

Ecole Polytechnique de Thiès

GC. 9409



Traitement des eaux

usées

par filtration lente

Projet de fin d'études

Département de Génie Civil

Présenté par Baba Ly

Directeur : Jean G. Grondin

Juin 1982

A mes parents
A mon épouse Fatime

A Mouhamadou Moctar Diagne qui fut une éminente figure de mon école, que le destin a sacrifié sur l'autel du savoir, alors qu'il avait acquis une intelligence rare des sciences de base de l'ingénierat.

A tous ceux qui ont consacré le plus clair de leur temps au progrès de la science, de la profession, et de la condition humaine.

Aux partisans de la paix, de l'indépendance nationale et de la démocratie véritable dans mon pays et dans le monde.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma reconnaissance

A mon Directeur de projet: M^r Grondin, professeur à l'École Polytechnique de Chic^o pour m'avoir soutenu dans une étude prospective d'actualité, pleine d'avenir pour mon pays.

Au Dr. M. B. Kirkham, professeur à Oklahoma State University of Agriculture and Applied Sciences,
Au Dr. P. Hunt, chercheur à l'U.S. Department of Agriculture.

A M^{me} Janet R. Fisher, International Request Coordinator à l'Environmental Protection Agency pour avoir bien voulu répondre à notre appel en nous envoyant une documentation de pointe sur l'état de la recherche sur les systèmes de filtration lente.

Je voudrai enfin adresser mes remerciements à tous les chercheurs du Centre National d'Agronomie de Bambey

A mes cadets et voisins de chambre Arouna Fouye et Moustapha Diop pour leur soutien moral dans une période qui fut difficile.

TABLE DES MATIÈRES

	PAGES
REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	1
INTRODUCTION	2
CHAPITRE I. LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT PAR FILTRATION LENTE	4
A/ IRRIGATION LENTE	4
1. MÉCANISME	4
2. APPROCHE PAR OBJECTIFS	6
2.1 TRAITEMENT DES EAUX USÉES	6
2.2 IRRIGATION DES TERRES	6
2.3 ARROSAGE DES ESPACES VERTS	7
2.4 SILVICULTURE	7
3. PERFORMANCE	7
B/ INFILTRATION RAPIDE	9
1. MÉCANISME	9
2. OBJECTIFS	10
3. PERFORMANCE	11
C/ RUISSELLEMENT	11
1. MÉCANISME	11
2. OBJECTIFS	12
3. PERFORMANCE	13
D/ AUTRES PROCÉDÉS	14
1. TERRE HUMIDE	14
1.1 TERRE HUMIDE ARTIFICIELLE	14
1.2 TERRE HUMIDE NATURELLE	15

2. RECHARGE SOUTERRAINE	16
CHAPITRE - II. TECHNIQUE DE PLANIFICATION ET ETUDE DE FAISABILITE	18
A/ APPROCHE DE DEVELOPPEMENT D'UNE ALTERNATIVE	18
B/ COMPOSANTE D'UN SYSTEME D'IRRIGATION LENTE	20
1. CHARGE HYDRAULIQUE	20
2. AIRE REQUISE	23
3. TRAITEMENT DE PRÉ-APPLICATION	23
4. STOCKAGE	25
5. RECUPERATION DES EAUX RENOVEES	25
C/ QUALITE DES EAUX USEES	25
1. DONNEES DE BASE	25
2. INCIDENCE SUR L'AIRE REQUISE	27
3. ELEMENTS A L'ETAT DE TRACE	28
D/ CARACTERISTIQUE DU SITE	29
1. IDENTIFICATION DU SITE	29
2. LE RELIEF	30
3. LE SOL	31
3.1 PROPRIETES PHYSIQUES	31
3.1.1 TEXTURE ET STRUCTURE	31
3.1.2 PROFIL EN PROFONDEUR	34
3.2 PROPRIETES HYDRAULIQUES	34
3.3 PROPRIETES CHIMIQUES	36
3.3.1 PH	36
3.3.2 CAPACITE D'ECHANGE EN CATION	37
3.3.3 % DE SATURATION EN BASE	39

3.3.4	% DE SODIUM ÉCHANGÉABLE	40
3.3.5	ADSORPTION DU PHOSPHORE	43
3.3.6	ÉLÉMENTS A L'ÉTAT DE TRACE	44
3.3.7	SALINITÉ	45
4.	GÉOLOGIE	46
5.	CLIMAT	46
6.	HYDRAULIQUE DES EAUX DE SURFACE	47
7.	EAUX SOUTERRAINES	47
E/	AUTRES CONSIDÉRATIONS	48
1.	IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT	48
1.1	VÉGÉTATION ET VIE SAUVAGE	49
1.2	SITES HISTORIQUES ET ARCHÉOLOGIQUES	49
2.	ASPECTS ÉCONOMIQUES ET SOCIAUX	50
F/	ESSAI D'ESTIMATION DES COÛTS	51
CHAPITRE III. ETUDE DU PROCÉDÉ		
	DE DESIGN	54
A/	CONSIDÉRATIONS PRÉLIMINAIRES	54
B/	RÉGION D'ÉTUDE	54
C/	CARACTÉRISTIQUES DU SITE	56
1.	IDENTIFICATION DU SITE	56
1.2	PLAN D'ASSAINISSEMENT DE THIE'S	56
1.2.1	DISPOSITIF DE COLLECTE DES EAUX	56
1.2.2	MODE D'ÉPURATION	57
1.3	SÉLECTION D'UN SITE DE TRAITEMENT	58
	PAR IRRIGATION LENTE	
1.3.1	QUELQUES DONNÉES SUR LA ZONE	58
1.3.1.1	GÉOLOGIE, SOL, EAU SOUTERRAINE	58
1.3.1.2	DONNÉES CLIMATOLOGIQUES	59

