



UNIVERSITE DE OUARGLA
FACULTE DES SCIENCES
ET DES SCIENCES DE L'INGÉNIEUR

N° d'ordre :

N° de série :

DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Mémoire

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Spécialité : Agronomie Saharienne

Option : Protection de l'environnement en zones arides

Par : SAGGAÏ Mohamed Mounir

Thème

*Contribution à l'étude d'un système d'épuration à plantes
Macrophytes pour les eaux usées de La Ville de Ouargla.*

Soutenu publiquement le : 02 /11/2004

Devant le jury composé de:

HALILAT Mohamed Tahar	: Maître de conférence.	U. Ouargla	Président
SERIDI Ratiba	: Professeur.	U. Annaba	Rapporteur
MEZA Nouredine	: Docteur chargé de cours.	U. Ouargla	Co-rapporteur
CHELOUFI Abdelhamide	: Maître de conférence.	U. Ouargla	Examineur
MESSAITFA Amor	: Maître de conférence.	U. Ouargla	Examineur

Année Universitaire : 2003/2004

Liste des abbreviation et symboles

(Sauf les abréviations et symboles spécifiques à une équation mathématique qui sont définies directement dans le texte).

C°	Degré Celsius
%	Pourcent
AEP	Eau potable
Ca	Calcium
Cd	Cadmium
CF	Coliformes fécaux
cm	Centimètre
Cm/s	Centimeter par seconde
j	jour
DBO₅	Demande biochimique en oxygène après cinq jours
DHW	Direction d'hydraulique de la wilaya de Ouargla
DCO	Demande chimique en oxygène
Fe	Fer
g	Gramme
g/l	Gramme par litre
mg/l	Milligramme par litre
h	heure
ha	Hectare
K	Potassium
Kg	Kilogramme
Km²	Kilomètre carré
Kystes/l	Kystes par litre
L/j	Litre par jour
l/j/habitant	Litre par jour par habitant
m	Mètre
m³/j	Mètre cube par jour
m/s	Mètre par seconde
m²	Mètre carre
Mg	Magnesium
MES	Métier en suspension

mgO₂/l	Milligramme d'oxygène par litre
ml	Millilitre
mm	Millimeter
%MS	Pourcentage
ms/cm	Milli mhos par centimètre
µs/cm	Micro siemens par centimètre
N	Azote
Na	Sodium
N1	Premier échantillonnage
N2	Deuxième échantillonnage
N3	Troisième échantillonnage
NH₄	Azote ammoniacal
N-NH₄	Azote ammoniacal exprime en fonction de son contenu en azote
Ni	Nickel
NO_x	Nitrites et nitrates
NTK	Azote Kjeldahl
O₂	Oxygène
Œufs/l	Oeufs par litre
ONM	Office national de la météo
ONS	Office national des statistiques
Pb	Plombe
ppm	Partie par million
PT	Phosphore total
Zn	Zinc

Liste des figures

N°	Titre	Page
01	Situation géographique de la wilaya de Ouargla	24
02	Diagramme Ombrothermique d'Emberger de la région de Ouargla (1982-2000)	25
03	Localisation des points et des ensembles de rejets	32
04	Schéma du dispositif expérimental	37
05	Evolution de la CE des eaux usées au cours du traitement	42
06	Evolution du pH des eaux usées au cours du traitement	43
07	Evolution de la MES dans les eaux usées au cours du traitement	44
08	Evolution de la DCO dans les eaux usées au cours du traitement	46
09	Evolution de la DBO ₅ dans les eaux usées au cours du traitement	47
10	Variation de la densité du <i>Phragmite communis</i> Trinius en fonction du temps au niveau du dispositif	48
11	Hauteur des tiges du <i>Phragmites communis</i> Trinius au niveau du dispositif	49
12	Evolution du nombre de feuilles/tiges chez le <i>Phragmites communis</i> Trinius en fonction du temps	49
13	Evolution de la longueur de racines chez le <i>Phragmites communis</i> .Trinius au niveau du dispositif	50
14	Evolution de l'Azote chez le <i>Phragmite communis</i> Trinius en fonction du temps	53
15	Evolution du Potassium chez le <i>Phragmites communis</i> en fonction du temps	54
16	Evolution du Calcium chez le <i>Phragmites communis</i> Trinius en fonction du temps	55
17	Evolution du Magnésium chez le <i>Phragmites communis</i> Trinius en fonction du temps	56
18	Evolution du Sodium chez le <i>Phragmites communis</i> Trinius en fonction du temps	56
19	Evolution du Fer chez le <i>Phragmites communis</i> Trinius en fonction du temps	58
20	Evolution du Zinc chez le <i>Phragmites communis</i> Trinius en fonction du temps	59
21	Evolution du Cadmium chez le <i>Phragmites communis</i> Trinius en fonction du temps	60
22	Evolution du Nickel chez le <i>Phragmites communis</i> Trinius en fonction du temps	61
23	Evolution du Plomb chez le <i>Phragmites communis</i> Trinius en fonction du temps	62

Listes des tableaux

N°	Titre	Page
01	Évolution des teneurs en MES (mg/l) dans les eaux brutes et à la sortie des bassins de Vétiver	15
02	Évolution des teneurs en DCO (mg d'O ₂ /l) dans les eaux brutes et à la sortie des bassins de Vétiver	15
03	Évolution des teneurs en CF (N/100 ml) dans les eaux brutes et à la sortie des bassins de Vétiver	16
04	Caractéristiques physico-chimiques et parasitologiques de l'effluent à traiter.	17
05	Teneur en éléments minéraux, azote et phosphore, au niveau des différents organes de la plante	17
06	Taux exporté d'azote et de phosphore par les différents organes de la plante (<i>Phragmites communis</i>)	17
07	Données climatiques de la région de Ouargla (1982 – 2000)	23
08	Quantité des eaux usées de la ville de Ouargla rejetées par secteur	31

Listes des photographies

N°	Titre	Page
01	<i>Phragmites communis</i> Trinius.	19
02	Situation du collecteur de rejet « Bamendil ».	34
03	Dispositif expérimental.	35
04	Variation de la couleur des eaux usées au cours du traitement.	45

REMERCIEMENTS

Le travail qui fait l'objet de ce mémoire a été réalisé au siège de la société SAHARA DES VEHICULES INDUSTRIELLES (Ouargla) sous la direction de M^{me} SERIDI Ratiba, Professeur à l'Université « BADJI Mokhtar » de Annaba et Mr MEZA Nouredine Docteur chargé de cours à l'Université de Ouargla. Je les prie de bien vouloir trouver ici l'expression de mon immense admiration et de ma profonde gratitude pour leur aide efficace, leur bienveillance et leur disponibilité sans réserve.

Je suis très sensible à l'honneur que ma fait Mr HALILAT Mohamed Tahar, Maître de Conférence à l'Université de Ouargla, en acceptant de présider mon jury et je l'en remercie très sincèrement.

Mr CHELOUFI Abdelhamid, Maître de Conférence à l'Université de Ouargla, qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance et mes remerciements pour avoir accepté d'être membre de ce jury.

Mr MESSAITFA Amor, Maître de Conférence à l'Université de Ouargla, a contribué à ma formation. Je tiens à lui adresser mes sincères remerciements de m'avoir fait l'honneur de participer à mon jury.

Mr DJEIBI Riad, Maître assistant chargé de cours à l'Université BADJI Mokhtar de Annaba, m'a aidé dans la réalisation de ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance et mes remerciements.

J'exprime également mes profonds remerciements à Mr TOUIL Youssef, Maître assistant et M^{me} BISSATI Samia, Docteur chargé de cours à l'Université de Ouargla, qui m'ont aidé à bien réaliser ce modeste travail. Qu'ils trouvent ici ma profonde gratitude pour le temps qu'ils m'ont consacré.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à Mr SAFI directeur de la Société SAHARA des Véhicules Industriels, qui m'a accordé l'autorisation à l'installation du dispositif dans des conditions sécurisées et mis à ma disposition les moyens nécessaires à bien mener mon travail.

Sans oublier au même égard ceux qui m'en ont aidé à réaliser ce travail au niveau du département des sciences agronomiques : Mm IDDER, Mr BEGGARI, Mr MESSAITFA et Mr KADIR membres du laboratoire ; ainsi qu'au centre de la documentation du département notamment M^{me} MAANE, M^{me} MENZER, M^{lle} HEFIANE et Mr Youssef.

Je suis très reconnaissant à mes collègues de la première promotion de PG pour leur soutien moral et leur encouragement durant tout ce travail.

A mes parents, mes frères et ma sœur j'exprime mes profonds remerciements pour leur patience, leur encouragement et leur soutien, qu'ils trouvent dans ce travail ma reconnaissance.

Merci en fin à tous les enseignants, collègues, amis et toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin pour que ce travail voie la lumière.

الملخص

مدينة ورقلة ترمي ما مقداره 16600 م³/اليوم من مياه الصرف الصحي دون أي معالجة، وهذا عبر قنوات نحو مصب أم الراناب. تشكل هذه المياه البيئة المناسبة لتفشي الأمراض المنتقلة عبر المياه، كما أنها تلوث الطبقة الحرة.

إن معالجة مياه الصرف تسمح لنا بإعادة استخدامها في القطاعين الفلاحي و الصناعي، حيث نظرت دراسات كثيرة، منذ سنوات، لموضوع معالجة مياه الصرف الصحي و تعتبر طرق المعالجة التكنولوجية و الكيميائية مكلفة للغاية و تتطلب كفاءة مهنية و تقنيات عالية. إن المعالجة البيولوجية و بالأخص التي تعتمد على النباتات، كانت محل دراسات و تجارب عديدة في العالم (السنغال، المغرب، إيطاليا، إسبانيا، الإتحاد السوفياتي سابقا، كندا، الولايات المتحدة الأمريكية، الخ)، و النتائج المحصل عليها كانت مقنعة.

تناولت دراستنا موضوع تطهير مياه الصرف باستخدام النباتات (القصب *Phragmites communis Trinius*)، و اهتمنا بمتابعة تغيرات العوامل الفيزيوكيميائية و البيوكيميائية و البيومترية بدلالة زمن المعالجة.

يتكون التركيب التجريبي المستخدم من 08 أحواض متسلسلة (بحجم 1.5 م³ /حوض) ملئت بطبقة من الحصى (90 سم)، ثم غرست بالقصب *Phragmites communis Trinius* لمعالجة مياه الصرف الصحي التي تضخ من قناة الصرف "بامنديل".

نتائج التركيب التجريبي توضح بأن *Phragmites communis Trinius* يحسن من نوعية مياه الصرف، حيث تم تسجيل إنخفاض بـ 96.2% بالنسبة للمادة العالقة و بـ 96% للطلب الكيميائي للأكسجين و بـ 96.34% للطلب البيوكيميائي للأكسجين؛ بينما سجلنا ارتفاع طفيف لكل من الـ pH و الناقلية الكهربائية مقارنة بالقيم الأولى قبل المعالجة، إلا أنه يبقى بدون دلالة.

إن معالجة المياه باستخدام التركيب التجريبي حسنت بشكل ملحوظ نوعية المياه مقارنة بتلك الموجودة عند نهاية حزمة القصب على مستوى قناة الصرف، وهذا بتفاوت قدر بـ 17.92% بالنسبة للمادة العالقة و بـ 24.42% بالنسبة للطلب الكيميائي للأكسجين و بـ 52.68% للطلب البيوكيميائي للأكسجين.

كما سلوك القصب في الظروف التجريبية و على مستوى القناة متشابه. وإن تراكيز العناصر المعدنية في الأجزاء المحللة من النبات، تتغير بدلالة الزمن. إن العناصر التالية: Zn, Cd, Ni, Fe, Pb و تتراكم في الجذور، بينما تتركز الأزوت N كبير في كل من السيقان و الأوراق. تتركز كل من الـ K و الـ Ca في الأجزاء الهوائية و الترابية متقارب.

الكلمات الدلالية: تطهير — *Phragmites communis Trinius* — مياه الصرف — مدينة ورقلة.

Résumé

La ville de Ouargla rejette 16 600 m³/j d'eaux usées, sans traitement ; et cela à travers un système de canalisation vers l'exutoire de Oum Eraneb située au Nord-Est de la région.

Les eaux usées, rejetées telles quelles dans la nature présentent un danger certain pour les hommes et agit défavorablement sur les écosystèmes naturels.

Le traitement de ces derniers par plusieurs techniques présente non seulement de préserver les milieux naturels de tout problèmes mais présente aussi une réutilisation de ces derniers dans le secteur agricole et éventuellement industriel.

L'épuration par procédées technologique et chimique est utilisée à travers le monde entier, cependant l'installation des stations de traitement est très coûteuses et demande un personnel qualifié et une haute technicité.

Le traitement par voie biologique et en particulier par macrophytes, a fait l'objet de plusieurs expériences à travers le monde (Sénégal, Maroc, Italie, Espagne, ex URSS, Canada, États unis, etc.), et les résultats obtenus ont été concluant.

La présente étude sur les eaux usées a porté sur l'épuration par macrophytes (*Phragmites communis* Trinius), et s'est axée sur la variation des paramètres physico-chimiques biochimiques et biométriques, en fonction du temps de traitement.

Le dispositif expérimental installé est constitué de huit bacs en série (1,5 m³/bac) rempli d'une couche de gravier (h : 90 cm) et planté de *Phragmite communis* Trinius ; pour le traitement des eaux usées d'origine domestique pompées du collecteur de rejet « Bamenil ».

Les résultats obtenu montrent que le traitement par *Phragmites cmmunis* Trinius améliore la qualité des eaux usées et les rendements obtenus sont de l'ordre de 96, 2% pour la MES, de 96 % pour la DCO et de 96,43% pour la DBO₅. Le pH et la CE marquent une légère augmentation par rapport aux valeurs initiales, mais restent non significatifs. La qualité de l'eau après traitement dans le dispositif est nettement supérieure à celle prélevé du canal en aval de la bande du roseau, avec des écarts de 17,29 % pour la MES, de 24,42 % pour la DCO et de 52,68 % pour la DBO₅.

Le comportement du roseau dans les conditions expérimentales est similaire à celui des sujets dans le collecteur. Les teneurs des éléments dans les organes varient en fonction du temps. Les oligoéléments (Zn, Cd, Ni, Fe, Pb), sont accumulés dans les racines, par contre la teneur en N est importante dans les tiges et feuilles. Les teneurs en K et en Ca dans le deux parties du végétal sont proches.

Mots clés : Épuration - *Phragmites communis* Trinius - Eaux usées - Ville de Ouargla - Algérie.

Summary

In Ouargla 16 600 m³/d wastewater are rejected, which are throughen with a system of pipeline toward the outlet of Oum Eraneb without treatment.

These waters constitute a source for hydrique illnesses transmission and contaminate the watertable. The treatment of this waters offer the possibility to reuse them in agricultural and industrial sectors.

The wastewater treatment has been the object of several works. The purification by technological and chemical processes is used through the whole world; however the installation of treatment stations is very expensive and needs skilled staff and a high technecity.

The treatment by biological way and in particular by macrophytes is the object of several experiences through the world (Senegal, Morocco, Italy, Spain, ex USSR, Canada, United States, etc.), and the gotten results were conclusive.

The present survey on the wastewaters is about the purification by macrophytes (*Phragmites communis* Trinius), and it focussed on the variation of biochemical physico - chemical and bio-metrics parameters, according to the time of treatment.

The installed experimental device is constituted in series of eight ferries (1,5 m³/bacs) full of a gravel layer (h: 90 cm) and planted with *Phragmite communis* Trinius; to treat wastewaters of domestic origin pumped from the dismissal collector of "Bamenil".

The results at the device, show that the treatment by *Phragmites cmmunis* Trinius improves the wastewater quality and the outputs are ringed as follows : 96, 2 % for the SM, of 96 % for the COD and 96,43 % for the BOD. The pH and the EC mark a light increase in relation to the initial values, but insignificant. The quality of water after treatment in the device is distinctly superior to the one appropriated of the collector downstream the strip of the reed, with gaps of 17,29 % for the SM, of 24,42 % for the COD and 52,68 % for the BOD.

On hand one the behaviour of the reed in the applied conditions is similar the one of topics in the collector. Contents of elements in organs vary according to the time. Oligo-elements (Zn, Cd, Ni, Fe, Pb), are accumulated in roots, on the other hand the content in N is important in stems and leaves. Contents in K and Ca in the two parts of plant are near.

Key words: Purification - *Phragmites communis* Trinius - Wastewaters - City of Ouargla - Algeria

Sommaire

Introduction	01
Partie I : Synthèse bibliographique	
Chapitre I : Les eaux usées	
1.1 Définition.	03
1.2 Les eaux urbaines résiduaires	04
1.2.1 Les eaux usées d'origine industrielle	04
1.2.2 Les eaux usées d'origine domestique	04
1.2.3 Les eaux de drainages	05
1.3 Différents modes d'épuration des eaux usées	05
1.3.1 Définition de l'épuration	05
1.3.2 Les procédés classiques de traitement des eaux usées	06
1.3.2.1 Traitement physique	06
1.3.2.2 Traitement physicochimique	07
1.3.2.3 Traitement biologique	08
1.3.2.3.1 Les station par boues activées	08
1.3.2.3.2 Les disque biologique	08
1.3.2.3.3 Les lits bactériens	08
1.3.2.3.4 Traitement par microphytes	08
1.3.2.3.5 Traitement des par macrophytes	09
1.3.2.3.6 Le lagunage	09
Chapitre II : Traitement des eaux usées par macrophytes	
2.1 Le traitement des eaux usées par macrophytes	14
2.2 Le <i>Phragmites communis</i> Trinius	18
2.2.1 Taxonomie	18
2.2.2 Les organes végétatifs	19
2.2.3 L'habitat	20
2.2.4 La description	20
Chapitre III : Présentation de la ville de Ouargla	
Présentation de la ville de Ouargla	22
3.1.1 Situation géographique	22
3.1.2 Le Climat	23
3.1.3 Le sol	26
3.1.4 L'aspect géologique	26
3.1.5 Aspect géomorphologique	27
3.1.6 L'hydrogéologie	27
3.1.6.1 Hydrogéologie de surface	27
3.1.6.2 Hydrogéologie souterraine.....	28
3.2 Problématique d'assainissement de la ville de Ouargla	29
3.2.1 Données générales sur le réseau hydraulique de la ville de Ouargla	29

3.2.2 Etat technique du réseau local d'assainissement et impact sur l'environnement ...	30
3.2.3 Quantité des eaux usées par secteur	31

Partie II : Matériel et Méthodes

2.1 Choix du matériel	33
2.2 Méthodologie du travail	33
2.2.1 Suivi sur site naturel	34
2.2.2 Travail expérimental	35
2.2.2.1 Description du dispositif expérimental	35
2.2.2.2 Description du site expérimental	36
2.3. Analyse des paramètres d'étude	36
2.3.1 Analyse des eaux usées	36
2.3.1.1 Analyses biochimiques	36
2.3.1.2 Analyses physico-chimiques	39
2.3.2 Analyse du <i>Phragmites communis</i> Trinius	39
2.3.2.1 Mesures biométriques	39
2.3.2.2 Analyses chimiques	40

Partie III: Résultats et discussion

3.1 Analyse des eaux usées	42
3.1.1 Analyses biochimiques	42
3.1.1.1 La demande chimique en oxygène (DCO).....	42
3.1.1.2 La demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	43
3.1.2 Les paramètres physiques	44
3.1.2.1 La matière en suspension (MES)	44
3.1.2.2 La conductivité électrique (CE).....	45
3.1.2.3 Le potentiel hydrogène (pH).....	46
3.2 Analyse du <i>Phragmites communis</i> Trinus	48
3.2.1 Mesures biométriques	48
3.2.1.1 La densité	48
3.2.1.2 La hauteur des tiges	49
3.2.1.3 Le nombre de feuilles par tige	49
3.2.1.4 La longueur des racines	50
3.2.2 Analyses chimiques [N, K, Ca, Mg, Na, Fe, Zn, Cd, Ni, Pb] ...	51

Conclusion générale et perspective	64
---	-----------

Références bibliographiques	66
--	-----------

Annexes	71
----------------------	-----------

Introduction

L'eau a toujours hanté l'esprit des hommes, élément de la vie quotidienne et pivot des civilisations depuis l'antiquité, comme celles de l'Égypte, de la Chine ou du Pérou. Cet élément de la vie facilement utilisé et difficilement obtenu, présente aujourd'hui une rareté majeure à l'échelle du globe et, beaucoup plus gravement dans les zones arides de la planète. Le manque d'eau prend de jour en jour de l'ampleur devant des sources limitées et une explosion démographique accentuée par la demande croissante de deux secteurs stratégiques l'agriculture et l'industrie.

Aujourd'hui la consommation globale par habitant, choisie comme indice du développement économique d'une nation, ne cesse de décroître suite aux problèmes listés.

Parmi les stratégies de résolution de ce problème, c'est l'utilisation rationnelle des eaux, et la réutilisation des eaux après traitement surtout en industrie et dans l'agriculture qui permettent de conserver l'eau potable seulement pour l'usage domestique.

L'épuration des eaux est un moyen qui permet la réutilisation des eaux ; elle est assurée soit par voie physique, chimique ou biologique.

En Algérie l'épuration (au niveau des stations d'épuration) des eaux usées est limitée, on compte 67 stations dont 11 actuellement sont fonctionnelles (DHW, 2004).

La purification artificielle des eaux usées au niveau des stations d'épuration, à travers les pays utilisateurs de ce mode, a montré sa complexité et ses exigences matérielles et humaine (haute technicité) ; de ce fait d'autres moyens plus simples et efficaces ont été mis en place pour l'épuration des eaux. Parmi eux un mode purement naturelle où les agents actifs dans le processus sont des Macrophytes (plantes supérieures), pour cette technique l'intervention de l'homme est très limitée et l'installation n'est pas trop coûteuse.

Les potentialités épuratoires des systèmes hydrauliques à plantes macrophytes ont été mis en évidence dès l'année 1946 par SEIDEL et exploitées avec succès (FINLAYSO et

CHICK, 1983, GORDIN, 1991, BRIX, 1993, etc.) dans différents pays tel que l'Italie, la France, la Russie, les Etats unie, le Sénégal, etc.

Au niveau de la ville de Ouargla les eaux usées sont rejetées à travers un système de canalisation de 15,5 Km vers l'exutoire de Oum Eraneb, malheureusement sans aucun traitement.

La seule station d'épuration existante au niveau de la commune de Ouargla installée en 1974 n'est plus fonctionnelle.

Ces eaux, rejetées dans la nature à l'état brute, sont un foyer de développement et de propagation de certains insectes nuisibles (les moustiques notamment) de maladies (typhoïde, cholera,...) et contaminent la nappe phréatique très proche de la surface, de plus l'élargissement de ce plan d'eau, menace les palmerais avoisinantes et aussi la niche écologique.

Le mode de traitement des effluents par des Macrophytes est à cent pour cent naturel et dans lequel l'intervention de l'homme est limité, c'est un système qui a prouvé son efficacité dans des étages climatiques différentes, en utilisant de nombreuses espèces (phragmites, tamarix, typha, massette, lentille d'eau,...), et vu son importance et sa réussite à l'échelle internationale, ce mode d'épuration est choisie pour la définition d'un thème de recherche dans notre région et précisément dans la ville de Ouargla.

Le travail mené est purement expérimental ; pour vérifier la faisabilité de l'installation d'un dispositif d'épuration des eaux usées à base de macrophytes. L'espèce utilisée est très répandu dans la région de Ouargla le *Phragmites communis* Trinius appelé vulgairement le roseau et localement Guessab.

Notre travail consiste à contrôler le processus d'épuration des eaux usées durant leurs passages en série dans des bacs cultivés de *Phragmites communis* Trinius, et à faire un bilan partiel de la composante de l'eau à l'entrée et à la sortie du dispositif. Des analyses biométriques ont été réalisées au cours du développement phénologique du végétal, ainsi que des dosages chimiques dans la macrophyte ont été réalisés au début et à la fin de notre expérimentation.

Chapitre I : Les eaux usées

1.1 Définition

Une eau est dite polluée une fois qu'elle perd ses caractéristiques physiques, chimiques et organoleptiques.

Selon BOUZIANI (2000), la plus part des eaux usées sont agressive, d'autres sont pathogènes, elle peuvent être à l'origine de graves problèmes de santé publique.

Les eaux usées sont les eaux évacuées résultant de toutes les activités humaines journalières. On peut distinguer selon leurs origines :

- * les eaux usées agricoles qui résultent de l'élevage et de la culture ;
- * les eaux usées industrielles dont les caractéristiques dépendent toujours de l'usage de l'eau dans les procédés de fabrication ;
- * les eaux de ruissellement pluviales qui sont rejetées après la pluie par les systèmes d'évacuation prévus pour les surfaces imperméables ;

Les eaux épurées qui ne sont que très rarement des eaux pures mais plutôt des eaux usées traitées jusqu'à un niveau de pollution toléré par la législation pour leur émission dans la nature (ANONYME, 2000).

Pour comprendre comment on mesure la pollution d'un utilisateur d'eau, il faut tout d'abord répertorier les substances variées qui sont utilisées à la maison et dont nous nous débarrassons avec de l'eau. Généralement, le jargon des hygiénistes fait appel à la couleur, on parle d'eaux grises pour toutes les eaux de lavage et d'eaux noires pour les eaux fécales des W.C que l'on appelle aussi eaux vannes. Cette différence de couleur traduit le niveau du risque sanitaire lié à la dispersion de chacun des deux types d'eau.

Suivant des catégories de type chimique, les substances rejetées dans l'eau se répartissent en :

- matières organiques biodégradables (protéines, graisses, hydrates de carbone) qui peuvent servir de nourriture à des micro organismes et que ceux-ci vont transformer, en partie, en composés minéraux simples;
- sels inorganiques (sodium, potassium, Calcium, Magnésium, chlorures, sulfates, phosphates, nitrates,...) dont l'origine vient des savons et des produits de nettoyage et aussi de la minéralisation initiale de l'eau;
- produits minéraux éliminés par l'organisme (ammoniaque, phosphates ...)
- micro organismes apportés par les matières fécales ;

- substances dangereuses indésirables et toxiques, très peu biodégradables dans le milieu aquatique telles que;
 - métaux lourds : Mercure Hg, Plomb Pb....
 - hydrocarbures : huiles minérales de vidange, solvants pour peinture

1.2 Les eaux urbaines résiduaires :

Les eaux usées urbaines résiduaires sont des eaux ménagères ou qui résultent du mélange d'eaux ménagères avec des eaux industrielles et/ou des eaux de ruissellement.

1.2.1 Eaux usées d'origine industrielle :

C'est une eau qui a subi des modifications physico-chimiques et qui rentre dans les processus industriels et qui est rejetée à la fin de la chaîne industrielle, souvent chargée par des huiles ou des métaux lourds.

1.2.2 Eaux usées d'origine domestique :

C'est une eau issue généralement des groupes des agglomérations arrivant des rejets des activités domestiques, elle est constituée par :

- eau ménagère (lavage corporel et du linge, eaux de cuisine),
- eaux vannes chargées de fèces et d'urines,
- eaux de lavage de voirie,
- eaux pluviales,

Elle contient des matières minérales et organiques dans les trois phases solide, liquide et gazeuse et dans les trois états de dispersion : débris grossiers, suspensions (émulsion), colloïdes, molécules dissoutes dissociées ou non. Les eaux usées véhiculent aussi les microorganismes pathogènes ou sporophytes et virus.

