

RÉSUMÉ -

Le présent travail est consacré à l'épuration des eaux usées domestiques ou de latrine par l'intermédiaire des macrophytes

La première expérience a été consacrée à la construction d'une station expérimentale d'épuration des eaux usées où l'on a mesuré les abattements des paramètres physico-chimiques et bactériologiques. L'épuration secondaire est faite par lagunage à macrophytes avec la plante maîtresse *Pistia stratiotes* ; elle est suivie de 3 systèmes d'épuration tertiaire en parallèle : un lagunage à macrophytes avec *Salvinia molesta*, un autre avec *Lemna paucicostata* + *Ceratophyllum demersum* et enfin une filtration sur sable de basalte à macrophytes enracinés.

Dans la dernière partie l'accent a été mis sur une possibilité de valoriser l'importante production de biomasse par fabrication de composts en associant les *Pistia stratiotes* à d'autres déchets notamment de poulailler.

Mots clés : épuration ; eaux usées ; lagunage ; macrophytes ; *Pistia stratiotes* ; biomasse ; compost ; climat tropical.

SUMMARY-

Present work is devoted to domestic and latrine sewage purification using aquatic macrophytes.

First part concerns building of an experimental plant for used water purification where chemical and biological parameters reduction was measured. Secondary level purification is reached by aquatic plants lagooning using *Pistia s.* as major species. It is followed by three channels in series for tertiary treatment : one is a lagooning with *Salvinia molesta*, another is a lagooning with *Lemna paucicostata* and *Ceratophyllum demersum*, The third one is a basalt gravel bed with rooted macrophytes.

The last part describes two ways for the upgrading of the important amount of harvested biomass : compost making with mixtures of *Pistia s.* and other waste

Key words : purification ; waste water ; latrine ; lagooning ; macrophytes ; biomass ; compost ; tropical region ; *Pistia stratiotes* ;

LE LAGUNAGE À MACROPHYTES, UNE TECHNIQUE PERMETTANT L'ÉPURATION DES EAUX USÉES POUR SON RECYCLAGE ET DE MULTIPLES VALORISATIONS DE LA BIOMASSE

Travaux réalisés de 1993 à 1995 au Centre
d'Études et de Recherches sur les Énergies
Renouvelables de DAKAR (CÉRER)

Michel A. MOREL *

Docteur I.N.L.P. - E.I.E.R. 03 BP 7023 Ouagadougou

Mansour KANE

Professeur à l'Université Cheik Anta Diop de Dakar,
Directeur du CÉRER

INTRODUCTION (1)

Les pays d'Afrique et notamment ceux du Sahel, connaissent de graves difficultés d'une part pour l'alimentation en eau et d'autre part pour l'évacuation et le traitement des eaux usées.

Les problèmes sont évidemment plus importants dans les centres urbains et sont dus à la combinaison de plusieurs événements.

En premier lieu les faibles ressources en eau disponibles dans les pays sahéliens, puis la forte croissance démographique estimée à 3 % en moyenne ; mais compte tenu de l'exode rural, la croissance des populations des villes est de 7 % par an environ. Cependant, le point le plus important semble être la quasi inexistence de l'assainissement dans les pays en voie de développement :

- 78 % des villes africaines ne disposent d'aucun service formel d'évacuation et de traitement des eaux usées,
- 90 % des villes africaines n'ont pas de drainage des eaux pluviales,
- 85 % des villes africaines n'ont

pas de service de collecte des déchets solides.

Les conséquences de ce "non" assainissement sont très graves : 51 % des pays connaissent une pollution de l'environnement sévère. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime que 80 % des maladies graves sont dues à l'insuffisance de la qualité des eaux mises à disposition des populations et au manque d'assainissement ; 37% des diarrhées infantiles morbides pourraient être évitées si l'assainissement et le traitement des eaux existaient.

Avant les indépendances, les centres urbains, peu peuplés, ont été équipés de réseaux d'évacuation calculés, en général avec les normes françaises, qui ont été raccordés à des stations de traitement copiées sur le modèle européen, c'est-à-dire mécanisées, alors que les quartiers périphériques en plein développement ont été totalement oubliés. On peut se rendre compte aujourd'hui que seulement 25 % des stations à boues activées, construites à partir des années 60, fonctionnent de

(1) Les chiffres cités dans cette introduction sont tirés du rapport fait pour le 7^e congrès de DAKAR de février 94 de l'Union Africaine des Distributeurs d'eau (UADE/OISeau). Ces chiffres n'ont malheureusement pas beaucoup évolué dans le bon sens !

manière satisfaisante. La maintenance de ces stations et la gestion des réseaux qui y sont rattachés coûtent des fortunes.

Le deuxième point important est, dans une large majorité, l'insuffisance de l'éducation sanitaire des populations. Elles ne se rendent pas compte des dangers, surtout pour leurs enfants, du manque d'assainissement et n'ont pas elles-même un comportement sanitaire satisfaisant du fait de leur ignorance quasi totale des modes de transmissions des maladies.

La Rome antique, avec son collecteur d'eaux usées a pu éradiquer les grandes endémies telles que peste et choléra.

Aujourd'hui force est de constater que le développement des pays industrialisés a coïncidé avec l'assainissement des grands centres urbains. Assainir la ville répond donc à une logique économique.

D'autre part les rejets des déchets dans la nature peuvent conduire à une pollution du peu des ressources en eaux disponibles.

Désormais les pays du Sahel sont "pris à la gorge" par le manque de ressources en eau et par leurs déchets.

Si l'on sait qu'au niveau mondial, les ressources en eau sont utilisées à 70 % pour l'irrigation, 23 % pour l'industrie et seulement 7 % pour les populations, l'on comprendra que les pays du Sahel, un jour ou l'autre, devront en passer par le recyclage ou la réutilisation des eaux usées. En effet avec la raréfaction des eaux potables, le recyclage des eaux usées utilisables pour l'irrigation non restrictive permettra de disposer de plus d'eau potable pour les populations.

Il semble qu'il soit très important de s'attacher à étudier des systèmes peu coûteux et naturels, adaptés aux climats tropicaux, permettant de recycler les eaux usées domestiques

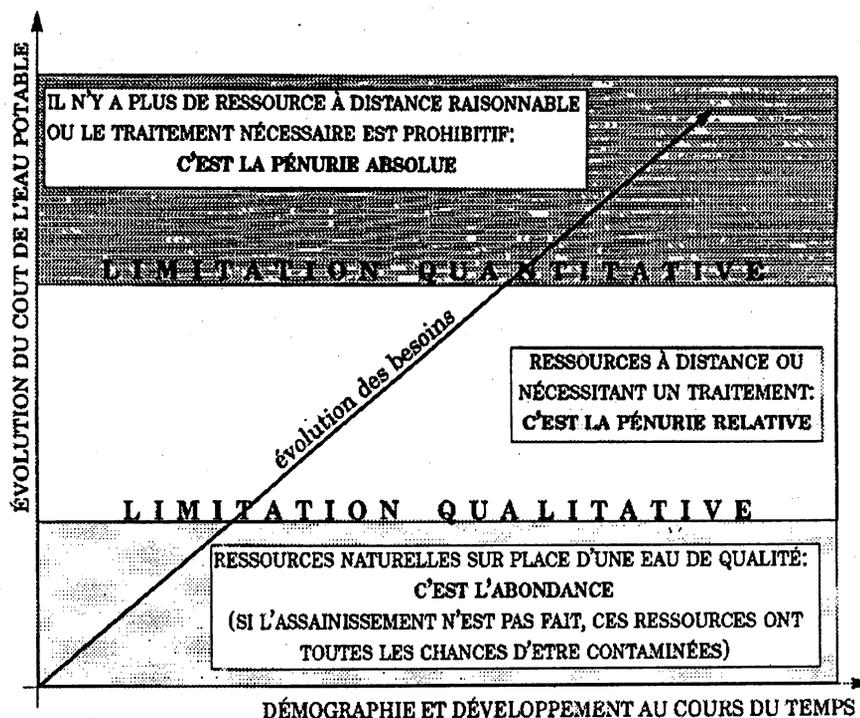


Fig. 1 : Évolution du coût de l'eau en fonction de la croissance des besoins (d'après RUMEAU).