D/	CALCUL DE LA SURFACE REQUISE.	62
	1. CHARGE HYDRAULIQUE	62
	2. CHARGE EN AZOTE	64
E/	TRAITEMENT PRÉ-APPLICATION.	68
F/	LAGUNE DE STOCKAGE	69
G/	DISTRIBUTION DES EAUX USEÉES	70
	1. Les TRANCHEES D'IRRIGATION	71
	2. SYSTEME D'ACHEMINEMENT DES EAUX	72
H/	RÉCUPÉRATION DES EAUX RÉNOYÉES.	73
	1. LES DRAINS.	73
	2. RÉCUPÉRATION DES EAUX EN AVAL	74
I/	LES CULTURES ET LE MODE D'EXPLOITATION AGRICOLE.	75
	1. CONSIDERATIONS HYDRAULIQUES.	75
	2. PRISE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS.	76
	3. SENSIBILITÉ PAR RAPPORT AUX CONS- TITUANTS DES EAUX USEÉES.	77
	4. PRÉPARATION DU SITE	78
	4.1 PRÉPARATION DU CHAMPS.	78
	4.2 MAINTIEN DE L'INFILTRATION	79
	4.3 CONTRÔLE DE LA SALINITÉ	79
	4.4 EXPLOITATION DES CULTURES.	80
	4.5 UTILISATION DE LA RÉCOLTE	80
	5. SYSTEME D'INTERCEPTION.	80
	5.1 AMÉNAGEMENT DU SOL	81
	5.1.1. pH.	81
	5.1.2. % DE SODIUM ECHANGEABLE.	81
	5.2 PROGRAMME D'INTERCEPTION.	82

CHAPITRE IV. EXPERIMENTATION DE L'IRRIGATION	
LENTE A. L'E.P.T.	83
A/ OBJECTIF.	83
B/ PROCÉDURE	83
C/ INVESTIGATIONS.	83
1. STATION D'EPURATION.	83
2. SOL	84
3. EAUX SOUTERRAINES.	84
4. LE SITE.	84
D/ DESIGN.	84
E/ PERSPECTIVES.	85
V. CONCLUSION	87
ANNEXE I	88
ANNEXE II	95
ANNEXE III	100
BIBLIOGRAPHIE.	105

SOMMAIRE

Le but de ce travail était de faire une recherche bibliographique sur le traitement des eaux usées par l'usage du sol et des plantes en prenant soin de préciser les mécanismes des différents procédés :

- irrigation lente.
- infiltration rapide.
- ruissellement.
- terre humide.
- recharge souterraine.

Il s'agissait ensuite d'approfondir le système de l'irrigation lente en établissant un guide des critères de design pour le développement d'une culture de céréales ou de légumes dans la région de Thiès.

Nous avons pu identifier un site sur la base du plan d'assainissement de la ville et nous avons explicité le procédé de design en s'appuyant sur les particularités de notre zone d'étude.

A des fins d'expérimentation à petite échelle, ce rapport développe un projet de recherche pour traiter l'effluent de l'usine de l'école par irrigation lente.

INTRODUCTION

Le traitement des eaux usées est une question qui a toujours tourmenté les hommes depuis qu'ils ont découvert que la décharge des déchets sur les surfaces d'eau était à l'origine d'un grand nombre de problèmes additionnels d'environnement. Aujourd'hui, il existe une gamme de technologie de traitement disponible pour contribuer à notre effort pour reconstituer et maintenir l'intégrité chimique, physique et biologique des eaux des nations.

Le traitement par filtration lente implique l'usage des plantes et du sol pour enlever les éléments contaminants des eaux usées. C'est un procédé qui peut atteindre des performances comparables à celles des technologies de pointe en matière de traitement, en dehors de ses avantages additionnels. En effet il permet une réutilisation bénéfique de l'eau, un recyclage des eaux usées transformées en une ressource. En outre c'est un système très économique. Des ressources nutritives sont conférées à l'eau par l'irrigation lente.

C'est un concept qui n'est pas nouveau dans le domaine de l'ingénierie sanitaire. Des systèmes existaient déjà à Athènes [1]. Dans la deuxième moitié du 19^e siècle, avec l'extrême pollution des eaux l'application sur le sol était l'unique recours. Les expériences les plus récentes datent de 1840 aux Etats Unis. [2] En 1972, 6.6 millions de personnes utilisaient des systèmes de filtration lente en Amérique du Nord. [3]

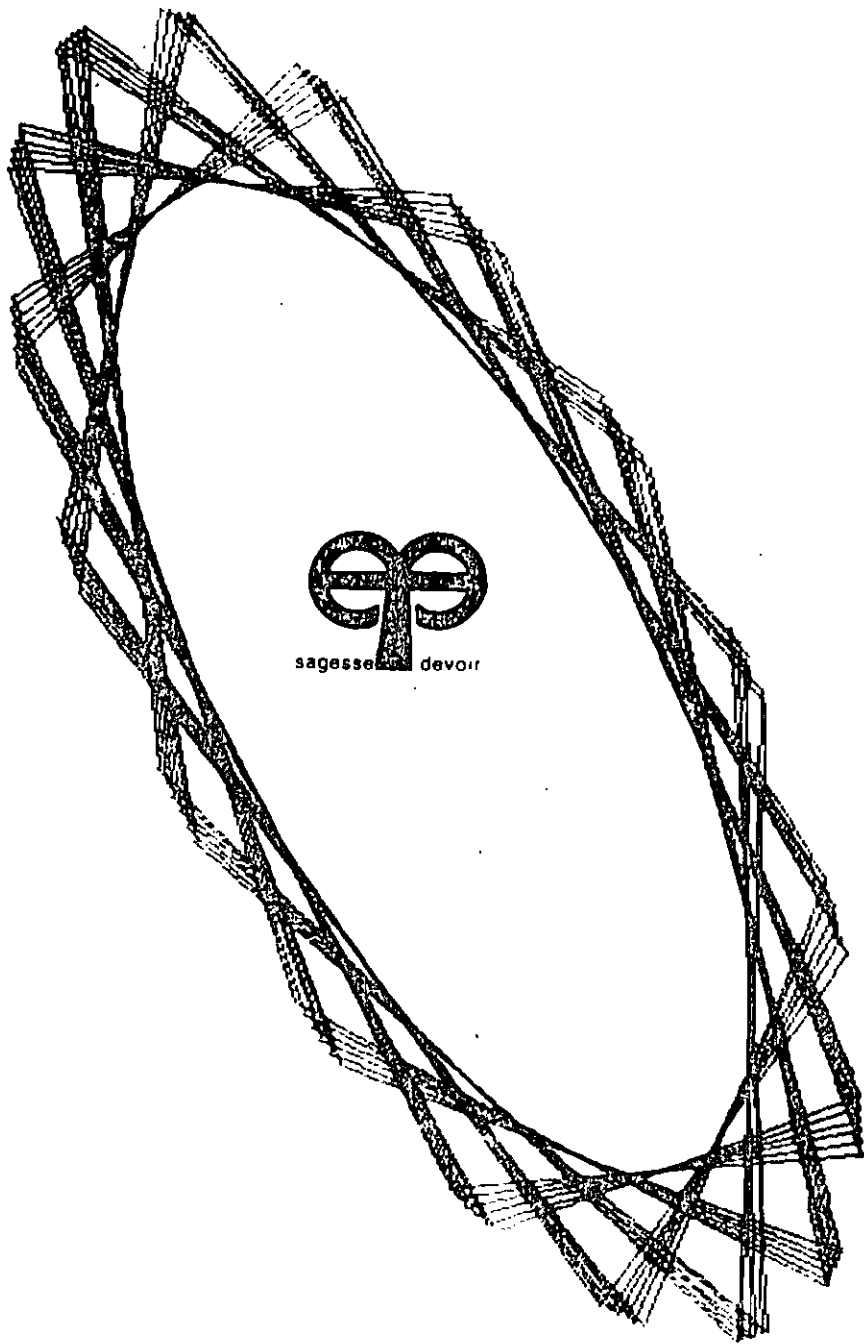
En dépit de cette prolifération assez remarquable, c'est tout récemment que le développement de la recherche sur cette technologie a permis l'établissement de méthodes de contrôle.

