

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Larbi Tébessi –Tébessa-

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : Biologie Appliquée.

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master.

Domaine : Science de la nature et de la vie.

Filière: Science biologiques.

Option: Microbiologie appliquée à la santé et à l'environnement.

Thème

***Efficacité épuratoire des plantes
aquatiques***

Présenté par:

Hind Boulaksibet

Amine Tourqui

Devant le jury:

Mme Roiuchdeia

Université de Larbi Tébessi

Président

Mme Boudila

Université de Larbi Tébessi

Promotrice

Mme Benamara

Université de Larbi Tébessi

Examinatrice

Date de soutenance: 27/05/2021

Année Universitaire : 2020/2021

Note :...../ 20

Mention :.....

REMERCIEMENTS

Louange à Allah le tout Miséricordieux, le très Miséricordieux ; et prières et salut sur son prophète.

Nos vifs remerciements à :

- Notre encadreur Mme. BOUADILA Soulef pour ces précieux conseils, ces encouragements et pour avoir approfondi nos connaissances & qui nous a aidées durant toute la période de notre travail, ainsi que pour ses remarques pertinentes et son encouragement.
- Mme ROIUCHDIA qui a bien voulu nous honorer en présidant notre jury.
- Mme BENAMARA pour avoir accepté de juger et d'évaluer ce modeste travail.
- Nos remerciements vont aussi à tous nos professeurs, enseignants et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.

DEDICACES

Ma première gratitude va au tout-puissant ALLAH créateur du tout, pour m'avoir donné la vie, la force pour accomplir ce travail que je dédie : A Mes chers parents .
pour leurs soutiens, leurs amours, leurs compréhensions, leurs patiences, leurs sagesses, et leurs tendresses qui sont toujours pour moi sans limite.

A Mon beau frère : Arafat et seif

Mes sœur : Safa , marwa , mouna

à qui je souhaite un meilleur avenir

A ma grande amies de Tébessa (chikha),et de bejaia (Mezhoud) ,

A mes chers amies : Hind

hadjer , Abir, Hadil, djihen, Linda, Nourel houa ,faten, chourouk, fadia ,

A tous ceux que

j'aime et qui je respecte : monsieur Gasmi

A ceux qui ont contribué de près ou de loin à

l'élaboration de ce travail. Sans oublier tous les professeurs que ce soit ceux du primaire, du moyen, du secondaire, ou de l'enseignement supérieure.

DEDICACES

Avant tout, je tiens à remercier le bon dieu et l'unique qui m'a offert le courage et la volonté nécessaire pour affronter les différentes épreuves de la vie.

Je dédie ce travail à ma chère mère Hania Aouadi
pour leur sacrifice et leur encouragement durant toutes mes études.

A tous mes très chers frères : Mohamed EL Hafnaoui , Slimane

A ma très chère sœur : Khawter , Ikram , Sabrine , Selma

A tous mes chères amies : Faouzi ,Mohammed ,Salah , Said ,

A ma Encadreur BOUADILA et ma Co-promotrice Hind

A tous ceux qui sont proches se mon cœur.

Et dont je n'ai pas cité les noms.

Je dédie ce modeste travail.

LISTE DES ABREVIATIONS

Cf confer

NTK Netiquette

MES matière en suspension

DCO Demande chimique en oxygene

DBO₅ Demande biologique en oxygene

Env Environnement

Co₂ Dioxyde de carbone

PcB les polychlorobiphèyles

CCTP cahier des clauses technique particulieres

Cd compact disque

Pb plomb

Hg Hydragyrum

As association

Al et alli

P parti

Ca calcium

Na sodium

Mg magnèsium

Uv ultraviolet

DBO demande biochimique en oxygene

Po₄ phosphates

Ph potentiel hydrogène

NHS National health services

Cu cuivre

O₂ oxygene

RESUME

Pour se débarrasser de la pollution de l'eau par des éléments lourds, des plantes aquatiques sont utilisées. Car les plantes aquatiques ont une importance particulière en raison de leur rôle essentiel dans l'affectation de l'écosystème aquatique en plus du fait que la plupart d'entre elles ont de nombreuses utilisations dans l'industrie et la médecine et les humains peuvent les utiliser comme nourriture ou aliment pour ses animaux. et récemment, il est devenu utilisé dans le domaine du traitement de la pollution de l'environnement. En particulier la pollution de l'eau.

En raison de la diversité des plantes aquatiques, de leur large diffusion dans les plans d'eau et de leur bonne tolérance aux conditions environnementales changeantes, divers types de familles de plantes ont été utilisés comme guides de vie pour étudier la pollution de l'eau par des éléments lourds. Il est également devenu largement utilisé dans le domaine de la biofiltration en raison de sa capacité à éliminer les éléments lourds de l'eau et à les accumuler dans les tissus, et le processus d'utilisation des plantes pour éliminer les polluants du sol, des eaux souterraines et de surface et des eaux usées est appelé phytoremédiation, comme les processus biologiques des plantes aident Sur le processus de traitement appelé traitement vert.

Le processus d'utilisation des plantes en traitement est une nouvelle technique d'élimination des polluants dus aux propriétés génétiques, chimiques et physiologiques de certaines plantes qui n'ont pas d'effets nocifs sur l'environnement, contrairement aux produits chimiques nocifs pour l'environnement lorsqu'ils sont utilisés dans le traitement des eaux polluées.

Il existe de nombreuses plantes connues pour leur rôle dans la purification de l'eau, qui dépend à son tour de la résistance de cette plante

Cette étude a été menée pour démontrer l'efficacité et l'efficacité des plantes aquatiques dans la purification et le traitement de l'eau.

Mots clés : plante aquatique . phytoépuration . les eaux usées .

ABSTRACT

To get rid of water pollution with heavy elements, aquatic plants are used, as aquatic plants have a special importance because of their essential role in affecting the aquatic ecosystem, in addition to the fact that most of them have many uses in industry and medicine, and humans may use them as food or feed for his animals. And recently it has become used in the field of treating environmental pollution, in particular water pollution.

Due to the diversity of aquatic plants, their wide spread in water bodies, and their good tolerance to changing environmental conditions, various types of plant families have been used as life guides to study water pollution with heavy elements. It has also become widely used in the field of biofiltration due to its ability to remove heavy elements from water and accumulate them in tissues, and the process of using plants to remove pollutants from soil, ground and surface water and waste water is called phytoremediation, as the biological processes of plants help On the treatment process called green treatment.

The process of using plants in treatment is a new technique for removing pollutants due to the genetic, chemical and physiological properties of some plants that do not have harmful effects on the environment, unlike chemicals that are harmful to the environment when they are used in the treatment of polluted water.

There are many plants known for their role in purifying water, which in turn depends on the resistance of this plant

This study was conducted to demonstrate the efficacy and efficiency of aquatic plants in water purification and treatment.

Key words : aquatic plants , phytopurification . used water

المخلص

للتخلص من تلوث المياه بالعناصر الثقيلة يتم استخدام النباتات المائية, حيث ان النباتات المائية لها أهمية خاصة لما لها من دور أساسي في التأثير على النظام البيئي المائي, فضلا عن أن معظمها ذو استخدامات عديدة في الصناعة والطب وقد يستخدمها الإنسان غذاء أو علفا لحيواناته. ومؤخرا أصبحت تستخدم في مجال معالجة التلوث البيئي وعلى الخصوص التلوث المائي.

ونضرا للتنوع في النباتات المائية وانتشارها الواسع في المسطحات المائية وتحملها الجيد للظروف البيئية المتغيرة فقد استخدمت أنواع مختلفة من العائلات النباتية كأدلة حياتية لدراسة تلوث المياه بالعناصر الثقيلة. كما أنها أصبحت ذات استخدام واسع في مجال التنقية الحياتية (Biofiltration) (لقابليتها على إزالة العناصر الثقيلة من الماء وتجميعها في الأنسجة, ويطلق على عملية استخدام النباتات لإزالة الملوثات من التربة والمياه الجوفية والسطحية ومياه الفضلات بالمعالجة النباتية (Phytoremediation), إذ أن العمليات الحيوية للنبات تساعد على عملية المعالجة التي تسمى باسم المعالجة الخضراء (Green treatment).

عملية استخدام النباتات في المعالجة تقنية جديدة في إزالة الملوثات بسبب الخواص الجينية والكيميائية والفسلجية لبعض النباتات التي ليس لها تأثيرات ضارة على البيئة على العكس من المواد الكيميائية التي تكون ضارة بالبيئة عند استخدامها في معالجة المياه الملوثة وتعد

هناك العديد من النباتات المعروفة بدورها في تنقية المياه وهذا بدوره يعتمد على مقاومة هذه النبتة قد أجريت هذه الدراسة لإثبات فعالية النباتات المائية وكفائتها في تنقية المياه ومعالجتها .

الكلمات المفتاحية : النباتات المائية . تنقية نباتية . المياه المستعملة

Table des matières

REMERCIEMENTS	1
DEDICACES.....	2
DEDICACES.....	3
RESUME	5
ABSTRACT	6
الملخص	7
LISTE DE TABLEAU	10
LSTE DE FIGURES	11
INTRODUCTION	1

Chapiter 01 : Generalité sur les plantes aquatiques

Les plantes aquatique :.....	1.
1.1 définition	4
1.2.différents groupe des plantés aquatiques :	4
1.2.1. Les plantes de marais :.....	4
1.2.2. Les plantes oxygénantes :.....	5
1.2.3. Les plantes aquatique des étang :	5
1.2.4. Les plantes émergentes.....	5
1.3. ROLE DE LA VÉGÉTATION AQUATIQUE	6
1.3.1. Rôle physico-chimique	6
1.3.2. Rôle biologique.....	8
1.3.3. Rôle mécanique :	10
2. Ecosystèmes aquatiques	11
2.1. Causes de la pollution du milieu aquatique	11
2.2. Sources de la pollution du milieu aquatique.....	11
2.3. Plantes aquatiques et pharmacognosie :	12
2.4. Chimie écologique des plantes aquatiques.....	13

Chapiter 02 : Caractéristiques des phytoépuration

1. La phytoépuration	15
1.1. Définition de La phytoépuration:	15
1.2. le principe de phytoépuration.....	15
1.3. La station d'épuration :	16
17 Les parametre influençant la phytoépuration	2
2.1. Pollution microbiologique:	17
.2.2 La phragmifiltres.....	19
2.2.1. Principe de fonction	19

.2.2.3 Filtre plante écoulement verticale :	20
.2.2.4 Principe de fonctionnement :	20
.2.2.5 Caractéristique technique	20
2.2.6. Performance :	21
2.2.7. Filtre à écoulement Horizontal	22
2.2.8. Principe de fonctionnement :	22
2.2.9. Mécanismes performances d'épurations :	24
2.2.10. Anantage et inconvénient du pytoépuraton :	24
2.2.11. Contrôle la station d'épuration	26
2.2.12. L'état d'assainissent en Algérie	26
2.2.13. La pytoépuraton en Algérie	27

Chapiter 03: Revue de la Bibolgraphie Scientifique

1.1. Origine et nature de l'eau usée :	29
1.1.1. Les eaux usées domestiques :	29
1.1.2. Les eaux agricoles	29
1.1.3. Les eaux usées industrielles	30
1.1.4. Les eaux usées ruissellement	30
2.1. Systèmes aquatiques de traitement des eaux usées	30
2.2 Biologie des lentilles d'eau	32
2.3. Facteurs importants pour la croissance des lentilles d'eau	33
2.3.1. Température	33
2.3.2. Ensoleillement	34
2.3.3. Densité et fréquence des récoltes	35
2.3.4. Temps de rétention hydraulique	36
2.3.5. Profondeur du système de traitement	37
2.3.6. Influence du vent et des courants d'eau	38
2.3.7. Effets de la pluie et de l'étiage	38
2.3.8. Effets du pH et de la concentration de l'ammoniaque totale	39
2.3.9. Présence d'inhibiteurs	40
2.3.10. Influence des nutriments	41
2.4.1. Enlèvement des matières en suspension (MES)	42
2.4.2. Enlèvement de la matière organique	42
2.4.3. Enlèvement de l'azote	43
2.4.4. Enlèvement du phosphore	43
CONCLUSION	46
Référence	49

LISTE DE TABLEAU

N°	Titres	Pages
01	Tableau . performance épuratoires des filtres plants a écoulement verticale	12
02	principaux mécanismes d'élimination des différents type de polluantes .	21
03	Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique	24
04	Fonctions des plantes dans les systèmes aquatiques	32
05	Rapport critique N/P pour quelques espées de macrophytes .	42

LSTE DE FIGURES

N°	Titres	Pages
01	Différents types de plantes aquatiques selon leur forme de croissance.	06
02	principe de l'épuration dans un bassin a macrophytes flottants .	16
03	Lite filtrants planté de roseau , phragmifiltres	19
04	Filtre planté à écoulement vertical .	20
05	schéma du fonctionnement d'un filtre plante à écoulement Horizontal	22
06	évolution du linéaire du réseau d'assainissement en algérie	26
07	Variations du taux de croissance de différentes espèces de Lemnacées en fonction de la température	34
08	Variation de la production et de la densité des lentilles en fonction du temps .	36-37
09	Isolignes du taux de croissance (d^{-1}) de Lemna gibba en fonction du pH et de la concentration de l'ammoniaque totale à 23 °C .	40

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les plantes aquatiques abritent également une multitude d'organismes et contribuent au maintien de toute la biodiversité et des fonctions écosystémiques des milieux aquatiques (Frontier et coll., 2008).

Elles jouent donc un rôle primordial dans l'équilibre et la représentation de la qualité de l'eau d'un lac ou d'une rivière.

D'autre part, le développement excessif des plantes aquatiques et des algues dans un plan d'eau est le résultat d'un déséquilibre entre certains paramètres environnementaux et physicochimiques. Dans certains cas, ce déséquilibre est d'ordre naturel et est inhérent à l'évolution du milieu (Ramade, 2012)

Toutefois, il est possible de constater que, trop souvent, ce déséquilibre est la conséquence directe des activités humaines. Finalement, le développement excessif de certaines espèces peut être également à l'introduction d'espèces nouvelles ou d'espèces exotiques qui présentent d'extraordinaires caractéristiques d'adaptation et de colonisation des écosystèmes au détriment des plantes indigènes (Frontier et coll., 2008).

L'épuration des eaux usées domestiques fait appel à des techniques physico-chimiques et biologiques. Parmi ces dernières, l'utilisation de végétaux aquatiques, fixés sur support ou en flottation libre, acquiert de plus en plus d'importance dans le monde et particulièrement dans les pays à climat chaud où le rendement photosynthétique est important. Cette «technologie» appelée l'épuration verte (phytoépuration) présente plusieurs avantages (coût limité, mise en œuvre facile, intégration excellente dans le paysage naturel, absence de nuisances olfactives, etc.). La biomasse produite peut être valorisée par compostage, par biométhanisation ou par incorporation dans la nutrition animale. Les eaux épurées peuvent être recyclées dans certains domaines de l'agriculture ou pour alimenter les réserves d'eaux. (Oueslati et al, 2000)

les eaux résiduaires peuvent être chargées par de nombreux polluants et

constituent des milieux parfois très complexes. L'analyse de ces eaux résiduaires permet

d'identifier la ou les substances indésirables qu'on doit éliminer à priori lors d'un traitement

d'épuration au niveau des stations d'épurations. La charge en agents polluants (boues) dans une eau peut être valorisée à partir de certains paramètres.

Par ailleurs, les boues d'épurations sont considérées comme une importante source de biomasse en Algérie, cependant leur utilisation comme source d'énergie reste restreinte par rapport à d'autres pays dans le monde.