Une étude comparative du lagunage à microphytes et du lagunage à macrophytes permet de voir que ce dernier semble plus performant sous climat tropical.

Le lagunage naturel dit lagunage à microphytes

Un lagunage naturel est un procédé de traitement biologique des eaux usées se faisant dans des bassins où est maintenue une tranche d'eau de 0,8 à 1,5 m. Les microphytes, qui sont des algues, les petits animaux (protozoaires, rotifères, crustacés) et les bactéries, en présence d'oxygène, vont transformer les charges polluantes et stabiliser les boues. Les bactéries anaérobies jouent le même rôle dans les sédiments.

A priori le fonctionnement semble très simple, mais en réalité les écosystèmes sont d'une redoutable complexité et à l'heure actuelle, beaucoup de problèmes n'ont pas encore trouvé de solution.

Les facteurs climatiques ont une importance prépondérante dans le fonctionnement et deviennent malheureusement moins favorables sous climat tropical.

* La forte luminosité permet une grande production d'algues.

* La température est élevée : elle agit directement sur les vitesses de réactions biochimiques et a une forte influence sur le rendement global. L'optimum du rendement est entre 15 et 20°C (la température des rejets en Afrique n'est comprise dans cette fourchette qu'en décembre, janvier, février, sinon ils sont à environ 27°C) ce qui implique un risque d'eutrophisation: "Malaïgue"(1) que l'on observe souvent pendant les étés méditerranéens.

* Le vent est violent à certaines saisons : S'il est nécessaire pour le brassage des eaux en surface afin d'éviter une stratification trop importante, il favorise les transports de poussières et l'évaporation de l'eau.

* Le temps de séjour est long : Il est sous climat tropical de 20 à 30 jours si bien que la place occupée par le système (10 m² par équivalent-habitant d'après la norme Européenne) est importante. De plus les odeurs du premier bassin obligent à installer le

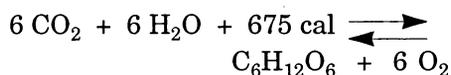
(1) mauvaise eau en occitan

lagunage à plusieurs centaines de mètres des habitations. Il faut donc employer des collecteurs de gros diamètres chers à l'achat et à l'entretien.

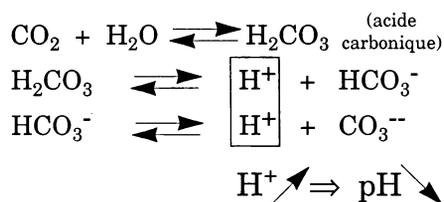
* L'oxygène dissous varie entre le jour et la nuit :

C'est le paramètre le plus important, puisque c'est en présence de cet oxygène que les bactéries aérobies pourront transformer les matières organiques en boues, sels minéraux et gaz. Cet oxygène dissous se situe dans les **30 premiers centimètres de la tranche d'eau environ**. Il y a bien sûr un échange gazeux au niveau de l'interface air/eau mais il reste bien inférieur à l'oxygène produit par l'activité photosynthétique des algues.

Le jour, les algues consomment le CO₂ dissous et produisent de l'oxygène; c'est la photosynthèse ; le pH monte.



La nuit, les algues consomment de l'oxygène dissous et libèrent du CO₂; c'est la respiration; le pH baisse.



L'oxygène dissout suit un cycle où il monte le jour et baisse la nuit. Si, compte tenu des conditions climatiques (certainement des jours précédents), cet oxygène est totalement consommé la nuit et arrive à zéro, toutes les microalgues vont mourir ainsi que le zooplancton et le cycle ne pourra pas redémarrer ; c'est le phénomène d'eutrophisation, les eaux ne sont plus épurées, les fermentations deviennent anaérobies et développent des mauvaises odeurs (H₂S, NH₃ ... et dérivés).

* L'envasement des bassins est inéluctable :

la production d'algues Y_a, en kg/ha/j est liée directement à la luminosité par la relation :

$$Y_a = 0,125 \eta \cdot I$$

I l'intensité de l'énergie lumineuse en cal/cm²/j

η le rendement de conversion de la lumière

(0,5 ≤ η ≤ 0,6) relation d'OSWALD (1963) cité par GLOYNA (1972).

Nous constatons que le développement des algues va être très important en surface et les nouvelles algues vont pousser les anciennes vers le fond où, faute d'oxygène, elles vont mourir ; ceci provoque la formation de boues lourdes et le relargage des sels minéraux. L'envasement des bassins est donc inéluctable.

* La réutilisation des eaux épurées pose des problèmes :

à la sortie du lagunage, les eaux sont débarrassées en partie des matières organiques et ont une épuration bactérienne satisfaisante mais elles sont très chargées en microalgues vivantes et mortes et en sels minéraux. La réutilisation est donc problématique pour l'irrigation restrictive et la recharge des nappes phréatiques puisque ces eaux colmatent les

systèmes d'irrigation et les sols par leurs matières en suspension.

Le lagunage à macrophytes

Apparu à SAN DIEGO aux ÉTATS UNIS en 1981, il a été adapté à l'Afrique (à YAOUNDÉ) à l'aide de macrophytes flottants (*Pistia stratiotes*) en 1986 (CHARBONNEL Y. et SIMO A. brevet O.A.P.I.). Il comprend deux phases :

- une décantation-digestion anaérobie
- un lagunage à macrophytes.

Décanteur-digesteur

Les eaux usées sont dirigées dans une simple fosse étanche dite décanteur-digesteur. Les matières solides non liquéfiables remontent à la surface et forment une croûte flottante qui au bout d'une quinzaine de jours est suffisamment importante pour empêcher l'introduction de l'oxygène de l'air et la propagation des mauvaises odeurs ; il est possible d'activer la formation de cette croûte en mettant à la surface de l'eau, de la paille, des brindilles ou de copeaux de bois. les gaz malodorants (H₂S) sont oxydés par des bactéries lorsqu'ils diffusent à travers la croûte. Les plantations d'espèces semi-aquatiques améliorent

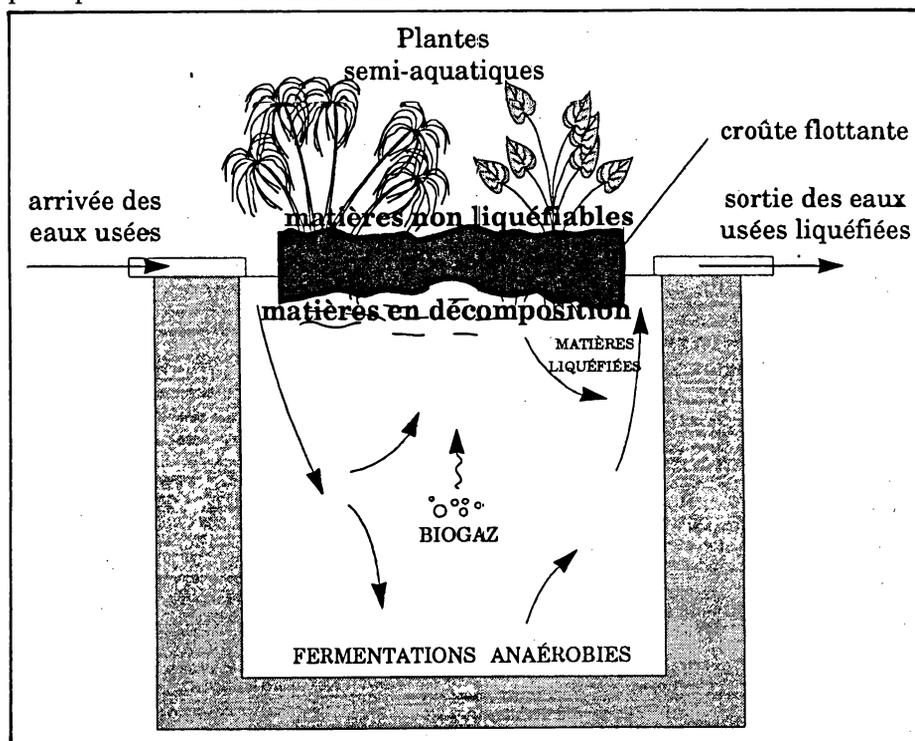


Fig. 2: Traitement primaire; fonctionnement du décanteur-digesteur.