Notre étude par contre, vise à asseoir une source compréhensive d'informations utilisable dans la planification et le design d'un système de filtration lente.

Elle présente tous les procédés en étayant leurs mécanismes, leurs applications et leur performance et finit par se polariser sur l'irrigation lente.

A travers une approche technique de planification et une étude de faisabilité, les éléments constitutifs du système d'irrigation sont énoncés de même que les considérations essentielles, à intégrer dans l'investigation.

Pour favoriser une meilleure compréhension de cette technologie, un procédé de design sera esquissé et un projet de recherche à l'école sera proposé, à des fins d'expérimentation.



sagesse devoir

CHAPITRE I. LES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT PAR FILTRATION LENTE

Le traitement des eaux usées par filtration lente englobe un grand nombre de procédés et les trois méthodes les plus éprouvées sont :

- l'irrigation lente
- l'infiltration rapide
- le ruissellement.

D'autres systèmes plus récents ou qui recellent des difficultés d'application à large échelle comprennent :

- la terre humide
- la recharge souterraine.

A travers les lignes qui vont suivre, nous nous proposons d'exposer d'une manière générale, le mécanisme, les applications et les performances des différents procédés.

A/ IRRIGATION LENTE

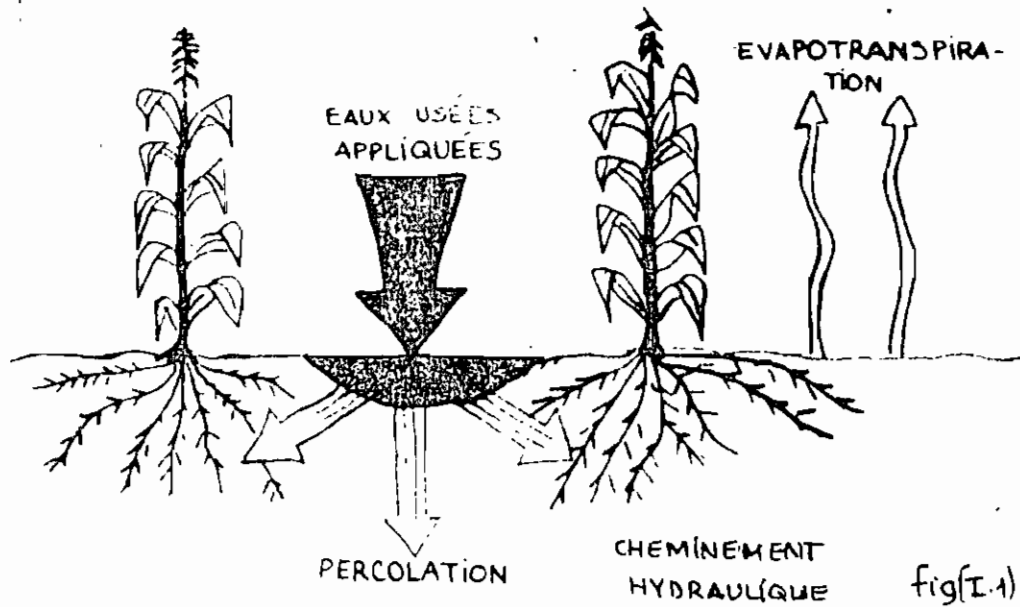
1. MÉCANISME

La végétation est la composante critique pour l'exploitation de l'eau et des éléments nutritifs, qui résultent du traitement. L'eau usée est traitée quand elle s'écoule à travers une matrice de sol pendant qu'une portion percole vers la nappe souterraine. Le ruissellement en surface n'est pas en général désirable.

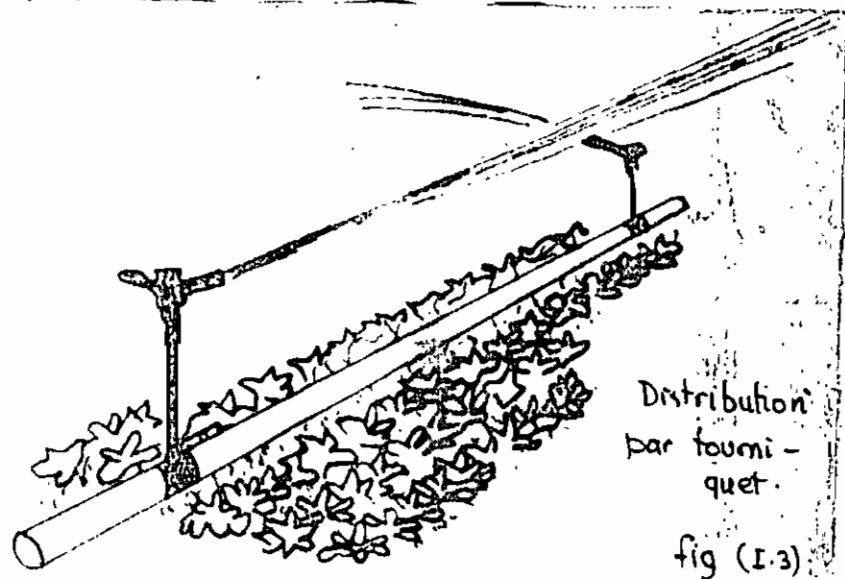
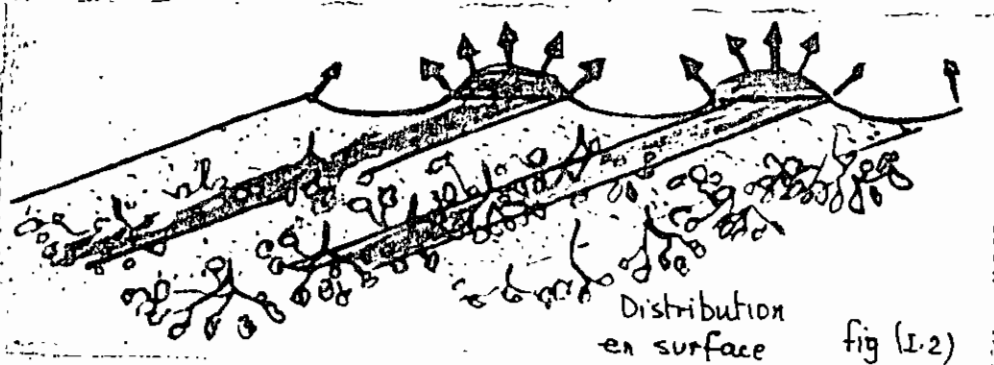
Un schéma du cheminement hydraulique de notre eau usée est montré à la figure (I-1)