Notre étude comporte : Une introduction générale qui relate le sujet, en mettant l'action sur la problématique de thème ;

- La partie bibliographique qui se subdivise en trois parties :
- La partie I, Généralité sur les plantes aquatique
- La partie II, traite sur la phytoepuration
- La partie III , présente sur les eaux usèe
 - o Une conclusion qui reprend sur la problématique de thème.

Partie

bibliographique

Generalité sur les plantes

aquatiques

1. Les plantes aquatique :

1.1 définition

Les plantes aquatiques visibles à l'œil nu sont appelées plantes « macrophytes », contrairement aux algues qui sont difficiles à identifier à l'œil nu, d'où l'importance d'en faire la distinction. La plupart des plantes aquatiques macrophytes sont composées de racines, de tiges et de feuilles.

Toutefois, il arrive que certaines plantes aquatiques macrophytes ne possèdent pas de racines et dérivent au gré des courants, comme la lentille d'eau (**Lemna minor**) (**Fischesser et coll., 2007**).

À titre d'exemple, lorsque la quantité de composés azotés se retrouve en quantité insuffisante, les plantes macrophytes et les algues entrent alors en compétition pour avoir accès aux nutriments et aux espaces de colonisation. Il est toutefois important de prendre note que toutes les plantes aquatiques sont considérées comme envahissantes seulement lorsqu'elles croissent en de trop grandes colonies et qu'elles compromettent l'intégrité écologique d'un plan d'eau (**Hade, 2002**).

1.2. différents groupe des plantés aquatiques :

1.2.1. Les plantes de marais :

Les marais construits pour le traitement d'eau sont des systèmes complexes intégrant de l'eau, des plantes, des animaux, des microorganismes et le milieu qui les entoure. (**DUPOLDT et al, 1995**).

Un marécage construit est définie comme un marais construit spécifiquement pour le contrôle de pollution et l'aménagement des déchets, à un emplacement autre que celui d'un marais naturel déjà existant. (**SHERWOOD, 1993**).

Les consommateurs des biocénoses appartiennent à trois groupes distincts : le zooplancton, le necton, et le neuston. Le zooplancton des eaux douces et surtout constitué par des micro- crustacés (Cladocères, Copépodes, Ostracodes) et par des Rotifères. Le

Chapiter 01 : Generalité sur les plantes aquatiques

neuston, qui correspond à des animaux capables de se déplacer activement en milieu aquatique, est représenté par les insectes, les amphibiens et les poissons. Le terme de neuston désigne les animaux qui se reposent ou nagent à la surface de l'eau (coléoptères Grinidae, hétéroptères Gerridae, par exemple (RAMADE, 2003).

1.2.2. Les plantes oxygénantes :

Les vertus oxygénantes et épuratrices de nombre de plantes aquatiques invasives comme le cabomba, la crassule, les élodées ou les myriophylles sont souvent vantées dans les «garden centers» et les magasins d'aquariophilie. Qu'en est-il exactement?

L'idée avancée est que l'activité photosynthétique de ces plantes immergées assure l'équilibre des bassins aquatiques et aide à maintenir une eau claire.

Ces plantes produiraient et renouvelleraient l'oxygène essentiel à la vie des poissons.

Toutefois, cette fonction importante ne peut être remplie que si elles ne se développent pas de manière excessive.

Quand elles se mettent à proliférer, elles réduisent fortement la pénétration de la lumière dans l'eau et produisent de grandes quantités de matière organique qui tend à s'accumuler au fond des bassins aquatiques. Si cette matière organique n'est pas régulièrement évacuée, sa décomposition conduit à une consommation excessive de l'oxygène dissous dans l'eau par les micro-organismes et mène graduellement à l'asphyxie du milieu aquatique

1.2.3. Les plantes aquatique des étang :

L'étang est un plan d'eau d'origine naturelle ou artificielle de faible profondeur sans stratification thermique stable. Il est alimenté essentiellement par son bassin fluvial (SANDRE ,2005). Parmi les étangs d'origine naturelle ceux créés par les animaux (Castors, Sangliers). Au cours des derniers siècles, un grand nombre de marres et étangs ont également été créés par l'homme, d'abord pour avoir une source d'eau à proximité puis pour des besoins industriels, agricoles, piscicoles, ainsi que pour embellir le paysage (Rosette ,2012)

1.2.4. Les plantes émergentes :

Les héliophytes (ou plantes émergentes) sont par contre essentiellement des plantes terrestres dont les parties photosynthétiquement actives tolèrent d'être submergées ou flottantes dans l'eau pendant de longues périodes (Cook, 1990).

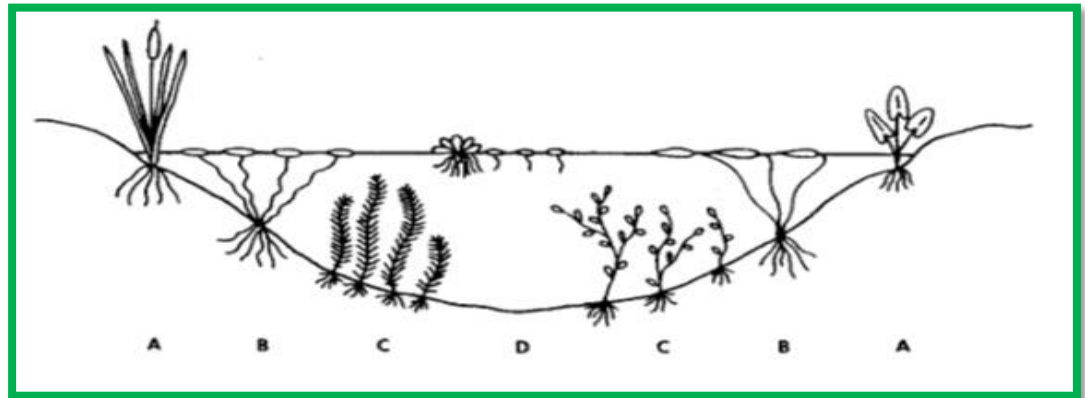


Figure 01: Différents types de plantes aquatiques selon leur forme de croissance. A : espèces émergentes, B : espèces à organes submergés et flottants, C : espèces submergées, D : espèces flottantes libres (figure de Riemer, 1984)

1.3. Role de la végétation aquatique

1.3.1. Rôle physico-chimique

L'activité photosynthétique diurne des végétaux chlorophylliens produit de l'oxygène et absorbe le gaz carbonique.

Quelles que soient leurs formes et leurs dimensions, les plantes sont indispensables dans tout écosystème aquatique.

Durant la période nocturne, la fonction chlorophyllienne ne s'effectue pas, les végétaux, comme les animaux, utilisent l'oxygène dissous dans l'eau. La quantité d'oxygène produite pendant le jour dépend des caractéristiques de la plante (état physiologique) et des paramètres propres au substrat aqueux (insolation, température, pourcentage de saturation du milieu).

L'oxygène libéré, outre de permettre la respiration des animaux, a pour rôle essentiel de favoriser les oxydations (nitrifications).

La fixation du carbone du gaz carbonique ou des bicarbonates affecte leurs teneurs dans les eaux et s'accompagne d'une élévation du pH. En période de végétation importante, on assiste à

Chapiter 01 : Generalité sur les plantes aquatiques

des cycles journaliers de l'oxygène, du pH, des carbonates et bicarbonates .

Les concentrations en oxygène sont maximales en fin de journée (19 h) et minimales en fin de nuit (6 h).

Des concentrations variant de 25 mg/ l (200 % de saturation) à 3 mg/ l peuvent se rencontrer sur un cycle de 24 h dans des milieux très chargés en phytoplancton.

L'écran que constituent les pleustophytes (*Lemna* sp.) ou les hydrophytes fixées à feuilles flottantes (*Nymphéacées*, *Trapa natans*) limite la pénétration du rayonnement lumineux et le développement de la végétation sous-jacente (hydrophytes immergés, phytoplancton).

Simultanément ce tapis végétal joue un rôle de barrière entre l'eau et l'atmosphère, limitant les échanges thermiques et engendre ainsi une stratification thermique estivale peu marquée (**JUGET, ROSTAN, 1973**).

La nutrition des plantes aquatiques :

La nutrition azotée et phosphorée des plantes s'effectue par absorption directe des substances nutritives dans l'eau ou dans les sédiments.

Dans le cas des macrophytes, la consommation des nutriments a lieu essentiellement au cours de la période végétative (mai-octobre) Jusqu'à une époque relativement récente, Il était admis que la nutrition s'effectuait seulement par diffusion des éléments à travers les membranes cellulaires des tiges et des feuilles

Diverses expérimentations récentes (**HUTCHINSON, 1975**)

ont montré que certains végétaux enracinés pouvaient également puiser leur nourriture dans le sédiment de la même façon que les plantes terrestres. Toutefois, la majeure partie de leur nutrition est extraite du milieu ambiant permettant ainsi une amélioration de la qualité de l'eau. Selon divers auteurs (**SYMOÉNS et coll., 1982**) les populations de végétaux vasculaires peuvent contenir 0,2 à 16 % de l'azote et 1 à 37 % du phosphore des apports annuels.

Ces résultats ont conduit à estimer que la récolte des plantes pouvait être un moyen de lutte contre l'eutrophisation des milieux (**CARPENTER et ADAMS, 1977**).

Les végétaux libèrent dans l'eau des substances organiques selon deux processus :

- l'un est continu. Il s'agit de produits d'excrétion sous forme de matières organiques dissoutes par les tiges feuillées. Ce phénomène dépend des divers facteurs (**WETZEL, 1969**) dont les concentrations en cations des eaux (calcium, magnésium, sodium, fer, etc.)

Chapiter 01 : Generalité sur les plantes aquatiques

Ce relargage peut atteindre 20 % de la quantité de carbone fixé par photosynthèse ;

- l'autre est lié à la décomposition de la matière organique des tissus végétaux. Il peut se produire naturellement au cours d'un cycle annuel ou être le résultat de certaines actions anthropogènes (faucardage, traitement chimique).

A terme, ces produits viennent s'ajouter aux sédiments superficiels et rentrent dans le cycle de la matière par l'intermédiaire des décomposeurs.

Les échanges entre le milieu aquatique et l'atmosphère se font directement au niveau de leur surface de contact, l'évapo-transpiration des végétaux à feuilles flottantes est supérieure à l'évaporation de la surface libre.

Cette évapo-transpiration revêt une importance particulière dans les systèmes à faible taux de renouvellement.

1.3.2. Rôle biologique :

1.3.2.1. Production primaire :

Les végétaux constituent l'élément de base des chaînes alimentaires des biocénoses aquatiques. La production de matière organique à partir de substances dissoutes ou colloïdales dans l'eau est l'expression de la synthèse du vivant à partir des composés élémentaires.

Les végétaux vasculaires peuvent représenter 0,7 à 5,1 % de la production primaire totale des écosystèmes stagnants.

Cette production annuelle peut paraître relativement faible vis-à-vis de celle des algues planctoniques ou périphytiques, mais si elle est rapportée uniquement à la période de croissance, elle devient nettement plus importante : cf. le tableau comparatif ci-dessous, d'après **WETZEL, 1964**

La part de production primaire des macrophytes dans la production totale d'un lac dépend essentiellement de la hauteur d'eau.

Les concentrations des eaux et des sédiments en substances nutritives ont également une influence sur la biomasse produite : **WESTLAKE (1963)** estime que les productions primaires nettes annuelles des plantes immergées dans des lacs fertiles varient de 4 à 7 tonnes par ha, alors qu'en milieu pauvre elles sont seulement de 1 à 2,5 tonnes à l'ha. La production des végétaux émergés (hélrophytes) peut atteindre 20 à 46 t/ha avec la valeur extrême de l'ordre de 75 t/ha pour la graminée *Arundo donax*.

La biomasse des plantes immergées (hydrophytes au sens large) dépasse rarement 1 kg de

Chapiter 01 : Generalité sur les plantes aquatiques

matière sèche au m^2 , alors que les macrophytes émergés (hélrophytes) peuvent atteindre 4,5 kg de matière sèche au m^2 . Dans les lacs, cette matière végétale est décomposée, stockée au niveau des sédiments et recyclée plus ou moins rapidement selon l'activité des organismes décomposeurs. **RICV-I (1970)** estime que pour le lac Lawrence (Michigan) la quantité de carbone organique accumulée est de l'ordre de $2 t/m^2$.

Dans les eaux courantes, cette matière organique est entraînée par le courant, déposée et décomposée en des lieux plus calmes puis parfois transportée vers l'aval à l'occasion d'une crue ultérieure.

1.3.2.2. Diversification des habitats :

Les peuplements végétaux et animaux au sein du milieu aquatique sont liés les uns aux autres non seulement par la nourriture que les premiers fournissent aux seconds mais également par les supports et les abris qu'ils leur procurent.

En effet, beaucoup d'algues benthiques microscopiques (diatomées) sont fixées sur la tige ou les feuilles des macrophytes (épiphytes).

La production d'oxygène par les plantes pouvant varier de 0,13 à $7,36 g/m^2$ /jour (**SCULTHORPE, 1967**) permet l'installation d'espèces très exigeantes vis-à-vis de ce paramètre.

La densité des peuplements de macroinvertébrés augmente considérablement en présence de végétaux. **GAUDET(1 974)** signale en Angleterre que dans les rivières à fond caillouteux la densité des organismes est de 3 à $4.1 O^3/m^2$, dans les mousses et autres végétaux elle peut atteindre $40. 10^4/m^2$.

La présence de plantes contribue à l'augmentation de la surface d'accueil potentiel du milieu pour la faune benthique : à $1 m^2$ de sédiment peuvent, selon la nature de la végétation, correspondre plus de $20 m^2$ de surface foliaire.

Les végétaux servent en outre de lieux de ponte et de frayère pour invertébrés et poissons. Ils sont utilisés également en tant que matériaux de construction pour les fourreaux larvaires de certains trichoptères ou les cocons de nymphoses de certains lépidoptères.

Il faut signaler enfin leur rôle d'abri pour les organismes qui viennent se cacher parmi la masse végétale de la vue de leurs prédateurs ou également y trouvent une protection contre l'ardeur du soleil estival. Parmi le monde végétal, il existe une compétition interspécifique.

Les plantes à feuilles flottantes et les plantes émergées sont favorisées vis-à-vis de la lumière qui peut devenir un facteur limitant de la croissance des espèces immergées. **PHILLIPS et coll.**

(1978) ont montré à l'aide d'expériences en milieux contrôlés et naturels que la disparition des hydrophytes dans les milieux riches en substances nutritives était à rapprocher du développement important d'algues épiphytiques, qui, à la suite de la destruction de leurs supports, disparaissent également.

Les peuplements végétaux de tels milieux sont alors constitués essentiellement du phytoplancton .

1.3.3. Rôle mécanique :

1.3.3.1. Entrave à l'écoulement :

Le volume occupé par les végétaux peut atteindre des proportions importantes dans certains cours d'eau. En réduisant la valeur de la section mouillée originelle, les plantes font diminuer la vitesse d'écoulement et augmenter la hauteur d'eau. En Angleterre, **DAWSON (1978)** indique une baisse de la vitesse d'écoulement de 0,3 à 0,1 m/s environ et une augmentation de la hauteur d'eau de 0,2 à 0,4 m.

Le coefficient de CHEZY-MANNING qui rend compte de la rugosité du substrat et des obstacles à l'écoulement était passé de 0,03 à 0,3. Les variations de ce coefficient sont en relation directe avec la biomasse végétale.