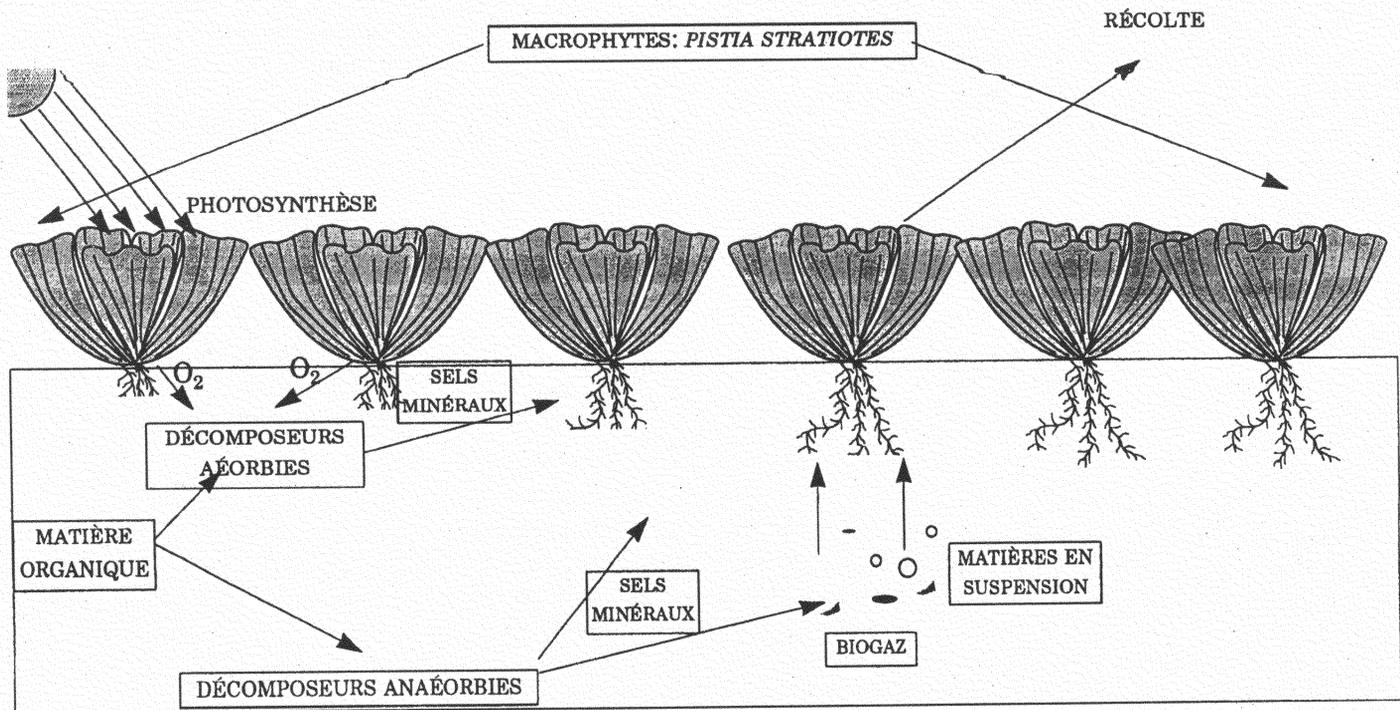


Fig. 3 : Traitement secondaire : fonctionnement du lagunage à macrophytes.

encore la désodorisation et rend l'ensemble plus esthétique. Les matières piégées sous la croûte se liquéfient progressivement et sont entraînées par le courant liquide. La digestion anaérobie des matières organiques est amorcée avec une production limitée de biogaz.

Le temps de séjour est de quelques heures ; le volume du décanteur-digesteur doit être compris entre le dixième et le vingtième du volume journalier à traiter.

Lagunage à macrophytes

Les eaux passent ensuite dans les bassins de lagunage couverts de plantes aquatiques flottantes. La plante la mieux adaptée au climat tropical africain est *Pistia stratiotes*. Le traitement devient aérobie dans la rhizosphère (autour des plantes) et continue à dégrader la matière organique ; les décomposeurs anaérobies du fond produisent des bulles de biogaz qui adhèrent aux particules organiques en suspension dans l'eau, les allègent et les font remonter à la surface où elles sont piégées dans les racines des plantes. Les *Pistia stratiotes* libèrent suffisamment d'oxygène par leurs racines, leurs

feuilles en contact avec l'eau et les stolons pour que vivent dans leur entourage des bactéries aérobies et des invertébrés qui se nourrissent de la boue organique pour la transformer en sels minéraux. Ces sels minéraux servent au développement des plantes ; il y a sensiblement doublement de la biomasse tous les 10 jours. En récoltant régulièrement les plantes tous les 2 ou 3 jours, on extrait les boues accumulées dans les racines et les organismes vivants. La hauteur d'eau dans les bassins est limitée à 0,7 m.

À ce niveau, les avantages de ce procédé d'épuration sont considérables par rapport au lagunage naturel :

- Le décanteur-digesteur permet de piéger une grande partie des boues qui remontent à la surface et se transforment en humus ou bien sont piégées sous cette surface où elles sont liquéfiées. De plus il retient les métaux lourds et les sulfures.
- Grâce aux bactéries anaérobies qui produisent des microbulles de biogaz, la remontée des boues est quasi complète et évite le curage périodique des bassins.
- La croûte du décanteur-digesteur et la culture serrée de *Pistia* empêche la propagation des odeurs.

- le temps de rétention étant de 8 à 10 jours, la surface occupée par le système est 3 à 4 fois inférieure à celle occupée par un lagunage naturel.

- la culture serrée de *Pistia* empêche le développement des algues (elles se développent au détriment des organismes sous-marins) et supprime le risque d'eutrophisation ; en effet pendant la photosynthèse la journée, les *Pistia* n'utilisent que le CO_2 de l'atmosphère, diffusent de l'oxygène dans l'eau par leurs racines et leurs feuilles en contact avec l'eau et pendant la phase de respiration la nuit, les *Pistia* consomment l'oxygène de l'air.

Les paramètres physico-chimiques de l'eau varient peu entre le jour et la nuit.

- les performances sont équivalentes ou supérieures à celles d'une station mécanisée à boues activées.
- la production de biomasse, 2 500 tonnes de matières fraîches/ha/an avec 2 récoltes par semaine (80 t de matière sèche à 20 % de protéine), permet de multiples valorisations.
- les eaux épurées sont débarrassées de 95 % de leurs matières en suspension et ne colmatent pas les sols et les arroseurs dans leurs réutilisations.

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES - MATÉRIELS ET MÉTHODES

La station de lagunage à macrophytes qui a été construite est destinée à traiter les eaux usées. Elle a été l'objet de deux expérimentations : la première expérimentation a traité des eaux usées domestiques d'une douche et de deux WC, la deuxième a étudié le traitement des eaux de latrine.