L'infiltration et l'absorption sont les mécanismes initiaux dans la satisfaction de la demande biochimique d'oxygène (D.B.O), mais l'oxydation biologique est le

mécanisme ultime de traitement.



Une vue typique du système est illustrée à travers les figures suivantes (I.2 et I.3) en utilisant une distribution en surface et par un arroseur automatique rotatif.



Ce procédé s'utilise quand les exigences qui découlent de la surface d'épandement sont assez rigoureuses pour l'azote et le phosphore. Si l'eau qui percole vers la nappe phréatique doit respecter les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S) concernant l'eau de boisson, l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement (E.P.A) propose une réduction des azotes à 10 mg/l. [3]

2. APPROCHE PAR OBJECTIF

2.1 TRAITEMENT DES EAUX USEES

L'objectif premier du système est le traitement des eaux usées. La charge hydraulique est limitée par la capacité d'infiltration du sol et les possibilités d'enlèvement de l'azote par le complexe sol-végétation. Si la capacité hydraulique du site est limitée par une couche relativement imperméable en surface ou par une nappe phréatique élevée, on peut placer des drains souterrains pour accroître la charge permise. On préfère assez souvent utiliser de l'herbe comme végétation du fait de sa grande capacité d'absorption en azote.

2.2 IRRIGATION DES TERRES.

Si le rendement des cultures de céréales et le gain qui en résultent président à l'utilisation du procédé, on sélectionne alors une variété plus efficace que l'herbe.

Dans les surfaces où l'eau n'entrave pas la croissance des plantes, l'azote et le phosphore dans l'eau usée peuvent être recyclés. Ces éléments nutritifs peuvent accroître le rendement de cultures telles que le sorgho, les légumes et être à l'origine d'importantes recettes financières.

Un taux d'application de 7.6 cm/m² reflète le besoin

en eau usuel des cultures. Le taux requis est celui qui est capable de remplacer les pertes dues à l'évaporation et à l'évapotranspiration, et d'approvisionner le tissu végétal.

2.3 ARROSAGE DES ESPACES VERTS.

Les terrains de jeu et les parcs peuvent être arrosés par de l'eau usée, ainsi l'eau potable pourrait être économisée. Du fait de l'accès du public en ces lieux, une désinfection de l'effluent à appliquer est généralement requise.

2.4 SILVICULTURE

En silviculture, la croissance des arbres peut être assurée par irrigation lente. Des recherches sont en train d'être développées sur des systèmes expérimentaux dans de prestigieuses universités américaines : au Michigan, à Washington et en Pennsylvanie pour déterminer le taux de chargement permis, la réponse en fonction du type d'arbre et l'impact sur l'environnement.

Dores et déjà, on peut affirmer que les forêts offrent d'énormes avantages pour être des sites potentiels de traitement des eaux usées par filtration lente. En effet des forêts existent souvent près des sources d'eaux usées. Le sol sous les arbres offre de meilleures propriétés d'infiltration que les terres cultivables. Durant le froid, la température dans les espaces forestiers est plus élevée.

Par contre, il existe des facteurs limitants, liés à la faible tolérance en eau des arbres et à leur maigre pouvoir d'enlèvement des azotes.

3. PERFORMANCE :

L'irrigation lente est le procédé qui offre les meilleurs résultats parmi toutes les méthodes de traitement.

par filtration lente.

Les matières organiques sont réduites par oxydation biologique à travers quelques centimètres de hauteur de sol. De récentes recherches menées par le Corps Américain des Ingénieurs de l'Armée dans un projet à Hanovre, dans le New-Hampshire, montrent que la concentration moyenne annuelle de la demande biochimique d'oxygène (DBO) des eaux de percolation se situe entre 0.6 et 2.1 mg/l [4]. Ce résultat a été atteint avec un taux d'application de 15 cm/wk avec un effluent primaire et secondaire.

Pour les solides en suspension, on peut s'attendre à une concentration de 1 mg/l ou moins dans l'eau renouvelée. C'est par filtration que la turbidité de l'eau usée est fortement réduite. Les solides volatiles sont biologiquement oxydés et les solides minéraux ou fixes deviennent une partie de la matrice de sol.

En ce qui concerne les azotes, la dénitrification est assurée par les cultures. Elle est fonction du type de cultures réalisées et de leur rendement. Elle peut atteindre des valeurs très significatives même si le sol est souvent dans des conditions aérobiques. A Hanovre, la dénitrification a pu atteindre 28 % de l'azote appliqué [4].

Le phosphore est enlevé de la solution par un procédé de fixation dans le sol similaire à l'adsorption et à la précipitation chimique. L'efficacité est très élevée et elle est plus fonction des propriétés du sol que de la concentration initiale en phosphore de l'eau usée appliquée. Une faible mais significative portion du phosphore, 15 à 30% selon les sols est récupérée et enlevée avec les cultures.

B/ INFILTRATION RAPIDE

1. MÉCANISME

Avec le procédé de l'infiltration rapide, l'essentiel de l'eau usée appliquée percole à travers le sol et l'effluent traité atteint l'eau souterraine. Pour ce faire un sol très perméable est utilisé tel que le sable ou les sables limoneux. Le traitement se réalise lors de la migration de l'eau à travers la matrice de sol. La figure suivante permet de visualiser le cheminement hydraulique du système.