L'existence d'herbiers fixateurs des substrats meubles en période d'étiage peut engendrer des modifications des fonds et des rives en créant des turbulences érosives au moment des crues. La végétation dense favorise la sédimentation des particules en suspension. Les débris organiques ou minéraux ainsi piégés contribuent à la formation d'embâcles préjudiciables à l'écoulement des eaux (**DAWSON et coll., 1978**).

1.3.3.2. Consolidation des éléments meubles et fixation des berges :

Les sédiments déposés peuvent être ultérieurement fixés, les plantes s'y installent et les stabilisent. Racines et rhizomes consolident efficacement des bancs de matériaux fins qui, dans des conditions normales d'écoulement, seraient entraînés vers l'aval. En bordure des eaux stagnantes les hélophytes s'opposent à l'action érosive des vagues à la fois en les affaiblissant et en fixant les éléments du substrat (**WETZEL et HOUGH, 1973**).

2. Ecosystèmes aquatiques :

Ecosystèmes aquatiques recouvrent une grande diversité de milieux, tous caractérisés par l'omniprésence de l'eau (douce, salée, vive ou lente).

Comme tout écosystème, ce sont des ensembles environnementaux structurés dans lesquels se produisent des échanges de matière et d'énergie dus aux interactions entre les organismes vivants (biocénose) et leur habitat (biotope).

La biocénose des écosystèmes aquatiques est très diverse puisque, au sein d'un même écosystème, différentes zones de peuplement apparaissent en lien étroit avec les conditions physiques du milieu (la profondeur et la luminosité dans les lacs, le courant dans les cours d'eau. D'une manière générale, le développement des êtres vivants est dépendant de la croissance des végétaux qui, grâce à la photosynthèse, peuvent produire leur matière organique à partir des matières minérales du milieu et du CO₂ atmosphérique en utilisant l'énergie lumineuse (**Chouteau, 2004**).

2.1. Causes de la pollution du milieu aquatique :

Le milieu aquatique, dans son ensemble, est un système très complexe qui est le siège d'un grand nombre de réactions chimiques, physiques et biologiques. Ce système est, de manière générale en étroite relation avec l'ensemble des autres systèmes ou compartiments constituant le milieu naturel et que l'on peut décomposer en trois grandes parties : l'atmosphère, l'eau et le sol (incluant les sédiments).

A cause du cycle de l'eau, les écosystèmes aquatiques sont susceptibles d'être contaminés par des pollutions accidentelles ou chroniques (**Chouteau, 2004**).

2.2. Sources de la pollution du milieu aquatique :

Le milieu aquatique est la cible de contamination par le rejet des effluents pollués (activités humaines, industrielles, urbaines ou agricoles), induisant différentes formes de pollution ; la pollution physique, chimique et biologique (Tableau 1).

Type de pollution	Nature	Origines
Physique	Rejets d'eau chaude	Centrales thermiques, nucléaires
	M.E.S. (matières en suspension)	Rejets urbains, érosion des sols
chimique	Matière organique	Effluents domestiques, agricoles, agroalimentaires
	Fertilisants (nitrate, phosphate)	Agriculture, lessives
	Métaux (Cd, Pb, Hg, Al, As...)	Industrie, agriculture, déchets
	Pesticides (insecticides, herbicides, Fongicides)	Industrie, agriculture
	Organochlorés (PCB, solvants)	Industries
	Composés organiques de synthèse	industries
	Détergents	Effluents domestiques
	Hydrocarbures	Industrie pétrolière, transports
Biologique	Bactérie, virus, champignons...	Effluents urbains, agricoles

Tableau 1 : Origines et natures de différentes sources de pollution du milieu aquatique (source : les **Dossiers scientifiques du CNRS : l'eau, Chouteau, 2004**).

2.3. Plantes aquatiques et pharmacognosie :

Les plantes aquatiques ont été fréquemment utilisées dans les pharmacopées traditionnelles, comme l'atteste la littérature héritée des Grecs, des Romains et des herboristes européens. Cependant, peu d'entre elles se sont vues reconnaître un effet thérapeutique au cours des siècles, et encore moins ont abouti à l'isolement et à l'identification de principes actifs (**Sculthorpe, 1967**). Parmi celles-ci, une place particulière peut être accordée à l'acore (**Acorus calamus L., Araceae**), appelée aussi roseau odorant, une plante héliophyte d'origine asiatique présente au bord des étangs et marais d'Europe et de l'est de l'Amérique du Nord. L'utilisation de son rhizome dans un but médical est documentée dans l'ensemble du continent eurasiatique dès l'époque d'Hippocrate (**env. -460-377 AD**). Il a été employé pour traiter des maladies de l'œil, la dyspepsie flatulente, les indigestions, les maux de dents, les refroidissements et la toux. Il a également été utilisé comme stimulant contre la fièvre (**Sculthorpe, 1967**). L'huile essentielle du rhizome de la variété européenne contient des dérivés mono- et sesquiterpéniques, ainsi que des dérivés phénylpropaniques dont le principal représentant est la β -asarone. Cette huile a des propriétés spasmolytiques, tandis que la β -asarone est un sédatif du système nerveux central. La toxicité de ce composé a cependant été démontrée par le développement de tumeurs hépatiques chez les souris (**Bruneton, 1999**). Une autre espèce de la famille des Araceae,

l'hydrophyte *Pistia stratiotes* L., a été utilisée médicalement depuis des siècles. Elle fut utilisée en Egypte et en Inde pour soigner des maladies de la peau. Ses feuilles ont également été recommandées pour des remèdes contre la toux, l'asthme et les hémorroïdes, tandis que les racines auraient des propriétés laxatives et diurétiques (**Sculthorpe, 1967**). Peu d'études pharmacologiques semblent avoir été effectuées sur cette espèce végétale. Une activité relaxante de l'extrait méthanolique de *Pistia stratiotes* sur les muscles lisses et squelettiques des lapins et des cobayes, via le blocage des canaux calcium, a néanmoins été démontrée, de même qu'un effet hypotenseur sur la pression sanguine chez les rats (**Achola et al., 1997**). Des dérivés stigmastanes isolés de cette espèce, ainsi que son extrait alcoolique, se sont de plus révélés cytotoxiques envers des cellules cancéreuses (**Ayad, 2001**).

2.4. Chimie écologique des plantes aquatiques

La recherche en chimie écologique est une source importante de données sur la structure et les activités biologiques des métabolites secondaires. La production de molécules fonctionnant comme messagers chimiques entre les organismes est reconnue depuis de nombreuses années. Il s'agit d'une fonction essentielle du métabolisme secondaire des végétaux et explique certainement sa grande diversité. Ces composés sont largement employés par les plantes pour leur défense et leur pollinisation, et jouent ainsi un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes (**revue par Harborne, 2001**).

Les messagers chimiques peuvent se diviser en deux catégories : les phéromones, qui sont des médiateurs d'interactions intra-spécifiques, et les molécules allélochimiques utilisées pour les interactions inter-spécifiques. Ces dernières se divisent en trois classes : les allomones, les kairomones et les synomones. Les allomones provoquent dans l'organisme receveur une réaction comportementale ou physiologique défavorable pour celui-ci et avantageuse pour l'organisme émetteur, les kairomones produisent chez le receveur une réaction favorable pour lui-même, mais désavantageuse pour l'organisme émetteur, et les synomones sont des médiateurs chimiques produisant des interactions favorables aux organismes émetteur et receveur (**Dicke et al., 1988**).

Caractéristique des Phytoépuration

1. La phytoépuratation

1.1. Définition de La phytoépuratation:

La phytoépuratation est le nom donné à un système d'assainissement écologique qui utilise le pouvoir épurateur des plantes pour traiter les eaux usées. Ce système d'assainissement écologique rassemble un ensemble de techniques, chacune mettant à profit des processus naturels d'une combinaison végétaux/microorganismes, dans un système créé artificiellement pour le traitement des eaux usées. Le lagunage est donc une technique d'épuratation basée sur la transformation et l'assimilatation naturelle des polluants domestiques par des chaînes alimentaires aquatiques. (Vincent C et Dufour S ,2007)

1.2. le principe de phytoépuratation :

La phytoépuratation comprend l'épuratation par les filières plantées de macrophytes, Qui favorisent la biodiversité des espèces végétales plantées dans les bassins. Une station d'épuratation par filtres plantés de macrophytes fonctionne comme un marais naturel.

ce cas, les eaux brutes (eaux grises et eaux vannes) passent à travers des bassins remplis d'un substrat minéral (sable, gravier, pouzzolane selon les cas) où sont plantés différents végétaux sub-aquatiques : roseaux, massettes, joncs, iris... (Espèces locales de préférence car elles sont adaptées au climat). Ces plantes, et plus spécifiquement les roseaux (*Phragmites communis* ou *Phragmites australis*) ont la particularité de former un tissu racinaire et un réseau de galeries qui drainent, apportent de l'oxygène et servent de support aux bactéries aérobies.

Ces bactéries, ainsi que la macrofaune du sol (lombrics...), ont un rôle de dégradation et de minéralisation de la matière organique, qui devient dès lors assimilable par les plantes. Ainsi le système ne produit pas de boues, les quelles sont compostées et forment un humus sur place. (B.E.I.E.R.E,2009).

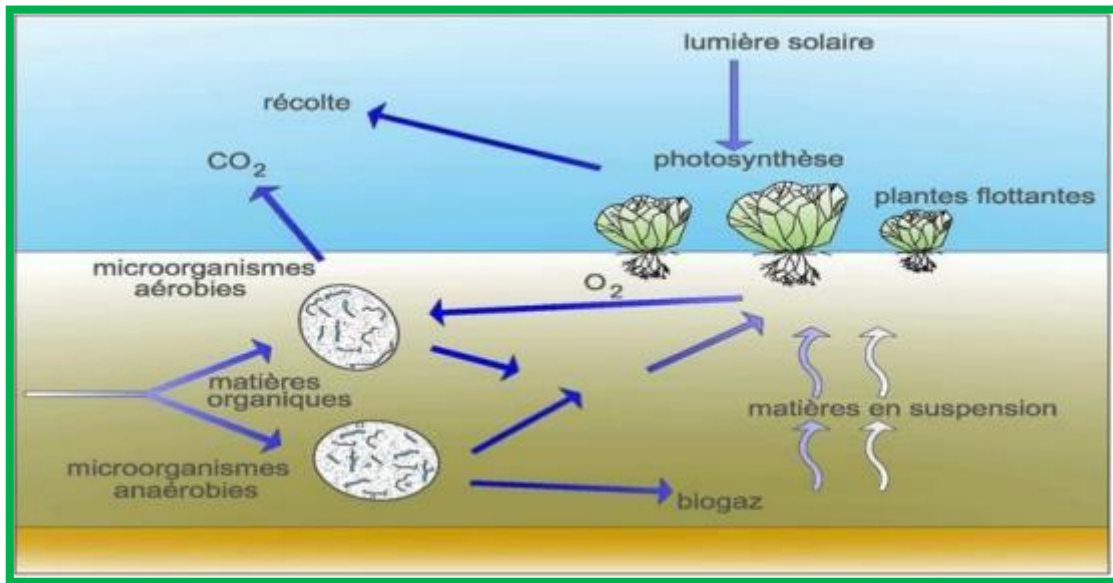


Figure02: principe de l'épuration dans un bassin a macrophytes flottants .(Rakotoarison, 2008)

1.3. La station d'épuration :

Lorsqu'on évoque le traitement des eaux usées, la première image qui vient à l'esprit est celle d'une station d'épuration. Ces systèmes classiques et intensifs ne sont pas toujours adaptés aux contraintes économiques et techniques des petites et moyennes industries, des petites collectivités, des exploitations agricoles et des particuliers. Des systèmes dits "extensifs", telle la phytoépuration, caractérisés par de faibles contraintes d'exploitation se sont ainsi développés.

La phytoépuration est une technique de phytoremédiation mettant des processus naturels pour le traitement d'effluents tels que les eaux usées et les boues liquides. Les systèmes extensifs ne sont pas récents puisque dans le passé, les marés étaient souvent utilisées pour l'épuration des eaux usées. Vers les années 50, des recherches ont mis en évidence le rôle épurateur des marais naturels vis-à-vis des nutriments et bactéries coliformes, contenus dans les effluents. Le lagunage est apparu dans les années 1970, puis les lits d'infiltration-percolation sur sable. Un autre système apparenté mais plus récent (1980) se compose de filtres plantés de roseaux. Il existe plusieurs dénominations pour ces systèmes :

filtres plantés de macrophytes, filtres plantés de roseaux, marais artificiels, ou encore filtres végétalisés auxquels on peut ajouter une terminologie spécifique aux constructeurs (**Phragmifiltre®**, **Bambou-assainissement®**, **Jardins Filtrants®**, etc.) (eaux et jardins par **nathalie korboule-wsky juillet-aout 2013**) .

2. Les paramètre influençant la phytoépuration

2.1. Pollution microbiologique:

Le rejet urbain en général présente des conditions très favorables à la prolifération de certains germes pathogènes et d'organismes vivants. On peut citer les virus, les bactéries, les protozoaires, les vers et les microchampignons. Ces différents éléments garantissent une masse permanente en germes utiles à l'épuration par biodégradation. Les micro-organismes ont un rôle essentiel à jouer dans tous les systèmes de traitement des eaux usées à partir des plantes. Qu'ils soient aérobies ou anaérobies, ce sont eux qui consomment la partie carbonée des eaux usées pour la transformer principalement en CO₂ pour les bactéries aérobies et aussi en méthane pour les bactéries anaérobies. Lorsqu'il est possible de maintenir des conditions séquentielles aérobies et anaérobies, Les bactérie nitrifiantes vont transformer l'azote ammoniacal en nitrites et nitrates dans les zones aérées et les bactéries dénitrifiantes vont permettre la transformation des nitrates et nitrites en azote gazeux dans les zones anaérobies (**Medjdoub, 2014**).

Oxygène dissous:

La présence d'oxygène dissous dans l'eau est indispensable ; l'oxygène permet de maintenir plusieurs facteurs de la qualité de l'eau, notamment son goût, il est essentiel pour la survie de nombreux organismes aquatiques.