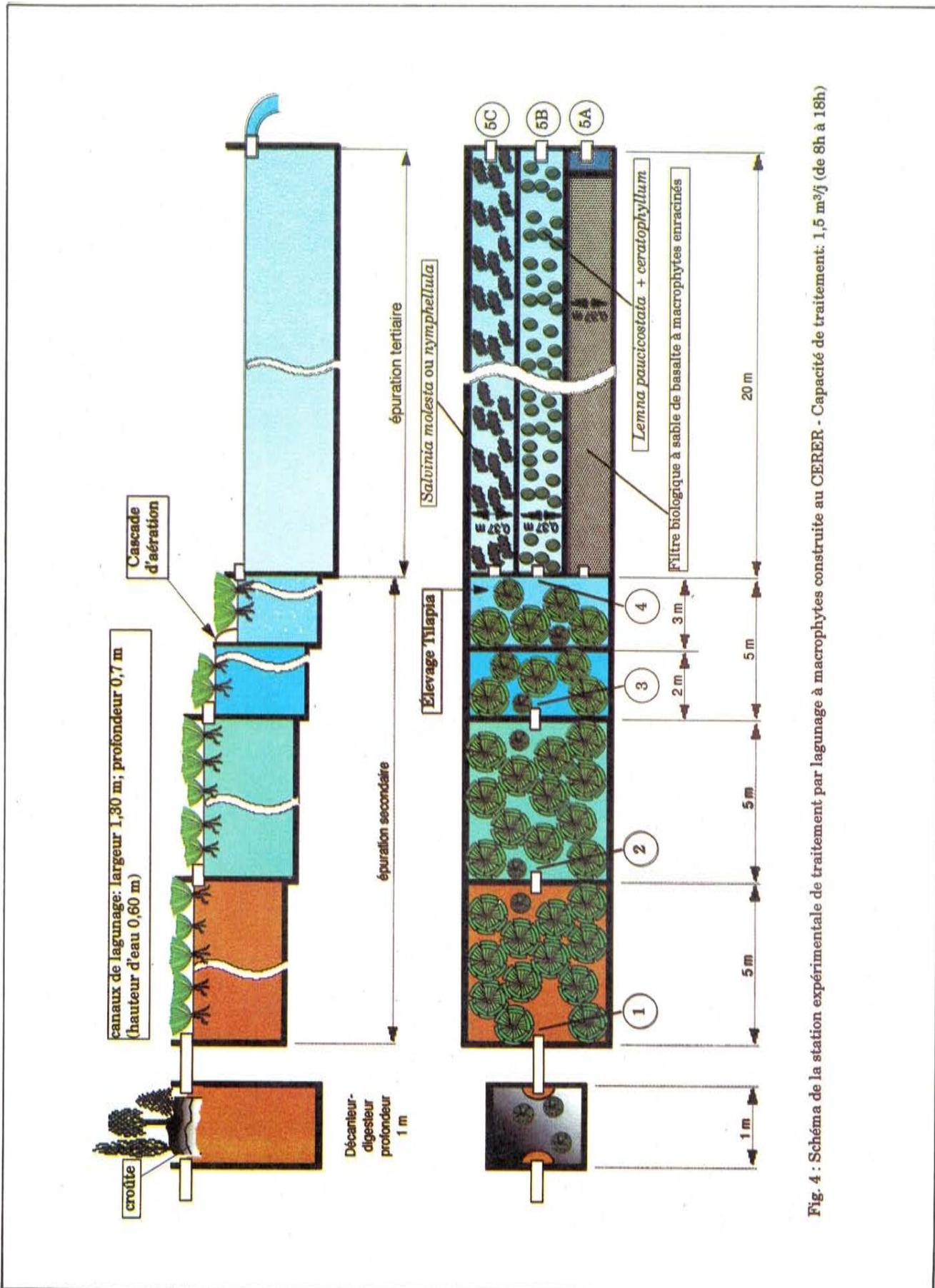


Fig. 4 : Schéma de la station expérimentale de traitement par lagunage à macrophytes construite au CERER - Capacité de traitement: 1,5 m³/j (de 8 h à 18 h)

Fig. 4 : schéma de la station expérimentale de traitement des eaux usées par lagunage à macrophytes construite au CERER - capacité de traitement: 1,5 m³/j (de 8 h à 18 h pour les eaux de latrine).



Photo 1 : Le décanteur-digesteur avec la croûte plantée en Marsilea.



Photo 2 : Vue d'ensemble du lagunage à macrophytes. Au 1^{er} plan les 3 canaux en série de l'épuration secondaire. Au second plan les 3 canaux en parallèle pour l'étude de l'épuration tertiaire et notamment de l'abattement bactérien.

Résultats expérimentaux

Les traitements doivent être poussés le plus loin possible par des procédés naturels, en excluant tout ajout de produits chimiques.

Le système mis en place comprend :
- une épuration secondaire (CHARBONNEL Y. et SIMO (1987))
- 3 procédés d'épuration tertiaire en parallèle.

Pour la deuxième expérience, un camion cuve de 5 m³ a été immobilisé sur le site ; une Société venait nettoyer et recharger ce camion tous les 3 jours. Notons que les *Salvinia* et les *Lemna* n'ont pu être maintenus ; l'épuration tertiaire se résume à la filtration sur sable de basalte à macrophytes enracinés.

Analyses des Eaux

Il a été prévu, aux 7 points stratégiques du lagunage (précisés de 1 à 5C sur la figure 4), les analyses suivantes :

- Analyses physico-chimiques : DCO ; DBO₅ ; MES ; Ammonium ; Nitrite ; Nitrate ; Orthophosphate ; pH ;
- Analyses bactériologiques : Coliformes totaux ; Coliformes fécaux ; streptocoques fécaux.

Pour les eaux usées domestiques les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été faites dans les laboratoires de la Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal (SONEES).

Pour les eaux usées de latrines, les analyses physico-chimiques ont été faites dans les laboratoires de l'ORSTOM (DAKAR HANN) et les analyses bactériologiques dans les laboratoires de l'École Inter-État des Sciences et Médecine Vétérinaire de DAKAR (E.I.S.M.V.).

Valorisation de la biomasse

Seule la fabrication de compost est présentée ici, mais les possibilités de valorisations sont multiples. Les analyses de compost ont été faites par le laboratoire Sols et Environnement de l'E.N.S.A.I.A. de NANCY.

Eaux usées domestiques

L'irrégularité de l'utilisation des sanitaires s'est soldée par de grandes variations sur les teneurs en éléments des eaux usées. Plutôt que de présenter les différents paramètres en valeurs absolues, qui ne veulent plus dire grand chose, il est préférable de présenter les pourcentages d'abattement tout au long du traitement car quelle que soit la valeur de départ du paramètre, l'abattement a toujours été sensiblement le même.

Abattement de la DCO et de la DBO₅

La figure 5 montre que les abattements de la DCO et de la DBO₅ sont très élevés et de toute façon plus importants que ceux obtenus avec une station d'épuration mécanisée à boues activées.

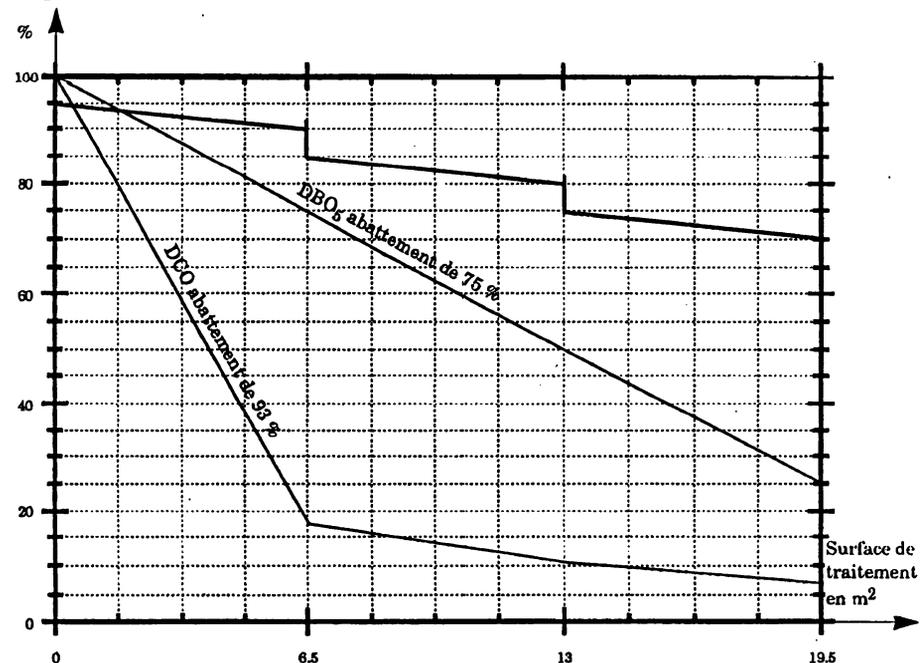


Fig.5 : premières analyses SONEES (30/05/94).
Les épurations tertiaires ne sont pas encore en service.