Selon RICHARD (1996), cette eau contient des détergents anioniques (alkyl sulfates alkylaryl sulfaté) qui agissent comme émulsionnants, moussant mouillants.

Ils ont la faculté de diminuer la capacité de ré oxygénation des eaux de surface et d'inhiber l'épuration biologique par des bactéries (COLLAS, 1962).

1.2.3 Les eaux de drainage :

C'est l'eau de lessivage récupérée après irrigation grâce à un système de drainage. Les pollutions dues aux activités agricoles sont de plusieurs natures :

- ▶ Apport aux eaux de surface de nitrates et de phosphates utilisés comme engrais, par suite de lessivage de terre perméables. Ces composés minéraux favorisent la prolifération des algues qui, en abaissent la teneur en oxygène des eaux courantes compromettent la vie des poissons et des autres animaux aquatiques.
- ▶ Apport des pesticides chlorés ou phosphorés, de désherbants, d'insecticides ;
- ▶ En région viticole, apport du sulfates de cuivre (bouillie bordelaise, bouillie bourguignonne), de composés arsenicaux destinés à la protection des vignes (RICHARD, 1996).

1.3 Les différents modes d'épuration des eaux usées

1.3.1 Définition de l'épuration

En assainissement, l'épuration constitue le processus visant à rendre aux eaux résiduaires rejetées la qualité répondant aux exigences du milieu récepteur. Il s'agit donc d'éviter une pollution par la dépollution et non de produire de l'eau potable. L'opération est assurée par deux procédures distinctes, la première est dite industrielle et la deuxième est naturelle (ANONYME, 1997).

Selon DIVET et SCHULHOF (1980), le mot « épuration » est aussi synonyme du « lagunage ».

Quand on parle d'épuration des eaux usées urbaines, il n'est pourtant pas question de les rendre pures, mais plutôt d'en retirer le plus de déchets dont on l'a chargée pour les évacuer. Ces définitions du sens commun de ces mots ont l'inconvénient de considérer de prime abord l'eau comme une " matière " et non pas comme un " milieu ".

Epurer les eaux usées des égouts publics, où sont déversées les eaux usées domestiques et les eaux usées industrielles pré - traitées conformément aux autorisations délivrées aux entreprises, c'est plutôt les purifier afin que leur incidence sur la qualité choisie pour l'eau, en tant que milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible.

L'objectif de l'épuration des rejets est défini par l'objectif de qualité que l'on choisit pour les cours d'eau. Ceux-ci diffèrent actuellement selon les usages de l'eau, définis le plus souvent par des directives internationales.

Elles sont exprimées notamment par des valeurs de paramètres physico-chimiques que ne doivent pas dépasser l'eau du milieu considéré. On parle aussi de normes d'émission. Lorsqu'une autorisation de déversement est octroyée pour permettre un rejet, qu'il s'agisse d'un rejet de station d'épuration d'eaux usées résiduaires urbaines ou d'eaux usées industrielles, les valeurs paramétriques imposées au déversement dans le milieu sont appelées des normes d'émission.

La base de la politique de protection des eaux est le principe de l'émission. Des taux d'émission unique selon l'état de la technique sont posés comme critères minima pour les rejets d'eaux usées. Cela garantit la meilleure protection de base possible des eaux contre les sources ponctuelles.

Pour pouvoir protéger les eaux contre les pollutions résultant de sources diffuses et contre les effets toxiques possibles des pollutions résiduelles après le traitement des eaux usées, on peut appliquer aussi, à titre complémentaire, en cas de besoin, des taux d'émission adapté au besoin de protection (ANONYME, 2000).

1.3.2 Les procédés classique de traitement des eaux usées

Les stations d'épuration sont des petites usines qui traitent les eaux usés en passant par les étapes suivantes :

1.3.2.1 Le traitement physique

Selon BECHAC et al. (1984) le prétraitement physique est l'ensemble des opérations qui a pour but d'éliminer la fraction la plus grossière des particules entraînées, et de retirer de l'effluent des matières susceptibles de gêner les traitements ultérieurs. Cette opération passe par les étapes suivantes :

* **Le dégrillage** : Il consiste à faire passer l'effluent entre les barreaux d'une grille, dont l'écartement se mesure habituellement en centimètre (BECHAC et al., 1984). Cette opération préliminaire et indispensable au niveau de toutes les stations, permet de retenir les matières solides contenues dans l'eau usée. Les refus de grilles sont généralement éliminés avec les ordures ménagères.

*** La dilacération :**

L'opération consiste à broyer assez finement la fraction fermentescible des résidus de dégrillage afin qu'ils puissent suivre le sort des matières décantables fines.

*** Le dessablage – dégraissage :** Le dessablage permet l'élimination des particules lourdes de tailles importantes (>2mm) par décantation. Le dégraissage permet d'éliminer les particules légères (graisses, huiles etc.) par flottation.

*** Le tamisage :** le tamisage est une opération très générale sur les effluents industriels chargés en matières en suspension de forte taille (abattoirs, conserveries de légumes). Il permet la récupération des déchets utilisables, évite l'obstruction de canalisations, ou de pompes, limite les risques de dépôts et de fermentation, soulage le traitement biologique ultérieur (BECHAC et al, 1984).

Il est important de mentionner qu'il est exceptionnel que la chaîne des prétraitements comporte l'ensemble de ces opérations. Dans les petites installations la procédure de traitement est réduite au dégrillage et dessablage uniquement et en présence des graisses et des huiles et d'industrie, le dégraissage et tamisage devient complémentaire.

1.3.2.2 Le traitement physico-chimique

Le traitement physicochimique est le seul moyen qui permet la déstabilisation des particules colloïdales à petite dimension (10^{-8} à 10^{-2} mm), il renferme deux opérations principales, la première est le processus de floculation qui consiste à rassembler les colloïdes et la deuxième est la coagulation qui est une déstabilisation à faible charge électrique.

Selon BECHAC et al. (1984), ces deux modes de traitement présentent une efficacité lorsque les paramètres quantitatifs et qualitatifs des eaux usées sont contrôlés, or sur terrain il est difficile de bien assurer un traitement optimal car la détermination des quantités de réactif à injecter vis à vis la variation de débit, concentration, pH,...etc est complexe. Le choix du produit chimique revient à l'exploitant en fonction de la disponibilité des produits et de leurs coûts.

1.3.2.3 Traitement biologique

Le traitement biologique des eaux usées est une technique qui utilise au cours de son processus des organismes vivants. Ces derniers contribuent à la décomposition de la matière organique et l'assimilation de certains éléments toxiques.

Parmi les modes de traitement biologique on site :

1.3.2.3.1 Les stations par boues activées

Les stations par boues activées (très riche en micro-organismes ayant besoin d'oxygène pour vivre) reposent sur les principes suivants :

- * l'eau à épurer est mise en contact dans le bassin d'activation avec une culture bactérienne importante ;

- * de l'oxygène est fourni à travers un dispositif d'aération ;

- * un brassage de la culture bactérienne est effectué ;

- * la séparation de la culture bactérienne (boue) et de l'eau épurée se fait dans un bassin de décantation dit clarificateur ;

- * la boue est soit recirculée, soit extraite : ce sont les « les boues en excès ».

1.3.2.3.2 Les disques biologique

Le principe consiste en l'utilisation d'une biomasse fixée sur des disques tournant autour d'un axe horizontal et baignant en partie dans l'eau à traiter. Par rotation, la biomasse se trouve alternativement en contact avec l'eau à traiter et l'air.

1.3.2.3.3 Les lits bactériens

Le principe des lits bactériens est lié au ruissellement de l'eau sur un support solide, sur lequel se développe une biomasse épuratrice. L'aération est assurée par la circulation de l'air dans les interstices du matériau utilisé. Les matériaux anciens (cailloux) ont de plus en plus été remplacés par des matériaux plastiques à fort indice de vides.

1.3.2.3.4 Traitement par microphytes

L'épuration des eaux usées par microphytes est une technique, dont laquelle le lits bactérien joue le rôle du système épuratoire. Le principe cette fois-ci est la dégradation en aérobie des composées organiques.

1.3.2.3.5 Traitement par macrophytes

L'épuration des eaux usées par les plantes supérieures ou macrophytes c'est le mode de lagunage, en général, qui vient en troisième position (traitement tertiaire) ; où le végétale intervient par son système racinaire, qui joue un double rôle : l'enrichissement de la rhizosphère en oxygène (stimule l'activité de la microflore aérobiques) et assimile en même temps certains éléments minéraux classé toxique et ou indésirable dans le milieu naturelle (YETTOU, 2001).

1.3.2.3.6 Le lagunage

Selon YETTOU (2001), le lagunage est un procédé d'épuration des eaux usées qui consiste en un lent écoulement de l'eau dans un ou plusieurs réservoirs peu profond où prolifèrent des bactéries et autres organismes vivant au détriment des matières organiques et des sels minéraux contenu dans les eaux.

Il existe plusieurs procédés fondés sur le principe du lagunage, parmi les quelles :

* Lagunage naturel à microphytes (présence d'algues) : C'est une filière de traitement composée le plu souvent de trois bassins en série, aucun procédé artificiel n'est nécessaire à son fonctionnement.

Le lagunage naturel à microphytes d'après le CE MAGREF nécessite une superficie de 10 à 15 m² par équivalent habitant. On compte sur une station de 2 à 5 bassins déposés en série (avec un optimum pour 3 bassins), profond de 1 à 1,7 mètres où les effluents à traiter séjournent au total de 50 à 80 jours.

Le premier bassin (de décantation) et le plus profond, et le volume globale de l'ensemble doit être très important : soit de 60 à 80 fois plus que la quantité d'effluent reçu, ce qui permet une dilution considérable et d'assurer, le cas échéant, de fortes variations de charge à assainir.

Dans une formule complémentaire (en milieu tropical notamment) on peut cultiver des macrophytes (roseaux, massettes ou lentilles d'eau par exemple) dans le bassin terminal afin d'optimiser l'épuration, d'augmenter l'oxygénation et d'éliminer au maximum les matières en suspensions.

Les lagunes à macrophytes différent de celles microphytes par une plus faible profondeur d'eau et doivent être collectées régulièrement (fort taux de croissance des lentilles ou des jacinthes d'eau par exemple).

*** Lagunage anaérobie**

Le lagunage anaérobie est un système employé en climat tropicale, car il nécessite une température élevée (supérieure à 25°C) permet le traitement des eaux usées domestiques et agroindustrielles (abattoirs par exemple).

Les caractéristiques en sont :

- * une profondeur d'eau importante facilitant les processus d'anaérobies.
- * une charge en matière organique élevée.

La réduction de la DBO₅ dépasse 80 % lorsque la température est au dessus de 25°C. Outre la température, les paramètres majeurs ont le pH, qui doit rester voisin de 7, donc la neutralité, et le temps de séjour :

Pour deux jours, la chute atteint 70 % sur la DCO et 80 % sur les MES.

On peut y adjoindre une lagune à macrophytes (jacinthes d'eau, laitues d'eau par exemple), qui, collectées, peuvent servir à la fabrication de compost ou d'aliments pour le bétail (YETTOU, 2001).

*** Lagunage tertiaire ou (bassin de maturation) :** C'est un traitement complémentaire utilisé en aval d'une station d'épuration. Sa conception varie avec l'objectif visé : par exemple l'abattement de germes ou bien la rétention des matières en suspension.

*** Le lagunage à haut rendement :** Selon YETTOU (2001), c'est une filière de traitement où l'épuration y est obtenue grâce à une production algal dans des bassins à très faible profondeur (30 à 50 cm) dans lesquels un courant est créé artificiellement afin d'empêcher la décantation des algues. Le temps de séjours est de 2 à 12 jours et la surface nécessaire est divisée par 5 par rapport au lagunage naturel.

Cependant, cette écotechnique exige un rayonnement solaire et une température suffisante, et demande donc de prendre en compte les cycles de saisonniers.

D'autre part, la photosynthèse n'ayant lieu que le jour, il convient aussi de compter avec le cycle jour/nuit dans le lieu envisagé.

En pays tempérés notamment, on pourrait coupler ce procédé à partir des mois de Mars – Avril avec des bassins de stockage plus profonds pendant l'hiver.

*** Lagunage naturel à macrophytes :** C'est un mode qui utilise des végétaux supérieurs, (roseau, lentille d'eau, iris). Parmi les macrophytes plantés, on peu citer :

* Les phragmites (roseau) sont très résistants, mais leur croissance et leur densité décroissante avec la profondeur de la lame d'eau :

* les lentilles d'eau (Lemma minor) qui forment un tapis vert que l'on doit gérer (extractions régulières) pour éviter toute accumulation qui engendrerait une perturbation grave du milieu.

Cette technique présente la caractéristique de nécessiter une surface importante. Voilà pourquoi on lui attribue la propriété " extensive ", d'autant qu'on y laisse se produire des phénomènes biologiques complexes qui se développent dans l'eau usée sous l'influence des facteurs bioclimatiques.

On utilise un volume réactionnel d'eau important mais peu profond. Le temps de séjour doit être élevé (3 à 30 jours, voire plus). Les boues se concentrant sur le fond et qui interviennent dans la biologie du système ne doivent être évacuées qu'après quelques 5 à 10 années.

Le lagunage est peu coûteux en énergie et permet parfois un taux d'épuration important. Il est particulièrement adapté aux pays en voie de développement.

A l'usage, on distingue :

* le lagunage non aéré qui est une technique à la fois aérobie et anaérobie (dit aussi facultatif ou à microphytes)

* et le lagunage aéré qui appartient aux techniques aérobies.

Dans les lagunes dites facultatives sans aération ni brassage artificiels, l'oxygène est principalement fourni par les phénomènes suivants :

* alimentation en oxygène grâce à des algues par photosynthèse.

* apport d'oxygène provenant de l'air qui se trouve au-dessus de la surface de l'eau,

* apport d'oxygène par mélange avec des eaux de surface de bonne qualité, saturées en oxygène,

La condition la plus importante, pour l'épuration des eaux résiduaires dans les lagunes, est que le contenu de ces dernières ne soit à aucun moment en purification.

Les organismes participant aux processus d'épuration, en particulier les bactéries et les algues, sont classés selon leur activité en organismes hétérotrophes et organismes autotrophes.

Les premiers apparaissent principalement sous forme de bactéries anaérobies ou aérobies. Ils assurent la formation ou, la transformation des substances organiques complexes en molécules simples ou, au maximum, en anhydride carbonique et en eau.

Les seconds se développent sous forme d'algues flottantes ou fixées. Ils forment leur biomasse par fixation d'anhydride carbonique. Ils sont capables d'absorber des substances inorganiques comme l'ammonium, le nitrate, l'orthophosphate et de les mettre en valeur. Ils contribuent ainsi à la réduction des engrais.

Performance

L'inconvénient des lagunes réside dans le fait qu'on doit disposer de volumes importants pour la réception des eaux résiduaires à épurer. L'avantage majeur est le coût relativement faible de cette technique (Anonyme, 2000).

Taille

Contrairement aux installations à boues activées et à lits bactériens, l'épuration des eaux usées dans des lagunes est un procédé à grande surface, environ 12 à 15 m² par habitant en eaux usées urbaines. La profondeur des lagunes sera, en fonction du relief du sol, de 0,5 à 1,5 m dans le cas de lagunes facultatives, et de 2,5 à 3 m avec une aération artificielle.

Les lagunes sont généralement construites sous forme de bassins de terre, pourvus de talus ayant une pente d'un tiers. Si une protection contre l'infiltration dans les eaux souterraines est nécessaire, les fonds et les remblais doivent être colmatés. Elles sont généralement de forme telle que les zones mortes sont absentes autant que possible (ANONYME, 2001).

Usage

C'est une technique rustique. Le facteur d'insolation et la simplicité de la technique ont considérablement contribué à un recours fréquent et efficace au lagunage dans les latitudes sud.

Le lagunage non aéré est utilisé pour diminuer la teneur en substances organiques d'eaux résiduaires brutes.

Grâce à l'aération artificielle, on obtient :

- * une meilleure absorption, distribution et utilisation de l'oxygène,
- * une répartition plus régulière des matières polluantes et des micro-organismes sur le volume de la lagune,

* une possibilité de contrôler l'apport d'oxygène et le rendement d'épuration, et une certaine indépendance par rapport aux facteurs naturels non maîtrisables (température, exposition à la lumière, vent et apport d'oxygène par les algues et les plantes aquatiques).

D'après certains auteurs, le lagunage est une technique d'épuration des eaux usées par voie naturelle, elle est adressée aux communes de moins de 2000 habitants qui disposent d'une surface au sol de 10m² par équivalent habitants.

Ce mode de traitement des eaux usées est la résultante de divers paramètres : des critères économiques, écologiques, paysagers, pédagogiques.

Le lagunage naturel est un procédé d'épuration extensif, consistant à faire séjourner les eaux usées dans plusieurs bassins successifs, de grande taille, peu profondes (moins de 1,50 m) et étanches (trois en général, dont le dernier est planté de végétaux).

L'élimination de la pollution organique et, pour partie, des germes infectieux est obtenue par des organismes vivants ; l'oxygénation provient directement des échanges d'air et de la photosynthèse (l'énergie étant fournie par le rayonnement solaire).

Le lagunage peut aussi être utilisé en " finition " en aval d'une station d'épuration, essentiellement pour obtenir un abattement des germes infectieux (dans une zone de baignade par exemple) (ANONYME, 1997).

* **Économie**

Les stations de lagunage coûtent, selon plusieurs sources, environ le trièr (1/3) moins cher qu'une station classique (lorsque l'imperméabilisation n'est pas nécessaire) mais la rentabilité est surtout visible pour l'entretien : moins coûteux, moins long et ne demandant pas de personnel qualifié.

* **Écologie**

Les bassins de lagunage, où sont présents de nombreux macrophytes, développent tout un écosystème : les végétaux aquatiques servent de support et de nourriture à une faune nombreuse (oiseaux, amphibiens, insectes,...) qui contribuent à accroître la biodiversité du secteur.

* **Paysager**

Les communes rurales sont de plus en plus adeptes de ce type d'assainissement qui s'intègre parfaitement avec le contexte paysager : champs, étang communal,...

* **Pédagogie**

Un bassin de lagunage sert de support à des sujets de pédagogie très diversifiés: l'eau, l'assainissement, la faune et la flore aquatique...

Chapitre II : Traitement des eaux usées par macrophytes

2.1 Le pouvoir épuratoire des macrophytes

Selon LAIFA (1998), la capacité de certaines plantes à accumuler des métaux lourds dans leurs tissus a suggéré aux scientifiques l'utilisation de ces plantes dans le but d'épurer les eaux résiduaires chargées en métaux lourds ; de plus l'utilisation de ces plantes comme pièges pour les oligoéléments, permet d'évaluer certaines pollution et même de les éliminer.

Le traitement par macrophytes faisait un sujet d'étude pour pas mal d'expériences à travers le monde entier en utilisant des espèces différentes et des dispositifs variés.

Au Sénégal MOREL et KANE (1998) menaient une expérience durant 2 ans (1993-1995) consacré à l'épuration des eaux usées domestiques par l'intermédiaire des macrophytes. Le traitement était expérimenté dans un système de lagunage avec la Laitue d'eau (*Pistia stratiotes*), suivie de 3 systèmes d'épuration tertiaire en parallèle. Une partie du travail de recherche portait sur la possibilité de valoriser la biomasse produite et la fabrication de composts en associant les *Pistia stratiotes* à d'autres déchets.

Les résultats étaient très encourageants, les diminutions de la DCO et de la DBO₅ sont très élevées et même plus importants que ceux obtenus avec une station d'épuration mécanisée à boues activées. La diminution des matières en suspension est de 90 à 95 % pour l'épuration secondaire et total après le filtre biologique à sable de basalte. La désodorisation est totale après ces deux filières. Le traitement tertiaire par lagunage avec *Lemna paucicaustata* n'améliore pas non plus la diminution des particules en suspension et de plus fait conserver à l'eau une légère odeur caractéristique des eaux usées.

Le système vétiver (*Vetiveria zizanoides*), testé dans une expérience au Sénégal, comporte trois bassins de 1 m² chacun dont le premier est un bassin d'eau libre et les deuxième et troisième bassin sont plantés de *Vetiveria zizanoides*. Les résultats montrent que cette plante possède des potentialités importantes en matière d'épuration

des eaux usées domestiques. Cependant, les rendements d'épuration restent améliorables, particulièrement pour ce qui concerne la désinfection.

L'élimination des MES par le système vétiver testé est considérable. Dès la sortie du premier bassin de vétiver, les MES sont retenues à taux de 76 à 81%. Ce taux passe à 87 à 94% à la sortie du second bassin de vétiver.

Les eaux recueillies à la sortie du second bassin de vétiver renferment pour l'essentiel une DCO inférieure à 100 mg/l. Cela correspond à des rendements qui varient entre 90 et 92%.

Les principaux résultats des expériences, sur le système Vétiver, effectuées durant le premier semestre de l'an 2002 sont illustrés dans les tableaux suivants :

Tableau 01 : Évolution des teneurs en MES (mg/l) dans les eaux brutes et à la sortie des bassins de Vétiver. (ANONYME, 2003).

		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1^{er} Compagne d'analyses	Eau brute	659	612	815	705	519	723
	Sortie Vétiver 01	128	145	192	168	108	135
	Sortie Vétiver 02	65	59	65	48	67	50
2^{eme} Compagne d'analyses	Eau brute	728	653	532	834	545	687
	Sortie Vétiver 01	174	156	105	203	112	134
	Sortie Vétiver 02	72	64	57	52	69	55

Tableau 02 : Évolution des teneurs en DCO (mg d'O₂/l) dans les eaux brutes et à la sortie des bassins de Vétiver. (ANONYME, 2003)

		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1^{er} Compagne d'analyses	Eau brute	1075	956	1123	994	897	975
	Sortie Vétiver 01	235	228	297	215	206	257
	Sortie Vétiver 02	110	89	90	88	82	94
2^{eme} Compagne d'analyses	Eau brute	1230	992	865	1010	920	988
	Sortie Vétiver 01	289	235	242	288	230	207
	Sortie Vétiver 02	98	96	75	102	87	89

Tableau 03 : Évolution des teneurs en CF (N/100 ml) dans les eaux brutes et à la sortie des bassins de Vétiver. (ANONYME, 2003).

		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1^{er} Compagne d'analyses	Eau brute	2,3 x 10 ⁷	9,5 x 10 ⁶	1,1 x 10 ⁷	1,1 x 10 ⁸	8,9 x 10 ⁶	7,2 x 10 ⁷
	Sortie Vétiver 01	7,9 x 10 ⁵	8,5 x 10 ⁵	7,4 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁶	6,7 x 10 ⁵	9,3 x 10 ⁵
	Sortie Vétiver 02	1,1 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁵	9,8 x 10 ⁴	1,8 x 10 ⁵	5,0 x 10 ⁴	2,1 x 10 ⁵
2^{eme} Compagne d'analyses	Eau brute	3,5 x 10 ⁸	1,5 x 10 ⁷	3,3 x 10 ⁷	4,1 x 10 ⁷	2,3 x 10 ⁷	1,0 x 10 ⁸
	Sortie Vétiver 01	1,5 x 10 ⁶	3,3 x 10 ⁵	6,9 x 10 ⁵	7,1 x 10 ⁵	3,5 x 10 ⁵	2,2 x 10 ⁶
	Sortie Vétiver 02	3,1 x 10 ⁵	5,6 x 10 ⁴	3,3 x 10 ⁵	3,2 x 10 ⁵	9,7 x 10 ⁴	6,8 x 10 ⁴

CF : Coliformes Fécaux

En 1999 ABISSY et MANDI montaient une expérience dans la ville de Marrakech (Maroc) pour le traitement des eaux usées par plantes enraciner (le roseau). Le dispositif est composé de quatre bacs de 115 L de volume rempli sur une épaisseur de 5 cm de gravier et de 30 cm de sol, dont deux sont plantés de jeunes tiges de roseau densité de 35 tiges/m² et les deux autres bacs non plantés sont pris comme témoins.

Les résultats de cette expérience qui s'est déroulé dans un climat aride, montrent que le roseau a un pouvoir épuratoire très important, le rendement pour la DCO était de 72 % et la MES de 91% dans les bacs plantés en roseau, les deux autres non plantés ont présenté des rendement acceptable mais inférieur de 3 a 7% par rapport aux premiers.

Sur le plan compositions chimique des eaux traitées les chercheurs ont constaté que dans le lit planté la diminution est de 68%, 48%, 52% et 39% respectivement pour le NTK, le NH₄, le PT et le PO₄⁻. Pour le sol non planté les diminutions sont plus faibles NTK : 51%, NH₄ :3%, PT : 12% et le PO₄⁻ : -8%.

Tableau 04 : Caractéristiques physico-chimiques et parasitologique de l’effluent à traiter. (ABISSY et MANDI, 1999).

Paramètres	Valeur moyenne sur toute la période d’étude (Août 1994-Septembre 1996)	Unité
pH	6,87 ± 0,27	—
CE	1150,46 ± 252,65	µs/cm
MES	325,11 ± 123,22	mg/l
DCO totale	1149,21 ± 612,45	mgO ₂ /l
DCO dissoute	518,99 ± 309,24	mgO ₂ /l
DCO particulaire	630,21 ± 377,14	mgO ₂ /l
PT	10,93 ± 2,97	mg/l
P-PO3-4	7,28 ± 2,09	mg/l
NTK	56,65 ± 15,92	mg/l
N-NH4	8,56 ± 6,55	mg/l
N-NO-3	0,019 ± 0,021	mg/l
Œufs d’helminthes	2 ± 3	Œufs/l
Kystes de protozoaires	569 ± 435	Kystes/l

Tableau 05 : Teneur en éléments minéraux, azote et phosphore, au niveau des différents organes de la plante (ABISSY et MANDI, 1999).

% Poids sec	Roseau irrigué par eaux usées				Roseau irrigué par eaux douces			
	Tige	Feuille	Racine	Rhizome	Tige	Feuille	Racine	Rhizome
N	0,832	2,299	1,084	1,938	0,308	1,414	0,490	0,602
P	0,040	0,109	0,070	0,136	0,037	0,072	0,025	0,103

Tableau 06: Taux exporté d’azote et de phosphore par les différents organes de la plante (*Phragmites communis*) (ABISSY et MANDI, 1999).

Minéralomasse (Kg/ha)	Phosphore	Azote
Tige	23,52	553,44
Feuille	17,99	432,03
Racine	13,25	253,73
Rhizome	92,09	1 313,67
Total	146,88	2 552,90

A travers la recherche bibliographique, on a constaté qu'il y'a plusieurs techniques de traitement des eaux usées et l'utilisation de l'une ou de l'autre est en fonction des conditions in situ.