L'oxygène dissous dans l'eau peut provenir :

De la dissolution de l'oxygène de l'air par la diffusion à travers la surface ;
De l'apport d'un affluent plus oxygéné, surtout dans le cas des rivières, et parfois

même, d'une aération artificielle;

De la biosynthèse pour les plantes vertes aquatiques qui, sous l'effet de la lumière solaire, utilisent le CO₂ dissous dans l'eau grâce à leur fonction chlorophyllienne dans le cas du lagunage. **(Mekhloufi , 2003)**

2.2. La phragmifiltration

2.2.1. Principe de fonction

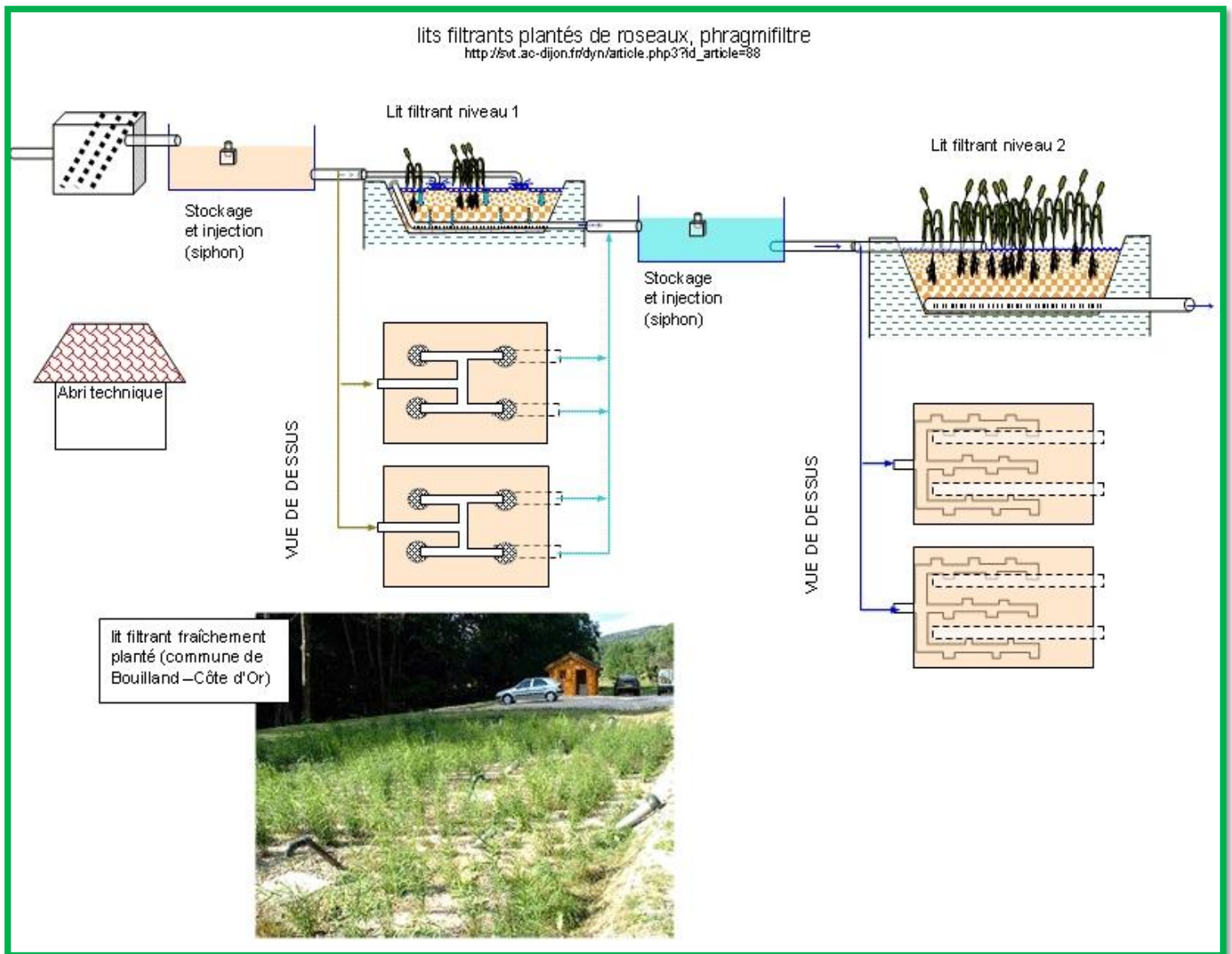


Figure03 : Lite filtrants planté de roseau , phragmifiltres (Banque de Schémas- SVT -Académie de Dijon , 2008)

2.2.2. Les types de filtration des plantes :

Il existe deux types de filtre : les horizontaux et les verticaux, ils diffèrent par leur mode d'alimentation par le sens de l'écoulement de l'eau et par la condition aérobie de traitement

Les stations de filtre plantés sont souvent des combinaisons de lites à écoulement verticale ou horizontale, en parallèle et en série qui permettent d'assurer le prétraitement et le traitement des eaux usées.

2.2.3. Filtre plante écoulement verticale :

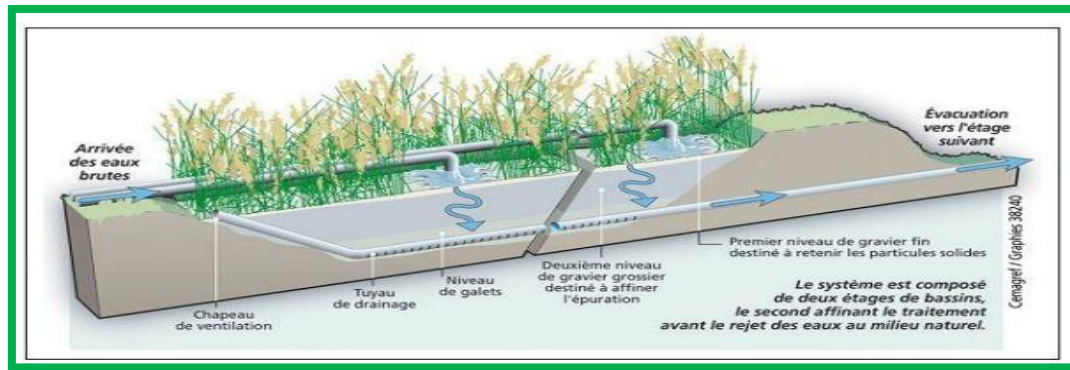


Figure 04 : Filtre planté à écoulement vertical , (Hélène Peeters, 2014)

2.2.4. Principe de fonctionnement :

L'effluent, en traversant le massif, est filtré et débarrassé de ses matières en suspension. Elles s'accumulent alors à la surface et dans la partie inférieure du filtre (dans le système racinaire des roseaux). Commence ensuite la deuxième phase de l'épuration, à savoir la dégradation de la pollution organique par les micro-organismes se développant dans le massif filtrant. Ce processus est proche de celui décrit précédemment : les micro-organismes éliminent les matières organiques en consommant de l'oxygène.

<http://www.univers-nature.com>, (2016)

2.2.5. Caractéristique technique :

Les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical (FPRv) permettent d'infiltrer des eaux brutes dans un milieu granulaire insaturé sur lequel est fixée la biomasse épuratrice.

Ils sont étanches, constitués souvent de deux étages en série, eux-mêmes comportés de trois lits en parallèle au 1er étage et deux au 2ème étage, fonctionnant en alternance.

L'objectif de cette alternance est d'éviter au maximum de colmater le filtre par une minéralisation de la matière organique accumulée, pendant la phase de repos.

Le temps de repos nécessaire sur le 1er étage est environ deux fois le temps de fonctionnement (donc 3 lits en parallèle), et pour le 2ème étage ils sont quasiment égaux (donc 2 lits suffisent). La rotation s'effectue le plus souvent tous les 3-4 jours (**Groupe Macrophytes et Traitement des Eaux, 2005**).

La constitution du 1er étage filtrant est faite de différents types de graviers, légèrement plus aérés que du sable. Le second étage quant à lui est constitué de sable essentiellement pour une filtration plus fine. Les roseaux du même type sont plantés à la surface de chaque étage filtrant avec une densité de 4 plantes.m⁻² (**Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2008**).

Le temps de séjour hydraulique dans ces dispositifs est de l'ordre de quelques heures.

2.2.6. Performance :

Paramètre	Performance	
	Source : guide sur les procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités - 2001	Source : CEMAGREF 2007 « CCTP filtres Plantés de roseaux »
DBO ₅	≤ 25 mg O ₂ /l / rendement > 98 %	
DCO	≤ 90 mg O ₂ /l / rendement de 95 %	< 80 mg O ₂ /l / rendement de 88 %
MES	≤ 30 mg/l / rendement > 98 %	< 20 mg O ₂ /l / rendement de 93 %
NTK	≤ 10 mg/l en général avec des pointes ne dépassant pas 20 mg/l	< 18 mg/l / rendement de 80 %
Phosphore	Abattement normalement faible (dépend de la capacité d'adsorption du substrat et de l'âge de l'installation)	/
Germes pathogènes	Elimination limitée : abattement de 1 à 2 log	/

Tableau 02 : performance épuratoires des filtres plants a écoulement verticale (**AREM , 2007**)

2.2.7. Filtre à écoulement Horizontal :

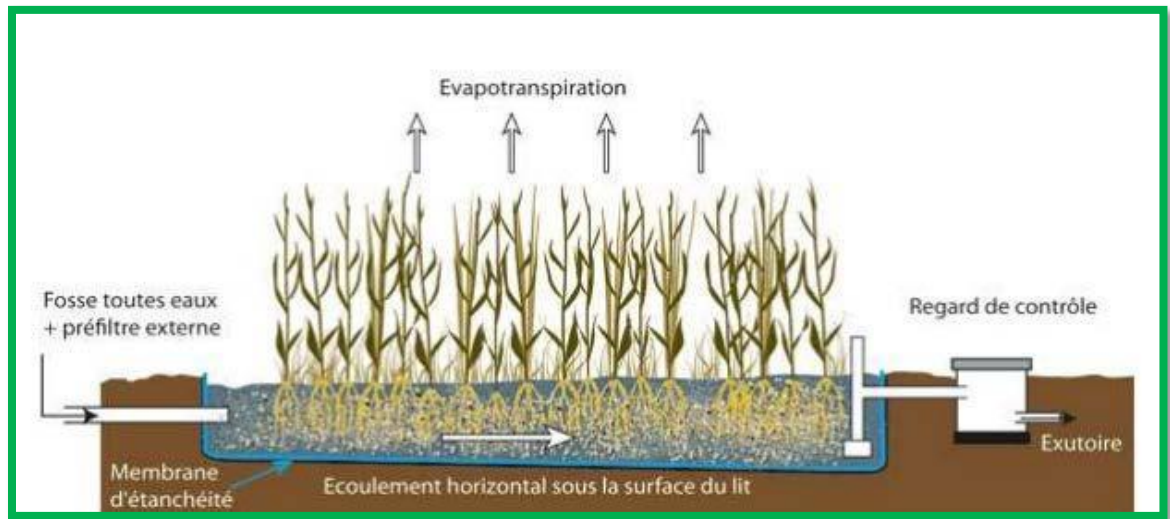


Figure 05 : Schéma du fonctionnement d'un filtre plante à écoulement Horizontal .

(STATIONS D'EPURATION A LITS FILTRANTS PLANTES DE MACROPHYTES WASTE WATER TREATMENT PLANTS WITH MACROPHYTES-2004).

2.2.8. Principe de fonctionnement :

Les filtres horizontaux sont beaucoup plus sujets au colmatage. Ils sont de ce fait utilisés en majorité après un traitement préalable afin d'éliminer les matières en suspension (après un premier étage de filtres verticaux ou un décanteur).

L'oxygénation est beaucoup plus faible que pour les filtres verticaux.

L'oxygène est fourni par la partie supérieure non saturée du filtre ainsi que par le système racinaire des roseaux.

Cette technologie utilise très peu de bactéries aérobies et l'élimination de la pollution carbonée et l'oxydation des matières azotées y sont plus faibles. En revanche, on y observe une dénitrification ce qui diminue les rejets de nitrates.

Une partie de la pollution carbonée est tout de même dégradée au niveau des racines (rhizosphère).

Les roseaux ont pour rôle principal d'éviter le colmatage du filtre même si dans ce cas l'apport d'oxygène n'est plus négligeable.

<http://www.univers-nature.com>, (2016)

➤ **Caractéristique technique (IEW. 2007)**

1. 5 m² /EH
2. Un seul massif uniforme : 60 cm d'épaisseur , gravier de calibre 2-8 mm
3. Zones d'entrée et de sortie : gabion (galets et graviers < 10 mm)
4. Alimentation en contenu : l'ensemble de massif est sous eau
5. Niveau d'eau maintenu à 5 cm sous la surface
6. 04 plants de roseau (phragmites Australis) par m²

Performance (IEW . 2007)

Bons rendements épuratoires sur LA DBO₅ et les MES (70 à 90 °)

Faibles abattements en azote et en phosphore (autour 30)

2.2.9. Mécanismes performances d'épurations :

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

Tableau 03 : Principaux mécanismes d'élimination des différents type de polluantes (Grison . 1999)

2.2.10. Anantage et inconvénient du phytoépuration :

La Phytoépuration présente de nombreux avantages ,Tout d'abord, un faible coût de mise en place et de maintenance présente un intérêt non négligeable dans la dépollution de sites.

Procédé biologique captant l'énergie du soleil, la Phytoépuration est environ 10 fois moins chère que les technologies classiques comme l'excavation et l'incinération des sols ou des systèmes d'extraction et de traitement chimique.

Cette technologie étant mise en place in situ, son coût est nettement diminué en comparaison aux autres méthodes ex situ. Le travail in situ réduit aussi les risques de dispersion et d'exposition de l'homme, de la faune et de l'environnement au polluant (**Cors, 2007**).

La Phytoépuration devrait permettre aussi d'améliorer la qualité des sols. En effet, la croissance du système racinaire permet une aération des sols ce qui stimule l'activité microbologique, de même que l'apport de nutriments au travers des exsudats racinaires.

Les végétaux participent également à la diminution de l'érosion. Ils diminuent aussi l'infiltration des eaux de surface polluées vers les nappes phréatiques en freinant le ruissellement (**Bhupinder et al., 2009**).

La Phytoépuration présente cependant des inconvénients non négligeables.

Les plantes doivent être en contact avec le polluant pour pouvoir agir, Par conséquent, les propriétés du sol, les niveaux de toxicité et le climat doivent permettre la croissance des plantes envisagées.

Si la toxicité est trop élevée, elle peut cependant être diminuée par dilution du sol avec des Contaminants doivent être accessibles aux tissus absorbants.

La Phytoépuration est donc limitée par la profondeur des racines des plantes utilisées. Celles-ci peuvent atteindre 2 m de profondeur dans le cas des herbacées et plus de 5 m pour les arbres, même si certaines racines de phréatophytes peuvent atteindre des profondeurs de 15 m dans des zones arides. La vitesse de dépollution varie de l'ordre de quelques années pour la rhyzodégradation à quelques dizaines d'années pour la phyto-accumulation.

D'autre part, la majorité des recherches a été effectuée en laboratoire dans des conditions très contrôlées, il est probable que la mise en place sur un site diminue l'efficacité de la dépollution à cause des conditions climatiques et environnementales du site (arrosage, présence de nuisibles...) non maîtrisées (**Greenway, 2010**).

2.2.11. Contrôle la station d'épuration :

Le contrôle des rejets des stations d'épuration s'inscrit dans le cadre général de l'auto-surveillance réalisée par l'exploitant. Cette surveillance s'effectue sous le contrôle des services administratifs.(
Rajaonarivelo ,F, J 2013)

2.2.12. L'état d'assainissement en Algérie :

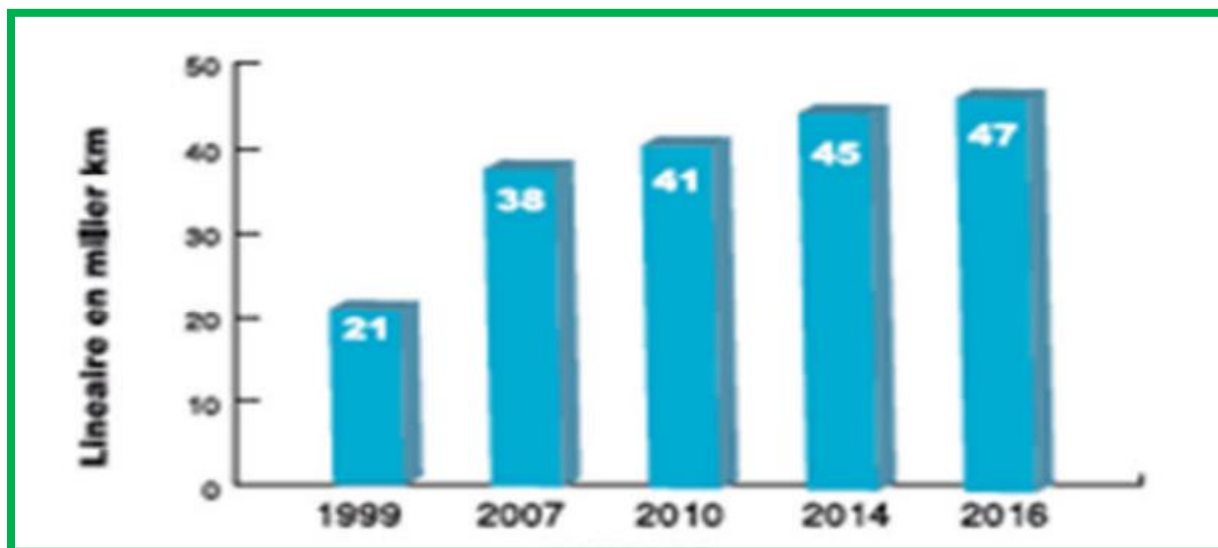


Figure 06 : évolution du linéaire du réseau d'assainissement en algérie

([http : // www.gue univers réunion. fr](http://www.gueunivers.reunion.fr))

2.2.13. La pytoépuration en Algérie :

En Algérie, cette technique d'épuration, par filtres plantés, a fait son apparition que tardivement.