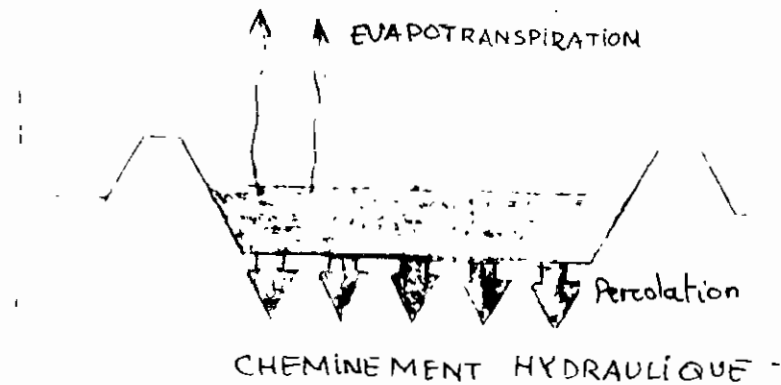


fig (I. 4)

La récupération de l'eau renouvelée se réalise par l'intermédiaire de drains souterrains ou par des puits.

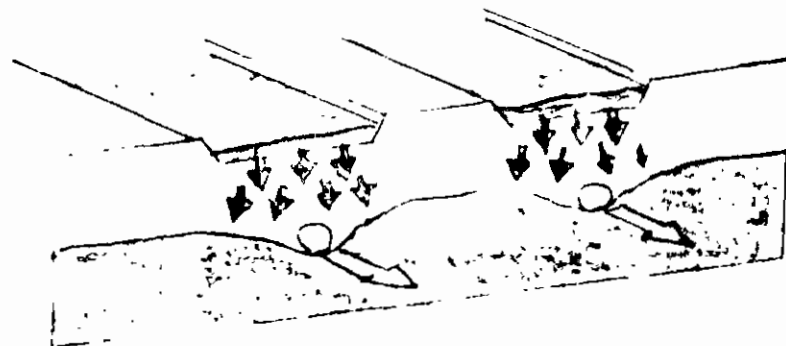
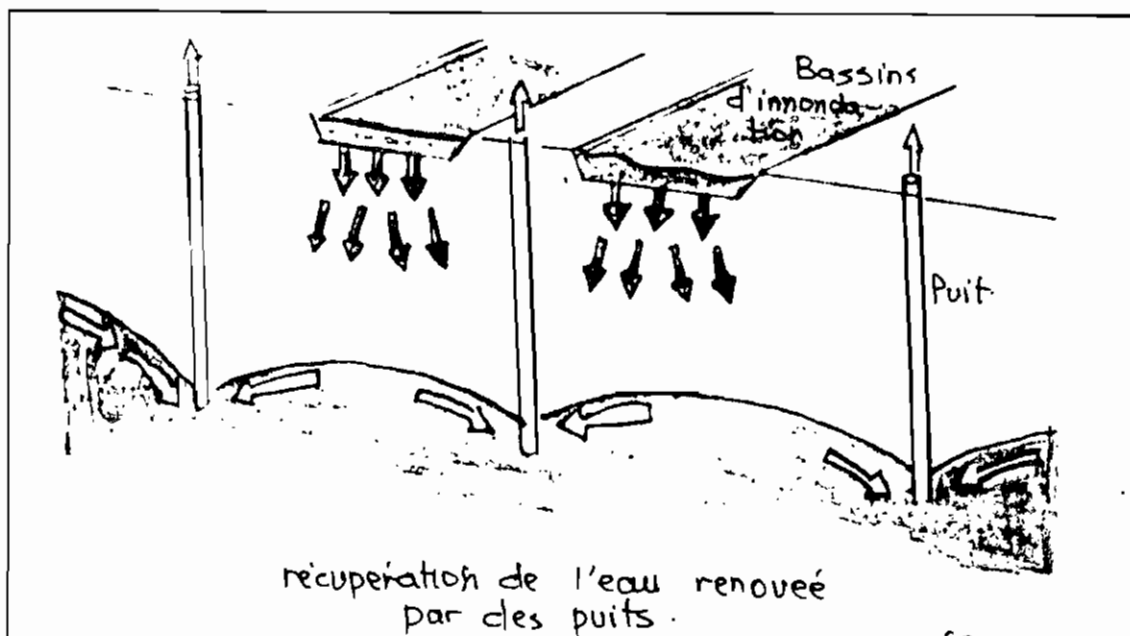


fig (I.5)



(fig 1.6)

Comme pour l'irrigation lente, le mécanisme premier de traitement se situe au niveau de l'adsorption, avec un peu de précipitation chimique. Ainsi, la capacité à long terme est limitée par la masse de sol en contact avec l'eau usée. Le processus d'épuration est aussi lié en partie au temps de rétention de l'eau dans le sol.

2. OBJECTIFS.

Les objectifs sont d'autant plus importants pour les pays du Sahel qu'ils contribuent à l'accroissement des disponibilités en eau. En effet, ils visent à recharger les aquifères, avec une possibilité de réutilisation subséquente. La recharge des cours d'eau peut être assurée par interception de l'eau souterraine.

Si la nappe souterraine est dégradée par une intrusion de salinité, comme c'est le cas dans beaucoup de puits existants dans la campagne sénégalaise, la recharge d'eau par infiltration rapide peut aider à changer le gradient hydraulique et protéger la nappe.

3. PERFORMANCE

L'entièrement des constituants des eaux usées à travers l'action du filtration du sol peut attendre d'excellentes performances. Les solides en suspension, la demande biochimique d'oxygène et les coliformes fécaux sont entièrement supprimés dans la plupart des cas.

En ce qui concerne les azotes, on atteint un faible taux de dénitrification et des opérations spéciales sont développées pour maximiser le processus. Il est possible de faire recours à différents procédés :

- l'approvisionnement additionnel d'une source de carbone
- l'utilisation d'un bassin végétal
- la diminution du taux d'application.
- le recyclage de la portion renouvelée des eaux ayant une forte concentration en azote.

Une fois ces correctifs apportés, on peut s'attendre à une dénitrification de l'ordre de 50 % [5].

Par contre 70 à 90 % du phosphore enlevé par infiltration rapide s'explique à travers les caractéristiques physiques et chimiques du sol.

C/ RUISSELLEMENT

1. MÉCANISME.

L'eau usée s'écoule le long d'une terrasse en pente de 2 à 8 % et traverse une surface végétale vers un canal de collecte des eaux de ruissellement.

La végétation permet de contrôler l'érosion.

L'eau usée est renouvelée par des moyens physiques, chimiques et biologiques quand elle s'écoule dans un film

mince de sol relativement imperméable. Les micro-organismes du sol, enlèvent les bactéries et les éléments nutritifs

Ce procédé est très récent et jusqu'en août 1976 il n'existait que trois petits systèmes localisés en Oklahoma, au Mississippi et en Caroline du sud.