Pour le traitement biologique, les travaux réalisés jusqu'à présent jugent son utilité et son efficacité plus ou moins par rapport aux traitements physico-chimiques et à partir des travaux cités au-dessus et d'autres réalisés en Europe et aux États unies, on a inspiré pour notre travail sur le traitement des eaux usées un modèle proche à celui utilisé à Marrakech. Le choix est justifié par les conditions climatiques (climat aride) de la ville de Ouargla, la qualité des eaux usées rejeter et l'abondance de l'espèce utilisée le « *Phragmites communis*. Trinius. », dans notre région plus à son manipulation facile.

2. 2 Le *Phragmites communis* Trinius

Les macrophytes utilisables en phytoépuration se ramènent à deux types principaux : ceux qui sont enracinés au fond de l'eau (phragmite ou roseau ; typha ou massette ...), et ceux qui flottent, leurs racines plongeant librement dans l'eau (Jacinthes ; plantes de la famille de lemnacées comme les lentilles d'eau : lema ; spirodela ; wolfia, ...

Le choix des végétaux à implanter comporte cinq critères importants : adaptation aux conditions climatiques locales, durée du cycle de végétation, vitesse de croissance, facilité d'exportation, de la biomasse produite, et, directement liée aux critères précédents, efficacité de l'épuration.

2.2.1 Taxonomie

Embranchement : Angiosperme

Classe : Monocotylédone

Ordre : Glumales

Famille : Poaceae

Genre : *Phragmites*

Espèce : *Phragmites communis* Trinius

(OZENDA, 1983)

Noms communs dans d'autres pays : DE : Schilf ; ES : carrizo ; FR : roseau commun ; IT : cannuccia di palude ; PT : caniço ; EN : common reed ; NL : riet ;

Type biologique : Vivace (LONCHAMP, 2000).

2.2.2 Les organes végétatifs (tige, feuille et racines)

a/ Pousses végétatives

Pousses issues de forts rhizomes ou de longs stolons rampants à la surface du sol. Les nouvelles feuilles apparaissent enroulées sur elles-mêmes.

Oreillettes absentes.

Ligule composée de différents types de poils dont la longueur varie de 2 à 10 mm (près de la ligule, d'autres poils peuvent prendre naissance sur les rebords du collet).

Feuilles rigides à bord rude, effilées vers le sommet et finement pubescentes.

Gaines à bordure souvent pourpre où on trouve aussi des poils.

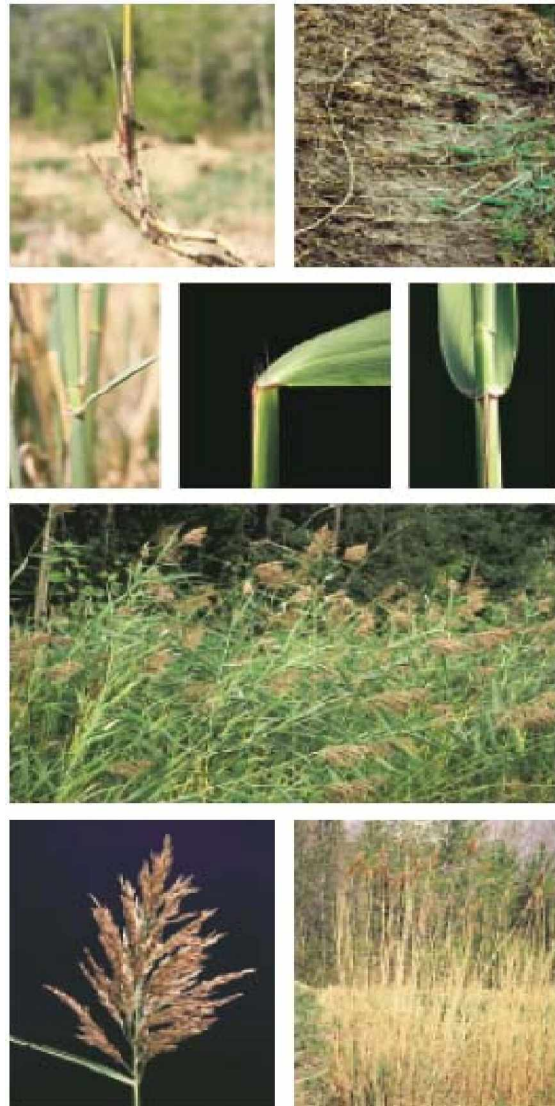
b/ Plante adulte

Grande plante formant des colonies denses dans les milieux humides (fréquente dans les fossés le long des autoroutes).

Tige dressée, très forte et non ramifiée, 1,5 à 2,5 m de hauteur. Feuilles longues et planes.

L'inflorescence est une grande panicule (20 à 30 cm de longueur) plumeuse (des touffes de poils fins garnissent les épillets) comportant de nombreux rameaux.

Les panicules sont jaunes verdâtre ou plus généralement rouge plus ou moins foncé à brunâtres; elles persistent tout l'hiver sur les tiges dénudées.



Photographie 01 :

***Phragmites communis* Trinius**

Source : ANONYME a, 1999.

2.2.3 L'habitat:

Natif à Eurasie et Amérique du Nord; marais frais et saumâtres et fossés; plus abondant le long de la côte (ANONYME a, 1999).

2.2.4 La description

Les Traits caractéristiques - Permissions: le vert bleu, lames >50 centimètre long, avec les marges rugueuses; tige rengainée à base. Les fleurs: minuscule, sans pétales; 3 étamines; 2 styles; joint dans les balances 6 mm long; les balances ont groupé dans spikelets avec une touffe de cheveux soyeux; spikelets, >30 centimètre rassemblé longtemps; le gris violacé comme ils mûrissent; la fin de l'été fleurie. Le fruit: rarement graine des produits alimentaires mais étendues par les rhizomes clandestins. (ANONYME a, 1999).

* Les notes :

La plume dans fleur pleine fait une addition attirante aux bouquets séchés. La tige creuse a été tissée dans tapis par les Peuples Natifs; les permissions ont été utilisées pour paniers et sol tapis.

Le roseau est une plante à fleur cosmopolite par excellence, cette graminée peuple les eaux douces ou saumâtres. On la retrouve de la Finlande à la jungle équatoriale, en passant par les plaines et les montagnes du Tibet. Aux Etats-Unis on la nomme *Phragmite australis*, en raison de sa présence dans les deux hémisphères et de ses percées, davantage timides, en régions tropicales. En fait, seules la Nouvelle-Zélande et la Polynésie ne la comptent pas dans leur flore indigène.

Elle est la plus haute de nos herbes indigènes (long.1-5m.). Ses feuilles- peu nombreuses sont linéaires, larges et planes (larg.1-5cm.), d'un vert moyen à jaunâtre. Son inflorescence est constituée d'épillets pluri-flores munis de longs poils soyeux (long.15-30cm.). Sa couleur est délicate, rosée ou violacée, tournant au roux à l'automne (flor. août-octobre). Lorsque ses graines se détachent des épillets fécondés, sa grande panicule terminale devient plumeuse. Cette parure persiste alors tout l'hiver au sommet des chaumes blanchis.

En Europe, où elle est très abondante, elle est traditionnellement utilisée à des fins domestiques: couverture des cabanes (tiges), fabrication de balais d'appartement

(inflorescences), confection de paillassons. Elle sert également à la fabrication d'emballages et de bière brune.

Elle se propage par un système de rhizomes articulés et traçants. Bien qu'elle puisse former de mini-jungles impénétrables, elle est, au Québec, plutôt clair semée. On la rencontre en petites colonies dans les marais et sur les rivages. La façon dont les inflorescences regroupées flottent synchronisées au vent, est quasi hypnotisante. Le charme de sa réflexion dans l'eau en fait également une graminée incontournable.

Les agronomes la classent parmi les mauvaises herbes. On lui reproche d'entraver la libre circulation de l'eau, de bloquer les drains agricoles et d'infester les champs de cultures pérennes (aspergerais, fraisières, framboisières, etc.). Elle constituerait de plus un important risque d'incendie et nuirait à la visibilité des automobilistes.

Aux États-Unis, elle est considérée plante écologique. On la naturalise aux bords des fossés, des côtes et des rivières, où elle sert d'écran, de brise-vent ainsi que de refuge à quantité d'espèces animales dont plusieurs oiseaux migrateurs. Elle est particulièrement prisée en zone littorale comme agent de stabilisation du sol (érosion), et d'élimination des polluants. La phragmite assimile les métaux lourds et autres substances toxiques. Elle tolère le sel. On la considère performante, esthétique, et économique (aucun entretien). Son intégration est planifiée avec soin. On s'assure qu'elle ne puisse éventuellement dominer le paysage.

On la considère généralement trop envahissante pour être admise en petit jardin mais elle convient aux plus grands. On l'utilise fréquemment comme un arbuste ou du bambou (haie et écran sonore). Son nom générique *Phragmites*, très ancien, signifie d'ailleurs "servant à clore", une allusion à l'usage de ses tiges pour la fabrication de palissades. Certains auteurs recommandent toute fois de ne s'en servir comme haie qu'à la condition de la ceinturer de deux rangées de béton (minimum 45 cm. de profond par 5 cm. de large) pour la contenir. On peut aussi la confiner entre des madriers, des blocs de béton ou à l'intérieur de demi-bidons de métal.

Elle est particulièrement appropriée au jardin d'eau, submergée au cœur de l'étang ou au bord de celui-ci. Il est alors possible de la traiter comme un *Nymphaea*, en la les tant au fond de l'étang, ses racines encagées dans un contenant solide. Elle sera alors inoffensive, à la seule merci des amateurs d'arrangements floraux.

Chapitre III : Présentation de la ville de Ouargla

3.1 Caractéristiques climatiques et géologiques de la ville de Ouargla

3.1.1 Situation géographique

Ouargla l'une des Oasis du Sud-est algérien à 800 Km de la capitale. La wilaya de Ouargla occupe une superficie de 163 233 Km², elle est limitée par Les Wilayets suivantes :

- * Au Nord par la wilayat d'El Djelfa et d'El-Oued,
- * A l'Est par la République Tunisienne,
- * Au Sud par les Wilayets d'Ilizi et de Tamanrasset,
- * A l'Ouest par la wilayat de Ghardaïa (Monographie de la W. de Ouargla, 1995).

Située à Latitude 31° 57' Nord et Longitude 5° 20' Est, à l'Ouest de la wilayat et au même temps chef lieu de celle-ci, la ville de Ouargla ou daïra de Ouargla occupe une superficie de 10 128 Km², limitée par les daïras :

- La daïra de N'goussa au Nord.
- La daïra de au Hassi Messaoud Sud.
- La wilayat de Ghardaïa à l'Est.
- La daïra de Sidi Khouiled à l'Ouest.

La cuvette de Ouargla couvre une superficie de 99 000 ha, elle s'étal sur une longueur de 55 Km de direction Sud Ouest – Nord Est. Elle se situ dans le prolongement de l'exutoire naturel du grand bassin versant du Sahara septentrional limité au Nord par l'Atlas saharien, au Sud par les plateaux de Tademaït à l'Est par le Grand erg Oriental et à l'Ouest par le Grand erg Occidental.

L'occupation de l'espace de la cuvette se présente comme suite :

Urbanisme	7 000	ha
Extension mise en valeur	1 000	ha
Palmeraie	3 500	ha
Zones de sebkhas et chott	31 000	ha

Le reste de la superficie est constituée de formation dunaires de moyenne et faibles importance.

La population est estimée d'après le recensement de 1998, pour la ville, atteint à peu près les 173 000 habitants avec une densité de 14,28 H/ Km² (O.N.S, 1999).

3.1.2 Le Climat

Le climat à Ouargla est particulièrement contrasté malgré la latitude relativement septentrionale (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975) et comme toute région du Sahara l'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par des faiblesses des précipitations mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air (LITHELLIEUX, 1984). Le climat est caractérisé, dans la saison chaude, par des fortes évaporations et des températures élevées pendant la saison froide par des températures basses.

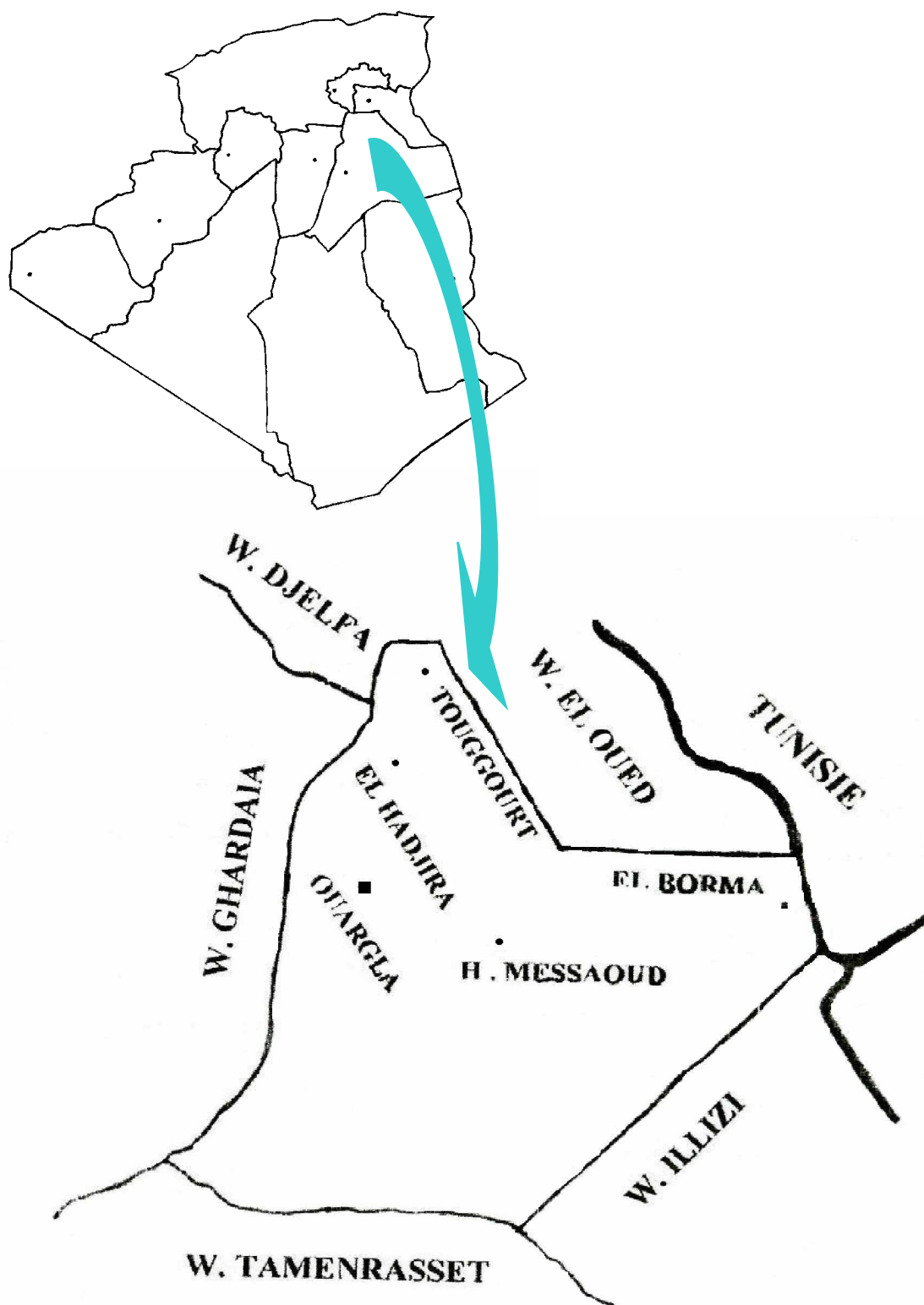
Tableau 07 : Données climatiques de la région de Ouargla (1982 – 2000) (O.N.M, 2001).

	Température Moyenne (°C)	Précipitations (mm)	Humidité Relative (%)	Evaporation (mm)	Insolation par Heurs	Vitesse de vents (m/s)
Janvier	11.29	5.40	62.75	81.39	237.00	2.90
Février	13.73	1.54	54.25	118.06	232.90	3.27
Mars	17.02	4.88	47.00	144.68	260.88	4.51
Avril	21.88	2.60	38.39	225.52	267.44	4.72
Mai	26.83	1.37	34.42	241.97	263.26	4.87
Juin	32.66	0.43	27.32	317.87	311.86	4.85
Juillet	34.86	0.90	25.42	365.40	348.02	4.44
Août	34.70	0.03	29.17	342.12	321.68	4.11
Septembre	30.16	3.40	39.03	257.52	257.57	4.29
Octobre	23.50	4.20	51.57	179.29	258.51	3.90
Novembre	16.25	5.84	55.35	120.13	234.72	2.94
Décembre	12.17	2.91	61.17	91.29	224.18	3.00
Moyenne	22.92	33.50 *	43.82	207.10	268.16	3.98

* Cumulé annuel.

3.1.2.1 La température

La température moyenne annuelle est de 22,92 °C, la température la plus élevée est notée au moins le plus chaud, juillet, avec une température de 34,86 °C. La température la plus basse du mois le plus froid, janvier, est de 11,29 °C (SAGGAI, 2001).

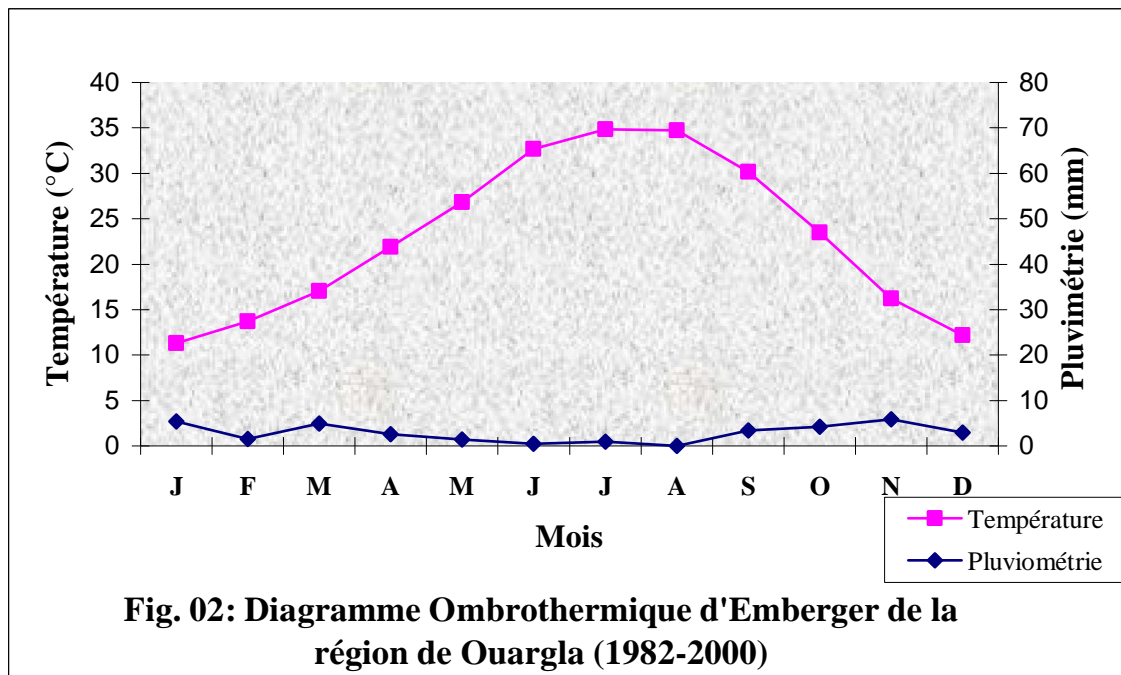


Echelle : 1/40 000

Fig. 01: Situation géographique de la Wilaya de Ouargla

3.1.2.2 Les précipitations

Généralement, il peut rarement à Ouargla, les précipitations sont irrégulières entre les saisons et les années. Le cumulé moyen (de 1982 à 2000) est de 33,5 mm car la période pluviale de l'année est très restreinte, elle est de 2 à 3 mois, par contre la période sèche s'étale sur le reste de l'année (figure 02).



3.1.2.3 Les vents

Les vents dans la région sont fréquents, ils soufflent tout le long de l'année dans différentes directions en fonction des saisons :

- en hiver : se sont les vents d'Ouest qui dominant.
- en printemps : se sont les vent du Nord, du Nord-est et les vents de sables qui prédominent avec une vitesse maximale de 4,87 m/s. la vitesse moyenne annuelle des vents est de 3,98 m/s.

3.1.2.4 L'humidité relative de l'air

L'air à Ouargla est sec, avec une moyenne annuelle de 43,82 % (durant la période 1982 - 2000). Le taux d'humidité relative varie d'une saison à l'autre, il atteint son seuil minimal au mois de Juillet avec un taux de 25,42 %. Ce paramètre est accentué surtout par les vents chauds qui soufflent dans cette période.

3.1.2.5 L'évaporation

Elle est très importante dans la période chaude de l'année avec une valeur maximale de 365,4 mm au mois de Juillet. L'évaporation est aussi accentuée par les vents chauds fréquents dans la même période.

3.1.2.6 L'insolation

Le ciel à Ouargla est dégagé durant presque toute l'année, caractéristique des zones sahariennes, ce qui donne un taux d'insolation très important. La moyenne annuelle est de 268,16 heures/mois et le pic est marqué pour le mois de Juillet avec un volume horaire de 348,02 heures.

3.1.3 Le sol

ROUVILLOIS-BRIGOL (1975) rapporte que le sol d'oued M'ya sont mal connus. Selon les travaux de KAFI et al. In HANACHI et KHITRI (1991), le sol à Ouargla est squelettique de texture sableuse, le pH est élevé, le taux de salinité est très important (eau d'irrigation chargée, remonté de la nappe) et la structure est médiocre. La région est caractérisé, généralement, par trois types de sol (HALILAT, 1993):

- les sols sal sodiques,
- les sols hydromorphes,
- Sols à minéraux bruts.

3.1.4 Aspect géologique

Le territoire de la ville de Ouargla est située dans l'immense bassin saharien, caractérisé par la prédominance de dépôts plio-quaternaires, des effleurements éocènes et crétacés se rencontre néanmoins à l'Est. Elle est située dans une région très peu accidentée, stable techniquement.

Trois régions distinctes peuvent être distinguées :

- le grand Erg Oriental : vaste dépôt de sable éolien à l'Est et au Sud.
- Au centre : région de vallée où prédomine les dépôts d'alluvions.
- Le plateau de M'Zab à l'Ouest.

Du point de vue lithologique et pétrographique rencontre dans les affleurements à travers le territoire de la région de alluvions actuelle, des sebkhas et croûtes gypso salines, des calcaires lacustres, des conglomérats, des calcaires marneux à rognon siliceux, des marnes et en fin des calcaires dolomitiques (ROUVILOIS-BRIGOL, 1975).

3.1.5 Aspect géomorphologique

Le relief de Ouargla est un ensemble de composantes géomorphologiques dont les principaux sont :

- Le grand Erg Orientale : dunes de sables peuvent atteindre les 200 m et qui s'étend sur environ 2/3 du territoire de la région.

- Hamada : plateau caillouteux, elle et situé en grande partie à l'Ouest et au Sud.
- Les Vallées : elles sont représentés par la vallée fossile d'Oued May et la vallée de Oued Righ.
- Les plaines : elles sont réduites rencontré à la limite occidentale de la région s'étend du Nord au Sud.
- Les dépressions : peu nombreuses très concentré à la région de Oued Righ (ROUVILOIS-BRIGOL, 1975).

3.1.6 L'hydrogéologie

3.1.6.1 Hydrogéologie de surface

Les travaux menus par DUBIEF (1953) sur l'hydrogéologie superficielle de Sahara (région de M'ZAB), lui ont permet de constater que malgré l'aridité du climat on assiste à des écoulements généralement saisonnières qui alimentent les réseaux des oueds.

L'écoulement des oueds contribue à l'alimentation des oasis du bas Sahara. Au niveau de notre région on site deux Oueds :

- ▶ **Oued N'sa** : situé au Nord-Ouest de la région de Ouargla. Il occupe une superficie d'environ 4 100 Km² et qui s'étale sur 175 Km linéaire. Les principaux affluents qui alimentent cet oued sont le Ballouh et le Soudou qui arrosent l'oasis de Beriane.
- ▶ **Oued Mya** : cet Oued situé au sud de la région et considéré aujourd'hui comme fossile, s'étale de Talweg au Hoggar au Sud jusqu'à chott Meghire au Nord, en traversant en long la cuvette de Ouargla et la vallée de Oued Righ (Chegga).

D'après les études historiques cet Oued n'arrive à la cuvette de Ouargla que pour des crues de période de retour assez important (dépassant 100 ans) (SLIMANI, 2003).

* les grandes sebkhas de la cuvette de Ouargla

La grande cuvette de Ouargla est, en même temps un ensemble cuvettes limité par des légers relèvements de formation gréseuse visible, où les sous bassement constituent les sebkhas (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

- ▶ **Sebkha de Ouargla** : limite la villes de Ouargla de trois coté ; Bamendil à Ouest, Saïd Ottba et Bour el haïcha au nord et la Sebkha de Chott à l'est, avec une altitude variante de 126 à 131 m. les sources d'alimentation de ces zones en eau sont

principalement d'irrigation d'assainissement urbain, de ruissellement et de eaux souterraine obscures.

► Sebkhha de N'goussa : située au nord de la région d'une altitude moyenne de 131 m celle-ci est alimentée par les eaux d'irrigation et d'assainissement en plus des eaux d'infiltration provenant de sebkhha Mellala cette dernière alimentée à son tour par le ruissellement des affluents de Oued N'sa et sans doute les eaux souterraines.

► Sebkhha de Sefioune : Elle représente à elle seul l'exutoire naturel de l'Oued M'Zab, Oued Mya ainsi que le eaux sous terraines provenant de Sebkhha de N'goussa (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975)

► Sebkhha de Oum erraneb : c'est une zone située dans la partie Nord-Est de la région, d'une altitude variable e de 126 à 128 m. C'est l'actuel exutoire, alimenté par les eaux évacuées de la Sebkhha de Ouargla par refoulement et écoulement souterrain et pompage es eaux usées (BOULIFA,2003).

3.1.6.2 Hydrogéologie souterraine

Les eaux souterraines représentent l'unique source d'eau dans la région (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975), on distingue :

* *la nappe phréatique* : avec une profondeur de 1 à 8 m selon les zones et les saisons. Elle se caractérise par des eaux salées non réservé à la consommation humaine.

La nappe peut se trouver à 50 cm de la surface ou même affleurer à la surface, cette eau très salée est exploité dans certains zones telles que : Bamendil, N'goussa, El Hadjira et Taibet au niveau de palmeraies de type bours.

La nappe phréatique est alimentée par :

- les eaux d'irrigation et de distribution urbaine,
- les eaux des sources,
- les précipitations,

D'après KHLILI et LAMMOUCHI (1992) la dynamique de la nappe phréatique varie selon la nature du site ainsi que la saison :

- a) En zone urbaine agricole le niveau de la nappe est compris entre -0,3 à -1,5 mètres,
- b) les Chotts entre +0,2 et +0,8 mètres,
- c) et dans les sebkhha de +0,3 à 1,5 mètres.