En effet, ce n'est qu'en 2007 que le ministère des ressources en eau a procédé à la mise en place d'un système expérimental d'épuration des eaux usées basé sur un procédé naturel.

Ce pilote expérimental, destiné pour les petites agglomérations de moins de 2000 habitants est le premier du genre en Algérie, réalisé dans la région de Témacine servira de test pour une éventuelle vulgarisation à travers les zones et les hameaux enclavés de notre pays et qui sont dépourvus de système d'épuration.

Les premiers résultats obtenus à travers ce pilote sont concluantes vis à vis des objectifs tracés relatifs aux rendements épuratoires des éléments responsables de la pollution. Ce travail constituera avant tout une contribution à la compréhension du système et mécanismes d'épuration par lits plantés particulièrement en zones arides.(**Madjoub,2014**)

REVUE
DE LA
BIBLIOGRAPHIE
SCIENTIFIQUE

1. Définition des eaux usées :

Une eau est dite usée ou polluée une fois qu'elle perd ses caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques (**Audic JM , Esser D, 2006**). La modification défavorable ou nocive de ces propriétés, produite directement ou indirectement par les activités humaines, les rendant impropres à l'utilisation normale. (**Dugniolle, 1980 ; Glanic et Benneton, 1989**). Les eaux usées sont des liquides de compositions hétérogènes , chargées de matières minérales et/ou organiques , pouvant être en suspension ou en solution, et dont certains peuvent avoir un caractère toxique (**Bachi,2010**).

1.1. Origine et nature de l'eau usée :

Suivant l'origine et la qualité des substances polluantes, on distingue quatre (04) catégories d'eaux usées :

1.1.1. Les eaux usées domestiques :

Ce sont les eaux utilisées par l'homme pour des besoins domestiques (**Chocat ,1997**),

Les eaux commerciales (eaux de lavage de voitures, restaurants, cafés et), Ces eaux sont chargées en matières organiques, graisses et produits d'entretiens ménagers.

Les effluents domestiques sont généralement constitués de matières organiques de bonne biodégradabilité et de matières minérales sous forme dissoute ou en suspension.

1.1.2. Les eaux agricoles :

L'agriculture est une source de pollution des eaux non négligeable car elle apporte les engrais et les pesticides.

Elle est la cause essentielle des pollutions diffuses. Les eaux agricoles issues de terre cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphates, sous une forme ionique ou en quantité telle, qu'ils ne seraient pas finalement retenus par le sol et assimilés par les plantes, conduisent par ruissellement à un enrichissement en matières azotées ou phosphatées des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues. **METAHRI Mohammed Saïd, 2012**.

1.1.3. Les eaux usées industrielles :

Elles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre.

En plus de matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent également contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures, ...etc.

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte. Elles sont mêlées aux eaux domestiques que lorsqu'elles ne présentent plus de danger pour les réseaux de collecte et ne perturbent pas le fonctionnement des usines de de pollution. **LARTIGES B, 1994.**

1.1.4. Les eaux usées ruissellement

Comprennent les eaux de pluies, eaux de lavages et eaux de drainage. Ces eaux sont polluées par les matières qu'elles entraînent en provenance des trottoirs et des chaussées.

Elles contiennent également de zinc, plomb, et cuivre. Les eaux de drainage peuvent provenir de la montée d'une nappe phréatique dans le sol. Elles sont généralement peu polluées

BOUTOUX Jean, , 1983.

2.1. Systèmes aquatiques de traitement des eaux usées :

Les traitements extensifs des eaux usées en aquaculture sont basés principalement sur l'optimisation de trois mécanismes, à savoir : activité bactérienne, la sédimentation due à la décantation de la matière en suspension et l'assimilation de certaines formes de pollution par les plantes aquatiques (**USEPA, 1998 ; Komer et al., 1998; Komer et Vermaat, 1998**). Par rapport à un système conventionnel de traitement, les plantes aquatiques créent dans le biota un environnement favorable qui permet d'améliorer l'efficacité des processus, physico-chimiques et biologiques, d'enlèvement de la DBO, de MES et des macroéléments. Elles contribuent, en outre, à une élimination de 30 à 50% de la charge polluante, le reste du travail est assuré par les biofilms des bactéries attachés à ces plantes, aux parois du bassin et aux sédiments (**Komer et Vermaat, 1998**). Les plantes aquatiques fonctionnent comme un «biofiltres, elles offrent un support au développement des bactéries, participent au transfert de l'oxygène via leurs racines et créent en conséquence une zone aérobie favorable à la croissance des bactéries hétérotrophes (**Rao, 1986, Al-Nozally et al., 2000a**). Les

plantes aquatiques peuvent être classées selon leurs morphologies, en trois classes : les plantes flottantes telles que les lemnaées, les plantes submergées et les plantes enracinées .

Les systèmes aquatiques de traitement des eaux usées peuvent être naturels ou artificiels, aérés ou non aérés. Ce sont généralement des bassins peu profonds (0,30 à 1,5 m) (**Alaerts et al., 1996; Komer et al., 1998**), conçus en tranché ou sous forme d'étangs.

La littérature révèle que les plantes aquatiques les plus utilisées en traitement des eaux usées sont ; Les lentilles d'eau, par exemple, sont capables d'assimiler des quantités importantes de nutriment

à des conditions environnementales très variées. À comparer à d'autres plantes aquatiques, elles sont moins sensibles aux basses températures et aux fluctuations de pH, elles tolèrent des grandes charges de nutriments (**Dinges, 1982**) et peuvent absorber les métaux lourds et dégrader, par le biais du biofilm attaché, de nombreux composés toxiques (**Landolt et Kandeler, 1987**).

En outre, leur composition nutritionnelle, riche en protéines, présente un fort potentiel de valorisation (moulée protéinique destinée aux animaux d'élevage). Elles sont faciles à récolter, contribuent à la réduction des MES en limitant la croissance des algues et constituent une barrière efficace contre le développement et la prolifération des odeurs et des insectes. **Landolt et Kandeler (1987)** ont rapporté que parmi les macrophytes, les lemnaées ont une grande capacité d'assimilation des macroéléments tels que N, P, Ca, Na et Mg. Cependant, cette constatation n'est pas partagée par d'autres sources bibliographiques. En effet, **(le tableau 04)** présente quelques fonctions des différentes parties des plantes aquatiques, suggère que les lentilles d'eau ont des taux d'enlèvement en phosphore et en azote relativement faibles comparativement à d'autres plantes aquatiques. Toutefois, **Gijzen et Khondker (1997)** ont souligné que malgré cette disparité dans les données bibliographiques, il est très bien établi que les lentilles d'eau ont un fort potentiel d'assimilation des nutriments

La jacinthe d'eau a été largement utilisée pour ses taux d'enlèvement élevés des nutriments.

Cependant, cette plante est très sensible aux variations des conditions thermiques de l'eau et de l'air. Elle peut, par exemple, survivre pendant 24 heures à une température d'air allant de 0,5 à -5°C, mais elle meurt à -6 °C. Entre 8 et 15°C, sa croissance devient plus lente impliquant un ralentissement de l'activité métabolique et par suite une diminution des taux d'enlèvement des nutriments (**WPCF, 1990**). Son espérance de survie décroît en fonction de la durée d'exposition à des températures inférieures à 7 °C, elle semble mieux adaptée au climat tropical.

Partie de la plante	Fonction
Racines et / ou tiges Surface de croissance des bactéries. immergées dans l'eau	Surface de croissances des bacteries Stabilité de la plante Filtration et adsorption des solides
Tiges et/ou feuilles au- dessus de la surface de l'eau	Ecran solaire Limitent la prolifération des algues Réduisent les effets du vent sur l'eau Participent dans le transfert des gaz de l'atmosphère vers l'eau

Tableau 04 : Fonctions des plantes dans les systèmes aquatiques (**adapté à partir de USEPA, 1998**).

2.2 Biologie des lentilles d'eau :

Les lentilles d'eau, de la famille des lemnacées, sont des plantes monocotyledones flottantes de généralement sur des étendues d'eau stagnante ou dans des cours d'eau de faible débit contenant des quantités suffisantes de nutriments (**USEPA, 1998; Haustein et al., 1990**). La famille des lemnacées est composée de cinq genres : Lemna, Spirodella, Landoltia, Wolffia et Wolffiella (**Cole et Voskuil, 1996**). Près de quarante espèces ont été répertoriées à travers le monde dans une multitude d'environnements aquatiques (**Landolt: 1986, 1992, 1994 et 1998**).

Leur mode de reproduction, très rapide, se fait principalement par voie de gemmation, toutefois, elles peuvent se multiplier sexuellement (**Landolt, 1986**).

Leur structure végétale est simple; elle est constituée d'un thalle de 1 à 15 mm de diamètre (resp. Wolffia arhiza et Spirodella polyrrhiza), sans différenciation de racine, de tige ou de feuille (**Haustein et al, 1990**).

Les lentilles d'eau ont une forte teneur en protéines qui varie généralement entre 15 et 40 % dépendamment de l'espèce, de la composition du milieu de croissance et du taux d'échange de l'azote entre le milieu de culture et les lentilles d'eau (**Culley, 1976 dans Porath et al., 1979; Leng et al.,**

1995; Nguyen et Preston, 1998). Elles contiennent, en outre, une faible teneur en fibres qui rend leur biomasse potentiellement revalorisable et leur permet d'être compétitives par rapport à d'autres plantes comme le soja et la luzerne (**Porath et al., 1979**).

2.3. Facteurs importants pour la croissance des lentilles d'eau :

La croissance des lentilles d'eau est régie par l'ensemble des facteurs biotiques et abiotiques de l'environnement où elles évoluent. Toutefois, la température et l'ensoleillement semblent y jouer un rôle plus important que celui des concentrations des nutriments (**Leng et al., 1995**). En conditions optimales, leur biomasse peut doubler en deux jours (**Porath et al., 1979**), elles peuvent croître rapidement jusqu'au quasi-épuisement des nutriments (**Leng et al. 1995**) et elles sont capables d'accumuler les métaux avec des facteurs de 10 par rapport à la teneur normale dans la plante (**Iqbal, 1999**).

2.3.1. Température :

Les lentilles d'eau utilisées dans le traitement des eaux usées sont capables de se reproduire à des températures allant de 5 à 30 °C (**Oron et Willers, 1989**) avec un optimum situé entre 23 et 31 °C, dépendamment de l'espèce (**Iqbal, 1999; Boniardi et al., 1999**). Elles subissent un stress entre 31 et +35 °C (**Iqbal, 1999**) et une forte inhibition de la photosynthèse à 45°C (**Filbin et Hough, 1985**). Dans les régions où la température peut descendre en dessous de zéro pour une partie de l'année, elles coulent au fond du plan d'eau et demeurent inactives sous une forme appelée turion jusqu'à ce que les conditions redeviennent plus propices à leur croissance (**Iqbal, 1999**). La figure présente les variations du taux de croissance de différentes espèces de lemnales en fonction de la température.

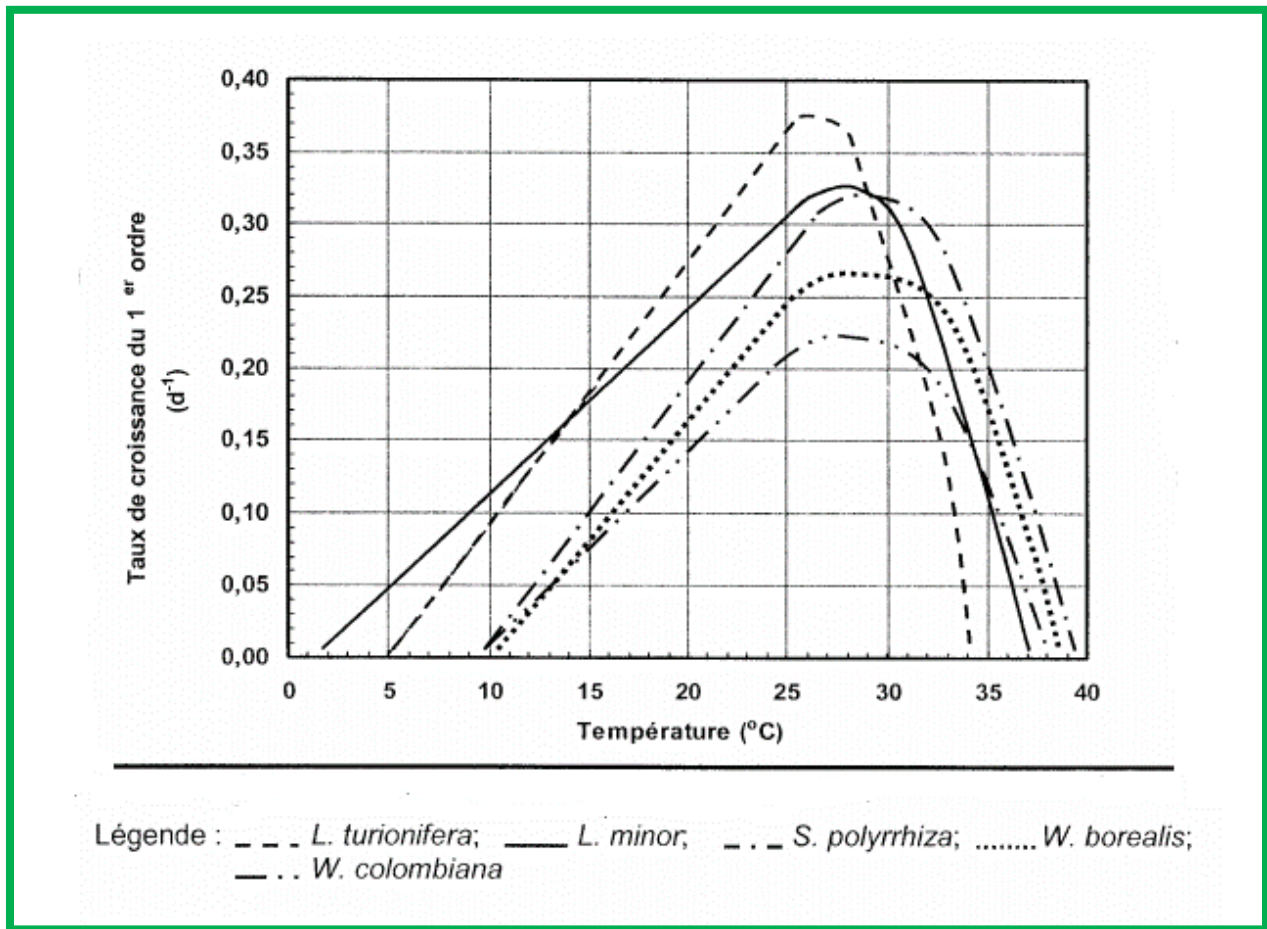


Figure 07 : Variations du taux de croissance de différentes espèces de Lemnacées en fonction de la température (**Landoit, 1986**).