Des recherches se poursuivent pour déterminer quel est le niveau permmissible d'éléments nutritifs ou à l'état de trace sans créer de dommages agricoles ou générer des risques dans le domaine de la santé si les cultures réalisées entrent dans la chaîne alimentaire.

Une vue du traitement par ruissellement est montrée à la figure suivante :

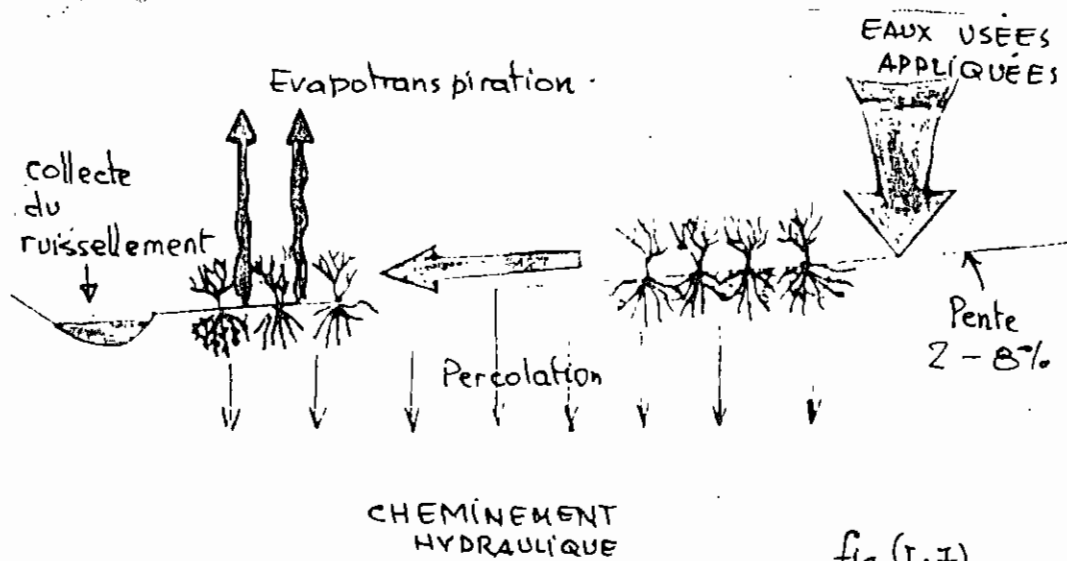


fig (I.7)

2. OBJECTIFS.

L'objectif visé par le procédé de ruissellement est essentiellement le traitement de l'eau usée et dans une moindre mesure la production agricole. Le traitement peut se situer à deux niveaux :

— soit pour atteindre le niveau de traitement d'un effluent secondaire réalisé à partir d'une eau usée ayant

subi, au préalable un traitement primaire par tamisage.

— ou pour réaliser un haut degré de dénitrification et de satisfaction de la demande biochimique d'oxygène (D.B.O), qui puisse être comparable avec un traitement conventionnel avancé des eaux usées réalisé sur la base d'un effluent secondaire traité.

L'eau traitée est collectée au pied de la pente et peut être réutilisée ou déchargée dans les eaux de surface. Ce procédé peut être d'un grand apport pour la préservation des ceintures vertes et des champs en jachère.

3. PERFORMANCE

L'oxydation biologique, la sédimentation et la filtration des herbes, constituent les premiers mécanismes d'épuration pour les solides organiques et en suspension.

L'enlèvement des azotes est attribué en premier à la dénitrification. Le rôle des plantes peut être aussi significatif mais leur contribution ne peut être permanente dans la suppression des azotes à moins de les enlever périodiquement du champ. La volatilisation des ammoniacs peut être appréciable si le pH de l'eau dépasse 7. Les performances d'épuration peuvent atteindre 75 à 90 % à travers le ruissellement qui enlève surtout les nitrates.

Le phosphore est enlevé par précipitation et adsorption, de la même manière que l'irrigation lente ou l'infiltration rapide. L'efficacité du traitement est limitée par la faiblesse du contact entre le sol et l'eau en mouvement. Les performances peuvent atteindre 30 à 50 %. Le procédé peut être plus efficace si on additionne de l'alum ou du perchlorure de fer à l'eau usée avant l'application sur le site.

D/ AUTRES PROCÉDÉS.

En dehors des trois principales méthodes de traitement par filtration lente, plus récemment encore le concept de l'utilisation d'écosystème naturel, tel que le procédé de la terre humide, polarise de plus en plus l'attention des chercheurs. Dans cette section, nous traiterons en outre des techniques d'application des eaux usées sous le sol. (recharge souterraine).

1. TERRE HUMIDE

Le terme de terre humide comprend dans cet étude : les marécages, les prairies humides et les mares. C'est leur capacité à influencer la qualité des eaux qui motive les recherches actuelles sur leur utilisation possible dans le traitement des eaux usées.

Il existe deux grandes catégories de terre humide.

- les terres humides artificielles.
- les terres humides naturelles.

1.1 TERRE HUMIDE ARTIFICIELLE

Au Laboratoire National de Brookhaven sur la Grande Ile. (B.N.L.L.I) à New York, deux systèmes d'étude avaient été réalisés. Dans le premier, c'était une prairie humide qui a fusionné avec un marécage suivi d'un bassin et au niveau du deuxième système, la prairie humide avait été supprimée.

Le taux de chargement était de 63 cm/wk. Ces terres humides artificielles ont été formées grâce à l'installation d'un lit plastique et imperméable sous un sol sableux. Dans le tableau suivant, nous reproduisons les résultats du traitement par les deux précédents systèmes en 1975. Les valeurs sont en mg/l. [8]

TABLE (I.1)

Constituants	Influent	Effluent sur prairie marécageuse	Effluent sur terre humide
Demande biochimique d'oxygène	520	15	16
Solides en suspension.	860	43	57
Azote ; total.	36	3	4
Coliformes fécaux comptés / 100 ml	3,000	17	21

1.2 TERRE HUMIDE NATURELLE.

L'application d'un effluent secondaire sur une terre humide d'eau pure ou salée fait l'objet d'études au Mississippi, aussi bien qu'en Californie, au Michigan et dans l'état de Wisconsin.

Au Mississippi, le professeur Wolverton a étudié l'utilisation des jacinthes d'eau dans les eaux usées secondaires d'une lagune pour effectuer l'enlèvement de la demande biochimique d'oxygène, des solides en suspension et des éléments nutritifs. Une surface de 0.28 ha avait été utilisée avec un temps de rétention de 14 à 21 jours.