* **la nappe du Complexe Terminal** : composée de :

- la nappe Miopliocène : dite aussi du sable c'est la nappe la plus exploitée pour l'irrigation des périmètres agricoles et pour la consommation en eau potable. La profondeur de la nappe varie de 60 à 200 m (ROUVILLOIS et BRIGOLE, 1975), tandis que le taux la salinité de ses eaux selon BEYOUND (1989) est de 1,8 à 4g/l

- la nappe Sénonien : on parle du sénonien lagunaire et le Sénonien carbonaté, ce dernier est le plus exploité dans la ville e Ouargla vue la bonne qualité de ses eaux par rapport aux autres nappes.

* **la nappe du Continental Intercalaire (Albien)** : la profondeur dans ce cas est de l'ordre de 1000 à 1300 m. les eaux de cette nappe qui jaillissent à la surface sont chaudes (57 °C) et de faible teneur de sel (2 g/l).

3.2 Problématique d'assainissement de la ville de Ouargla

3.2.1 Données générales sur le réseau hydraulique de la ville de Ouargla

Concernant l'utilisation des eaux dans la région, on peut dire que le réseau hydraulique de la ville de Ouargla est doté d'un réseau d'alimentation en eau potable (AEP) de 263 311 mètres linéaires, dont 9 481 mètres linéaires sont réservées pour l'adduction et 25383 mètres linières pour la distribution ; un réseau d'assainissement de 239 Km (primaire et secondaire) et un réseau de grainage (canaux à ciel ouverts) d'un linéaire de 85 000 m dont 20 000 m en émissaires (DHW, 2004).

En matière d'assainissement et d'après l'étude effectuer par le **BG** (bureau d'étude Suisse) la population ouarglis dispose deux système ; le raccordement à l'égout qui concerne 40% des personnes d'une part et des dispositif autonome pour le reste des habitants d'autre part ; Néanmoins dans les quartiers centraux la proportion des raccordement peut atteindre les 75%.

Le réseau d'égout qui collecte et transite les effluents est de 135 Km linière (soit environ 2 m pour chaque habitant, ce chiffre présente deux fois le ratio (ou la norme) nationale des grandes villes).

Le réseau d'assainissement est doté de 19 stations de pompage (plus une station principale de refoulement vers le Chott à partir du canal du ceinture) dont « 13 » pour relevage et « 06 » pour le refoulement toute au long de la conduite jusqu'à l'exutoire (Oum Er'raneb).

Selon le rapport du BG (2002), ce nombre assez élevé d'ouvrage de pompage rappelle que site est relativement plat la dénivelé total entre le point haut du Ksar (cote 138 NGA) et le niveau du Chott (129 m) vaut 9 m seulement, pour un site qui s'étend dans ses grandes dimensions de 5 Km d'Est en Ouest et de 8 Km du Nord au Sud, cette contrainte naturelle est forte et elle exige la réalisation des collecteurs qui coulent en gravité mais ceci nécessite une pente donc par conséquent progresser en profondeur.

Pour la quantité des eaux usées rejeter par jour pour la ville de Ouargla est estimée de 16 600 m³/j soit une moyenne de 95,95 l/j/habitant

3.2.2 Etat technique du réseau locale d'assainissement et impact sur l'environnement

Les eaux usées dans la ville de Ouargla peuvent constituer un danger direct et indirect sur les populations autochtones, surtout qu'elles ne subissent aucun traitement avant d'être rejeté vers l'exutoire de Oum Erraneb. La pollution des milieux physiques et des réseaux de drainages a des effets néfastes sur la nappe phréatique, surchargée et non exploitable, augmentant les risques des maladies à transmission hydriques.

Parmi les problèmes posées en matière d'assainissement, on cite celui du chott de Oum erraneb où les eaux usées sont acheminées par refoulement, les capacités de rétention, dans cette zone de rejet, sont saturées (saturation en profondeur et en étendu) comme on enregistre des effets de retours avec les conséquences néfaste sur le réseau routier et les palmeraies.

Pour traiter les effluents de la ville une station d'épuration était créée en 1974 par une entreprise Italienne par un coût de 25 millions Dinars Algérien. Elle situe en limite urbaine à la sortie de l'ancien exutoire dans le quartier de Gara Nord, mais cette station n'a jamais vraiment fonctionnée depuis sa mise en service.

Il s'agit d'une station du type : **activées forte charge.**

3.2.3 Quantité des eaux usées par secteur

Les quantités des eaux usées rejetées à travers la ville de Ouargla par secteur présente des écarts plus ou moins important, en fonction de l'importance des agglomérations des densités de d'habitants d'une cité à une autre.

D'après l'étude réalisée par le bureau Suisse les quantités des eaux usées rejetées par jour et par secteur sont illustrées dans le tableau suivant.

Tableau 08 : Quantité des eaux usées de la ville de Ouargla rejetées par secteur.
(ANONYME, 2001)

Secteurs	Collectivités	Quantité de rejet (m ³ /j)	Total
Secteur 01	Sidi Amrane	1 350	11 500 m³/j
	Mekhadma	2 500	
	Sokra	400	
	Rouissat- poste	460	
	Rouissat- tribunal	1 200	
	Cité Bouzid	3 600	
	Souk Essbte	6 050	
	Douane	8 900	
	Step	10 700	
	hôpital	1 350	
	Handel	650	
Secteur 02	Sidi Abbaz	150	1 030 m³/j
	Said Otba	650	
	Beni Ouaguine	380	
Secteur 03	Bamendile village	500	2 450 m³/j
	Bamendile Ville	1 580	
	Route de Ghardaïa	1 370	
	Bouameur	130	
Secteur 04	Chott	750	1 620 m³/j
	Ain Beida	240	
	Route Sidi Khouiled	1 200	
Total			16 600 m³/j

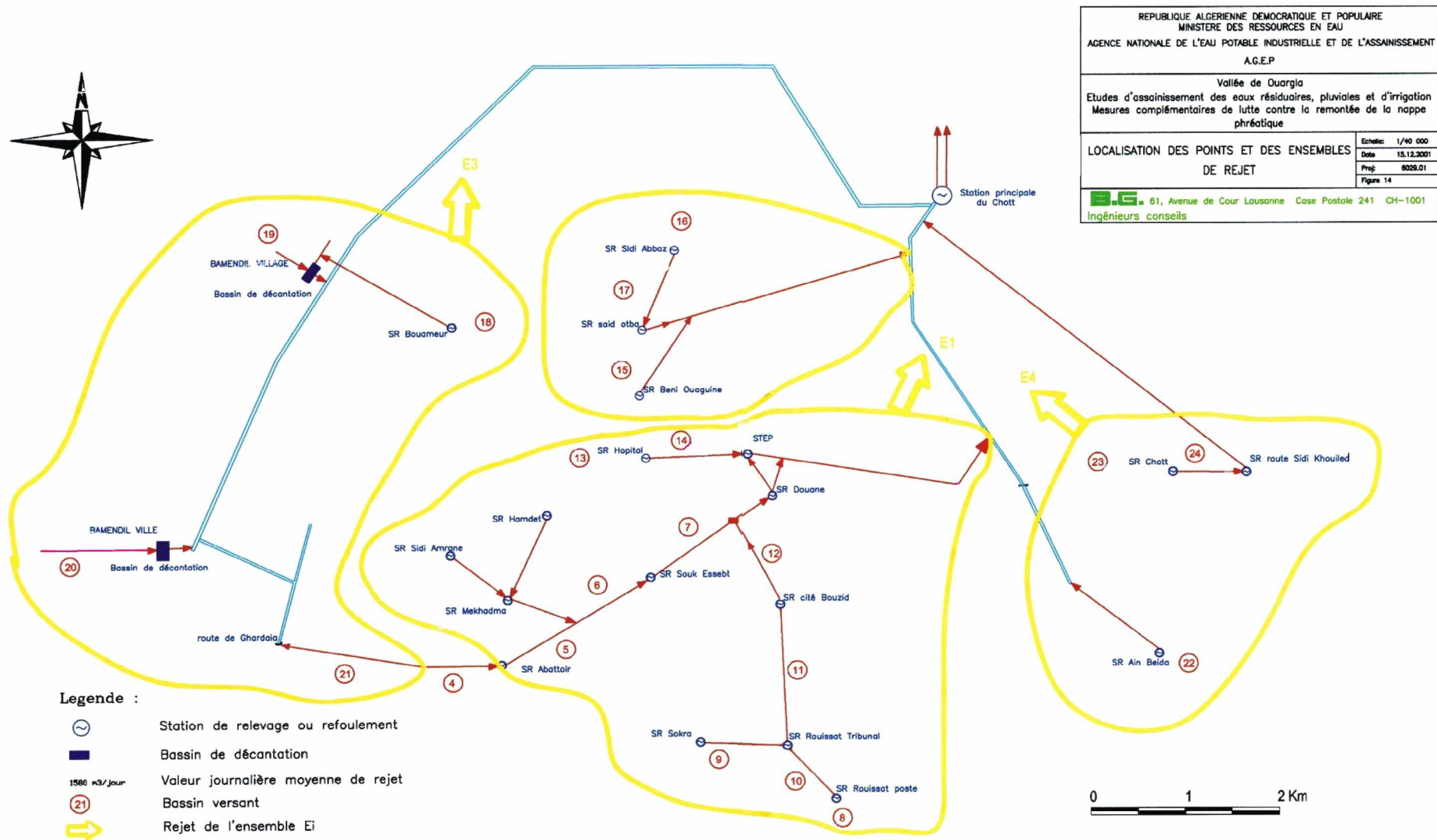


Fig. 03 : Localisation des points et des ensembles de rejets

Source : ANONYME, 2001.

Matériel et Méthodes

2.1 Choix des matériels :

L'utilisation des plantes aquatiques dans l'épuration des eaux usées suppose que le site et qualité des eaux s'y prêtent et que la période d'épuration coïncide avec la période de développement des plantes. Les plantes sont sélectionnées en fonction de leur qualités propres : pouvoir épuratoire, rusticité, possibilité de récoltes répétées (BLAKE et DUBOIS, 1982).

L'espèce choisie pour la réalisation de notre travail (en tenant compte des critères du choix de l'espèce épuratrice) est le *Phragmites communis* (le roseau), qui s'encharge du traitements des eaux usées.

Pour l'eau usée utilisée est d'origine domestique, ce choix est de fait que le mélange des eaux usées et du drainage agricole dont on avait prélevé au niveau de la station principale du Chott présentaient des taux très élevé en sels, chose qui pourrai fausser nos résultats.

Les caractéristiques des deux matériaux sujets du mémoire sont :

*** Le Roseau :**

Les plantes utilisées sont des jeunes pouces prélevées de la l'Institut d'Agronomie Saharienne, et dont les racines sont rincés par de l'eau, puis transplantés dans les pilotes (ou bacs).

*** l'eau usée :**

L'eau usée utilisée dans ce travail est celle du collecteur de rejet du secteur 03 (canal : BAMENDIL, MEKHEDEMA et HAÏ EL NASSER).C'est une eau usée d'origine domestique.

2.2 Méthodologie du travail :

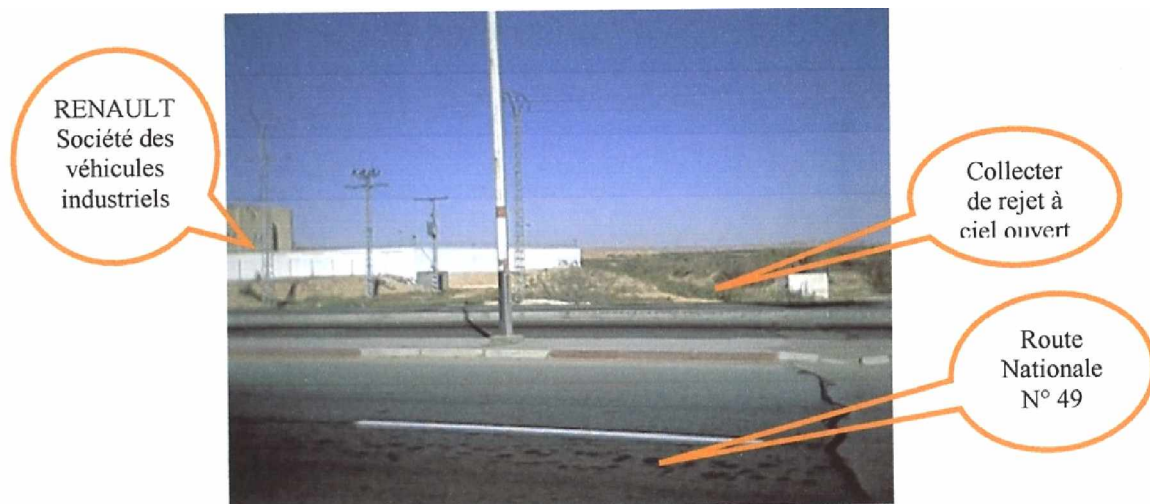
Notre travail s'est organisé en deux volets ; le premier est celui d'un suivie dans des conditions naturelles des canaux des eaux résiduaires ainsi que des plante de roseau qui poussent à l'intérieur, le second est l'expérience proprement dite où les facteurs (temps de séjour, la vitesse d'écoulement, le débit) sont contrôlés pour le effluent et les plantes de roseau.

2.2.1 Travail sur site naturel

Notre travail est fait au niveau du collecteur de rejet du secteur S03 (MEKHEDEMA, BAMENDIL et HAÏ EL NASSER), il consiste à déterminer sur le long du canal ; la taille des bandes de *Phragmites communis*, la vitesse d'écoulement des effluents sur différents points du canal, la hauteur de l'eau au niveau des touffes végétales et l'observation et l'analyse de l'eau résiduaire et du végétal (*Phragmites communis* Trinius).

D'après nos observation et mesures sur terrain on a remarqué que les touffes de roseau sont beaucoup plus importantes à la tête du canal et elles diminuent à fur et mesure qu'on s'éloigne de ce point. De plus l'eau qui était trouble à la tête du canal devient de plus en plus claire une fois qu'elle travers les touffes des végétaux.

Les analyses de l'eau traités les paramètres suivant : pH, Température, CE (Conductivité Electrique), DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène), DCO (Demande Chimique en Oxygène) et MES (Matières En Suspensions)



Photographie N° 02 : Situation du collecteur de rejet « Bamendil »

2.2.2 Travail expérimental

2.2.2.1 Description du dispositif expérimental :

Le dispositif expérimental est composé de huit Bacs (ou pilotes) ayant chacun un volume de 1,5 m³, remplis d'une hauteur de 90 cm de gravier (gréflette de diamètre de 5 à 7 mm) plantés de jeune pousses de roseau (*Phragmites communis* Trinius) avec une densité de 250 plantes/ m² (Voir Fig.04).

Les jeunes pousses prélevées de la région, présentent plus ou moins les mêmes caractéristiques morphologiques (stade de 5 entrenœuds). Après arrachage des plants, les racinées sont rincer par de l'eau puis transplantées dans les pilotes où elles sont en hydroponie (le gravier est utilisé comme support).

L'alimentation en eau usée d'origine domestique est faite à partir du collecteur de rejet du secteur 03 grâce à une pompe.

La durée de séjour des eaux usées dans chaque bac est de 24 heures ; l'eau qui sort du premier bac rejoint le deuxième Bac et celle du deuxième regagne le troisième et ainsi de suite jusqu'au dernier Bac (collecteur). Le volume d'eau apporté dans le premier bac est d'une hauteur d'eau de 30 cm. (Voir Annexe)



Photographie N° 03 : Dispositif expérimental

La densité de plantation et la hauteur de l'eau apportée, sont déterminées suite à des échantillonnages pris de manière aléatoire au niveau du collecteur de rejet du secteur 03 des touffes du roseau qui poussent dans le canal.

2.2.2.2 Description du site expérimental :

Notre travail a eu lieu au niveau du parc de la Société des Véhicules Industriels SAHARA (RENAULT), situé à 7 Km à l'ouest du centre ville de Ouargla, au près du canal des eaux usées des agglomérations de Ouargla centre, Mekhadema, Bamendil et Haï El – Nasser ; Le canal s'étend sur 11500 m linières pour le Nord Ouest jusqu'à la station principale du Chott.

2.3 Analyses des eaux usées et du *Phragmites communis* Trinius

2.3.1 Analyse des eaux usées :

Les échantillons sont prélevés à l'entrée et à la sortie des pilotes chaque semaine.

2.3.1.1 Les analyses biochimiques:

Les analyses biochimiques de l'eau sont réalisées au niveau du laboratoire d'Analyses chimiques de l'université de Ouargla.

Les paramètres étudiés sont : la DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène), la DCO (Demande Chimique en Oxygène), la MES (Matière En Suspension).

✓ La Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅) :

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la demande biochimique en oxygène. L'ensemble de ces méthodes est basé sur les systèmes de mesure de la DBO manométrique permettant de suivre la quantité d'oxygène consommé dans l'air d'un récipient fermé durant un intervalle de temps généralement limité à cinq (05) jours ou à 21 jours.

Pour notre étude on utilisé le system OXITOP[®] pour mesurer la DBO₅. Cette méthode est basée sur le principe de pression, il s'agit de mesurer la pression par sondes électriques piezo résistantes.

On place les échantillons oxygénés sous agitation dans des flacons fermés et à l'obscurité pendant cinq jours.

√ **La Demande Chimique en Oxygène (DCO)**

1/ principe

La demande chimique en oxygène est mesurée suite à une réaction d'oxydation chimique des matières réductrices contenues dans l'eau par excès de bichromate de potassium (K₂ Cr₂ O₇) en milieu acidifié par acide sulfurique (H₂SO₄), en présence de sulfate d'argent (Ag₂ SO₄) et de sulfate de Mercure (HgSO₄).

L'oxydation est fait sous ébullition pendant 2 heures dans un ballon muni d'un réfrigérant, et l'excès de bichromate de potassium est dosé après refroidissement par une dilution de sel de mohr. Le sulfate 'argent joue le rôle de catalyseur et le sulfate d'argent de mercure le rôle de complexant des chlorures (BOUNTOUX, 1993).

2/ mode opératoire (Méthode d'ISO)

- Introduire 10 ml d'eau à analyser dans un ballon de 500 ml.
- Ajouter 5 ml de bichromate de potassium.
- Ajouter lentement et avec précaution 15 ml de sulfate d'argent, amener le mélange à 148  C pendant 2 heures.
- Ajouter quelques goutte e solution de ferrions.
- Déterminer la quantité nécessaire de solution de sulfate de fer et d'ammonium pour obtenir le virage au rouge violacé.

La DCO exprimée en milligrammes, d'oxygène par litre est égale à :

$$\text{DCO} = \frac{8000 \times T \times (V_0 - V_1)}{V} \quad (\text{mg/l}) \quad \text{Où :}$$

V₀ : Volume de fer et d'ammonium nécessaire à l'essai à blanc (ml).

V₁ : Volume de fer et d'ammonium au dosage (ml).

V : Volume de l'échantillon (ml).

T : Titre de la solution de sulfate de fer et d'ammonium. **T= 0,24** (RODIER et al., 1991).

1.3.1.2 Les analyses et physiques :

✓ Les Matières En Suspensions (MES) :

Les MES sont dosées par la méthode de filtration. Le principe est de filtrer un volume des eaux résiduaire à travers un filtre à fibre en verre sous pression.

$$\text{MES} = \frac{1000 \times (P_2 - P_1)}{V} \quad (\text{mg/l})$$

P₁ : Poids du filtrant avant utilisation (mg).

P₂ : Poids du filtrant après utilisation et séchage à 105°C (mg).

V : Volume de l'échantillon utilisé (ml) (RODIER et al., 1991).

✓ La Conductivité électrique :

La conductivité électrique nous permet d'avoir une idée générale sur la charge dans l'eau, autrement la concentration des substances dissoutes dans l'eau. Ce paramètre, étroitement liée à la température, est déterminé à l'aide d'un conductimètre.

✓ Le Potentiel Hydrogène

Le pH des échantillons est déterminé à partir d'un pH-mètre. La valeur est affichée sur l'écran de l'appareil.

✓ La Température

La température est déterminée au même temps que le pH à partir du pH-mètre. Les valeurs sont affichées en degré Celsius (°C).

2.3.2 Analyse du *Phragmite communis Trinius* :

Au cours de l'expérimentation les études réalisées touchaient les paramètres biométriques où les mesures sont effectuées une fois par semaine, et certains composants chimiques de l'espèce dosés au début et à la fin de l'expérimentation.

2.3.2.1 Mesures biométriques :

Les paramètres biométrique mesurés sur terrain sont : la hauteur de la tige, le nombre de feuilles/tige et la profondeur racinaire.

2.3.2.2 Analyses chimiques :

Cette deuxième partie d'analyse est réalisée au niveau du laboratoire de notre département des Sciences Agronomiques et au niveau du laboratoire d'analyse chimique de l'université de Ouargla.

Les échantillons analysés du végétale sont prélevés des trois organes (tige, feuille et racines), et les éléments analysés sont notés dans le tableau au-dessous.

Pour le *Phragmites communis*, les éléments chimiques sont analysés au niveau du laboratoire d'Analyses chimiques de l'université de Ouargla.

La liste des éléments chimiques étudiés dans le *Phragmites communis*, comprend certains métaux lourds plus à d'autres macroéléments indiqués ci-dessous.

Paramètres chimiques		
Macro éléments		Micro éléments
K (potassium)	Mg (magnésium)	Ni (nickel)
N (azote)	Na (sodium)	Pb (plomb)
Ca (calcium)		Zn (zinc)
		Fe (fer)
		Cd (cadmium)

Méthode d'analyse du *Phragmites communis* :

1/ Préparation des échantillons :

Les échantillons foliaires sont lavés à l'eau du robinet puis rincés à l'eau distillée, pour les débarrasser totalement de toutes impuretés (poussière, et autres) qui pourraient fausser les résultats, et afin de pouvoir les conserver sans risque de dégradation.

Après égouttage, ils subissent un séchage dans une étuve ventilée pendant 72 heures à une température de 70°C ensuite, ils sont broyés dans un broyeur mécanique.

2/ Elimination de l'humidité résiduelle :

Les poudres végétales sont plus ou moins hygroscopiques. Pendant les opérations de broyage, ce qui introduit une erreur sur les pesées. Pour éliminer cette humidité résiduelle, on conserve les poudres en flacon débouché dans l'étuve à 105°C pendant 2 heures. Après refroidissement dans un dessiccateur, on effectue très rapidement les pesées.

3/ Dosage des éléments :

Pour l'analyse des éléments minéraux contenus dans les matières d'origine biologique, il est nécessaire de les soustraire des combinaisons organiques dans lesquelles ils sont plus ou moins impliqués, et de les faire passer à l'état des sels minéraux solubles, que l'on dose en suite par les méthodes classiques de la chimie minérale.

Cette minéralisation (incinération) passe premièrement par une prés calcination de 1g de l'échantillon sur plaque chauffant jusqu'à l'obtention de cendre noire, suivie d'une calcination à 450 °C dans un four à moufle pendant 2 à 3 heures. Les cendres sont « digérés » par 10 ml l'acide nitrique (HNO₃) (1M).

Le mode de minéralisation décrit « AFNOR, 1991 » est utilisable pour les dosages de : P, K, Na, Ca, Mg et des oligoéléments : Fe, Mn, Cu, Zn, ... Il est indispensable de le suivre scrupuleusement pour obtenir des résultats comparables.

Les teneurs en élément minéraux dans les solutions préparées sont obtenus à partir du spectrophotomètre à absorption atomique et à flamme.

Le dosage de l'azote est effectuée par la méthode Kjeldahl. En attaquant la matière végétale par H₂SO₄ concentré, à l'ébullition, en présence de catalyseur, l'azote est transformé en (NH₄)₂ SO₄. On distille avec un excès de soude et titre l'ammoniac entraîné par H₂SO₄N/14 (MARTIN-PREVEL et al, 1984).

Calcule des résultats :

- 1 ml de solution N/14 correspond à 1 mg d'azote,
- soit p la prise d'essai en gramme, n le volume en ml de la solution de titrage. la teneur d'azote en % de matière sèche et donnée par :

$$N \% = \frac{n}{10 \times p}$$

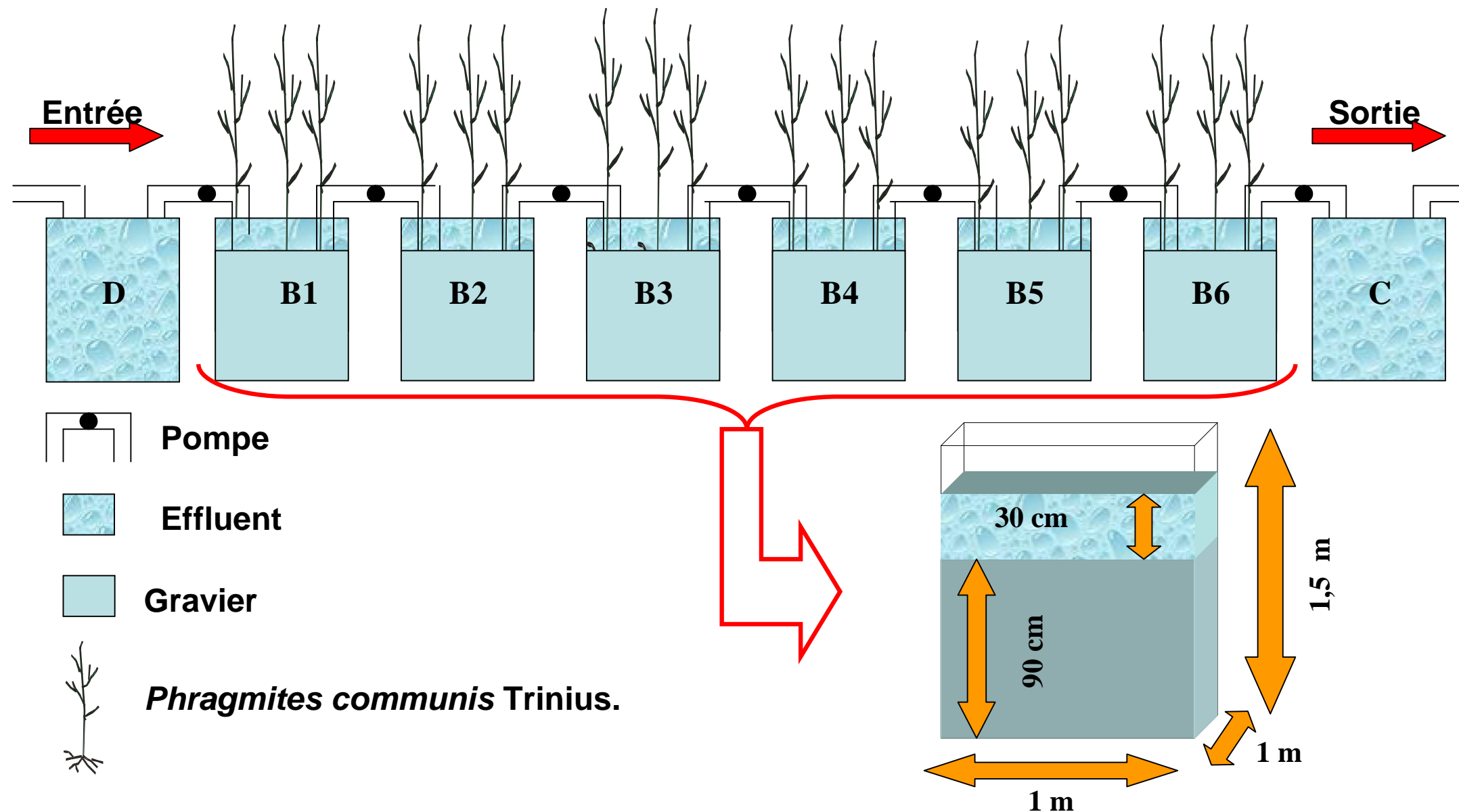


Fig. 04 Schéma du dispositif expérimental

Résultats et Discussion

3.1 L'analyse des eaux usées

3.1.1 Analyses biochimiques

3.1.1.1 La demande chimique en oxygène (DCO)

La DCO calculée dans le dispositif expérimental montre qu'il y a une chute de 50% en moyenne au niveau du premier bac par rapport au décanteur ; ce paramètre continue de baisser d'un bac à un autre pour atteindre les 96 % au 6eme toujours par rapport au décanteur.