— Build Africa —

ENTREPRISE GENERALE

- BATIMENT
- TRAVAUX PUBLICS
- AMENAGEMENTS URBAIN & RURAL
- BARRAGES
- INFRASTRUCTURES DIVERSES

Dorénavant, le label de qualité pour toutes vos réalisations.

Siège social :

Cité An IV A - 01 BP 1755 Ouagadougou 01
Tél. 30 37 45 - Fax 30 37 43

Succursale :

01 BP 2505 Bobo-Dioulasso 01
Tél. 97 15 79

Compétence & Qualité

Cette figure 6 montre que l'abattement de la DCO est de 75 % pour l'épuration secondaire et encore de 10 % pour l'épuration tertiaire avec le filtre biologique de sable de basalte à macrophytes enracinés qui semble le plus efficace.

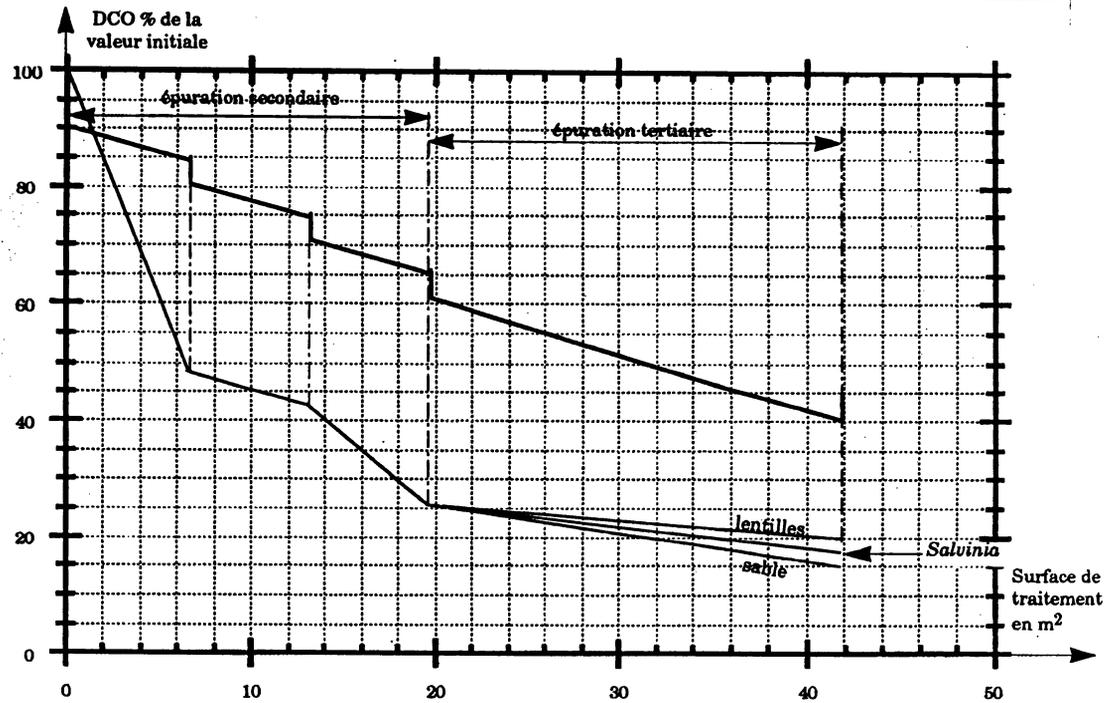


Fig.6 : analyses SONEES (30/06/94). Eaux usées domestiques.

Abattement de l'azote et de ses dérivés

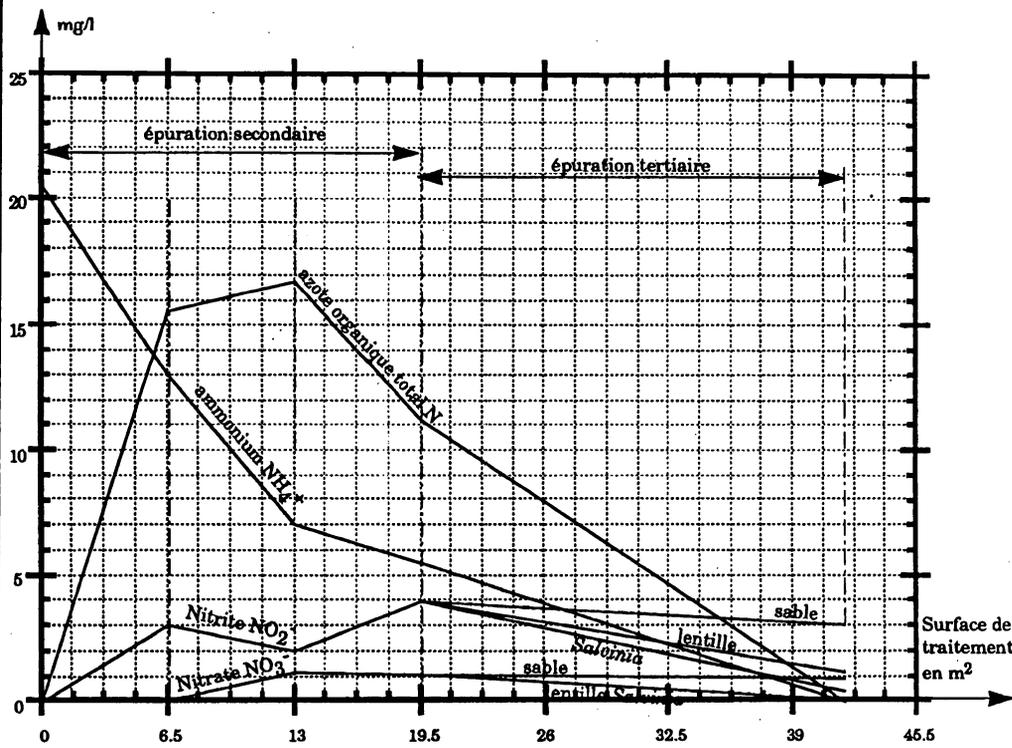


Fig.7 : analyses SONEES (30/06/94). Eaux usées domestiques.

L'azote organique total N est au départ sous forme solide organique (polyamines, acides aminés, protéines...), il se dissout et augmente dans les deux premiers bassins pour diminuer dans le 3^e et disparaître totalement lors de l'épuration tertiaire.

L'ammonium NH_4^+ diminue tout au long du traitement pour disparaître totalement ; il se transforme en nitrite NO_2^- puis en nitrate NO_3^- qui sont absorbés par les plantes. Nous pouvons constater l'importance des *Salvinia molesta* pour faire disparaître les dérivés azotés dissous dans l'eau.

Abattement des matières en suspension-Désodorisation

L'abattement des matières en suspension est de 90 à 95 % pour l'épuration secondaire et total après le filtre biologique à sable de basalte. Le traitement tertiaire par lagunage avec *Salvinia molesta* n'améliore pas l'abattement. La désodorisation est totale après ces deux filières.

Le traitement tertiaire par lagunage avec *Lemna paucicaustata* n'améliore pas non plus l'abattement des particules en suspension et de plus fait conserver à l'eau une légère odeur caractéristique des eaux usées.