2.3.2. Ensoleillement :

La croissance des lentilles d'eau dépend de l'intensité et de la photoperiode de l'ensoleillement auquel elles sont exposées. Les rendements de la photosynthèse et de la photorespiration atteignent leurs valeurs maximales au début de l'après-midi et leurs valeurs minimales le soir (36 à 60 % de la valeur maximale). Dans l'hémisphère Nord, la croissance de ces plantes est optimale durant la période allant de mi-juin au début de septembre, elle s'étale par contre sur toute l'année dans les régions ayant un climat tropical ou tempéré (**Filbin et Hough, 1985**). La saturation lumineuse pour *Lemna minor*,

Cependant, cette plante peut résister à des intensités de 700 micro- Einst m⁻².s⁻¹ sans aucun effet d'inhibition apparent (**Filbin et Hough, 1985**).

Une exposition intense des lentilles à certains types de radiations peut s'avérer nuisible. Par exemple, les rayons UV peuvent entraîner, à une intensité de 0,4 mW/cm², des dommages irréversibles au niveau des métabolismes de croissance et de maintien de ces plantes (**Farooq et al., 2000**)

Par ailleurs, une longue photoperiode influence positivement le taux de croissance des lentilles d'eau (**Landolt et Kandel, 1987**). Toutefois, une période d'éclairage supérieure à 18 heures inhibe l'élongation des racines et la scission des frondes suggérant une implication du phytochrome (**George et Nielsen, 1983**).

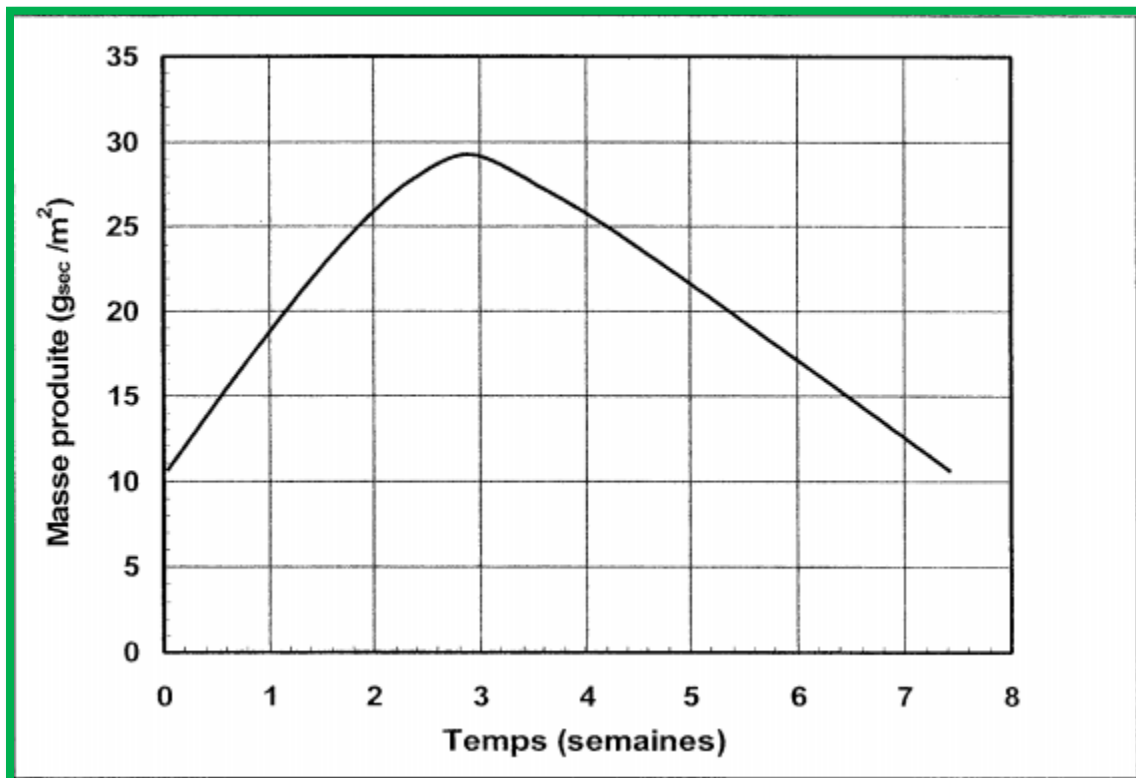
2.3.3. Densité et fréquence des récoltes :

La densité est un facteur crucial dans la performance des traitements basés sur les lentilles d'eau. La fréquence et l'importance des récoltes ont une influence directe sur le taux de croissance de ces plantes et en conséquence sur celui d'assimilation du phosphore et de l'azote. En effet, des récoltes régulières permettent un enlèvement optimal des macroéléments (N, P, Ca, Na et Mg). inhibent la croissance des bactéries nitrifiantes et les cyanobactéries (algues bleues vertes capables de fixer l'azote de l'atmosphère) et assurent le renouvellement de la biomasse. **Reddy et Tucker (1983)** ont rapporté que le rapport d'élimination de phosphore peut atteindre 87% entre un bassin récolte et un autre non récolté. La fréquence et la fraction récoltée optimales, en l'absence de modèle mathématique, sont basées sur des considérations empiriques. Alearts et al. (1996) ont rapporté qu'une densité de 1600 g_{humide}/m² optimise la productivité, tandis que Koles et al. (1987) ont révélé une valeur de 1250 g_{humide}/m². D'autres densités moins importantes allant de 400 à 800 g_{humide}/m² ont été relatées par **Skillicon et al. (1993)**. Par ailleurs, **DeBusk et al. (1981)**, **Reddy et al. (1983)**, **Komeer et Vermaat (1998)** et **Sutton et Omes (1975)** ont mentionné que l'augmentation de la densité inhibe la croissance des lentilles d'eau .

2.3.4. Temps de rétention hydraulique :

Le temps de rétention hydraulique joue un rôle très important dans la performance des traitements des eaux usées basés sur le pouvoir épurateur des lentilles d'eau. Il doit être fixé de manière à éviter des carences en macroéléments (N, P, Ca, Na et Mg). Oron et **Willers (1989)** ont relevé des teneurs en protéines élevées et des taux de croissances importants pour des temps de rétention de la biomasse courts (5 et 10 jours).

Des temps de séjour plus longs (> 20 jours) peuvent entraîner l'épuisement des nutriments et donc la détérioration des conditions de croissance et de santé des lentilles d'eau, et en conséquence une baisse de la performance du système de traitement. Par contre, **Metcalf et Eddy (1991)** ont rapporté que des temps de rétention de l'ordre de 20 à 25 jours sont nécessaires pour atteindre des niveaux acceptables d'enlèvement de pathogènes. Le choix du temps de séjour, selon ces auteurs, dépend de la fréquence et de l'importance des récoltes, de la profondeur du système de traitement, des charges en matière organique (DBO) et en nutriments (essentiellement N et P) ainsi que des exigences de rejet.



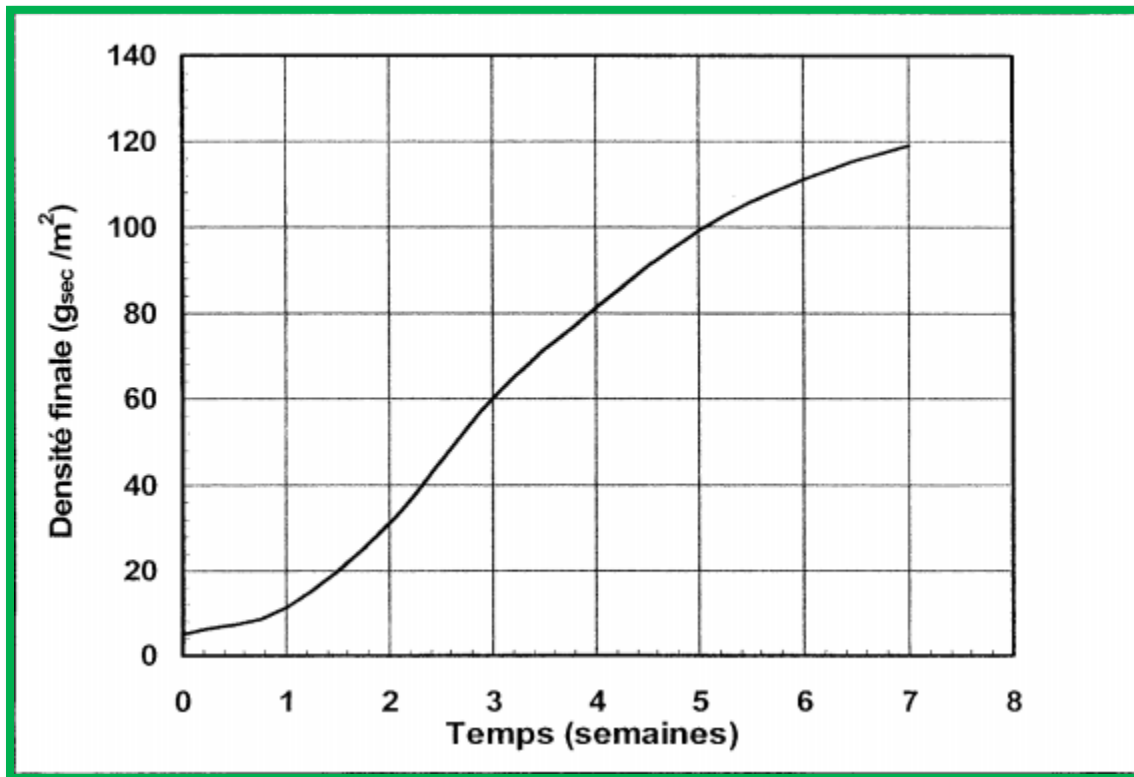


Figure 08: Variation de la production et de la densité des lentilles en fonction du temps (Sutton et Ornes, 1975).

2.3.5. Profondeur du système de traitement :

La profondeur joue un double rôle dans cette catégorie de traitement. D'une part, elle régularise la température de l'eau (effet tampon) et d'autre part, elle définit l'importance du contact entre l'eau usée, les lentilles d'eau et le biofilm attaché. La profondeur optimale, selon différents auteurs, se situe entre 0,4 et 0,9 m, toutefois, des valeurs aussi importantes que 5 m s'avèrent techniquement possible dans les traitements des eaux usées à faible charge organique (**Lemna Corporation, 1994**). Le choix de la profondeur de conception dépend du taux de recirculation, de la charge organique, de l'importance des fluctuations journalières et annuelles de la température ambiante et du coût du terrain. **Metcalf et Eddy (1991)** ont suggéré de munir les systèmes de traitement en aquaculture de structures de contrôle de la profondeur afin d'optimiser leurs efficacités.

2.3.6. Influence du vent et des courants d'eau :

La culture des lentilles d'eau est peu recommandable dans les régions à forte activité éolienne. Le vent entraîne mécaniquement les lentilles vers les bords des étangs où elles s'empilent les unes sur les autres

(**O'Bryan, 1998; Iqbal, 1999**). Si elles ne sont pas remplacées, ce qui requiert de la main d'œuvre, elles meurent. Dans ces circonstances, l'efficacité du traitement est compromise, car les taux d'enlèvement de phosphore et d'azote sont proportionnels à la surface couverte. La vélocité de l'eau à des effets similaires sur la culture des lentilles d'eau. **Duffield et Edwards (1981)** ont rapporté que des vitesses d'écoulement supérieures à 0.1 m/s affectent considérablement la croissance de ces plantes. Toutefois, cette difficulté peut être contournée par l'installation d'un système de barrières flottantes ou par une culture mixte impliquant d'autres espèces de lemnacées mieux adaptées à ces conditions. A ce propos, *Lemna Corporation* a breveté un système de quadrillage rectangulaire en polyéthylène de haute densité (treillis) qui s'avère bien adapté à ce genre de culture. La superficie des mailles peut varier de 25 à 50 m, elle est inversement proportionnelle aux vitesses de l'écoulement et du vent (***Lemna Corporation, 1994***).

2.3.7. Effets de la pluie et de l'étiage :

Des périodes prolongées d'étiage peuvent augmenter les concentrations de certains inhibiteurs présents normalement dans les eaux usées et accentuer les variations de pH et de température de manière à compromettre la croissance des lentilles d'eau. **Skilicon et al. (1993)** ont rapporté qu'un apport adéquat d'eau de surface ou souterraine, pendant les périodes sèches de l'année, s'avère nécessaire pour maintenir un niveau minimal d'eau de 20 cm et assurer en conséquence le pouvoir tampon de l'eau.

Par ailleurs, dans les régions où l'eau est une ressource limitée, l'utilisation des lentilles d'eau peut contribuer à l'économie de cette ressource. En effet, le tapis de lentilles forme une barrière physique qui empêche la lumière de traverser l'eau en profondeur et par suite contrecarre l'évaporation de celle-ci. **Oron et al (1987)**, à titre d'exemple, ont relevé une diminution de 30% du faux d'évaporation

moyen entre des systèmes de traitement d'eau usée couverts de lenticules et des systèmes conventionnels ouverts.

Contrairement à l'étiage, la pluie a un effet de dilution sur les eaux usées. Elle entraîne des fluctuations de température, de pH et des concentrations de l'ensemble des éléments chimiques qui régulent la croissance des lenticules d'eau. Elle peut assurer, par ailleurs, des apports en sulfures, phosphates, nitrates et bicarbonates, participer à la scission forcée des feuilles, débarrasser la biomasse en culture des éléments indésirables (algues, bactéries, champignons, parasites, et prédateurs) et en conséquence, créer des meilleures conditions de croissance et d'assimilation des nutriments (**Gijzen et Khondker, 1997**).

2.3.8. Effets du pH et de la concentration de l'ammoniacque totale :

Les lenticules d'eau peuvent évoluer dans des plages de pH importantes. **McLay (1976)**, a rapporté que "*Lemna minor*", par exemple, tolère des variations de pH allant de 4 à 10.

Toutefois, le taux de croissance des lenticules décroît progressivement à des pH inférieurs à 5,5 ou supérieurs à 7.5 jusqu'à ce que les valeurs extrêmes respectivement de 3 et de 10 soient atteintes.

Au-delà de celles-ci, la croissance est fortement inhibée et des changements physiologiques voire métaboliques avec un rétrécissement de la taille des thalles, une scission prématurée des frondes et une diminution de l'âge moyen des lenticules en culture.

Small (1946) et **Clark (1926)** ont mentionné que la croissance des plantes aquatiques et la concentration en l'ion d'hydrogène (H) interagissent dans des limites dictées par l'importance de la quantité de lenticules mises en culture, le volume du milieu de croissance et le pouvoir tampon de ce dernier. Les lenticules ont tendance à faire varier le pH de manière à améliorer les conditions du milieu ou elles évoluent. Cependant, cette forme d'adaptation peut amener le pH à des valeurs élevées (supérieures à 8.5) et compromettre en conséquence cette croissance. **Koner et al. (2001)** ont mis en évidence l'impact de l'interaction entre le pH, l'équilibre chimique NHA - NH (formes d'azote prédominantes dans des eaux usées) et la croissance de *Lemna gibba*. Selon ces auteurs, les effets du pH et de la concentration de l'ammoniacque totale (NH₃ - NH₄⁺) sur la croissance des lenticules d'eau sont indissociables. A des concentrations inférieures à 1 mg NI la toxicité de l'ammoniacque totale résulte de la synergie de NHA et NH₃, toutefois, la contribution de NHA peut être négligée à des concentrations élevées de NH₃ (> 1 mg NI). Ils ont ensuite établi des abaques qui permettent d'estimer le taux de croissance des lenticules à différents pH (6,8 à 8,7) et concentrations d'ammoniacque totale.