Pour le canal 03 la DCO calculée à l'entrée (7296 mg/l), à la sortie de la bande (2096 mg/l) montre le même aspect.

En comparant nos résultats avec ceux de ABISSY et MANDI (DCO : 72%), nous constatons que le dispositif assure une nette amélioration de l'abattement de la DCO la différence calculé est de 24 %.

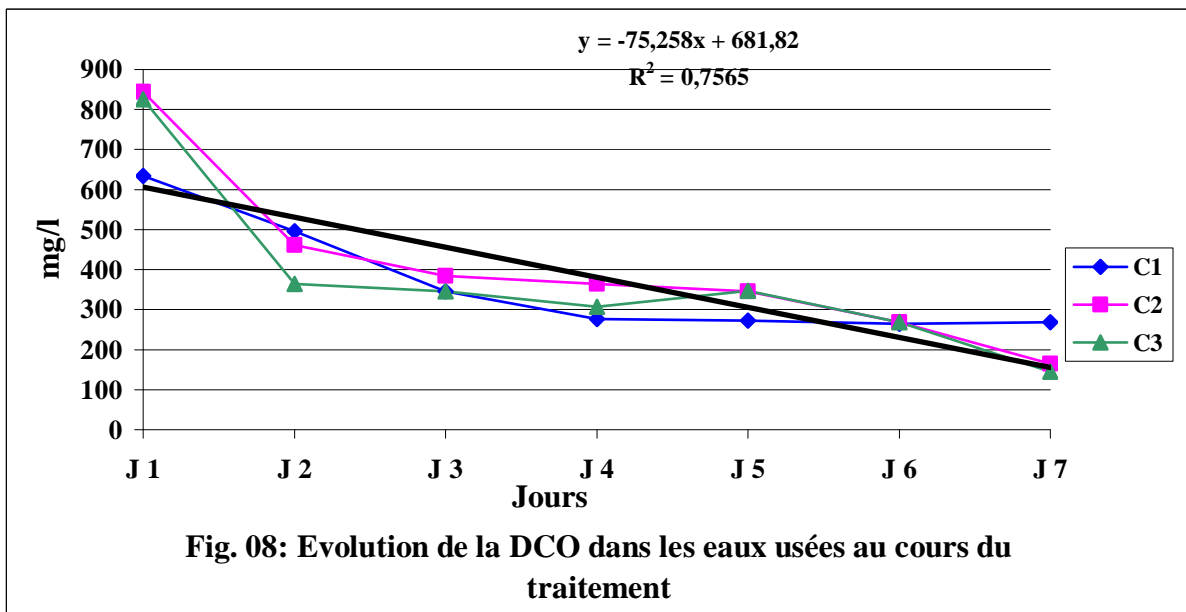


Fig. 08: Evolution de la DCO dans les eaux usées au cours du traitement

C1 : 1^{er} compagne. C2 : 2^{eme} compagne. C3 : 3^{eme} compagne.

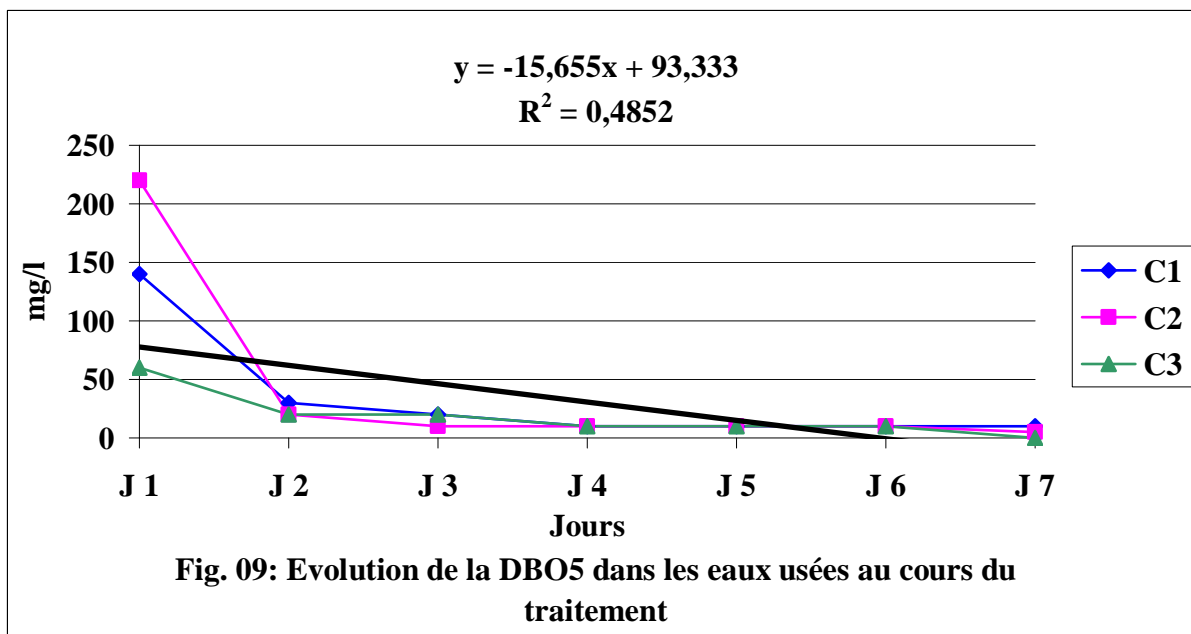
Cette chute peut être expliquée par la diminution de la charge organique dans l'effluent et par conséquent celle de l'activité bactérienne et des réactions d'oxydoréductions.

3.1.1.2 La demande biologique en oxygène (DBO₅)

Les valeurs affichées sur le DBOMètre dans le Bac1 sont 3 fois inférieures à celles marqués dans le décanteur. La demande biochimique a connus une régression importante ; elle atteint une valeur moyenne de 5 mg/l au niveau du Bac6. La différence de la DBO₅ entre la goutte d'eau au point initial d'écoulement de l'effluent et au dernier bac est hautement significative. Le rendement pour ce paramètre est de 96,43 %. La chute de la DBO₅ est très importante au niveau du Bac 1 et Bac2 par rapport aux autres bacs suite a la présence des algues et d'autres micro-organismes qui interviennent dans le processus de la dégradation ou la minéralisation de la matière organique contenue dans l'effluent.

La DBO₅ au niveau du canal montre une diminution légère surtout pour le deux première « campagne » où le canal était recouvert par une pellicule d'hydrocarbure ce qui inhibe l'activité des micro-organismes.

Ce phénomène qui a demeuré plus de 4 mois a donné des valeurs pour la : DCO, DBO₅ et la MES dépassant les norme national (voire annexe) pour les eaux résiduaires rejetées dans la nature.



C1 : 1^{er} campagne. C2 : 2^{eme} campagne. C3 : 3^{eme} campagne.

La DBO₅ mesuré à la tête du canal et à la sortie de la bande du roseau, montre que ce paramètre diminue en moyenne de 43,75 %.

La demande chimique en oxygène (DCO) ainsi que la demande biochimique en oxygène (DBO₅) diminuent progressivement et significativement de l'amont en aval.

3.1.2 Les paramètres physiques

3.1.2.1 La matière en suspension (MES)

La masse de la matière en suspension a nettement diminué. La densité du roseau qui présente un obstacle physique pour les particules surnageants permet de clarifier l'eau qui était au départ trouble, cette constatation est faite pour les deux sens d'écoulement (vertical et horizontal). La diminution de la MES au niveau du canal 03 est de 84,21 % et au niveau du dispositif de 96,22 % en moyenne.

Au niveau du dispositif, les particules organiques restent fixées dans les organes aériens. Au cours des 24 heures, il y a une dégradation de la matière organique en présence des micro-organismes qui la détériore.

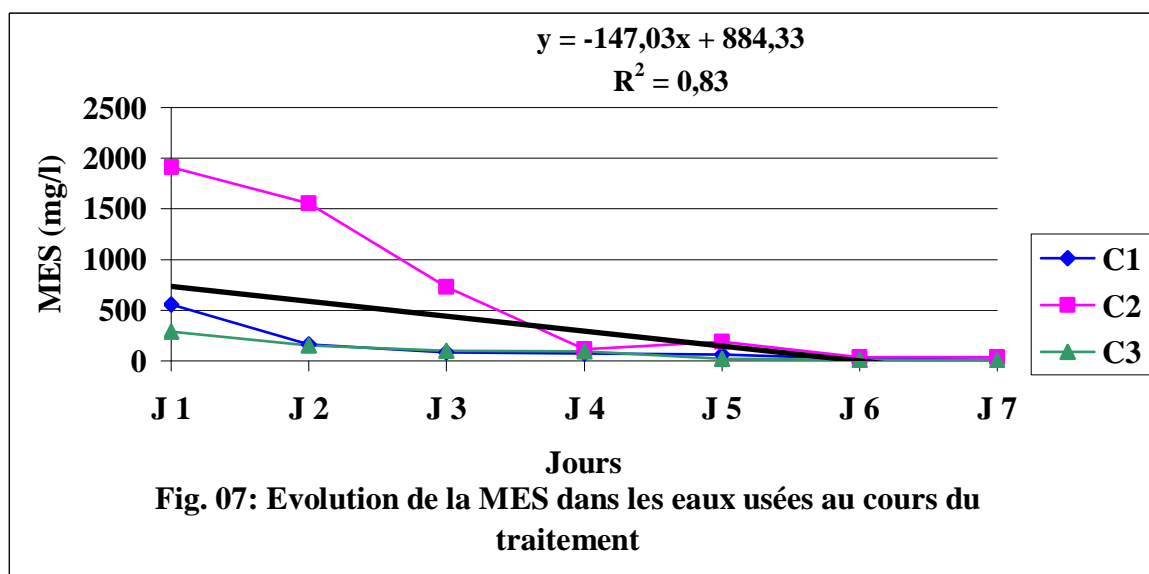


Fig. 07: Evolution de la MES dans les eaux usées au cours du traitement

C1 : 1^{er} compagne. C2 : 2^{eme} compagne. C3 : 3^{eme} compagne.

Les résultats de ABISSY et MANDI (1999) montrent qu'après le traitement des effluents par le *Phragmites communis*, la MES diminue de 91%. Le traitement des eaux usées par le Vétiver diminue de 90,96 % la MES.

Ces résultats restent inférieurs de 5,2% par rapport à les notre, néanmoins ils confirment que le traitement par macrophytes diminue nettement le taux de la matière en suspension.

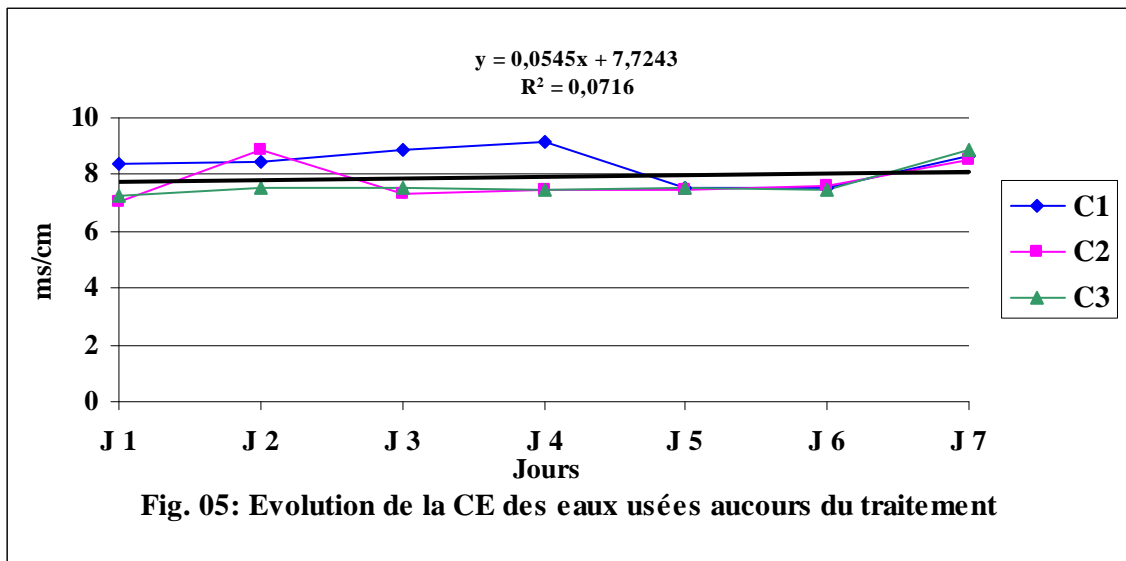


Photographie 04 : Variation de couleur des eaux usées au cours du traitement.

3.1.2.2 La conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique des eaux usées prélevées du canal ne présente pas une différence entre les trois points de prélèvement (entrée, centre et sortie de la bande du roseau). Au niveau du dispositif expérimental là où l'eau séjourne 24 heures dans chaque bac, la courbe de tendance ($R^2 = 0,0716$) montre que la conductivité électrique est plus ou moins stable depuis le décanteur jusqu'au dernier bac avec un écart moyen de 1,14 ms/cm (voir Fig. 05).

Cette légère variation est due à l'évapotranspiration qui est le facteur principal qui gère la fluctuation des concentrations des sels minéraux dans l'effluent.



C1 : 1^{er} compagne. C2 : 2^{ème} compagne. C3 : 3^{ème} compagne.

Le volume d'eau évaporée au cours de l'expérimentation a augmenté d'une façon remarquable. Durant la première semaine de l'essai il est de 0,083 m³ ; au cours de la deuxième semaine il augmente à 0,106 m³ pour atteindre 0,157 m³, la troisième semaine.

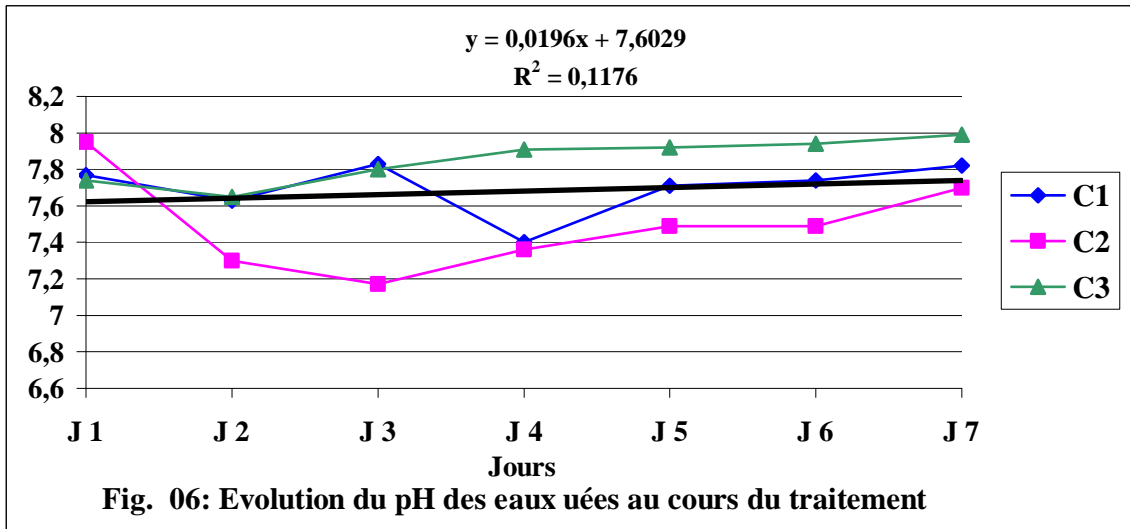
Les résultats obtenus après à la sortie du dispositif sont proches à ceux cités par ABISSY et MANDI (1999) (1150,46 µs/cm ± 252,65).

3.1.2.3 Le potentiel hydrogène (pH)

Le pH des eaux présente une variation faible et converge vers une basicité légère de 8,02 en moyenne en allant de l'amont en aval. Ce résultat est observé aussi bien dans le canal 03 que dans le dispositif expérimental.

Au niveau du dispositif, malgré le phénomène d'évapotranspiration nous n'avons pas noté une diminution significative du pH dans l'effluent, ceci peut être expliqué par le maintien d'un certain équilibre entre les composés chimiques durant le temps de traitement.

Au niveau du décanteur le pH-mètre donne une valeur moyenne de 7,82, elle diminue de 0,29 unité au Bac1 pour s'élever progressivement et marquer un pH de 7,84.



C1 : 1^{er} compagne. C2 : 2^{eme} compagne. C3 : 3^{eme} compagne.

Selon les travaux de ABISSY et MANDI (1999), le pH à la fin du traitement est de $6,87 \pm 0,27$. Cette valeur est proche de la moyenne calculée durant notre travail et la différence est de 0,95.

Conclusion

D'après JONG et al (1977) in RAMOUL (1998), les macrophytes participent à la diminution de la DBO₅, DCO, et la MES.

Les analyses d'effluent ont permis à JONG et al (1977) de constater que les concentrations de la DCO diminuent progressivement au fur et à mesure qu'on s'éloigne de point de rejet. La DCO diminue nettement de 500 mg/l à 60 mg/l (soit 88 % de rendement).

Nos résultats confirment ceux de JONG et al (1977), en effet la présence du *Phragmites communis* Trinius montrent qu'il y'a une diminution hautement significative de la DBO₅ et DCO. Par contre pour la CE et le pH sont restés presque constant durant les sept jours du traitement ; tandis que à la température de eaux, elle est liée à celle de l'atmosphère avec une différence de 3 à 4°C au moins, mais elle influe directement sur la vitesse de l'évapotranspiration, et sur l'activité biologique des microorganismes.

3.2 Analyse du *Phragmites communis* Trinius

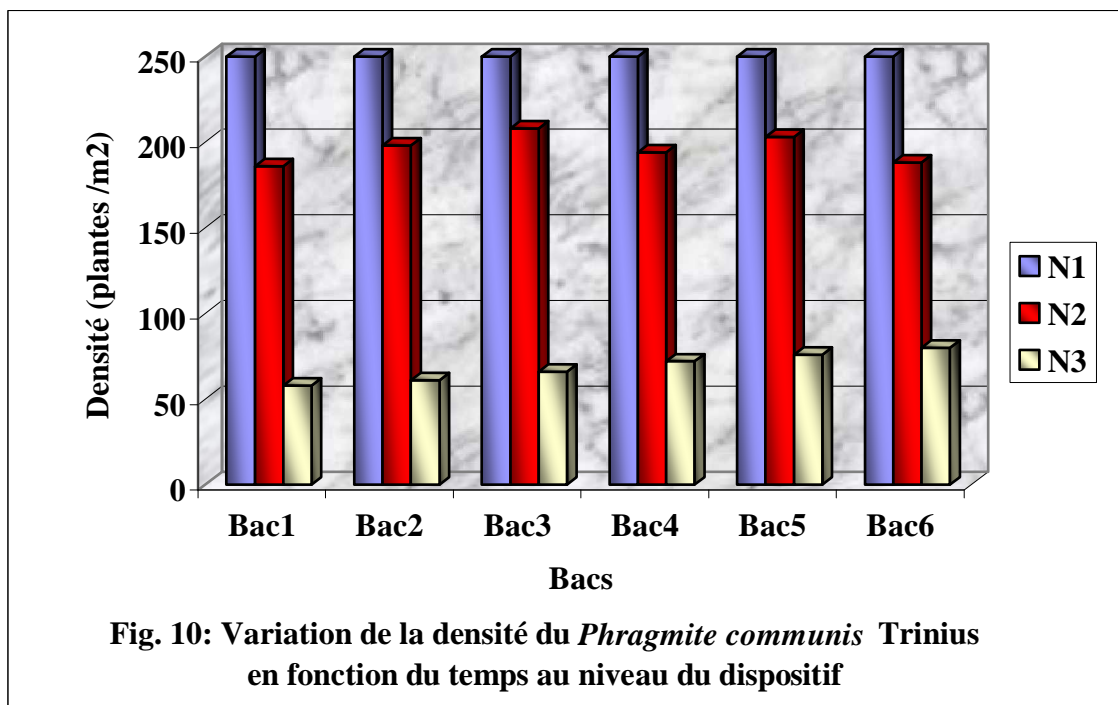
3.2.1 Les mesures biométriques

3.2.1.1 La densité

La densité de plantation au début de l'expérimentation, à l'intérieur de chaque bac, est fixée à 250 plantes/m². Au cours du temps, le nombre diminue pour plusieurs raisons ; échec à la reprise, effet de masse, agressivité du milieu, ...

D'après la figure 10, nous remarquons que la densité du roseau au niveau du dispositif augmente progressivement du Bac1 (58 plants) au Bac6 (80 plants) en fin de l'expérimentation.

Le suivi au niveau du canal 03 montre que la densité du *Phragmites communis* Trinius diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point de rejet.



N1 : 1^{er} comptage. N2 : 2^{eme} comptage. N3 : 3^{eme} comptage.

La densité du roseau dans les deux sites n'est pas la même. Ceci est probablement dû au jeune âge des individus dans le dispositif où la croissance et le développement ne sont pas encore achevés à cela s'ajoute la compétition vis à vis des paramètres du milieu, (charge d'eau, temps de séjour, substrat,...), différentes aux conditions naturelles dans le canal.

3.2.1.2 La hauteur des tiges

Au niveau du dispositif la hauteur des tiges augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne du premier Bac. L'écart est en moyenne de 9,12 cm entre le Bac1 et Bac6 (Voir Fig. 11)

Cette différence de croissance des tiges peut être liée à des processus biochimiques d'assimilations (carence en certains co-enzymes ou inhibition d'hormones de croissance).

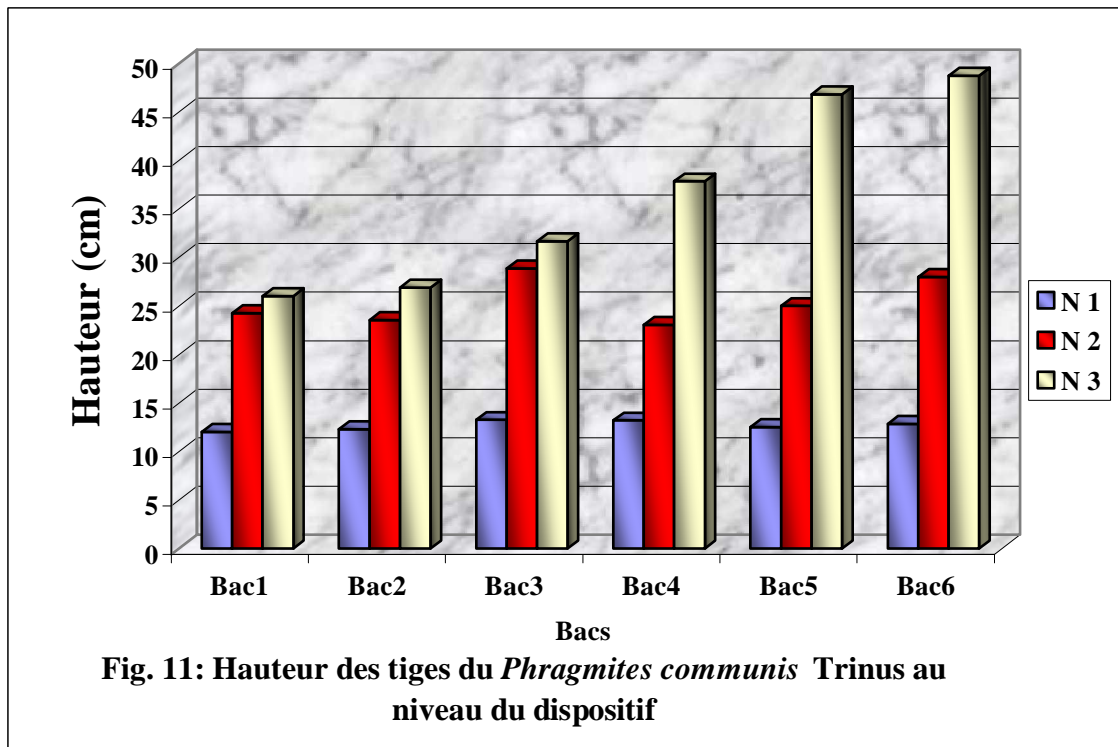


Fig. 11: Hauteur des tiges du *Phragmites communis* Trinus au niveau du dispositif

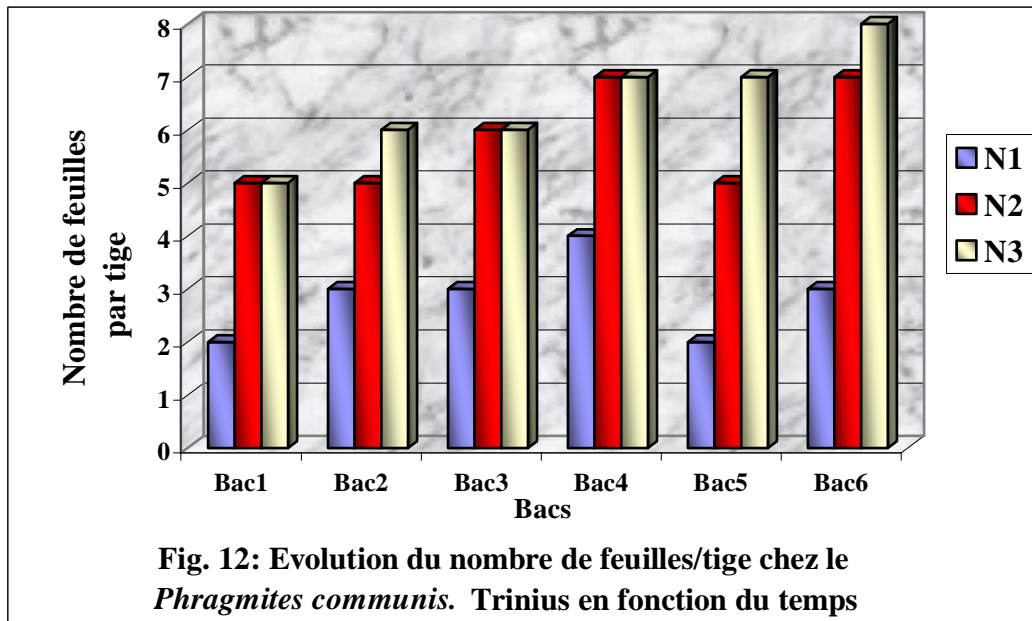
N1 : 1^{er} mesure. N2 : 2^{eme} mesure. N3 : 3^{eme} mesure.