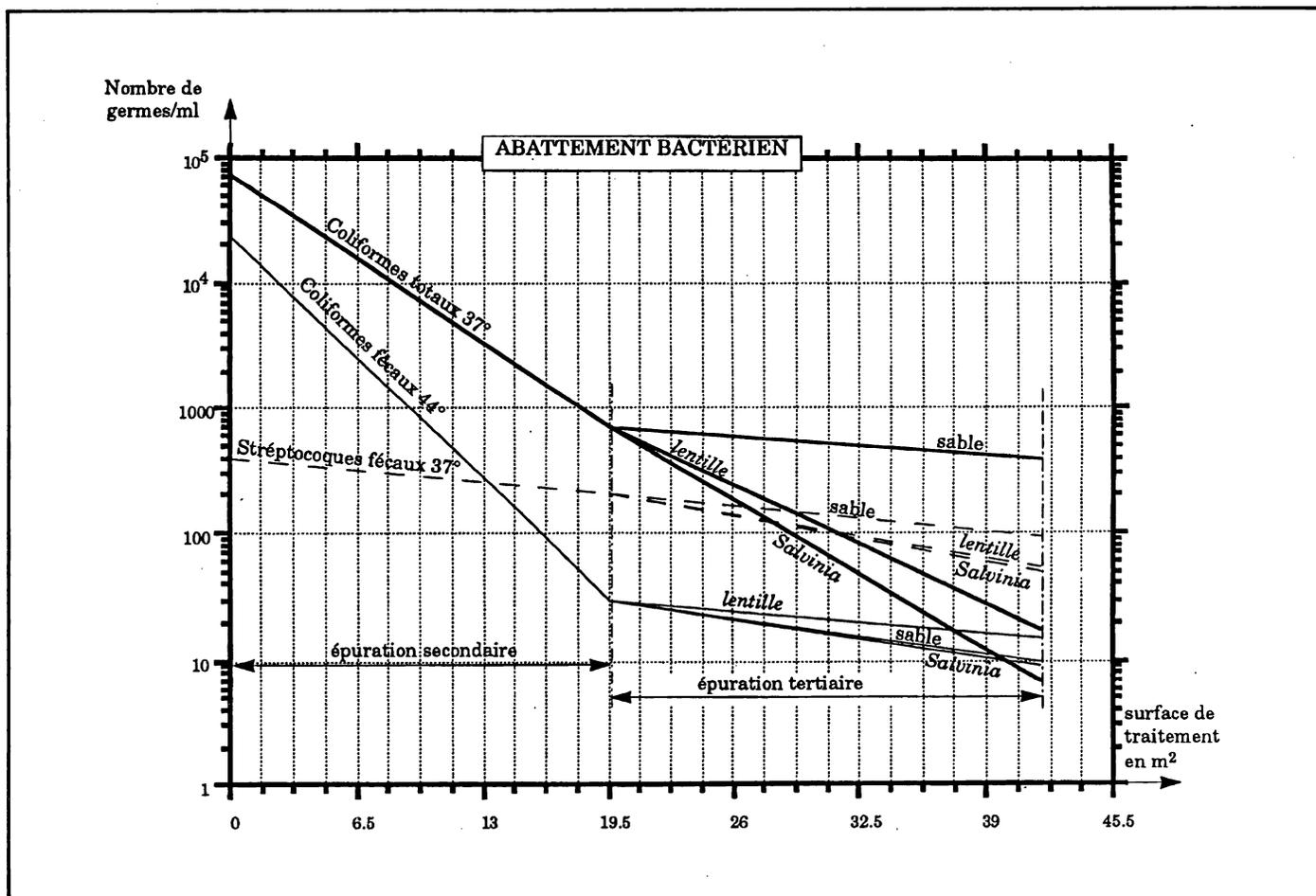


Fig. 8 : Analyses SONEES du 23/06/94 - Eaux usées domestiques (début de la croissance des végétaux sur le filtre).

Abattement bactérien

Globalement :

- les coliformes totaux sont abattus de 4 unités logarithmiques
- les coliformes fécaux sont abattus de 3 unités logarithmiques
- les streptocoques fécaux sont abattus de 1 unité logarithmique.

L'épuration tertiaire est très efficace vis-à-vis des coliformes totaux (abattement de 2 unités logarithmiques). Nous remarquons également l'importance des *Salvinia molesta* qui dans tous les cas provoquent le meilleur abattement. En revanche, le traitement semble peu efficace contre les Streptocoques fécaux.

La connaissance de ces paramètres est très importante pour la réutilisation des eaux en irrigation.

Eaux usées de latrines

80 % de l'assainissement de Dakar et de ses banlieues est individuel. Aujourd'hui, on estime que les camions de vidange extraient plus de 1 500 m³/jour sans qu'aucun point de rejet n'ait été aménagé pour ces camions. Il s'ensuit évidemment une importante pollution. L'idée est donc de voir s'il est possible de traiter les eaux septiques par lagunage à macrophytes auquel cas, de tels lagunages pourraient être aménagés pour les déversements

(obligatoires) des camions de vidange.

A priori, les analyses faites par le service assainissement de la Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal (SONEES) sur des eaux septiques, montrent que le lagunage à macrophytes semble possible après décantation des boues lourdes minérales et organiques. En moyenne, une eau septique est caractérisée par une DCO de l'ordre de 2 000 mg/l et une DBO₅ d'environ 525 mg/l. Or après

une décantation de 2 heures, la DCO du "surnageant" chute à 450 mg/l ; il est donc à priori possible de traiter ce surnageant à l'aide des plantes aquatiques qui peuvent supporter une DCO de 800 mg/l environ. L'aspect de cette épuration comporte deux volets :

- le traitement des eaux décantées,
- le traitement des boues lourdes.

De 8 heures à 18 heures, 1 m³/jour d'eaux usées décantées sont injectées

dans le lagunage à macrophytes par le décanteur-digesteur.

Le traitement des boues n'a pas été étudié; un camion venait les vidanger tous les 3 jours pour les évacuer.

Il a été constaté que les *Pistia* supportaient très bien cette eau décantée en devenant plus vertes, et que les tilapias (à la fin de l'épuration secondaire) étaient en bonne santé.

Les caractéristiques des eaux de fosses sont différentes d'un camion à l'autre, aussi il n'est pas possible de présenter de résultats standards. Cependant les traitements secondaire et tertiaire sont efficaces et présentent sensiblement les mêmes pourcentages d'abattelements que pour l'épuration des eaux usées domestiques. Il convient cependant de signaler le risque d'introduction (très néfaste) dans le lagunage d'hydrocarbures à la suite de vidanges de latrines proches de stations service.

Il est remarquable de noter que le lagunage pratiquement inefficace contre les streptocoques fécaux au début de sa mise en service (voir figure 8), provoque un an après un abattement de ces germes de 5 unités logarithmiques sans doute à cause de la croissance des végétaux.

Valorisation de la biomasse

Les *Pistia stratiotes* cultivées sur eaux usées peuvent contenir jusqu'à 25 % de protéines ; la production est de 2 500 tonnes de matière fraîche par hectare et par an avec 2 récoltes par semaine (une station de 10 000 m² traiterait environ 875 m³/j). Les possibilités de valorisations sont donc multiples et restent à étudier pour la plupart des cas (Alimentations animales, aquaculture, biogaz, extraction des protéines de feuille, compost...).

Il n'est présenté ici que les résultats des essais de fabrication de compost ; le tableau 1 d'analyses montre que les composts sont équilibrés. Les courbes de températures obtenues sont présentées pour le cinquième essai de fabrication de compost avec des *Pistia stratiotes* ayant poussées sur eaux de latrines associées à différents déchets notamment du poisson séché stocké en sacs depuis plus de 5 ans.

Tab. 1 : Résultats des analyses de composts ENSAIA contrôlés par SADEF (décembre 95).