Les performances de traitement par ce système sont légèrement comparables avec celle d'une lagune de contrôle sans jacinthes d'eau. [7]

table (I.2) (mg/l).

Constituants	Lagune avec jacinthe.		Lagune de contrôle.	
	Influent	Effluent	Influent	Effluent.
D.B.O	22	7	27	30
Solides en suspension	43	6	42	46
Azote	4.4	1.1	4.5	4.5
Phosphore, total.	5.0	3.8	4.8	4.6

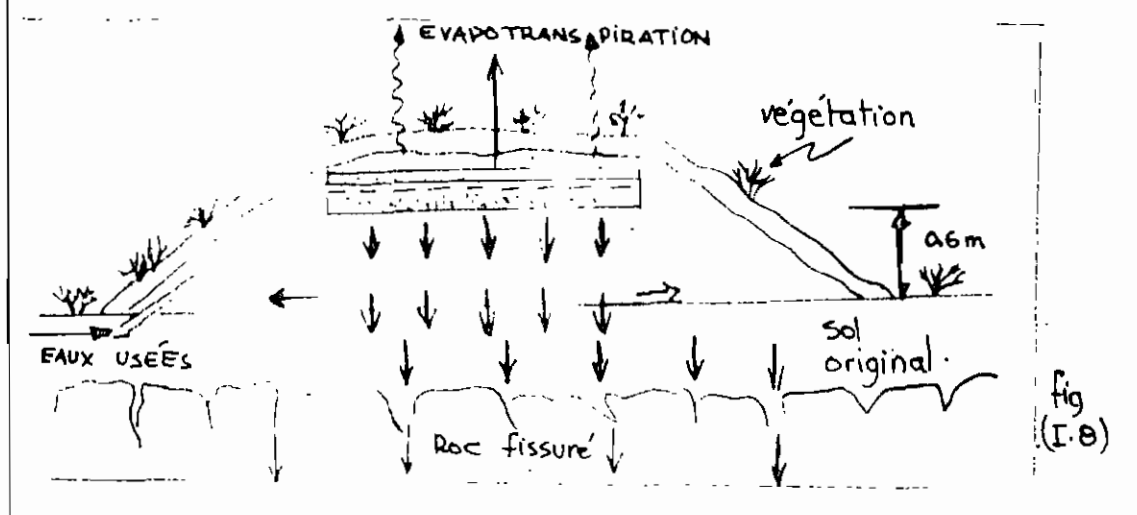
Les jacinthes doivent être moissonnées pour assurer l'entièrement effectif des éléments nutritifs. Le professeur Woliverton suggère que cette moisson se fasse toutes les cinq semaines pendant la période de croissance. La plante récoltée peut être transformée en un produit alimentaire très riche en protéine, en fertilisant organique ou en méthane.

L'utilisation des terres humides naturelles apparaît comme une nouvelle méthode qui fait irruption dans la technologie de l'exploitation des eaux usées. C'est pourquoi les techniques à promouvoir pour l'enlèvement des éléments nutritifs, le taux de chargement, les caractéristiques du site optimal sont autant de paramètres qui requièrent encore des études plus approfondies.

2. RECHARGE SOUTERRAINE

Un des procédés les plus usuels de recharge souterraine consiste en un amas de sol caractérisé par un système d'application assuré par une conduite enterrée. Cette alternative de traitement et de décharge des eaux usées s'utilise là où les conditions de sol sont défavorables.

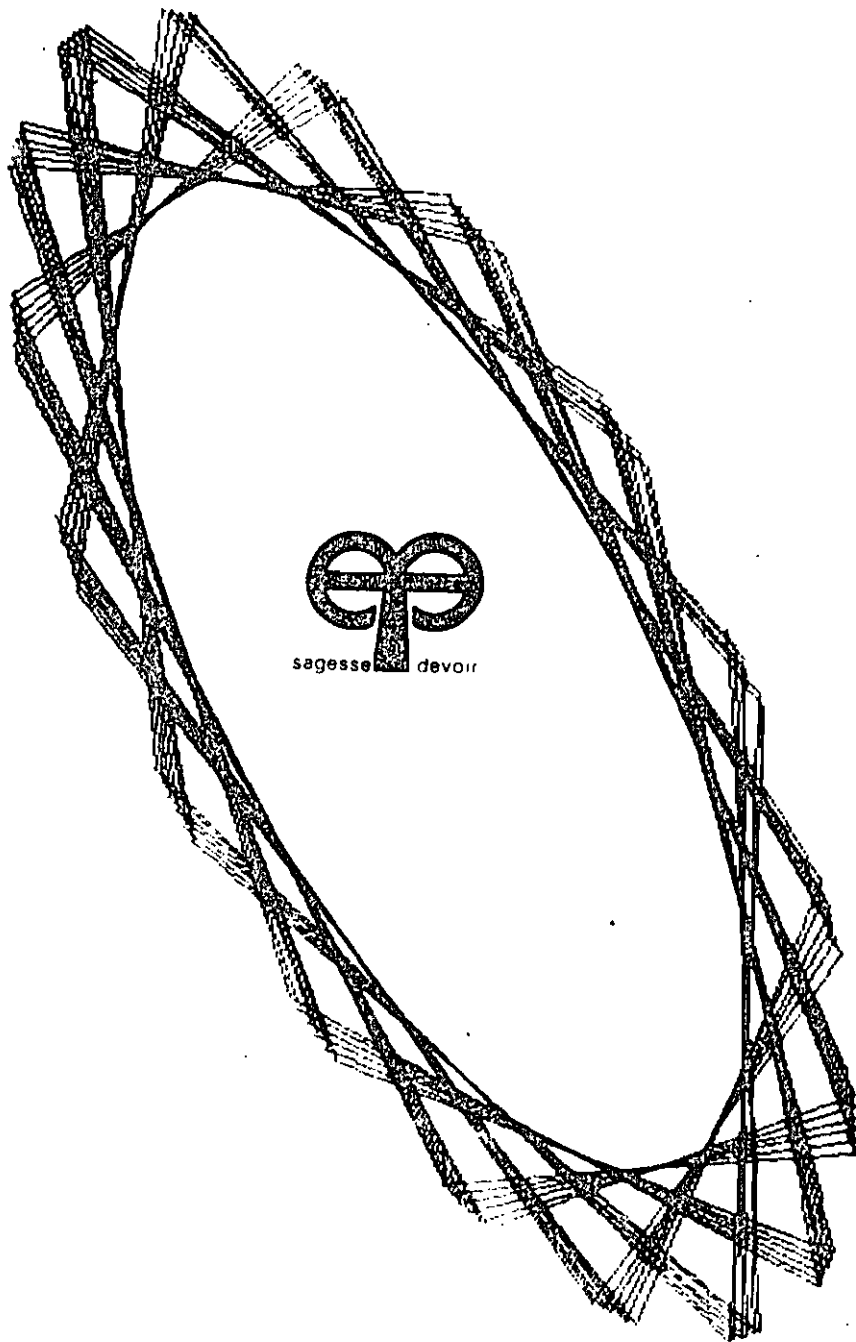
La figure suivante nous permet de visualiser le procédé



L'amas de sol peut être utilisé :

- pour un sol peu profond sur un lit de roc fissuré ou très rapidement perméable.
- sur un site avec un sol peu perméable.
- sur une zone ayant une haute nappe souterraine saisonnière.