La qualité et la composition chimique de l'eau joue un rôle important dans la nutrition des végétaux. Les eaux usées utilisées au cours de l'essai peuvent contenir des molécules de certains éléments chimiques (Fe,Zn,...) qui peuvent bloquer l'assimilation des éléments de croissance. La concentration de ces inhibiteurs diminue dans l'effluent de l'amant en avale.

3.2.1.3 Le nombre de feuilles par tige

Nous avons observé une fluctuation du nombre de feuilles par tige au cours de l'expérimentation.

Nous avons constaté que ce rapport augmente respectivement. Au début de l'expérimentation la moyenne était de 2,83 et à la fin elle est de 6,5 (5 feuilles dans le premier Bac et 8 dans le dernier bac).

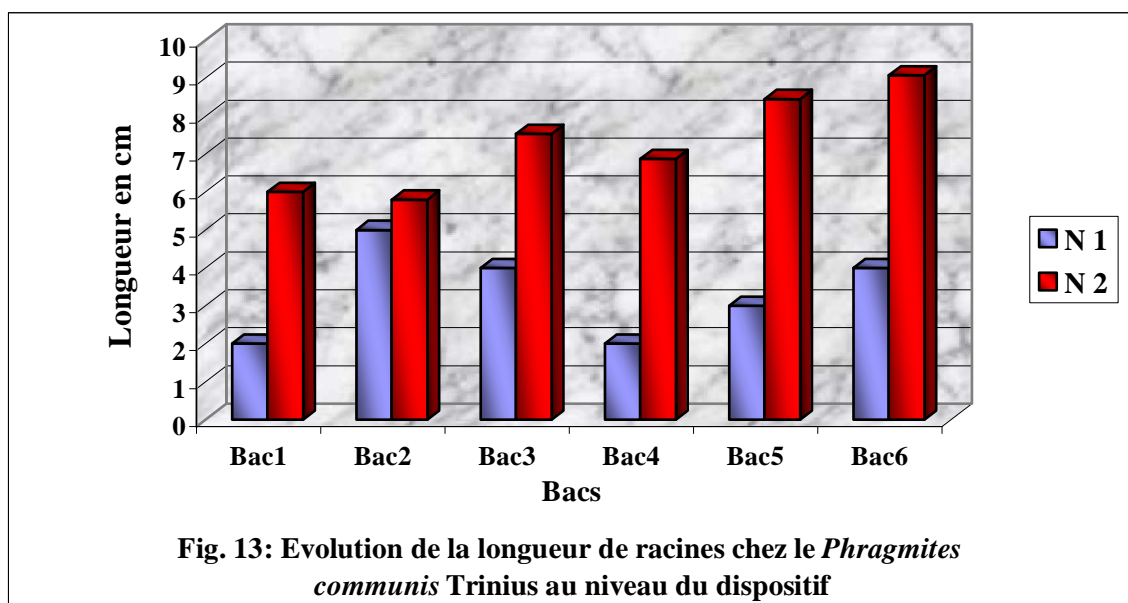


N1 : 1^{er} prélèvement. N2 : 2^{eme} prélèvement. N3 : 3^{eme} prélèvement.

Cependant à la fin de l'expérimentation nous avons remarqué une légère altération traduite par un jaunissement et un dessèchement des feuilles, causée probablement par des températures très élevées durant cette période.

3.2.1.4 La longueur des racines

La longueur des racines varie en fonction de la complexité du milieu aqueux. Les racines sont plus longues dans les bacs où l'eau est moins chargée. Ce constat est le même chez les individus dans le site naturel ; par ailleurs nous avons observé un changement de couleur (les racines passent du marron au jaune).



N1 : 1^{er} mesure. N2 : 2^{eme} mesure.

Le système racinaire présente une malformation chez les individus situés à la tête des bandes ainsi qu'au niveau des deux premiers bacs du dispositif. Nous avons constaté, en plus de changement de la couleur, un enchevêtrement des extrémités des racines.

Conclusion

Nos observations montrent que la hauteur des tiges et le nombre de feuilles/tige augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point de rejet des eaux usées.

La vigueur des individus au centre de la bande du roseau (canal 03) est plus importante à la sortie et à la tête de la bande.

Les résultats des paramètres biomorphologiques (Hauteur des tiges, nombres de feuilles/tiges, longueur des racines et la densité), montrent que le *Phragmites communis* Trinius réagit de la même manière, aussi bien dans les conditions expérimentales que dans les conditions naturelles (canal 03).

Ils font ressortir que la croissance et le développement du *Phragmites communis* varie avec la composition des eaux usées.

3.1.2 Les analyses chimiques

Selon HELLER (1981), chaque élément nutritif essentiel, présente une concentration optimale, limitée par deux valeurs critiques qui forment l'intervalle de tolérance. La valeur minimale de cet intervalle représente le seuil de la carence, tandis que la valeur maximale représente celui de la phytotoxicité. Dans le cas d'un élément non essentiel, une inhibition de croissance ne se produit qu'en cas de dépassement de la concentration phytotoxique.

Au niveau des plantes, plusieurs métaux lourds sont essentiels pour la croissance normale, comme cofacteurs, éléments de structure et catalyseurs de certaines protéines et d'enzymes (Zn, Cu,...).

Les éléments dosés pour notre étude sont : l'azote (N), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg), le sodium (Na), le fer (Fe), le zinc (Zn), le cadmium (Cd), le nickel (Ni) et le plomb (Pb) au niveau des parties aériennes et souterraines du roseau.

Les résultats obtenus font ressortir que les teneurs des éléments : Na, Ca, Zn, Pb et Fe dans les racines du *Phragmites communis* Trinius sont deux fois plus que celles dosées au

niveau des tiges et des feuilles contrairement aux éléments N, K et Mg.

D'après BLAKE et DUBOIS (1985) les teneurs en Fe et Zn chez le *Phragmites communis* Trinius sont de l'ordre de 300 ppm et 37,88 ppm en moyenne respectivement. L'écart entre nos résultats et ceux de BLAKE et DUBOIS (1985), peut être expliqué par la nature du site à savoir que le roseau dans notre cas est implanté dans une conduite contenant en permanence des eaux résiduaires, ce qui permet l'accumulation de ces éléments dans les tissus de ces organes.

Cette hypothèse est confirmée par plusieurs travaux entre autre ceux de ABISSI et MANDI (1998) qui classent le *Phragmites communis* parmi les espèces accumulatrices d'éléments chimiques notamment certains métaux lourds.

Les teneurs des éléments N et Zn sont inversement proportionnelles au niveau des parties aériennes et racinaires du végétal. Ce phénomène est expliqué par l'importance de l'azote dans les processus du métabolisme physiologique au niveau des feuilles (synthèse protéique).

Les éléments Fe et Ca, présentent des teneurs très faibles dans les tiges et feuilles. Ces deux éléments sont difficilement véhiculés par la sève brute malgré la même valence présentée par Mg. Ceci est expliqué probablement par la taille de leurs molécules difficilement mobile à l'intérieur du faisceau conducteur. De plus ces deux éléments sont souvent associés en chélate de fer (difficile à assimiler).

La relation entre la composition chimique et l'aspect biomorphologique, fait ressortir que les teneurs pour tous les éléments dosés sont élevés en amont qu'en aval. Ceci est dû forcément à la charge d'eau dans ce point. De plus la vitesse d'écoulement très lente (0,05) m/s), ce qui offre au système racinaire un temps suffisant pour absorber et accumuler certains éléments ; par conséquent diminuer leur concentration dans l'effluent.

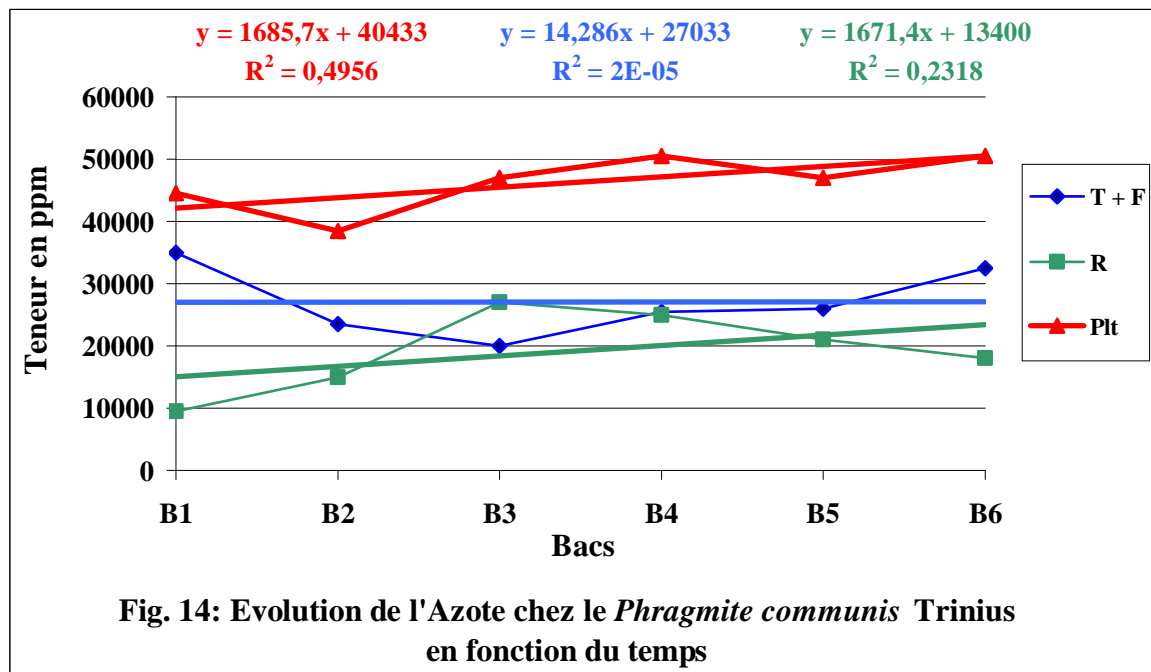
3.1.2.1 L'azote

Selon ULHOVA et al (1973), la teneur en azote chez les jeunes plantes du *phragmites australis* est de l'ordre de 0,99% au niveau des tiges et de 4,41% dans les feuilles. Au niveau des racines, la teneur en azote est de 0,95%.

Les résultats obtenus après analyses montrent que la teneur en azote dans les organes

aériens est deux fois supérieure à la teneur dans les organes souterrains. La teneur dans les feuilles et tiges est de 35 000 ppm dans le premier bac, elle diminue légèrement pour atteindre 20 000 ppm dans le troisième Bac, puis nous avons noté une augmentation consécutive depuis le quatrième pilote pour atteindre 32 500 ppm au sixième Bac (voir Fig. 14).

La teneur en azote dans les racines est en moyenne de 19 250 ppm, les plantes des trois premiers bacs contiennent respectivement 9 500, 15 000 et 27 000 ppm. On constate que la teneur augmente respectivement du premier au troisième bac, suivi d'une diminution à partir du quatrième, cinquième et sixième bac où nous avons relevé respectivement 25 000, 21 000 et 18 000 ppm.



T+F : Tige et feuilles — R : Racines — Plt.: Plante entière

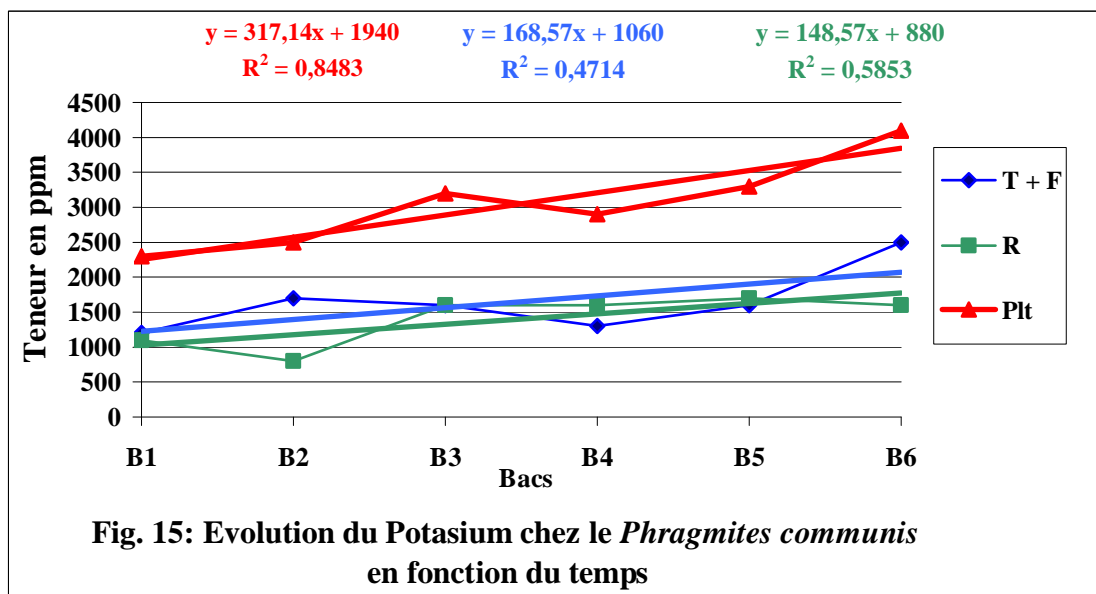
Ces teneurs nous permettent de déduire que l'assimilation est intense au niveau des trois premiers bacs où le milieu contient de la matière organique en suspension et/ou dégradée, par contre dans les trois derniers bacs l'activité biologique est faible vu l'abattement de la matière organique. Par conséquent, la minéralisation est de plus en plus faible, donc le taux d'azote assimilable diminue.

3.1.2.2 Le potassium

Les teneurs en potassium observés dans les parties aérienne (1650 ppm en moyenne) et souterraine (1400 ppm en moyenne) sont inférieurs au ceux cités par BLAKE et DUBOIS (1985) (1,09 % de la MS dans la partie aérienne et de 0,58 % de la MS dans la partie souterraine), cet écart peut être lié à l'âge des sujets qui sont jeune, sachant que le potassium est un élément qui s'accumule au cours du temps au niveau des tissus et qui rentre dans leurs construction. La teneur en potassium au niveau des parties aériennes est deux fois supérieure à celle dosée au niveau des racines.

D'après la figure N° 15, l'évolution du potassium dans les tiges et les feuilles augmente progressivement en passant d'un pilote à un autre, on a dosé 1200 ppm dans le premier bac et 2500 ppm dans le sixième bac. Le quatrième bac présente une chute de la teneur avec 1300 ppm.

Au niveau des racines, les teneurs sont légèrement inférieures à celles dosées dans les feuilles et tiges. Néanmoins, on remarque la même approche. Dans le premier Bac, la teneur en potassium est proche de la valeur relevée dans la partie aérienne avec 1100 ppm et dans le dernier une teneur de 1600 ppm avec quelques fluctuations à travers les bacs intermédiaires.



T+F : Tige et feuilles — R : Racines — Plt.: Plante entière

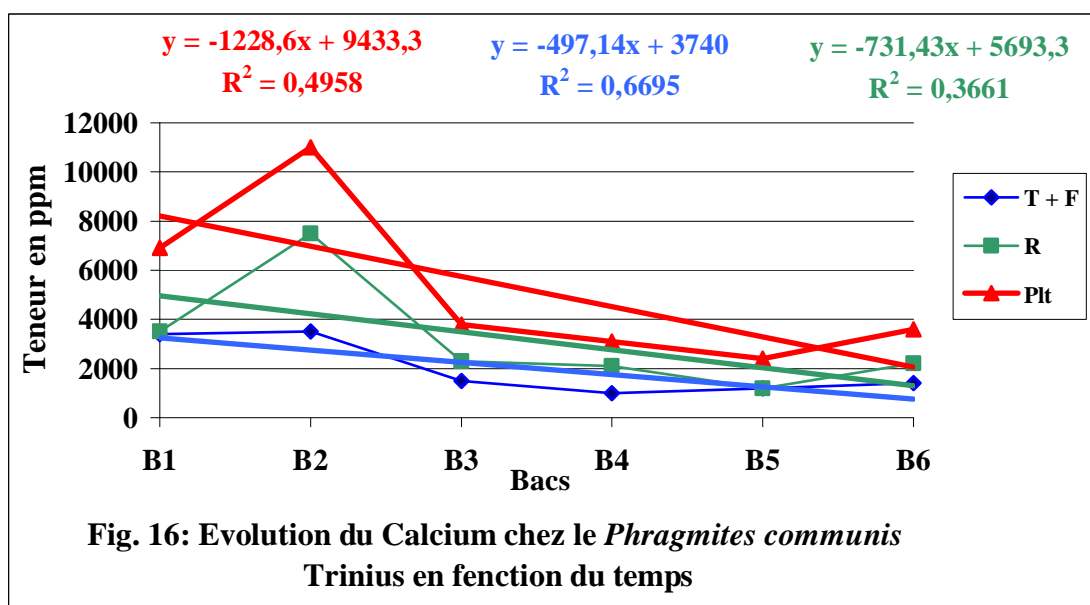
D'après les courbes de tendance pour les deux parties du végétal analysées, la variation de la teneur en potassium chez le *Phragmites communis* Trinius est très faible. Les écarts types sont respectivement de l'ordre de 0,4714 et 0,5853 pour les tiges et feuilles, et les racines.

3.1.2.3 Le calcium

La tendance de la teneur en calcium dans la partie aérienne ressemble à celle de l'azote. Par contre, celle de la partie souterraine est inverse aux teneurs des deux premiers éléments (N et K).

Dans le premier Bac, Les tiges et feuilles referment 3 400 ppm de calcium. Cette teneur diminue progressivement d'un bac à un autre pour atteindre les 1000 ppm au quatrième Bac, ensuite on observe un élévation au niveau du cinquième et sixième Bac où l'on a dosé respectivement 1200 et 1400 ppm de Ca (Voir Fig. 16).

Quant aux racines du *Phragmites communis* Trinius, la teneur en calcium a connu une tendance régressive du premier bac (3500 ppm) au dernier bac (2200 ppm).



T+F : Tige et feuilles — R : Racines — Plt.: Plante entière

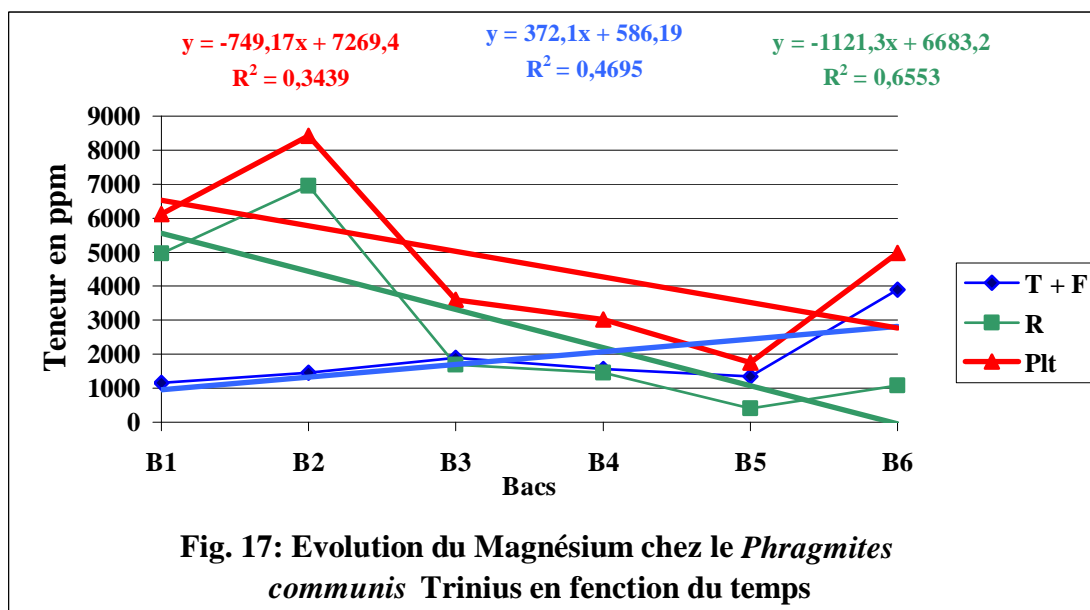
Selon BLAKE et DUBOIS (1985), la teneur en calcium dans les parties aériennes et souterraines du *phragmites australis*, est très faibles par rapport aux autres éléments analysés. Au niveau des racines elle est de 0,24 % de MS et de 0,13 % de MS au niveau des tige et feuilles. Nos résultats corroborent avec ceux de BLACK et DUBOIS (1985).

3.1.2.4 Le magnésium

Le Magnésium est un élément majeur de la nutrition minérale des végétaux. Selon RICHTER (1993), cet élément joue un rôle important dans la régulation de la fixation du CO₂ pendant la photosynthèse.

L'analyse chimique des tiges et des feuilles du *Phragmites communis* Trinius, a donné des teneurs croissantes en passant du Bac1 au Bac2. On a dosé 1158,75 ppm dans le premier Bac et 1536,2 ppm dans le quatrième. Par la suite, on note une diminution au niveau du cinquième pilote avec 134,66 ppm, puis une augmentation dans le dernier Bac (3900 ppm). Pour les parties souterraines les teneurs en magnésium prennent une tendance opposée à celle des parties aériennes. La teneur marquée au niveau des racines et rhizomes du premier Bac est de 4954,5 ppm et de 410,4 ppm au cinquième Bac, suivie d'une élévation au sixième Bac avec 1080 ppm.

D'après la figure 17, la teneur de cet élément prend une tendance croissante pour la partie verte et décroissante pour la partie souterraine et la plante entière.

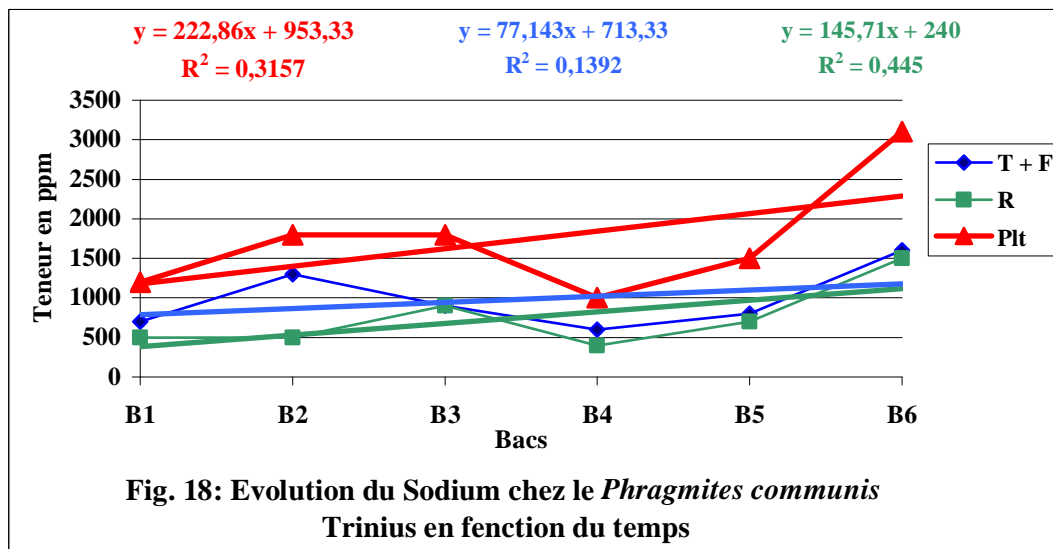


T+F : Tige et feuilles — R : Racines — Plt.: Plante entière

Selon BLAKE et DUBOIS (1985), le taux de magnésium dans les tiges et feuilles est en moyenne de 0,15 % de MS et pour les racines, il est de 0,37 % de MS. D'après nos résultats, nous constatons que le magnésium se concentre au niveau des racines (2758,75 ppm) beaucoup plus que dans les tissus des tiges et des feuilles (1888, ppm).

3.1.2.5 Le sodium

Les analyses montrent une légère dominance pour les tiges et feuilles avec une teneur moyenne de 983,33 ppm par rapport à 750 ppm dosée dans les racines (Voir Fig. 18). D'après BLAKE et DUBOIS Le *Phragmites australis* réagit avec le sodium de la même manière que le calcium et sa teneur en Na dans les racines est 3 fois supérieure à celle dosée dans les tiges et feuilles (0,22 % de MS).



T+F : Tige et feuilles — R : Racines — Plt.: Plante entière

Cette augmentation est probablement liée au dépôt continu des sels durant le séjour de l'effluent au niveau des jeunes feuilles et de la partie inférieure des tiges (après évaporation des eaux usées au cours de tout l'essai). Il faut rappeler que la hauteur de l'eau est en moyenne de 34 cm dans tous les bacs. La taille moyenne des tiges est de 24,82 cm.

Les valeurs de sodium dosées, dans les conditions expérimentales, au niveau des deux parties du végétal, restent très loin des teneurs citées par BLAKE et DUBOIS. Ceci peut être lié à la qualité de l'eau et/ou à l'âge jeune des plants (six mois).

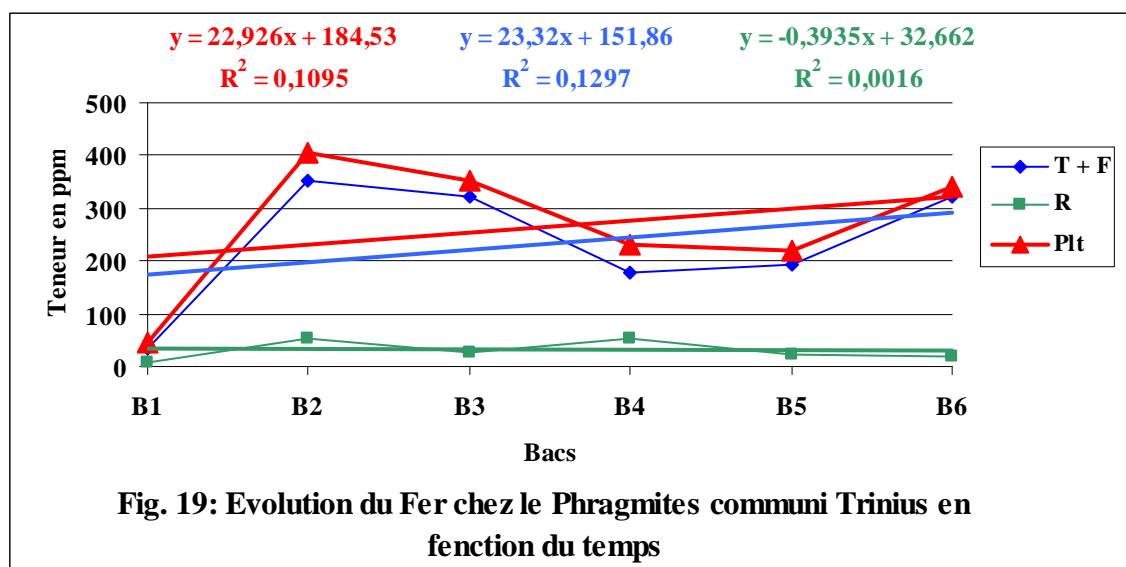
3.1.2.6 Le fer

Les besoins en cet élément sont très importants, parfois il est classé parmi les macroéléments. Il se trouve dans les plantes au sein de catalyseurs biochimiques (structure porphyrique). Cet élément est difficile à maintenir en solution et les carences en fer peuvent être fréquentes par élévation du pH (apparition d'hydrates qui précipitent) ou dans le cas de teneurs en calcium élevées. En effet, dans le milieu aquatique, la couche

de réduction est présente à quelques centimètres sous la surface des sédiments, elle crée donc des conditions de solubilisation des métaux et du fer en particulier (BLAK et DUBOIS, 1982).