	<i>Pistia</i> + aiguilles filao + 1 tronc bananier + eau	<i>Pistia</i> + déchets poulaillier + feuilles + eau	<i>Pistia</i> + <i>Typha</i> + déchets poulaillier + feuilles sèches + eau	<i>Pistia</i> + <i>Typha</i> + déchets poulaillier + feuilles sèches + eau	<i>Pistia</i> + poissons séchés + feuilles sèches + eau
Matière sèche	90,8 %	69,2 %	70,9 %	76,6 %	78,2 %
pH	7,39	7,16	7,33	6,84	6,59
Matières organiques	281	187	196	192	223
Carbone Anne C	118	121	107	91,6	97,6
Azote Kjeldahl N	11,0	8,82	10,1	8,90	11,3
C/N	10,8	13,8	10,5	10,3	8,66
Phosphore totale P ₂ O ₅	15,2	9,17	9,39	9,70	11,6
Potassium total K ₂ O	4,26	5,39	5,55	5,29	3,92
Calcium total CaO	38,0	20,8	21,8	21,3	26,8
Magnésium total MgO	7,03	4,58	4,75	3,96	4,43
Cuivre Cu	0,068	0,0467	0,0622	0,0288	0,0739
Zinc Zn	0,293	0,177	0,179	0,151	0,279

en g/kg de MS

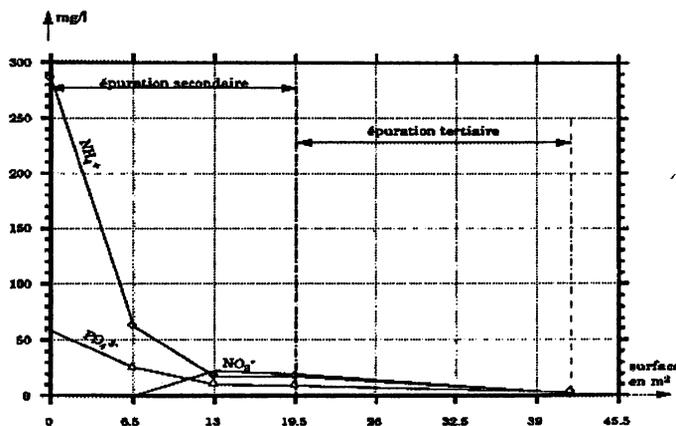


Fig. 9 : analyses de l'ORSTOM. Eaux usées de latrine.

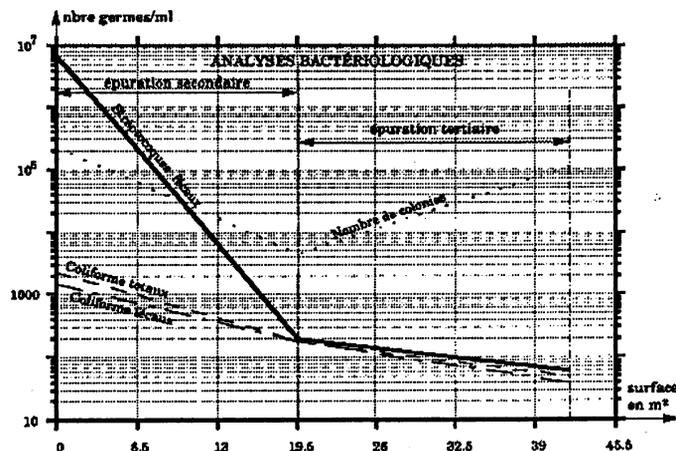


Fig. 10 : analyses E.I.S.M.V. Eaux usées de latrine.

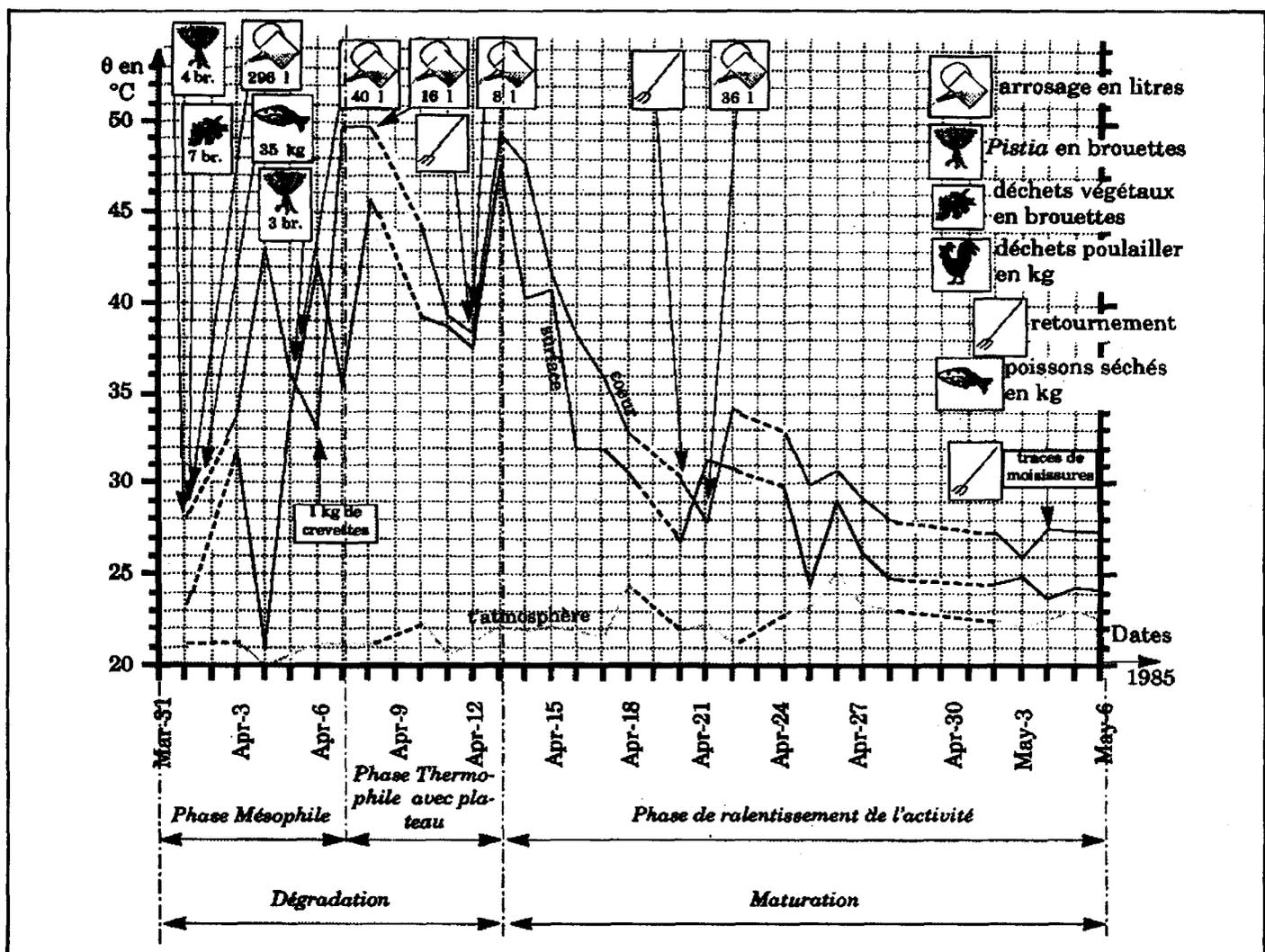


Fig 11 : 5^e Essai de compost, courbes de températures ; association des *Pistia* avec des déchets végétaux et du poisson séché (il n'est évidemment pas classique de rajouter des composants, en dehors de l'eau, dans les 15 premiers jours, mais la production de biomasse du lagunage ne permettait pas de construire un tas suffisamment gros en une seule fois).

CONCLUSIONS

Le traitement des eaux usées par lagunage à macrophytes peut être conçu au niveau d'une famille pour traiter 500 l/j ou au niveau d'un lotissement par exemple pour épurer 100 m³/j. Il ne réclame aucune énergie et aucun produit chimique. La main d'œuvre nécessaire est peu qualifiée (un "manœuvre-jardinier" à plein temps par 40 m³/j de traitement). Le traitement secondaire des eaux usées par lagunage à macrophytes est connu et utilisé depuis les années 80. Les analyses obtenues sont en concordance avec celles trouvées sur d'autres stations. Il est possible d'élever des tilapias dans le dernier bassin d'épuration (démoustillage biologique et production alimentaire). L'originalité de ces travaux a

consisté à poursuivre le traitement avec 3 épurations tertiaires en parallèle avec un temps de rétention de 8 à 9 jours. Les résultats et les enseignements de ces travaux sont importants et très encourageants.