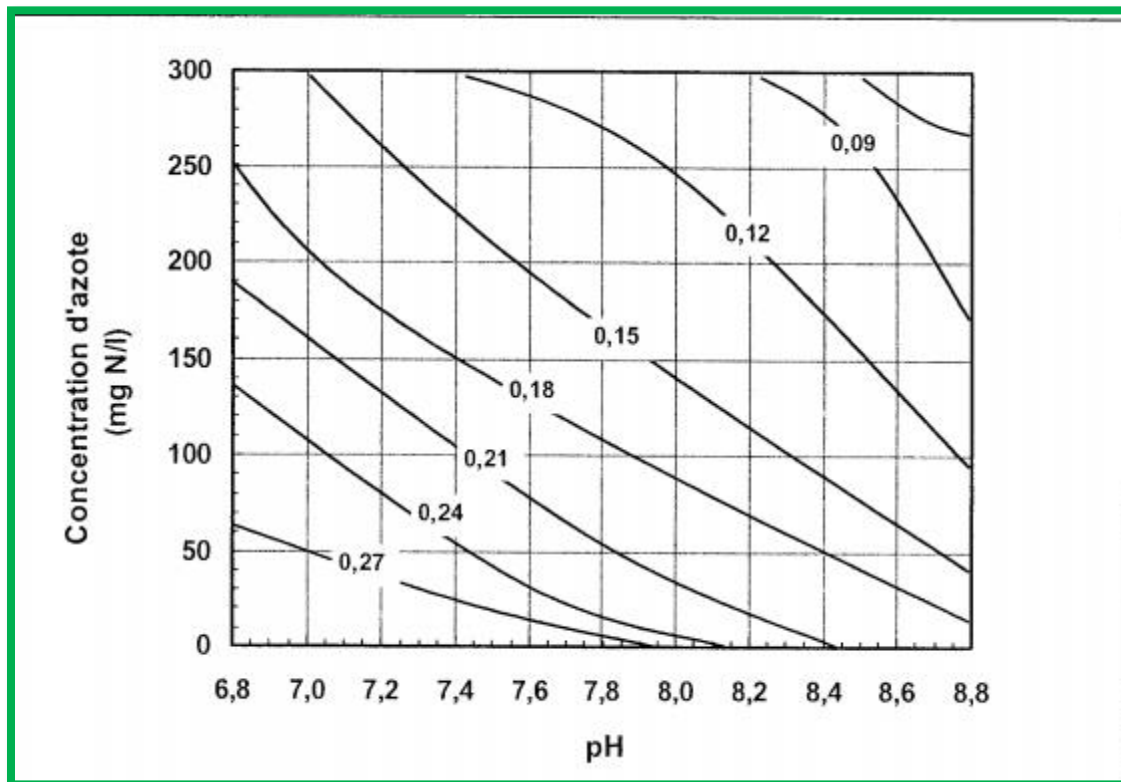


Figure 09 : Isolignes du taux de croissance (d^{-1}) de *Lemna gibba* en fonction du pH et de la concentration de l'ammoniaque totale à 23 °C (Körner et al., 2001).

2.3.9. Présence d'inhibiteurs :

Les eaux usées agricoles et industrielles contiennent des quantités importantes de métaux liés aux polluants organiques (Cecchi et al., 1984; Bonardi et al., 1999). Bien que la présence de métaux en traces soit indispensable dans le processus de croissance des plantes, des concentrations élevées peuvent occasionner des phénomènes d'inhibition et de toxicité et donc limiter l'efficacité du traitement.

Les lentilles d'eau peuvent tolérer des concentrations de métaux plus ou moins importantes selon le type de métal. Leurs capacités d'accumulation peuvent atteindre des facteurs allant de 10 à 100 de la teneur normale (Iqbal, 1999). La possibilité d'utiliser les lentilles dans le traitement des eaux contenant

des métaux s'avère donc envisageable. Des récoltes régulières limiteront, en outre, le transfert des métaux vers les sédiments.

La croissance des lentilles eau est affectée par la présence des métaux et dépend de la nature et de la concentration de ceux-ci ainsi que de certains effets de synergie. **Boniardi et al. (1999)** ont rapporté que des concentrations supérieures à 1 mg/L de cuivre (Cu) ou 0,1 mg/L de chrome (Cr compromettent substantiellement la croissance de *Lemna gibba*. Par contre, aucune toxicité n'a été observée pour des concentrations d'aluminium (Al) aussi élevées que 29 mg/l. Ces mêmes auteurs ont, en outre, constaté que le fer (Fe), le zinc (Zn), le chrome (Cr), l'aluminium (Al) et le cuivre (Cu) stimulent la croissance de cette plante à des concentrations inférieures respectivement à 6.7: 18.2: 0.1: 9,6 et 1 mg .

Ils ont attribué ce comportement au rôle positif joué par les métaux en tant que microéléments, dans les métabolismes de croissance. **Dirilgen, et Inel (1994)** ont mentionné que les concentrations létales à 50% (CL) de zinc (Zn). de cobalt (Co) et de cuivre (Cu), dans le cas de *Lemna minor*, sont respectivement de 16.9, 10,0 et 1.54 mg/l lorsque ces métaux sont considérés séparément. Par contre, en présence du cobalt l'effet d'inhibition du cuivre diminue de 30% et celui du zinc augmente de 20 % (effet de synergie). D'autres concentrations létales ont été rapportées dans les travaux de **Nasu et al. (1988)**.

2.3.10. Influence des nutriments :

Les lentilles d'eau assimilent les nutriments principalement au niveau de la partie inférieure du thalle, la racine n'étant pas efficace (**Landolt et al., 1987**). Le rapport critique N/P du milieu de culture qui assure une croissance optimale varie généralement entre 2,9 et 5,2 dépendamment de l'espèce (tableau 2.9).

Pour des valeurs de N/P inférieures à celles mentionnées au tableau, le phosphore est considéré en excès et dans les cas contraire, c'est l'azote qui est considéré en excès. et la croissance des lentilles d'eau dépend des taux d'échange des nutriments entre le milieu de croissance et ces plantes.

Plante	N/P
Jacinthe d'eau	5.2
Latiue d'eau	4.0
Ombellifère	4.3
Egeria	2.9
Azolla	4.0
Salvinia	3.4
Spirodela	4.2
Lemna minor	3.6

Tableau 05 : Rapport critique N/P pour quelques espèces de macrophytes (**Reddy et Debusk,1985**)

2.4.1. Enlèvement des matières en suspension (MES) :

Dans les systèmes de traitement des eaux usées en aquaculture, les MES sont principalement éliminées par décantation et digestion anaérobie dans les boues. Seule une fraction mineure des MES, préalablement biodégradée, est absorbée par les lentilles (**Iqbal, 1999**).

par les performances d'enlèvement des MES de quelques systèmes existants de traitement des eaux usées utilisant les lentilles d'eau.

2.4.2. Enlèvement de la matière organique :

L'enlèvement de la matière organique est du essentiellement à l'activité des microorganismes attachés aux plantes (aérobie). suspendus dans la colonne d'eau (aérobie facultatif/ anoxie) et présents dans les boues (anaérobie). Une très faible fraction de la DBO est assimilée directement par les lentilles d'eau (**Landelt et kandler, 1987: Frick, 1994**).

La dégradation aérobie de la DBO, dans cette catégorie de traitement, n'est pas prédominante. D'une part, la surface spécifique submergée des lentilles d'eau disponible pour la croissance des bactéries est moins importante en comparaison avec d'autres macrophytes tels que la jacinthe d'eau (**Zirschky et Reed, 1988**) et d'autre part, le tapis de lentilles limite aussi bien la production de l'oxygène en inhibant

la croissance des algues et des phytoplanctons que son transfert à partir de l'air ambiant (**Van der Steen et al., 1999**).

Alaerts et al. (1996) ont rapporté, par contre, que les lentilles d'eau, grâce à la photosynthèse, créent des conditions aérobies dans le niveau supérieur de la colonne d'eau. Selon ces auteurs, le transfert de l'oxygène est assuré par les parties submergées de ces plantes. La profondeur de cette zone peut aller de 40 à 90 cm dépendamment de la longueur des racines. Quant au taux d'aération due à la photosynthèse, il est de l'ordre de 2 à 3 mg O₂/l pour un temps de rétention de 20 jours et une charge organique allant de 48 à 60 kg. O₂. ha⁻¹.d⁻¹

2.4.3. Enlèvement de l'azote :

L'enlèvement de l'azote dans les systèmes de traitement basés sur les lentilles d'eau est régi par le taux de consommation des plantes (photosynthèse), la volatilisation de l'ammoniac (NH₃: zones anoxie l'aérobie facultative), la nitrification/dénitrification (N₂: zone anoxie l'aérobie facultative) et la décantation digestion anaérobie (**Körner et Vermaat, 1998**).

La contribution de chacun de ces mécanismes dans le bilan global d'élimination de l'azote est difficile à semer.

Elle dépend apparemment de plusieurs facteurs dont, entre autres, le pH, le potentiel d'oxydo-réduction, la conception et la gestion du système de traitement et la charge organique et en nutriments. **Alaerts et al. (1996)**.

Les lentilles peuvent assimiler l'azote sous forme d'ammonium (NH₄⁺) ou de nitrates (NO₃⁻) avec une préférence pour NH₄⁺ (**Landolt, 1986**). L'azote organique colloïdal ou particulaire doit donc être décomposé dans un premier temps par les bactéries pour être ensuite utilisé par ces plantes (**Al-Nozaily et al., 2000b**). Le taux d'enlèvement de l'azote et la production des lentilles d'eau sont deux paramètres liés par un coefficient de proportionnalité (teneur des lentilles en azote). Or, la production dépend du taux de croissance ce qui signifie que tout ce qui a été développé dans la section 2.3 est valable dans cette sous-section et vice-versa.

2.4.4. Enlèvement du phosphore :

Dans les systèmes de traitement basés sur les lentilles d'eau, la concentration de phosphore à l'effluent est imposée par le taux d'assimilation des plantes, l'activité bactérienne, la précipitation due à la présence des ions Ca²⁺, Fe³⁺ Al³⁺ et le taux d'adsorption du phosphore par les particules d'argile et la matière organique. A l'exception de la fraction assimilée par les plantes, les trois autres mécanismes

impliquent une accumulation du phosphore dans le système qui ne peut être évitée que par des purges de boues (**Iqbal, 1999, Al-Nozaily et al 2000a**). **Körner et Vermaat (1998)** ont mentionné que les lentilles d'eau participent dans le bilan d'enlèvement du phosphore à raison de 83 % dont 31 à 71% est attribuable au biofilm attaché. Le taux d'enlèvement du phosphore dépend aussi bien du taux de croissance et de la teneur en phosphore de ces plantes que de la disponibilité de celui-ci sous sa forme assimilable par ces dernières (ortho- PO_4^{3-}).

Komer et Vermaat (1998) et Iqbal (1999) ont rapporté que des récoltes fréquentes et un prétraitement visant à transformer le phosphore total en ortho- PO_4^{3-} . Améliorent considérablement l'efficacité d'assimilation de cet élément. Ils ont souligné, en outre, que durant la période estivale, lorsque le taux de croissance des lentilles est maximal, le taux d'enlèvement du phosphore est optimal.

CONCLUSION

CONCLUSION

Les communautés locales doivent également accroître leur participation aux projets de restauration des écosystèmes. L'accès aux résultats de la surveillance et aux connaissances sur l'eau et les milieux aquatiques doit être étendu pour atteindre une grande partie du public.

Les clés d'une politique de l'eau réussie sont une bonne connaissance et un accès facile aux données et aux informations sur l'état et l'évolution des ressources en eau, des écosystèmes et sur leurs utilisations.

En outre, la phytoépuration est un très bon système d'épuration des eaux usées et est sûrement la solution de demain surtout en matière écologique. A ce jour le système phytoépuration a démontré sa performance pour les agglomérations de moins de 10 000 habitants, ainsi que pour les particuliers qui ne bénéficient pas du réseau d'assainissement collectif. Il faut ajouter qu'il n'y a aucune nuisance si le système choisi est bien conçu et bien dimensionné.

Le présent travail demande une continuité et des suivies durant les quatre saisons de l'année ; de plus il ouvre des ébauches sur des travaux portant sur :

- l'identification de toutes catégories de microorganismes, protozoaire, métazoaire,
- virus, etc.
- Connaître l'effet et le rôle de chaque bactérie détectée dans cette étude dans la phytoépuration.
- Tester la performance des plants ornementales endémique, à épurer les eaux usées de toute nature

Enfin, ce travail nous a permis de constater qu'une station de phytoépuration est faisable dans les régions semi-arides que ce soit pour l'existence des plantes endémiques épuratrice ou pour le

substrat naturel existant. On peut même affirmer que les zones arides sont plus efficaces que les zones tempérées ceci est prouvé par le rendement épuratoire qui a dépassé les 70% pour tous les polluants dans plusieurs travaux suivis dans ce dernier.

Référence

Référence bibliographiques :

AERM , juillet 2007 procédé d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin - Meuse .

Agence de l'eau Loire-Bretagne. (2008) "Bilan de fonctionnement des procédés de traitement des eaux usées pour les stations d'épuration de petite capacité du bassin Loire-Bretagne". Synthèse bibliographique complète.

ALAERTS, G.J., MAHBUDAR, M. et KELDERMAN, P. (1996). Performance analysis of a full-scale duckweed covered lagoon. *Water Research*, 30, 843-852

ALAERTS, G.J., MAHBUDAR, M. et KELDERMAN, P. (1996). Performance analysis of a full-scale duckweed covered lagoon. *Water Research*, 30, 843-852

AL-NOZAILY, F., ALAERTS, G. et VEENSTRA S (2000b). Performance of duckweed-covered sewage lagoons - Nitrogen and phosphorus balance and plant productivity. *Water Research*, 10, 2734-2741

AYAD, S. N. (2001). A new cytotoxic stigmastane steroid from *Pistia stratiotes*. *Pharmazie* 56, 212-214.

Banque de Schémas- SVT -Académie de Dijon , 2008

Beiere, 2009 : Eco-gestion d'habitats Bureau d'Etudes Industrielles Energies Renouvelables et Environnement

Bhupinder Dhir, P. Sharmila, and P. Pardha Saradhi, (2009). Potential of Aquatic Macrophytes for Removing Contaminants from the Environment. *Environmental Science and Technology* 39 :p . 754 _781

BONIARDI, N., ROTA, R. et NANO, G. (1999). Effect of dissolved metals on the organic load removal efficiency of *Lemna Gibba*. *Water Research*, 33(2), 530-538.

BONIARDI, N., ROTA, R. et NANO, G. (1999). Effect of dissolved metals on the organic load removal efficiency of *Lemna Gibba*. *Water Research*, 33(2), 530-538.

BOUTOUX Jean, Introduction à l'étude des eaux douces-eaux naturelles-eaux usées-eaux de boisson, Edition CEBEDOC, liège, 1983.

BRUNETON, J. (1999). Pharmacognosie. Phytochimie. Plantes médicinales, 3e édition. Editions Tec & Doc; Editions médicales internationales, Paris.