C'est ainsi que pour l'HUTCHINSON (1975), il semble général que les macrophytes enracinés, immergés ou flottants soient, à l'inverse des végétaux terrestres, plus riches en fer qu'en manganèse (0,2 % à 0,3 % en moyenne) probablement en raison de la plus mobilité du fer dans les sédiments.

Les teneurs moyenne en fer dans les organes aériens et souterrains sont respectivement de 233,48 ppm et 398,24 ppm. La comparaison de ces résultats avec ceux donnés par RIEMER et TOTH (1968), qui limitent les teneurs en fer chez le *Phragmites communis* (espèce entière) entre 100 à 500 ppm, montre que la teneur chez les sujets analysés dépasse cet intervalle. Ce résultat est liée à la composition chimique de l'effluent, sachant que le canal contient des déchet d'origine métallique (fût, bidons de peinture,...) surtout dans les cinquante premiers mètres.



T+F : Tige et feuilles — R : Racines — Plt.: Plante entière

L'évolution du fer est semblable dans les deux parties du roseau au niveau du dispositif. On note au début du Bac1 une teneur très faible (35,30 ppm, 93,10 ppm), suivie d'un augmentation très importante au niveau du Bac 2 (350,61 ppm, 529,47 ppm) puis des abattements consécutifs d'un bac à un autre jusqu'au dernier (Voir Fig.19).

3.1.2.7 Le zinc

Le zinc est un cofacteur de divers enzymes, son absence provoque des troubles dans le métabolisme de l'auxine d'où des perturbations dans la croissance ; sa teneur souvent plus abondante que le cuivre (70 à 210 ppm), les plus fortes valeurs sont relevées par RIEMER et TOTH pour *Cabomba caroliniana* (750 à 1000 ppm) et pour *Lemna minor* (500 ppm maximum et 370 ppm en moyenne).

En règle générale, les valeurs sont plus faibles :

- 1 *Phragmites australis* : 15,5 à 65 ppm.
- 2 *Typha angustifolia* : 22 à 45 ppm.

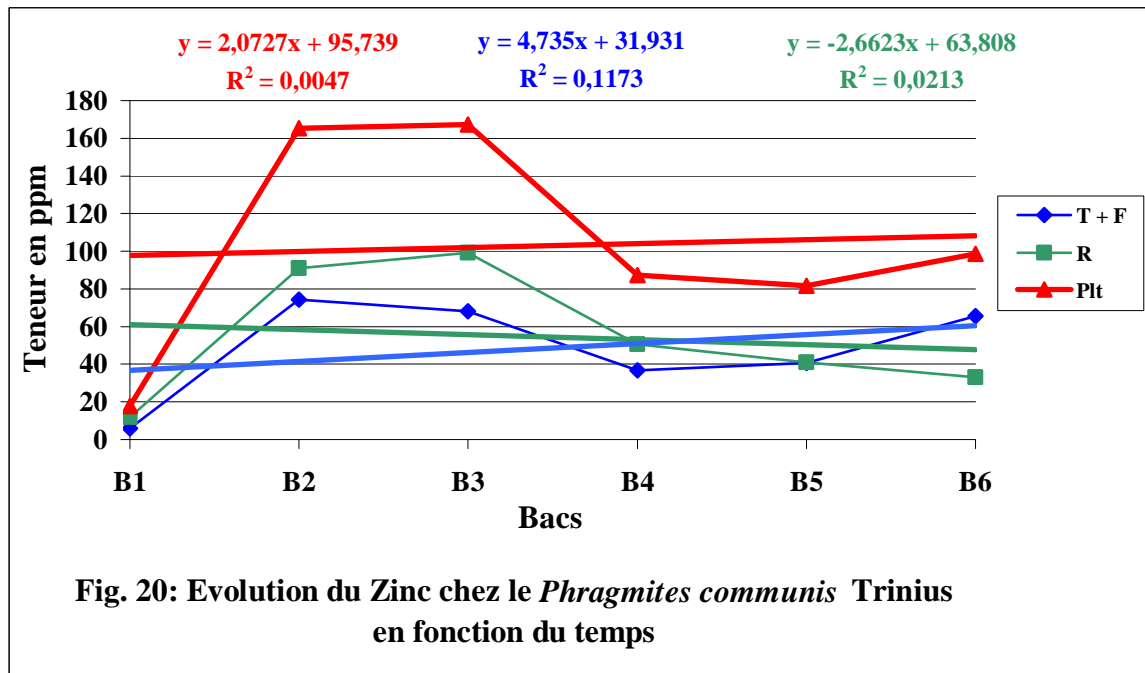
En effet, la valeur de 500 ppm correspond à un seuil de toxicité pour la plupart des espèces. Le rapport Cd/Zn joue un rôle important dans l'équilibre de l'assimilation de plusieurs oligoéléments et les fortes concentrations de zinc inhibent les entrées du cadmium dans la plante (LAGERWERFF et BIERSDORF, 1972)

Les travaux de CZERWENKA et SEIDEL (1976), réalisés à l'ex République Fédérale d'Allemagne, montrent qu'il y a une grande accumulation dans les parties souterraines de *Schoenoplectus lacustris* :

- Tiges 52,2 ppm
- Rhizomes 48,5 ppm
- Racines 407,5 ppm

Le roseau contient plus de zinc dans les racines que dans les tiges et feuilles. Les analyses donnent 48,50 ppm en moyenne au niveau de la partie aérienne et 54,49 ppm en moyenne dans la partie souterraine.

D'après la figure 20, l'évolution de la teneur en zinc dans les organes verts commence avec 5,97 ppm dans le Bac1, puis une augmentation nette au Bac2 avec 74,25 ppm, suivie par une fluctuation dans les autres bacs pour arriver au dernier bac à une teneur de 65,56 ppm. Les racines accumulent le zinc avec des teneurs variables dans les bacs du dispositif. Ces teneurs augmentent de 11,91 ppm dans le Bac1 à 99,27 ppm dans le Bac3, ensuite elles diminuent progressivement pour donner 32,93 ppm dans le Bac6.



T+F : Tige et feuilles — R : Racines — Plt.: Plante entière

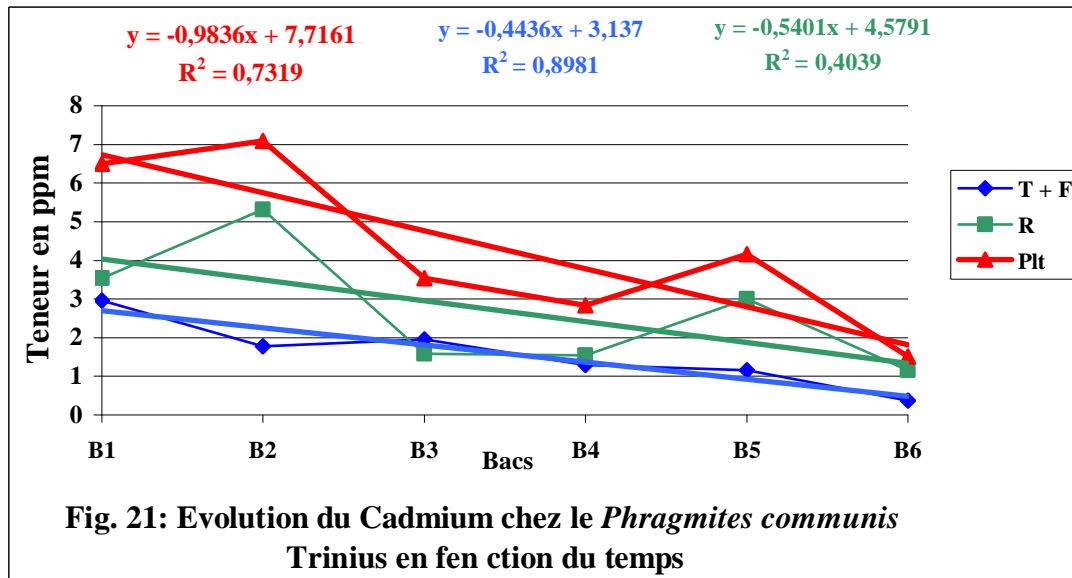
Les teneurs en zinc chez le *Phragmites communis* Trinius dans les organes aériens et souterrains ne correspondent pas à l'intervalle cité par TOTH (1972) qui limite les teneurs en zinc pour le *Phragmites australis* entre 15,5 ppm et 65 ppm, la différence n'est pas si importante et nos résultats confirment ces valeurs.

3.1.2.8 Le cadmium

Les teneurs du cadmium dans les différents organes du *phragmites communis* Triniu, soulève une légère concentration dans les racines avec une moyenne de 3,02 ppm. Par contre les tiges et les feuilles accumulent en moyenne 1,58 ppm (Voir Fig.21).

Les travaux de HARDING et WHITTON (1978), cités par BLAK et DUBOIS (1982), montrent que la plus grande partie des métaux et en particulier du cadmium est retenue dans les sédiments (13 ppm) et les plantes présente dans le milieu étudié, accumulent ce métal soit préférentiellement à partir de l'eau (*Nitella flexilis*) soit à partir de sédiments (*Glyceria fluitans*)

Selon IMPENS et AVRIL (1992), la répartition dans la plante n'est pas homogène. L'accumulation du cadmium dans les racines non tubérisées est plus importante que dans les feuilles et les organes de stockage, cette constatation confirme nos résultats.



T+F : Tige et feuilles — R : Racines — Plt.: Plante entière

Le cadmium, comme la plupart des polluants, entraîne des modifications du métabolisme plus ou moins grandes, selon sa concentration dans le milieu et l'espèce considérée. Sa distribution est influencée par la l'intensité du métabolisme : les feuilles en croissance, ayant une forte transpiration contiendraient d'avantage de Cd que les tiges, les organes de stockage, les fruits et les graines (IMPENS et AVRIL, 1992).

De plus, les travaux de PIRET et KOOKEN (1979), confirment que le cadmium peut s'accumuler dans les tissus végétaux et provoque des retard de croissance, inhiber la photosynthèse et réduire le transport de sels nutritifs.

Dans le même contexte LAMOREAUX et CHANEY (1977), rapportent que cet élément a un effet sur le transfert de l'eau dans la plante en diamètre des vaisseaux conducteurs.

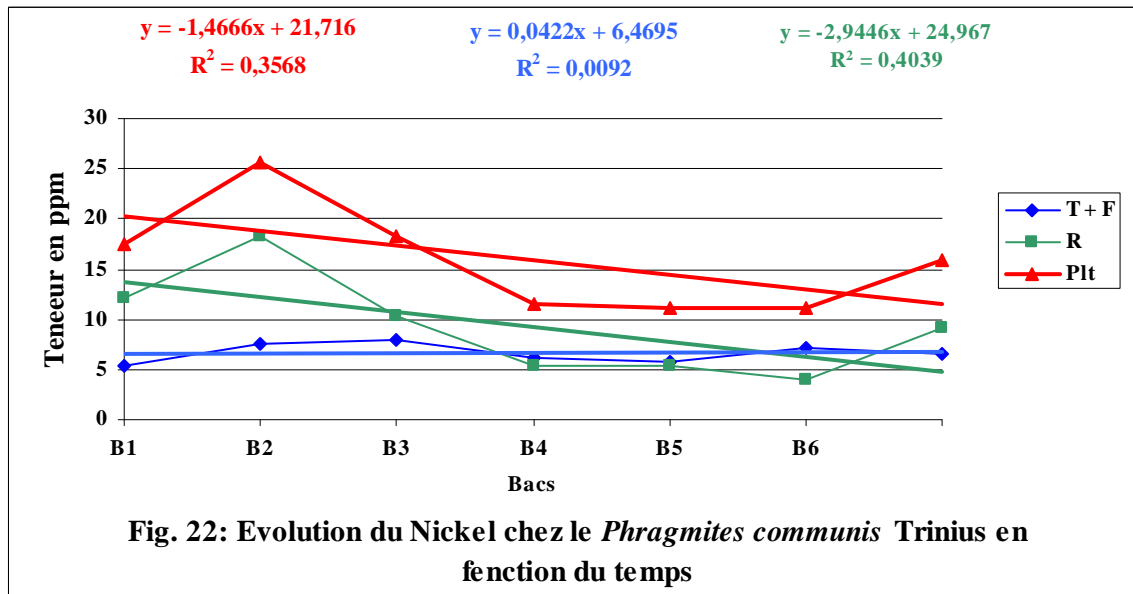
3.1.2.9 Le nickel

La bibliographie consultée ne mentionne pas les teneurs du nickel chez le *Phragmites communis* Trinius.

Selon COLLIN et STOTZKY (1989) in MEFTAH (1995), le Nickel est parmi les les métaux lourds qui s'absorbent sur les membranes cytoplasmiques et qui provoque de changements au niveau de celles-ci.

Concernant nos résultats, nous constatons que cet élément se comporte de la même manière que le cadmium. En effet les teneurs au niveau des racines dépassent celles des

tiges et feuilles avec une moyenne de 9,21 ppm pour les premiers et de 6,64 ppm pour les derniers. La tendance des teneurs dans les dispositif pour le système racinaire ou la partie aérienne du roseau est semblable, converge vers une diminution depuis le premier bac jusqu'au dernier.



T+F : Tige et feuilles — R : Racines — Plt.: Plante entière

Il faut noter que les teneurs dans les racines des Bacs 1, 2 et 3 (12,11, 18,22 et 10,29 ppm), sont de deux à trois fois supérieures aux résultats dans les Bacs 4, 5 et 6 (5,41, 5,29 et 3,94 ppm)(Voir Fig. 22).

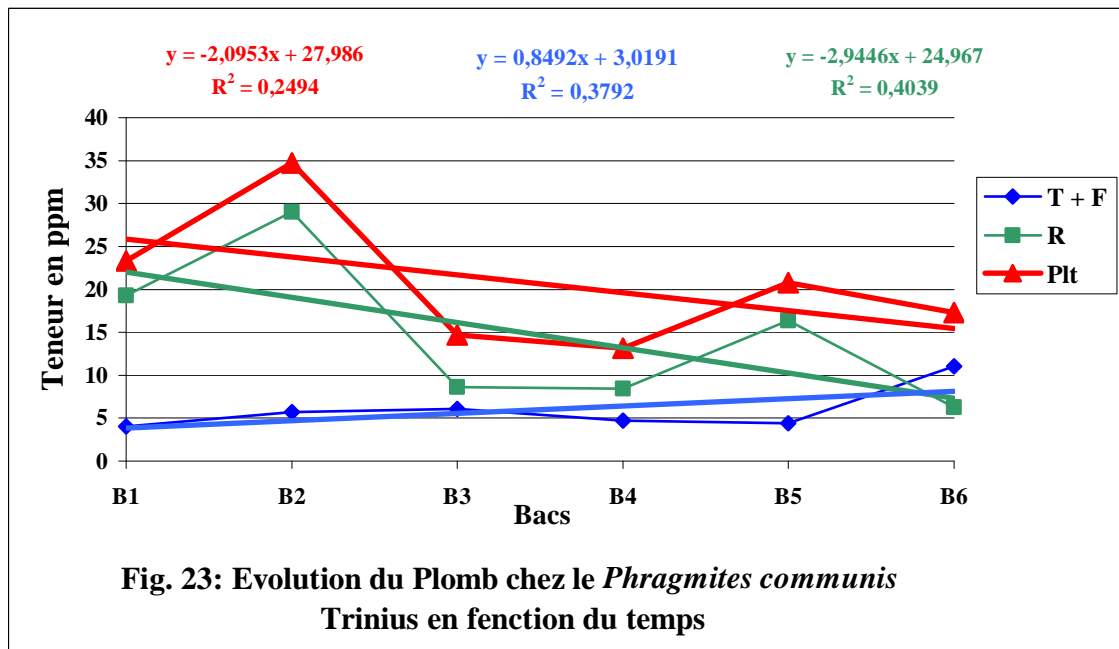
Par contre dans la partie aérienne du végétal, la différence d'un pilote à un autre est généralement minime, de l'ordre de 1 à 2 ppm.

3.1.2.10 Le plomb

Le roseau à la fin de l'expérimentation contenait du plomb dans tous les organes analysés. Les fortes concentrations sont remarquées au niveau des racines, avec une moyenne de 14,66 ppm. Par contre dans les tige et feuilles, nous avons relevé une valeur moyenne de 5,99 ppm.

Les travaux de HARDING et WHITTON (1978) montrent que les sédiments ont un rôle important dans la capacité de rétention du plomb dans un écosystème aquatique comme pour le cadmium, le sédiment peut contenir de 250 à 2000 ppm, et les tiges de *Glyceria fluitans* 25 à 100 ppm.

Selon WITE et al.(1981), le Pb est parmi les métaux non essentiels, suite à son absorption et translocation, il peut facilement pénétré dans la plante et affecté son métabolisme à différents niveaux.



T+F : Tige et feuilles — R : Racines — Plt.: Plante entière

Conclusion

L'azote est abondant dans les parties jeunes des tiges et feuilles par contre dans les racines il est très faible. Le potassium est plutôt stocké dans la partie aérienne (tiges). Le calcium, sodium et magnésium semblent fixés dans les organes souterrains, leur concentration reste relativement constante dans les parties aériennes tout au long du cycle végétatif.

L'analyse de corrélation montre en général, une indépendance des éléments analysés du facteur temps, néanmoins des variations faibles ont été soulevées dans la partie aérienne et souterraine.

Conclusion générale

La ville de Ouargla rejette chaque jour 16 600 m³ des eaux usées, sans subir le moindre traitement.

Ces eaux usées sont rejetées à travers un système de canalisation de 15,5 Km vers l'exutoire de Oum Eraneb.

La seule station d'épuration existante au niveau de la commune de Ouargla installée en 1974 n'est plus fonctionnelle.

Ces eaux, rejetées dans la nature à l'état brute, sont un foyer de développement et de propagation de certains insectes nuisibles (les moustiques notamment) des maladies (typhoïde, cholera,...) et contaminent aussi la nappe phréatique très proche de la surface.

Le traitement de ces effluents est impératif. En effet il participe à la protection de l'environnement, la sauvegarde des composantes et richesses naturelles et surtout il offre la possibilité de réutiliser les eaux usées dans les domaines agricole et industriel.

Dans notre travail nous avons utilisé une plante macrophyte : le *Phragmites communis* Trinius pour le traitement des eaux usées. Notre étude est divisée en deux parties :

1. un suivie du comportement du végétal
2. une analyse de la qualité des eaux dans le canal 03 et dans l'essai expérimental.

Le dispositif est composé de huit (08) bacs en série plantés de *Phragmites communis* Trinius où l'effluent passe du décanteur (1^{er} bac) vers le collecteur (8^{eme} bac) pendant sept jour. L'eau séjourne 24 heures dans de chacun des bacs.

Les résultats obtenus montrent une amélioration de la qualité de l'eau :

- une diminution de la matière en suspension, jusqu' à 96,2 %,
- une diminution de la DBO₅ et la DCO respectivement de 96,43 % et 96 %.
- une stabilité pour le pH et la CE au niveau du dispositif durant tous l'essai.

Les résultats obtenus après expérimentation montrent que le traitement des eaux usées par *Phragmites communis* Trinius améliore leurs qualités. La qualité de l'eau après traitement dans le dispositif est nettement supérieure à celle prélevé du canal en aval de la bande du roseau, avec des écarts de 17,29 % pour la MES, de 24,42 % pour la DCO et de 52,68 % pour la DBO₅.

Le comportement du végétale est le même aussi bien dans le canal 03 que dans le dispositif. La hauteur du roseau (*Phragmites*) augmente au fur et à mesure que l'on s'éloigne du point d'entrée de l'effluent, alors que la taille du système racinaire

diminue. Des malformations racinaires sont observées chez les individus situés en amont (Bac1 et 2) et à la tête de la bande au niveau du canal 03. La teneur en métaux lourds dans les différents organes s'avère non corrélée au facteur temps, sauf pour l'azote où on a constaté une corrélation inversement proportionnelle au temps.

Le présent travail demande une continuité et des suivies durant les quatre saisons de l'année ainsi que des comparaisons dans les mêmes conditions expérimentales avec des bacs non cultivés; de plus il ouvre des ébauches sur des travaux portant sur : la densité optimale du roseau, la hauteur convenable des eaux usées à traiter à chaque stade phénologique du végétal, ainsi que le stade de faucardage.

Références bibliographiques

- ABISSY M. et L. MANDI, 1999** : Utilisation des plantes aquatiques enracinés pour le traitement des eaux usées urbaines : cas du roseau. Rev. Sci. Eau 12/2 pp 285-315.
- BECHAC J.P., P. BOUTIN, B. MERCIER et P. NUER, 1984** : Traitement des eaux usées. Ed. Eyrolles, Paris. 281p.
- BEYOD B., 1989** : Etude du comportement de certaine variété de blé dur (*Triticum durum*) sous pivot à Ain Zacar – Ouargla. Mém. d'Ing. Agro. I.T.A.S. Ouargla. 74 p.
- BLAKE G. et J. P. DUBOIS, 1982** : L'épuration des eaux usées par plantes aquatiques. 103 p.
- BOULIFA O., 2003** : État de lieu de la pollution dans le chott d'Oum Erraneb. Mém. Ing. Université de Ouargla. 104 p.
- BOUNTOUX J. 1993** : Introduction à l'étude des eaux douces (eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson) qualité et santé. 2^{ème} ed. Technique et documentation Lavoisier. Paris, P : 160-165 167 p
- BOUZIANI M., 2000** : L'eau de la pénurie aux maladies. Ed. IBN KHALDOUN. Oran, 247 p.
- BRIX, H., 1993**: Macrophytes-mediated oxygen transfer in wetlands: Transport mechanism and rate. In: G. A. Moshiri (Ed). Lewis Publishers Boca Rattan, Ann Arbor, London.
- COLLAS R., 1960** : La pollution des eaux. Presse universitaire de France collection : Que sais-je ?. N° 983, Paris.
- CZERWENKA W. et K. SEIDEL, 1976**: Combination of biological and chemical treatment works- In: biological control of water pollution, Tourbier J. and Pierson R.W., e., Philadelphia Univ. Pennsylvania, p. 287-293
- DIVET L. et P. SCHULHOF, 1980** : le traitement des eaux. Presse universitaire de France collection : Que sais-je ?. N° 1874, Paris.

DUBIEF J., 1953 : Essai sur l'hydrogéologie superficielle au Sahara. Institut du physique du globe de l'Algérie, pp 258-301.

EDELINE F., 1980: L'épuration biologique des eaux résiduaires théorie et technologie. 306 p.

FABY J. A. et F. BRISSAUD, 1997: L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. Office international de l'eau. Etude réalisée pour le compte du ministère de l'agriculture, de la pêche et de l'alimentation – FNDAE.

HALILAT M.T., 1993 : Etude de la fertilisation azotée et potassique sur le blé dur (variété Aldura) en zone saharienne (région de Ouargla). Mém. de Magister. INES d'Agronomie Batna.132 p.

HANACHI S. et KHITRI, 1991 : Inventaire et identification des cultivars de dattier de la cuvette de Ouargla : organisation de la variabilité. Mém. d'Ing. Agro. I.N.F.S.A. Ouargla. 58 p.

HARDING J. P. C et B. A. WHITTON, 1978: Zinc, cadmium and lead in water, sediment and submerged plants of the Derwent Reservoir, Northern England. Water Res. 12, P. 307-316.

HELLER R., 1981: Physiologie végétale I. nutrition. 2^{ème} Ed. Masson, pp: 66-77.

HUTCHINSON G. E., 1975: A treatise on limnology. Vol. III: Limnological botany-New York, London, Sydney, Toronto; Jhon Wiley and Sons, 660 p.

IMPENS R. et C. AVRIL, 1992 : Code de bonne pratique pour l'utilisation en agriculture de fertilisants et amendements riches en Cadmium. Note de synthèse. UERBV. Faculté des sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique. 76 p.

KHELILI T. et B. LAMMOUCHI, 1992: Contribution à la cartographie des sols de la cuvette de Ouargla et étude de quelques cartes thématiques. Mém. Ing. Agro. INAFS/AS., Ouargla. 54p.

LAGERWERFF J. V., G. T. BIERSDOF, 1972: Interaction of zinc uptake and translocation of cadmium in radish. Proc. 5th Annual Conf. on Trace Substances and Environmental Health Univ. of Missouri, Columbia, p. 515-522.

LAIFA A. ,1998 : Contribution à l'étude de la décontamination des milieux pollués par le mercure utilisation des plantes. , Mém. Ing. Université de Annaba. 127p.

LAMOREAUX R. J. and W. R CHANEY, 1977: Growth and water movement in silver maple seedlings affected by cadmium. J. Environ. Qua. 6 (2) : 201 – 205.

LITHELLIEUX J., 1984 : Ouargla cité saharienne des origines au début du XX^{ème} siècle. Librrie Orientaliste Paul Geutner, S A (Paris).295 p.

LONCHAMP J. P., 2000 : HYPPA. Unité de Malherbologie et Agronomie. INRA–Dijon.
http://www.inra.fr/Dijon/malherbo/hyppa/hyppa-f/phrco_fh.htm.

MARTIN-PREVEL P., J. GARGNARD, P. GAUTIER; 1984:L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales.

MEFTAH A., 1995 : Contribution à l'étude des effets des métaux lourds sur la dénitrification biologique «cas du Mercure». Mém. Ing. Université de Annaba., pp 12-16.

MOREL M A. et M. KANE, 2003 : Lagunage à macrophytes à Dakar : Lagunage à macrophytes, une technique permettant l'épuration, le recyclage des eaux usées et la valorisation de la biomasse. 1998 © Sud Science & Technologie juin 2002© h2o.net

OZENDA P., 1983 : Flore du Sahara. 2^{ème} ed. Centre National de la recherche Scientifique. France, Paris, pp 176

PIRET T. et G. KOOKEN, 1979 : Etude du transfert air-plante du Cd et Zn. Bull. Rech. Agron. Gembloux, 14 (2) : 177-186.

RAMOUL A., 1998 : Approche du rôle épurateur des eaux chargées en Chrome par *phragmites communis* L. Mém. Ing. Université de Constantine., pp25.

RICHARD C., 1996 : Les eaux, les bactéries, les hommes et les animaux Ed. Scientifiques et médicale Elsevier, Paris PP 32-34

RICHTER G., 1993: Métabolisme des végétaux. Physiologie et biochimie. Ed. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, France. 256 p.

RIEMER D. N. S. J. TOTH, 1968: A survey of the chemical composition of aquatic plants in New Jersey. NJ. Agr. Exp. Stat. Coll. Agric. Environ. Sci. Rutgen Univ. Bull. 820, 14 p.

RODIER J., C. BAZIN, J-P. BROUTIN, P. CHAMBON et H. CHAMPSAUR, L. RODI ; 1991 : L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer

ROUVILLOIS-BRIGOL M., 1975 : Le pays de Ouargla (Sahara Algérienne). Edition département géographique. Paris. Sorbonne. 390 p.