En ce qui concerne le traitement des eaux usées domestiques, il est d'abord frappant de remarquer que le lagunage avec *Salvinia molesta* a donné les meilleurs abattements des nitrites, des nitrates et bactériens. Cette plante est importante au niveau de l'épuration tertiaire. Pour la troisième filière, il faut remarquer l'importance des macrophytes enracinés sur le filtre biologique à sable de basalte puisque l'efficacité des abattements bactériens est fonction du développement atteint par les plantes.

Remarquons enfin que les possibilités de productions florales d'un filtre biologique à sable sont importantes et peuvent être exploitées.

Les eaux usées de latrine peuvent être également traitées par lagunage à macrophytes sous réserve qu'elles aient été décantées (1 à 2 heures) pour séparer les boues lourdes minérales et organiques. En ce qui concerne le lagunage du surnageant, l'épuration tertiaire s'est résumé à la filtration sur sable de basalte à macrophytes enracinés avec un temps de séjour d'environ 5 jours. Malgré le temps de séjour raccourci, et compte tenu de l'amélioration des performances du filtre, il a été observé de très bons résultats avec des abattements conséquents comparables à ceux obtenus pour les eaux usées

domestiques. Cependant il faut être conscient que les risques de dysfonctionnement d'une telle station sont importants et qu'il convient de l'équiper des sécurités nécessaires.

La Valorisation de la biomasse est un des aspects les plus importants de ce système d'épuration. Compte tenu de la teneur en protéines des *Pistia stratiotes* ayant poussé sur eaux usées (sensiblement 20 % de la matière sèche) et de la haute production en plantes d'un lagunage à macrophytes, les possibilités de valorisation sont multiples et leurs intérêts financiers ne sont sans doute pas négligeables.

Les fabrications de composts, par la méthode des andains est tout à fait satisfaisante. Le fait d'avoir rajouté des composants dans les 15 premiers jours (méthode peu orthodoxe) n'a pas eu apparemment d'influence sur les résultats finaux. Les *Pistia* se décomposent très vite ; la phase de dégradation dure 15 jours environ alors que la maturation se prolonge jusqu'au troisième mois. Les valeurs de C/N aux alentours de 10 montrent que les composts sont équilibrés.

Les prospectives sont intéressantes.

Le traitement de l'eau par des couplages du lagunage à macrophytes avec l'électrooxydation et la microfiltration tangentielle permettra sans doute d'obtenir des eaux totalement décontaminées pour l'irrigation non restrictive et du même coup d'économiser l'eau potable pour les populations.

D'autre part l'alimentation animale en Afrique Noire, pose des problèmes en raison de la durée de la saison sèche et des coûts des produits importés. Les perspectives d'alimentation à partir des macrophytes ayant poussé sur eaux usées sont nombreuses car tous les types de plantes sont susceptibles d'être mangés par une catégorie d'animaux d'élevage.

Reste à faire les études pour savoir si ces alimentations sont saines et rentables. Sans doute pourront-elles résoudre en partie les problèmes qui se posent. □

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGENDIA Philip**, 1987, Bioaccumulation of mineral nutrients by some typical tropical aquatic macrophytes : application in the purification of Biyem-assi domestic sewage. Doctorat de spécialité. Université de YAOUNDÉ.
- BERHAUT J.**, 1967, Flore du Sénégal - 485p. Éditions Clairafrique DAKAR
- BLAKE Gérard, DUBOIS J.P.**, 1982 L'Épuration des eaux par les plantes aquatiques 114 p. Techniques et Documentation LAVOISIER.
- CHARBONNEL Y., SIMO A.**, 1986, Procédé et système de traitement biologique d'eaux résiduaires. Brevet OAPI n° 8320 Université de YAOUNDÉ.
- CHARBONNEL Yves**, 1989, Manuel du lagunage à macrophytes en régions tropicales A.C.C.T. PARIS.
- DRAKIDÈS Christian**, 1992, Traitement des eaux résiduaires urbaines par lagunage naturel à microphytes : l'expérience d'une région méditerranéenne. "Séminaire sur le traitement et la réutilisation des eaux usées: étude comparative des technologies et des systèmes de gestion". 41p. MARSEILLE 4 et 5 mai 1992, commission des CE (DG. XVI) Programme ENVIREG.
- DURAND J.R. , LÉVÊQUE C.** Flore et Faune aquatiques de l'Afrique Sahélo-Soudanienne - Tomes I et II - 873 p. ORSTOM.
- EDELIN F.**, 1979, L'épuration biologique des eaux résiduaires. 306p. Éditions CEBEDOC LIÈGE.
- GLOYNA E.F.**, 1972, Bassins de stabilisation des eaux usées. 187p. O.M.S. monographie n° 60.
- HOUNKANLI Jean Yaovi**, 1982, Utilisation d'une fougère d'eau douce (*Salvinia nymphaeoides*) en alimentation des volailles - Thèse - 77 p. École Inter États des Sciences et Médecine Vétérinaires - DAKAR.
- HUBAC J. M., BLACKÉ G., CORRADI M., DUTARTRE A., VAUCOULOUX M., VUILLOT M.**, 1984 groupe européen macrophytes-microphytes Les lentilles d'eau. Utilisation en phyto-épuration et valorisation. Étude et synthèse bibliographique - 113p. A. F. E.E. PARIS.
- IKETUONYE MASONJO Michaël**, 1987, A contribution to the study of aquatic macrophytes in Cameroon : their biology, ecology, and phytosociology in natural ecosystems and in phytodepurational systems. Doctorat de spécialité en Sciences Biologiques. Université de YAOUNDÉ.
- LAOUALI M.S. et Coll.**, 1992, Traitement des eaux usées urbaines dans des conditions tropicales. Valorisation piscicole de la biomasse et des effluents épurés. - 8p. Tribune de l'eau n°556/2 Mars/Avril 1992 - p. 27 à 34 LIÈGE.
- MOREL M., RUMEAU M., PONTIÉ M., MAR C.**, 1994, Nouveaux procédés économiques de désinfection et de dessalement des eaux. 8p. Tribune de l'eau VOL. 47- n° 571 sep/oct 1994 p. 31 à 38 LIÈGE.
- MOREL M.**, 1996, L'utilité des végétaux aquatiques pour le traitement des eaux usées sous climat tropical. Thèse - 168p. I.N.P.L. NANCY.
- MUSTIN M.**, 1987, Le compost - 954 p Éditions F. Dubusc PARIS.
- RADOUX M.**, 1980, Approche écologique et expérimentale des potentialités épuratrices du roseau commun *Phragmites australis*.
- RADOUX M.**, 1981, Épuration des eaux par voie naturelle : la station expérimentale de Viville.
- RADOUX M.**, 1986, Épuration des eaux usées domestiques par hydrosères reconstituées sous climat tempérés. Hypothèses d'application sous climat sahélien.
- REDDY K. R., De BUSK T. A.**, 1987, Stat-of-the-art utilization of aquatic plants in water pollution control Water Sciences Technics Vol 19 n°10 p. 61-79 G.B.
- SONEES** 1987 Analyses physico-chimiques des eaux usées de fosses septiques - 3 lieux de prélèvements DAKAR.
- U.A.D.E. 94**, 1994, 7ème congrès de l'Union Africaine des Distributeurs d'Eau - DAKAR 31/01 au 04/02/94 - Rapports techniques Union Africaine des Distributeurs d'Eau.
- VAUCOULOUX M.**, 1982, Utilisation des potentialités du milieu naturel pour l'épuration des eaux usées domestiques et leur réemploi aux U.S.A. Rapport CEMAGREF ANTONY.