CARPENTER S.R., ADAM S M.S., 1977. The macrophyte tissue nutrient pool of a hardwater eutrophic lake : implications for macrophyte harvesting. *Aquat. Bot.* 3. 239-255.

CECCHI, F.. MORET. I. et DE NARDO L. (1984). Trattamenti biologici centralizzati di liquami misti urbani-industriali. *Acqua-Aria*, 1.45-52.

Chocat B, 1997 : Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Ed. Tec & Doc

Chouteau C., 2004. Développement d'un biocapteur conductimétrique bienzymatique à cellules algales. *Chimie, Procédés, Environnement*. N° d'ordre : 04- ISAL-0066, 179 p.

CLARK, NA (1926). Plant growth-promoting substances, hydrogen ion concentration and the reproduction of *Lemna*. *Plant Physiology*. 1. 273-279

COLE, C. et VOSKUIL, M. (1996). Population genetic structure in duckweed (*Lemna minor*, Lemnaceae), *Water Research*, 33(2), 530-538

COOK, C. D. K. (1990). *Aquatic Plant Book*. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands.

Cors Marie, (2007). Techniques extensives d'épuration des eaux usées domestiques.

Le meilleur choix environnemental en zone rurale Dossier IEW Inter Environnement Wallonie

Courrier du Savoir – N°05, Juin 2004, pp. 103-106

CULLEY, D. D., REJMANKOVA, E., KVET, J. ET FREY, J. (1981). Production, chemical quality end use of duckweed (Lemnaceae) in aquaculture, waste management and animal feeds. *Journal of the World Mariculture Society* 12 27-49

DAWSON F.H, 1978. Aquatic plant management in semi-natural streams. The rôle of marginal végétation. *J. Environ. Manag.*, 6, 213-221 .

DAWSON F.H., 1978. Seasonal effects of aquatic growth on the flow of water in a small stream. In : European Meed Research Society, 5th Int Symposium on aquatic weeds, 5-8.09.78, 71 -78.

DAWSON F.H., CASTELLANO E., LADLE M., 1978. Concept of species succession in relation to river végétation and management. Verh. Int. Verein. Limnol.. 20. 1429-1434.

FOURNIER P., 1961. Les quatre flores de France. Ed. P. Lechevalier, Paris, 1105 p.

DEBUSK, T.A., RYTHER, JH et HANISAK, M.D. (1981). Effects of seasonality and plant density on the productivity of some freshwater macrophytes. Aquatic Botany, 10, 133-142.

DICKE, M. & SABELIS, W. (1988). Infochemical terminology: based on cost-benefit analysis rather than origin of compounds ? Funct. Ecol. 2, 131-139.

DINGES, R. (1982). Natural systems for water pollution control. Van Nostrand Reinhold, New York.

DIRILGEN, N. et INEL, Y. (1994). Cobalt-copper and cobalt-zinc effects on duckweed growth and metal accumulation. Journal of Environmental Science and Health, Part A Environmental Science and Engineering, A29(1), 63-81.

DUFFIELD, A. N., ET R. W. EDWARDS. (1981). Predicting the distribution of Lemna spp. in a complex system of drainage channels. National Vegetation Research, Wellesbourne, Warwick, UK. Association Applied Biologists, 59-65.

DUPOLDT and al. (1995) : hand book of constructed wetlands.

E A.C.T.A. - 1973. Le milieu aquatique. Connaissance, entretien, desherbage. 3 fascicules. Imprimerie Couesnon, Thomery, 178 p, 30 pl.

FAROOQ, M., SURESH, G., RAY, R.S., MISRA, R.B., SHANKAR, U. et HANS, R.K. (2000). Sensitivity of duckweed (*Lemna minor*) to ultraviolet-B radiation, Biochemical and Biophysical Communications, 276, 970-973.

FILBIN, G.J. et HOUGH, A.R. (1985). Photosynthesis. photorespiration and productivity in *Lemna Minor* L. Limnology Oceanography, 30(2), 322-334.

FILBIN, G.J. et HOUGH, A.R. (1985). Photosynthesis. photorespiration and productivity in *Lemna Minor* L. Limnology Oceanography, 30(2), 322-334.

Fischesser, B., Dupuis-Tate, M.-F. (2007). Le guide illustré de l'écologie. Paris, Éditions De La Martinière,

FRICK, H. (1994) Heterotrophy in the Lemnaceae, *Journal of Plant Physiology*, 144, 189-193

GAUDETJ.J., 1974. The normal rôle of végétation in water. /n : *Aquatic végétation its use and contrat*. Mitchel 1 éd., 24-37, UNESCO.

GEORGE, P. et NIELSEN, P.T. (1983). Phytochrome control of root growth rate in *Lemna* species *American Journal of Botany*, 70(6), 827-329

GIJZEN, H.J. et KHONDKER, M. (1997) An overview of the ecology, physiology, cultivation and applications of duckweed. *Inception Report Annex 1. Literature Review. Duckweed Research Project (DWRP)*. Dhaka, Bangladesh, 49-53

Greenway Margaret (2010). The role of constructed wetlands in secondary effluent treatment and water reuse in subtropical and arid Australia. *Journal of water*, 2, p.530-549 .

Grison . 1999 épuration des eaux usées par des filtres plantes de Macrocytes étude bibliographiques agence de l'eau Rhone Méditerranée et corse

Groupe Macrophytes et Traitement des Eaux. (2005) "Épuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes-Recommandations techniques pour la conception et la réalisation". Document collectif, 17- 39pp.

Hade, A. (2002). *Nos lacs : les connaître pour mieux les protéger*. Québec, Fides, 359 p.

HARBORNE, J. B. (2001). Twenty-five years of chemical ecology. *Nat. Prod. Rep.* 18, 361-379.

HAUSTEIN, AT, GILMAN, R.H. SKILLICORN, P.W. VERGARA, V.. GUEVARA, V. et

GASTANADUY, A (1990). Duckweed, a useful strategy for feeding chickens : Performance of layers fed with sewage-grown *Lemnaceae* Species. *Poultry Science*, 69, 1835-1844.

Hélène Peeters, 2014, pp48. «Les filières de traitement extensif des eaux usées Des procédés en expansion dans le secteur de l'épuration ». Etude réalisée pour le compte du Polygone de l'eau – FOREM. Centre d'expertise en traitement et gestion de l'eau.

[http : // www.gue.univers.reunion.fr](http://www.gue.univers.reunion.fr)

<http://www.univers-nature.com>,

<https://www.jardinsdefrance.org/la-phytoepuration-la-nature-pour-depolluer-les->

HUTCHINSON G.E., 1975. A treatise on Limnology. ///. Limnological Botany. Wiley. Interscience. New-York, 660 p.

HUTCHINSON G.E., 1975. A treatise on Limnology. ///. Limnological Botany. Wiley. Interscience. New-York, 660 p.

Inter Environnement Wallonie (IEW) . Décembre 2007 . Les technique extensives d'épurations des eaux usée domestique

IQBAL, S. (1999). Duckweed Aquaculture. Swiss Federal Institute for Environmental Science and Technology, Sandec Report, 6/99.

J.B. POULET, A. TERFOUS, S. DAP & A. GHENAIM - Université Mohamed Khider – Biskra, Algérie, 2004

JUGET J. et ROSTAN J.C., 1973. Influence des herbiers à Trapa natans sur la dynamique d'un étang en période estivale. Annales Limnol. S (1), 11 -24.

KOLES, S.M. Petrell, R.J. et Bagnall, LO. (1987), Duckweed culture for roduction of ammonia, phosphorous and suspended solids from algalrich water. In Aquatic plants for water treatment and resource recovery, Magnolia Orlando, 796-774

KORNER, S. et VERMAAT, J.E. (1998). The relative importance of Lemna gibba L. bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed-covered domestic wastewater Water Research, 32(12) 3651-3661

KORNER, S., SANJEEV, K. DAS, VEENSTRA, S. ET VERMAAT, JAN E (2001). The effect of pH variation at the ammonium/ammonia equilibrium in wastewater and its toxicity to Lenma gibba. Aquatic Botany 71, 71-78.

LANDOLT, E. (1986). The family of lemnaceae monographic study Veroeffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rubel. Zurich 71(1, 2), 15 et 71.

LANDOLT, E. (1994). Taxonomy and ecology of the section wolffia of the Genus Wolffia (Lemnaceae). Geobotanischen Institutes der ETH Stiftung Rubel, Zurich, 60.137-151

LANDOLT, E., et KANDELER, R. (1987). The family of Lemnaceae- a monographic study: Phytochemistry, Physiology. Application, and bibliography, In Biosystematics Investigations in the Family of Duckweeds (Lemnaceae) Veroeffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rubel. Zurich, 1.2 et 1, 1-638.

LANDOLT, E., et KANDELER, R. (1987). The family of Lemnaceae- a monographic study: Phytochemistry, Physiology. Application, and bibliography, In Biosystematics Investigations in the Family of Duckweeds (Lemnaceae) Veroeffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Rubel. Zurich, 1.2 et 1, 1-638.

LARTIGES B, Déstabilisation d'une suspension de silice colloïdale par un sel d'aluminium. Relation entre les phénomènes de surface, la structure et la granulométrie des floes, Docteur de l'INPL, Institut National Polytechnique de Lorraine, 1994.

LEMNA CORPORATION (1994). The view of the future for cost effective wastewater treatment Brochure promotionelle

LENG, RA, STAMBOLI, J.H. et BELL, R. (1995). Duckweed a potential high protein feed resource for domestic animals and fish. Livestock Research for Rural Development. Z. 1-36.

Medjdoube T , 2014 : Etude ,conception et dimensionnement d' une STEP par filtre plantés de reseaux des eaux usées des zones éparses de lacommune de Terny

Medjdoube T , 2014 : Etude ,conception et dimensionnement d' une STEP par filtre plantés de reseaux des eaux usées des zones éparses de lacommune de Terny .

Mekhloufi. N,2003 : Etude des performances epuratoires du lagunagenaturel et l'impact du cadmium sur ces performances. ensh blida 2003 .

METAHRI Mohammed Saïd, Elimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées, par des procédés mixtes, Cas de STEP Est de ville de Tizi-Ouzou, Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2012, pp 172.

METCALF C EDDY, INC (1991). Wastewater engineering - Treatment disposal and reuse 3 Edition. McGraw-Hill, New York

MIRANDA, MG, et ILANGO VAN, K. (1996). Uptake of Lead by Lemna gibba L: Influence on Specific Growth Rate and Basic Biochemical Changes Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 56(16), 1000-1007

NASU, Y, HIRABAYASHI, K., KUGIMOTO, S. (1988). The toxicity of some water pollutants for Lemnaceae (duckweed) plant. Environmental and Occupational Chemical Hazards, 485-492.

NGUYEN, DA, et PRESTON, T.R. (1998). Effect of exchange rate of the medium (water and biodigester effluent) on biomass yield and composition of duckweed. *Livestock Research for Rural Development*, 10(1).

ORON, G, PORATH, D. et JANSEN, H. (1987). Performance of duckweed species *Lemna gibba* on municipal wastewater for effluent renovation and protein production. *Biotechnology and Bioengineering*, 29, 258-268.

ORON, G. et WILLERS, H. (1989). Effects of wastes quality on treatment efficiency with duckweed. *Water Science and Technology*, 21, 639-645.

PORATH, D., HEPHER, B. et KOTON, A. (1979). Duckweed as an aquatic crop. Evaluation of clones for aquaculture. *Aquatic Botanic, Z.* 273-278

RAMADE, F. (2003) : ELEMENTS D'ÉCOLOGIE Ecologie Fondamentale. ED : Dunod, Paris.

RAO, S. (1986). A review of the technological feasibility of aquacultures for municipal wastewater treatment. *International Journal of Environmental Studies* 27, 219-223

REDDY, KR. et TUCKER, J.C. (1983). Productivity and nutrient uptake of water hyacinth, *Eichhornia crassipes* L - Effect on nitrogen source. *Economic Botany*, 37(2), 237-247

REDDY, KR. et TUCKER, J.C. (1983). Productivity and nutrient uptake of water hyacinth, *Eichhornia crassipes* L - Effect on nitrogen source. *Economic Botany*, 37(2), 237-247

RIEMER, D. N. (1984). *Introduction to Freshwater Vegetation*, 1st edition. AVI Publishing Company, Westport, Connecticut. RINGBOM .

Rosette, 2012. *Rural social movements and agroecology: context, theory, and process*.

SCULTHORPE CD., 1967. *The biology of aquatic vascular plants*. London Edward Arnold Ltd, 610 p. SYMOËNS J.J., HOOPER S.S., COMPERE P., 1982. *Studies on aquatic vascular plants*. Bruxelles, 424 p. WESTLAKE D.F., 1961. *Aquatic macrophytes and the oxygen balance of running waters*. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, 14. 499-503.

SHERWOOD (1993) : *Surface constructed wetlands for wastewater treatment a technology assessment*. ed epa. USA.

SKILLICORN, P., SPIRA, W. et JOURNEY, W. (1993). Duckweed aquaculture, a new aquatic farming system for developing countries. World Bank, Washington, U.S.A, 68 et 76.

SMALL.J. (1946), pH and Plants. Hailliere Tindal and Cox, Londres

STATIONS D'EPURATION A LITS FILTRANTS PLANTES DE MACROPHYTES WASTE WATER TREATMENT PLANTS WITH MACROPHYTES

SZABO, S., BRAUN, M., BALÁZSY, S. et REISINGER, O. (1999). Influences of nine algal species isolated from duckweed-covered sewage miniponds on *Lemna gibba* L. Aquatic Botany. 60. 189-195.

USEPA (1998). Constructed wetland and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment - Design manual, 92

USEPA (1998). Constructed wetland and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment - Design manual, 92

VAN DER STEEN, P., BRENNER, A, VAN BUUREN, J. et ORON, G. (1999) Post-treatment of UASB reactor effluent in an integrated duckweed and stabilization pond system. Water Research 33(3), 615-620

Vincent Coliatti et Dufour Sébastien ,2007. Phytoépuration et récupération deseaux de pluies. Coliatti Vicent Sébastien Dufour.CNT-AIT 63, 2 place Poly, 63100 Clermont Ferrand. cntait63@gmail.com

WESTLAKE D.F., 1963. Comparisons of plant productivity. Biol. Rev., 38, 385-425. WETZEL R.G., 1964. A comparative study of the primary productivity of higher aquatic plants, périphyton and phytoplankton in a large shallow lake. Int. Revue ges. Hydrobiol.. 49, 1 -61 .

WETZEL R.G. et HOUGH R.A., 1973. Productivity and rôle of aquatic macrophytes in lakes. An assessment. Polskie Archiv. Hydrobiol. 20 (1), 9-19.

WETZEL R.G. et HOUGH R.A., 1973. Productivity and rôle of aquatic macrophytes in lakes. An assessment. Polskie Archiv. Hydrobiol. 20 (1), 9-19.

WETZEL R.G., 1969. Excrétion of dissolved organic compounds by aquatic macrophytes. Bioscience. 19, 539-540.

WETZEL R.G., 1969. Excrétion of dissolved organic compounds by aquatic macrophytes. *Bioscience*. 19, 539-540.

WPCF. (1990). *Natural System for Wastewater Treatment, manual of practice* Water pollution Control Federation, Alexandria, VA, manual of practice FD-16, 267 p

ZIRSCHKY, J. et REED, S.C. (1988). The use of duckweed for wastewater for treatment. *Journal of Water Pollution Control Facilities*, 6(7). 1253-1258.