SAGGAI M. M., 2001 : Effet de trois degrés de ciselage combiné et de deux types de pollen sur la production dattière chez deux cultivars GHARS et DEGLET-NOUR dans la région de Ouargla. Mém. Ing. Université de Ouargla. 87 p.

SLIMANI R., 2003 : Contribution à l'étude hygiénique des caractères physico-chimiques et bactériologique des eaux usées de la cuvette de Ouargla et leurs impacts sur la nappe phréatique. Mém. Ing. Université de Ouargla. 85p.

TOTH L., 1972: Reeds control eutrophication of Balaton lake water Res. 6, pp. 1533 – 1539.

ULEHLOVA B., S. HUSAK et J. DUORAK, 1973: Mineral cycles in reed stands of Nesyt Fishpond in southern Moravia Pol. Arch. Hydrobiol. 20 (1), pp. 121-129.

WHITE M. C., A. M. DEKER et R. L.CHANEY, 1981: Metal complexation in xylem fluid. Chemical composition of tomato and soybean stem exudates. Plant Physiol., 67 : pp 292-300.

YETTOU R., 2001 : Guide de lagunage des petites et moyennes collectivités locales au Maroc. 30p.

ANONYME., 1984 : Office national de l'eau ; les plantes aquatiques utiles : les lentilles d'eau ou lemnacées. Utilisation en phyto-épuration ou valorisation. 115p.

ANONYME., 1995: Monographie de la Wilaya de Ouargla. 161 p.

ANONYME, 1997 : « Chocat ». Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, TEC & DOC.

ANONYME a., 1999 : Centre ARICO, MAPAQ. Fiche descriptive des mauvaises herbes du Québec « Guide d'identification des mauvaises herbes du Québec ». Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation.
www.org.gouv.qc.ca/dgpar/arico/ph202-1.htm

ANONYME b., 1999: O.N.S (Office National des Statistiques)

ANONYME, 2000 : Questions sur l'eau. Rev. Pollution et épuration de l'eau. INASEP « Intercommunal Namuroise de Services Publics ».
<http://www.ciger.be/inasep/chap1/inex.shtml>

ANONYME a., 2001: O.N.M (Office National de Météorologie de Ouargla)

ANONYME b., 2001 : La ville de Ouargla : étude d'assainissement des eaux résiduaires pluviale et irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remonté de la nappe phréatique. Mission IA. Reconnaissances et diagnostic de l'assainissement. BG Ingénieurs conseils. 204 p.

ANONYME, 2003 : Traitement des eaux usées domestiques : Test sur les capacités épuratrices du vétiver. RAPPORT FINAL. 06p

ANONYME, 2003: EDEMIAO (Entreprise de Distribution des Eaux Ménagères et Industrielles et assainissement / Ouargla).

ANONYME, 2004 : Direction d'hydraulique de la wilaya de Ouargla (**D.H.W**).

ANNEXE 01 : Les résultats des analyses biochimiques et physico-chimiques des eaux usées (Dispositif expérimental).

Tableau N° 01 : Conductivité électrique (CE (ms/m)) des eaux usées.

Numéro	Décanteur	Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 4	Bac 5	Bac 6
N1	8,38	8,48	8,9	9,15	7,53	7,57	8,69
N2	7,02	8,87	7,35	7,47	7,5	7,63	8,52
N3	7,25	7,57	7,54	7,47	7,55	7,5	8,85
Moyenne	7,55	8,31	7,93	8,03	7,53	7,57	8,69

Tableau N° 02 : Potentiel hydrogène (pH) des eaux usées.

Numéro	Décanteur	Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 4	Bac 5	Bac 6
N1	7,77	7,63	7,83	7,4	7,71	7,74	7,82
N2	7,95	7,3	7,17	7,36	7,49	7,49	7,7
N3	7,74	7,65	7,8	7,91	7,92	7,99	7,94
Moyenne	7,82	7,53	7,6	7,56	7,71	7,74	7,82

Tableau N° 03 : Matière en suspension (MES mg/L) dans les eaux usées.

Numéro	Décanteur	Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 4	Bac 5	Bac 6
N1	555	164,05	83,5	72,5	63,05	21	12,5
N2	1913	1552	731,5	117,5	191	38,1	38
N3	290	150,5	100	96	19	8,6	4
Moyenne	919,33	622,18	305	95,33	91,02	22,57	18,17

Tableau N° 04 : Demande biochimique en oxygène (DBO₅ mg/L) dans eaux usées.

Numéro	Décanteur	Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 4	Bac 5	Bac 6
N1	140	30	20	10	10	10	10
N2	220	20	10	10	10	10	5
N3	60	20	20	10	10	10	0
Moyenne	140	23,33	16,67	10	10	10	5

Tableau N° 05 : Demande chimique en oxygène (DCO mg/L) dans les eaux usées.

Numéro	Décanteur	Bac 1	Bac 2	Bac 3	Bac 4	Bac 5	Bac 6
N1	633,6	496	345,6	276,8	273	264,7	268,8
N2	844,4	460,8	384	364,8	345,6	268,8	164,8
N3	825,6	364,8	345,6	307,2	347,6	268,8	145,3
Moyenne	767,87	440,53	358,4	316,27	322,07	267,43	192,97

**ANNEXE 02 : Paramètres biométriques du *Phragmites communis*. Trinius
Dispositif expérimental**

Tableau N° 01 : Hauteur des tiges (cm).

	Hauteur 1	Hauteur 2	Hauteur 3
Bac1	12	24,25	26
Bac2	12,3	23,56	26,88
Bac3	13,25	28,89	31,65
Bac4	13,2	23,05	37,84
Bac5	12,5	25	46,8
Bac6	12,85	28	48,75

Tableau N° 02 : Nombre de feuilles/tige (moyenne)

	N1	N2	N3
Bac1	2,4	4,2	5,12
Bac2	3,2	5,02	6,14
Bac3	3,3	5,24	6,01
Bac4	4	7	7,11
Bac5	2	5,16	7,06
Bac6	3,2	7,66	8.02

Tableau N° 03 : Longueur des racines (cm)

	Longueur 1	Longueur 2
Bac1	2	6
Bac2	5	5,8
Bac3	4	7,53
Bac4	2	6,87
Bac5	3	8,45
Bac6	4	9,08

Tableau N° 04 : Densité (plantes/m²)

	Densité 1	Densité 2	Densité 3
Bac1	250	186	58
Bac2	250	198	61
Bac3	250	208	66
Bac4	250	194	72
Bac5	250	203	76
Bac6	250	188	80

ANNEXE 03 : Paramètres biochimiques du *Phragmites communis*. Trinius

Dispositif expérimental

Tableaux des teneurs en éléments chimiques dans les tiges et feuilles

	N (ppm)
B1	35000
B2	23500
B3	20000
B4	25500
B5	26000
B6	32500

	Fe (ppm)
B1	35,30
B2	350,506
B3	322,50
B4	176,934
B5	194,251
B6	321,403

	K (ppm)
B1	1200
B2	1700
B3	1600
B4	1300
B5	1600
B6	2500

	Zn (ppm)
B1	5,969
B2	74,25
B3	67,96
B4	36,68
B5	40,6
B6	65,56

	Ca (ppm)
B1	3400
B2	3500
B3	1500
B4	1000
B5	1200
B6	1400

	Cd (ppm)
B1	2,96
B2	1,78
B3	1,95
B4	1,30
B5	1,15
B6	0,37

	Mg (ppm)
B1	1158,75
B2	1461,4
B3	1901,4
B4	1563,2
B5	1346,6
B6	3900

	Ni (ppm)
B1	5,29
B2	7,477
B3	7,954
B4	6,184
B5	5,788
B6	14,132

	Na (ppm)
B1	700
B2	1300
B3	900
B4	600
B5	800
B6	1600

	Pb (ppm)
B1	4,034
B2	5,700
B3	6,063
B4	4,714
B5	4,4190
B6	11,017

**Paramètres biochimiques du *Phragmites communis*. Trinius
Dispositif expérimental**

Tableaux des teneurs en éléments chimiques dans les racines

	N (ppm)
Bac1	9500
Bac2	15000
Bac3	27000
Bac4	25000
Bac5	21000
Bac6	18000

	Fe (ppm)
Bac1	9,310
Bac2	52,947
Bac3	28,345
Bac4	54,180
Bac5	24,414
Bac6	18,508

	K (ppm)
Bac1	1100
Bac2	800
Bac3	1600
Bac4	1600
Bac5	1700
Bac6	1600

	Zn (ppm)
Bac1	11,91
Bac2	91,01
Bac3	99,27
Bac4	50,72
Bac5	41,1
Bac6	32,93

	Ca (ppm)
Bac1	3500
Bac2	7500
Bac3	2300
Bac4	2100
Bac5	1200
Bac6	2200

	Cd (ppm)
Bac1	3,534
Bac2	5,320
Bac3	1,580
Bac4	1,545
Bac5	3,002
Bac6	1,151

	Mg (ppm)
Bac1	4954,5
Bac2	6953,8
Bac3	1697,8
Bac4	1456
Bac5	4104
Bac6	1080

	Ni (ppm)
Bac1	19,273
Bac2	29,005
Bac3	8,614
Bac4	8,422
Bac5	16,372
Bac6	6,28

	Na (ppm)
Bac1	500
Bac2	500
Bac3	900
Bac4	400
Bac5	700
Bac6	1500

	Pb (ppm)
Bac1	19,273
Bac2	29,005
Bac3	8,614
Bac4	8,422
Bac5	16,372
Bac6	6,280

ANNEXE 04 : Paramètres biométriques du *Phragmites communis*. Trinius
Canal de rejet des eaux usées « Bamendil »

Tableau N° 01 : Hauteur des plants (en cm)

	N1	N2	N3
Entrée	160	165	125
Centre	180	260	180
Sortie	223	257	314

Tableau N° 02 : Nombre de feuilles/tige

	N1	N2	N3
Entrée	13	9	14
Centre	17	12	10
Sortie	20	23	19

**ANNEXE 05 : Paramètres biochimiques du *Phragmites communis*. Trinius
Canal de rejet des eaux usées « Bamendil »**

Tableau N° 01 : Conductivité électrique (CE (ms/m)) des eaux usées.

	N1	N2	N3
Entrée	5,62	5,21	6,78
Centre	5,35	5,30	6,70
Sortie	6,45	5,30	6,65

Tableau N° 02 : Potentiel hydrogène (pH) des eaux usées.

	N1	N2	N3
Entrée	7,94	8,01	7,67
Centre	7,55	7,90	7,72
Sortie	7,34	7,57	7,58

Tableau N° 03 : Matière en suspension (MES mg/L) dans les eaux usées.

	N1	N2	N3
Entrée	2432	1726	1850
Centre	1893	996	333
Sortie	461	287	139

Tableau N° 04 : Demande biochimique en oxygène (DBO₅ mg/L) dans eaux usées.

	N1	N2	N3
Entrée	180	270	
Centre	35	100	
Sortie	45	60	

Tableau N° 05 : Demande chimique en oxygène (DCO mg/L) dans les eaux usées.

	N1	N2	N3
Entrée	7296	1920	2534,4
Centre	—	614,4	537,6
Sortie	2073,6	307,2	286,8

**ANNEXE 06 : Paramètres biochimiques du *Phragmites communis*. Trinius
Canal de rejet des eaux usées « Bamendil »**

Tableaux des teneurs en éléments chimiques dans les tiges et feuilles

	N (ppm)	
	N1	N2
Entrée	14908,23	11605,61
Centre	14221,14	10599,94
Sortie	13782,72	7213,83

	Fe (ppm)	
	N1	N2
Entrée	52,92	17,85
Centre	374,414	26,71
Sortie	35,982	15,37

	K (ppm)	
	N1	N2
Entrée	2800	3200
Centre	3000	2800
Sortie	2600	2500

	Zn (ppm)	
	N1	N2
Entrée	45,96	37,03
Centre	94,06	13,38
Sortie	28,37	6,234

	Ca (ppm)	
	N1	N2
Entrée	800	700
Centre	500	500
Sortie	600	800

	Cd (ppm)	
	N1	N2
Entrée	1,7431	0,917
Centre	9,843	1,077
Sortie	1,280	0,773

	Mg (ppm)	
	N1	N2
Entré	1062,8	301,8
Centre	8024	527,6
Sortie	716,4	290

	Ni (ppm)	
	N1	N2
Entrée	4,695	2,471
Centre	26,514	2,903
Sortie	3,448	2,084

	Na (ppm)	
	N1	N2
Entrée	700	1000
Centre	500	700
Sortie	600	500

	Pb (ppm)	
	N1	N2
Entrée	3,579	1,883
Centre	20,210	2,213
Sortie	2,628	1,588

Tableaux des teneurs en éléments chimiques dans les racines

	N (ppm)	
	N1	N2
Entrée	5520,45	19985,52
Centre	4384,99	11891,28
Sortie	18951,07	8043,434

	Fe (ppm)	
	N1	N2
Entrée	61,118	22,39
Centre	225,445	32,724
Sortie	27,190	40,060

	K (ppm)	
	N1	N2
Entrée	1300	2100
Centre	2500	3500
Sortie	3000	3500

	Zn (ppm)	
	N1	N2
Entrée	192,4	335,7
Centre	3779	1201
Sortie	325,7	27,17

	Ca (ppm)	
	N1	N2
Entrée	400	700
Centre	1800	1900
Sortie	700	2300

	Cd (ppm)	
	N1	N2
Entrée	0,753	0,468
Centre	0,710	0,796
Sortie	0,401	0,893

	Mg (ppm)	
	N1	N2
Entrée	929,2	334,8
Centre	379	529,8
Sortie	135,08	649

	Ni (ppm)	
	N1	N2
Entrée	2,58	1,60
Centre	2,433	2,73
Sortie	3,732	3,30

	Na (ppm)	
	N1	N2
Entrée	200	800
Centre	800	1400
Sortie	800	1300

	Pb (ppm)	
	N1	N2
Entrée	4,105	2,552
Centre	3,87	4,343
Sortie	2,185	4,871

ANNEXE 07 :

Tableau N° 01 : Les normes Algériennes de certains paramètres de rejet.

Élément	Unité	Valeurs maximales
DBO ₅	mg/l	30
DCO	mg/l	90
MES	mg/l	30
Température	°C	30
Azote	mg/l	40-50
Phosphate	mg/l	0,002
Détergents	mg/l	01

Source : SLIMANI, 2003

Tableau N° 02: Classe de qualité de salure de l'eau d'irrigation

(Richards, 1969 in PERIGAUD J., 1977)

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau (mmhos/cm)	Sels solubles correspondants estimés en Na Cl (mg/l)
I. Excellente	< 0,25	< 160
II. Faibles salinité	0,25 - 0,75	160 - 500
III. Forte salinité	0,75 - 2,25	500 - 1 500
IV. Très forte salinité	2,25 - 5	1 500 - 3 600

Source : FABY et BRISSAUD, 1997

Tableau N° 03 : Les oligoéléments dans les macrophytes

ppm/matière sèche	Bore	Cadmium	Cuivre	Fer	Manganèse	Molybdène	Plomb	Zinc
<i>Bacopa sp.</i>							2 (28)	
<i>Brasenia chreberi</i>			32,0 (15)					267 (15) 29-116
			15,0 (11)					X = 85,3 (11)
<i>Cabomba caroliniana</i>			135 (11)					750-1000 (11)
			2,5 (11)					
<i>Ceratophyllum sp.</i>						60-90 (27)		
<i>Ceratophyllum deymersum</i>	4,3 (26)	9,12 (28)	30,0 (15)	(8,2-11) x 10 ⁴ (27)				100,0 (15)
	51 à 84 (37)	20 (33)	15,2 (11)	133 à 3559 (36)				164, 1 (11)
			38,8 (27)					174, 2 (27)
			3,5 à 16 (36)					
<i>Chara sp.</i>			725 (28)					
<i>Checodon verticillatus</i>						0.61 (27)		
<i>Eichhornia cranipus</i>		16,2 (28)	43,4 (28)				525 (28)	210 (11)
<i>Eleocharis equisetoides</i>	1,2 (26)							
<i>Eleocharis quadraugulata</i>								20 (15)
<i>Elodea sp.</i>				(0,95-2,9) x 10 ⁴ (11)	2500-5500 (11)			
<i>Elodea canadensis</i>				0,132x10 ⁴ (29)	2440 (29)			
				0,408 x 10 ⁴ (30)				
<i>Eontinalis sp.</i>				(0,85-0,95) x 10 ⁴ (11)				
<i>Feranther dubia</i>					10 ² à 5 10 ² (35)			173 (38)
<i>Hydrilla verticillata</i>								
<i>Huneas effusus</i>	4,5- 51,0 x = 18,8 (26)							
<i>Hemna gibba</i>			30,0 (10)					
<i>Hemna minor</i>	1332 à 1692 (37)		35,8 (11)					500 (11)
			30 ,6 (10)					x = 370 (11)
<i>Hyriophyllum heterophyllum</i>			44,0 (15)	(0,20-3,8) x 10 ⁴ (15, 11)	470-5800 (11,15)			54 (15)
			39,5 (11)					452,6 (11)
<i>Hyriophyllum picatum</i>			117,7 (10)	(1,1-3,2) x 10 ⁴ (11)	470 (30)			142,0 (28)
			25,5 (11)	640 (30)	(0,73-2,0) x 10 ⁴ (11)			307,0 (11)
			29,6 à 47,8 (32)		230 à 362 (32)			242 à 271 (3)

<i>Nitella sp</i>							240 (28)
<i>Nuphar advena</i>			35 (15)				50,0 (15)
			10,2 (11)				32,2 (11)
			51,6 (27)				129,3 (27)
<i>Nuphar luteum</i>			31,0 (31)	260 (29)	760 (29)	0,085 (27)	
<i>Nymphaea alba</i>			38,0 (31)				
<i>Nymphaea odorata</i>	19,3 (26)		36 (31)				32,0 (15)
	62 (27)		8,6 (11)				34,5 (11)
			46,1 (27)				122,9 (27)
<i>Nymphaea tuberosa</i>			10,8 (11)				31,7 (11)
<i>Panicum hemitnom</i>							26,0 (15)
<i>Pragmites australis</i>			26,1 (11)	100-500 (11)	0-200 (11)	87 (31)	40,3 (32)
			25,0 (32)			240 (31)	12,5-65,0 x=37,8 (11)
			52,4 (31)				
			0,8 à 6,1 (36)		31-205 (31)		
<i>Pondetaria cordata</i>			60 (15)				67,0 (15)
			16,3 (11)				26,5 (11)
			47,5 (27)				126,1 (27)
<i>Potamogeton sp.</i>					60-90 (27)		
<i>Potamogeton crispus</i>			58,0 (28)				156,5 (28)
			45,5 (11)				97,1 (11)
<i>Potamogeton direrifelium</i>			36 (15)				60,0 (15)
			25 (11)				73,3 (11)
<i>Potamogeton pectinatur</i>	327 (27)		74,3 (11)				80,5 (11)
			8,4 (32)				60,8 (32)
<i>Potamogeton cf. praelongus</i>	13 (27)			5,9 x 10 ⁴ (27)			
<i>Schoeroplectus lacustris</i>			6 à 43,3 (34)		56-602 (34)	0,17-0,53 (34)	
<i>Sparganium minimum</i>				5620 (29)	3780 (29)		
<i>Spirodela polyrhiza</i>			15,6 (32)				
			16,5 (10)				1000 (32)
			5,0 (11)				23,5 (11)
<i>Typha angustifolia</i>			24,3 (32)				22-45 x=33,4 (32)
			19,1 (31)				
			37,0 (15)				30,0 (15)
<i>Typha latifolia</i>	5,2-100 x=19,8 (26)		6,3 (11)				50,5 (11)
			40,4 (11)	(1,0-2,5)x 10 ⁴ (27)	100-900 (11)		157,0 (11)
<i>Utricularin sp.</i>							
<i>Utricularin inflata</i>	7,6 (26)						108 (15)
<i>Vallisneria americanna</i>			85,0 (28)				233,0(28)
			39,0 (11)				625,0 (11)
<i>Wolffia sp.</i>			2,5 (11)				58,0 (11)
<i>Zizaniopsis miliaceae</i>							97 (23)

15 Boyd (1970_a)
26 Boyd and Walley (1972)
27 Cowgill (1974_a)
28 Laurence (1971)
11 Reimer and Toth (1968)
32 Varen Ko and Chuiko (1971)

10 Allen by (1968)
31 Petkova and Lubyanov (1969)
29 Mayes and Gorham (1951)
30 Nelson and Palmer (1938)
32 Gommès and Muntau (1975)
33 Mayes (1975)

34 Czerwenk and Seidel (1976)
35 Martin and Reid (1976)
36 Guilizzoni (1975)
37 Glandon and Mc Nabb (1978)
38 Mc Lean and Jonnes (1975)

Source : BLAKE et DUBOIS, 1985

Tableau N° 04 : les concentrations moyenne (en ppm) en Manganèse, cuivre et chrome dans différents stations du lac ENDINE.

Stations	<i>Phragmites australis</i>						Sédiments					Eaux		
	Feuilles et tiges			Inflorescences			pH	MO %	Cu	Mn	Cr	Mn	Cu	Cr
	Mn	Cu	Cr	Mn	Cu	Cr								
02	15 (31-70)	6,2 (4,1-8,9)	0,9 (0,5-2,3)	69 (68-69)	19,4 (18,7-20,1)	4,9 (4,4-5,3)	7,4	7,27	200	17,3	5,3	12	<0,05	<0,05
04	143 (125-150)	1,8 (0,8-2,9)	0,8 (0,5-0,9)	34 (32-35)	25,6 (23,1-27,2)	5,7 (4,5-7,6)	7,4	18,75	196	13,4	27	12	<0,05	<0,05
05	146 (126-182)	2,0 (0,9-3,1)	1,1 (0,7-1,5)	68 (65-70)	19,7 (21,3-18,1)	4,1 (4,1-5,3)	7,4	12,63	215	24,0	12,0	15	<0,05	<0,05
07	172 (130-205)	1,7 (1,1-2,0)	1,3 (0,6-2,0)	—	—	—	7,4	7,14	210	15,3	6,7	9,5	9,5	<0,05
10	108 (47-102)	0,6 (0,3-0,8)	0,9 (0,8-10)	—	—	—	7,5	7,23	243	15,0	8,0	12	<0,05	<0,05
12	88 (69-102)	3,7 (1,9-6,1)	1,0 (0,6-1,5)	86 (84-89)	43,0 (41,0-45,0)	10,6 (10,1-11,1)	7,5	30,44	145	19,0	10,5	10	<0,05	<0,05
13	96 (34-132)	4,4 (1,3-6,1)	0,6 (0,4-0,8)	66 (62-69)	20,1 (17,9-22,3)	5,2 (4,8-5,6)	7,5	40,24	185	30,0	12,5	9,5	<0,05	<0,05
15	68 (42-103)	2,1 (1,0-4,2)	0,3 (0,4-1,3)	—	—	—	7,3	7,70	165	24,5	8,0	8,5	<<0,05	<0,05

Source : GUILIZZONI, 1975

Tableau N° 05 : Comparaison des différents procédés

Procédé	surface/HE	entretien	principaux avantages	inconvénients majeurs
lagunage	10 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • curage des boues / 10 ans • faucardage (3) / an • fauche des abords / an 	<ul style="list-style-type: none"> • élimination de la charge microbienne • pas ou peu de consommation d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> • surface importante
filtres roseaux	1,5 à 2 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • faucardage / an 	<ul style="list-style-type: none"> • surface minimale 	_____
jardins filtrants	1 à 5 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • élagage des végétaux • faucardage 	<ul style="list-style-type: none"> • intégration paysagère 	_____
épuration par le sol	10 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • coupe du bois 	<ul style="list-style-type: none"> • production de bois 	<ul style="list-style-type: none"> • surface importante
saulaie	24 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • coupe du bois 	<ul style="list-style-type: none"> • production de bois 	<ul style="list-style-type: none"> • surface importante
station à boues activées	< 1 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • curage des boues • apport de produits chimiques 	<ul style="list-style-type: none"> • surface minimale • traitements poussés 	<ul style="list-style-type: none"> • problème de stockage et d'évacuation des boues • consommation d'énergie

Source : www.archi.fr/CAUE45/Fiches.

Planche 01 : Photographies sur le dispositif expérimental



Photographie N° : Bac du dispositif



Photographie N° : Couche de gravier de petite taille (h : 90 cm)

Photographie N° : La pompe utilisée pour l'alimentation du dispositif

Caractéristiques :
Marque : HISPANOMOTOR
Puissance : 13,5 Ch.
3000 Tours/ mn
Cylindrée : 707 cm³



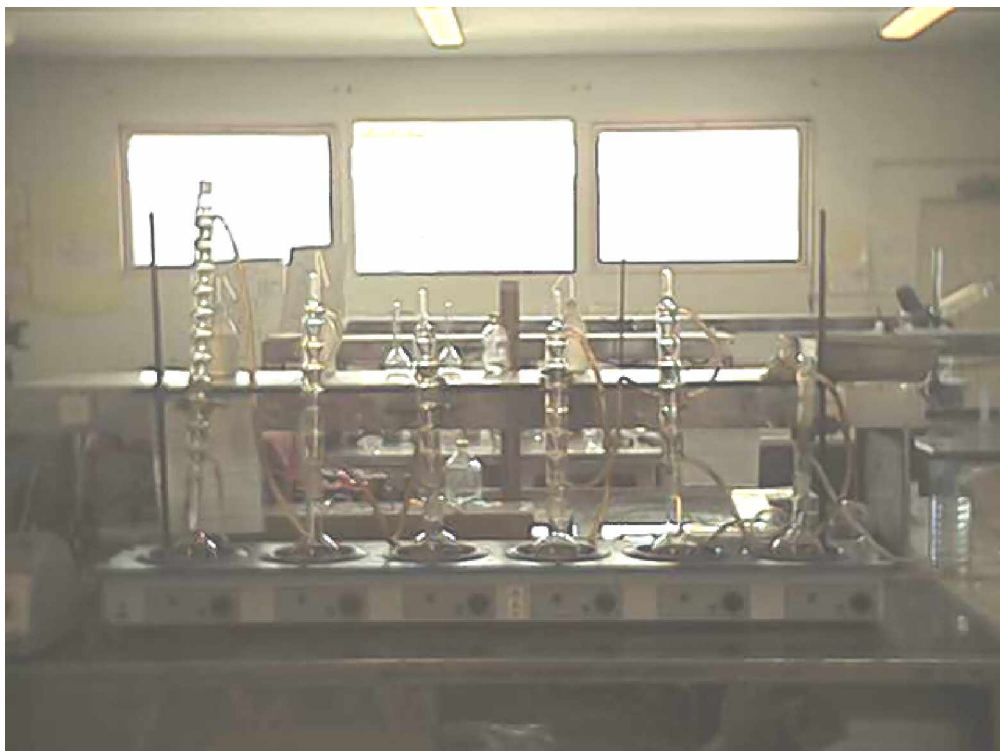
Planche 02 : Photographies sur l'état du canal de « Bamendil »



Planche 03 : Photographies de quelques appareils utilisés dans les analyses.



Photographies N° 01 : Le DBOmètre



Photographie N°02 : Dispositif utilisé pour la détermination de la DCO.