1. Energie éolienne	41
2.3.2.2. Energie solaire	44
2.3.2.3. Energie géothermique	45
2.3.2.4. Autres énergies propre	46
2.4. Comparaison des énergies.	47
2.5. Electricité solaire photovoltaïque	48
2.5.1. L'énergie solaire photovoltaïque	49
2.5.1.1. La cellule photovoltaïque	49
2.5.1.2. Effet photovoltaïque	51
2.5.1.3. Module photovoltaïque	51
2.5.2. Composition d'un système photovoltaïque	53
2.5.2.1. Générateur photovoltaïque	53
2.5.2.2. Stockages de l'énergie	54
2.5.3. Dimensionnement d'un système photovoltaïque	54
2.5.3.1. Principales règles de dimensionnement	54
2.5.3.2. Estimation de la puissance crête nécessaire	54
3. Chapitre III : Dimensionnement d'une STEP de 500 EH fonction à l'énergie solaire ..	57
3.1. Introduction	57
3.2. Choix de la filière pour l'épuration des eaux	57
3.2.1. Équipements susceptibles d'être alimentés par des énergies renouvelables et sa puissance.....	57
3.3. Données de base et critères de dimensionnement de la STEP.....	58
3.3.1. Production d'eau usée	58
3.3.2. Charge hydraulique	59
3.3.3. Charge polluante	59
3.3.4. Récapitulatif des charges hydrauliques et polluantes arrivant à la STEP	60
3.3.5. Norme de rejet	60
3.4. Dimensionnement et calcul des ouvrages de la STEP	61
3.4.1. Poste de relevage	61
3.4.2. Calcul du prétraitement	62
3.4.3. Calcul du traitement primaire	65
3.4.4. Traitement biologique	67

3.4.5. Traitement secondaire	70
3.4.6. Gestion des boues	72
3.5. Besoins énergétique de la STEP	74
3.5.1. Bilan énergétique de la STEP	74
3.5.2. Dimensionnement du système photovoltaïque	74
3.5.2.1. Dimensionnement des modules photovoltaïques:	75
3.5.2.2. Dimensionnement des batteries	76
3.5.2.3. Dimensionnement du régulateur	76
3.5.2.4. Dimensionnement de l'onduleur	77
3.5.2.5. Dimensionnement des câbles électriques	77
3.6. Travail expérimental	79
3.6.1. Objectifs principaux des expériences	79
3.6.2. Garnissage du lit bactérien utilisé	79
3.6.3. Composition de L'équipement	80
3.6.4. Prélèvement et échantillonnage	81
3.6.4.1. Épuration avec un lit bactérien d'une granulométrie de (6/10mm)	83
3.6.4.2. Épuration avec un lit bactérien d'une granulométrie de (20/50 mm)	84
3.6.4.3. Comparaison des résultats	84
Conclusion générale	85
Références bibliographiques	86
Références sites web	88
Annexe I	89
Annexe II	90
Annexe III	91
Annexe IV : préparation des réactifs nécessaires pour la détermination de la DCO.....	95
Annexe V : glossaire.....	96