La supériorité de l'irrigation sur les autres procédés n'étant plus à démontrer, il polarisera davantage notre attention dans la suite de ce rapport.



sagesse devoir

CHAPITRE II TECHNIQUE DE PLANIFICATION ET ETUDE DE FAISABILITE

Cout au long de ce chapitre, nous traiterons des aspects essentiels d'une étude technique et économique de faisabilité. Nous passerons en revue les paramètres de conception spécifiques à un système de traitement par filtration lente, et cela sur la base d'une approche rationnelle.

On essayera alors de préciser les différents niveaux de collecte d'informations et de données de base indispensables pour le développement d'une analyse pluridisciplinaire et l'élaboration d'une alternative optimale d'irrigation lente applicable dans la région de Thiès.

A/ APPROCHE DE DEVELOPPEMENT D'UNE ALTERNATIVE

Les trois facteurs combinés qui président au choix d'un procédé de filtration lente sont :

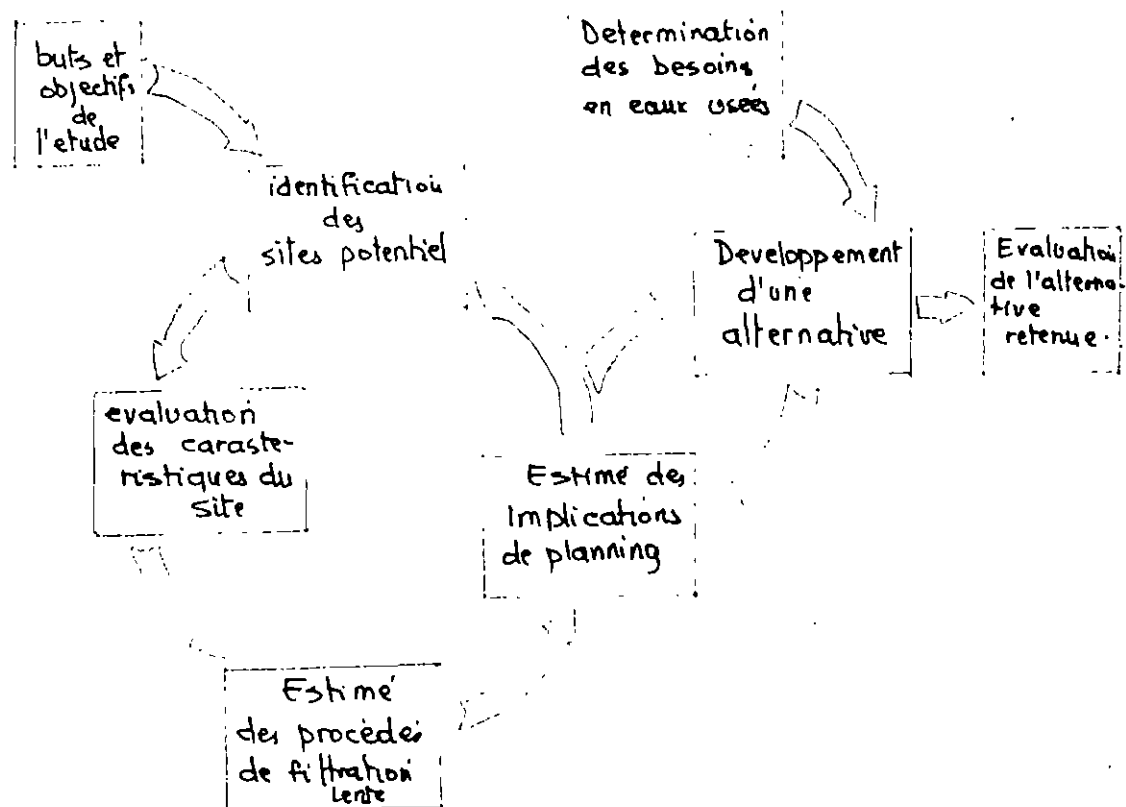
- la perméabilité du sol.
- la qualité des eaux usées
- les critères de qualité de la décharge.

La perméabilité du sol peut être déterminée pour un site donné. La qualité des eaux usées est fonction du traitement de pré-application qui fera l'objet d'un développement ultérieur. Les critères de qualité de la décharge sont variables du fait du choix à opérer entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

Notre objectif étant de développer une activité agricole sur notre site par irrigation lente, nos critères seront développés au regard de leur incidence sur l'eau souterraine et par

rapport à la tolérance de nos cultures.

Sur la base de ces différents paramètres, l'approche pour développer une alternative est itérative comme l'illustre



Ce processus itératif est plus complet s'il n'existe aucune contrainte préalable dans l'étude. Quand le nombre de site ou de procédé est prédéterminé, peu d'alternatives sont alors envisagées.

Les buts et objectifs de la municipalité ou de la région sont déterminés en premier suivis de l'étude de la capacité des procédés de filtration lente à les satisfaire.

On pourrait y inclure les possibilités de récupéra-

tion des ressources tel que le recyclage des éléments nutritifs à travers la production agricole, la préservation des espaces verts ou tout autre rentabilisation dont les procédés de filtration lente peuvent faire l'objet.

Ainsi les procédés de filtration lente sont, alors perçus, comme les moyens d'une fin, plus qu'une fin en soi.

B / COMPOSANTES D'UN SYSTEME D'IRRIGATION LENTE

Les éléments constitutifs de notre système peuvent se résumer, à travers les cinq items suivants :

- la charge hydraulique appliquée sur notre site.
- l'aire requise de traitement
- le type de pré-traitement (traitement de pré-application)
- le stockage des eaux usées
- la récupération de l'eau renouvelée.

1 - CHARGE HYDRAULIQUE

Pour l'irrigation lente, le taux de chargement hydraulique peut être initialement déterminé à partir de la balance de l'eau :

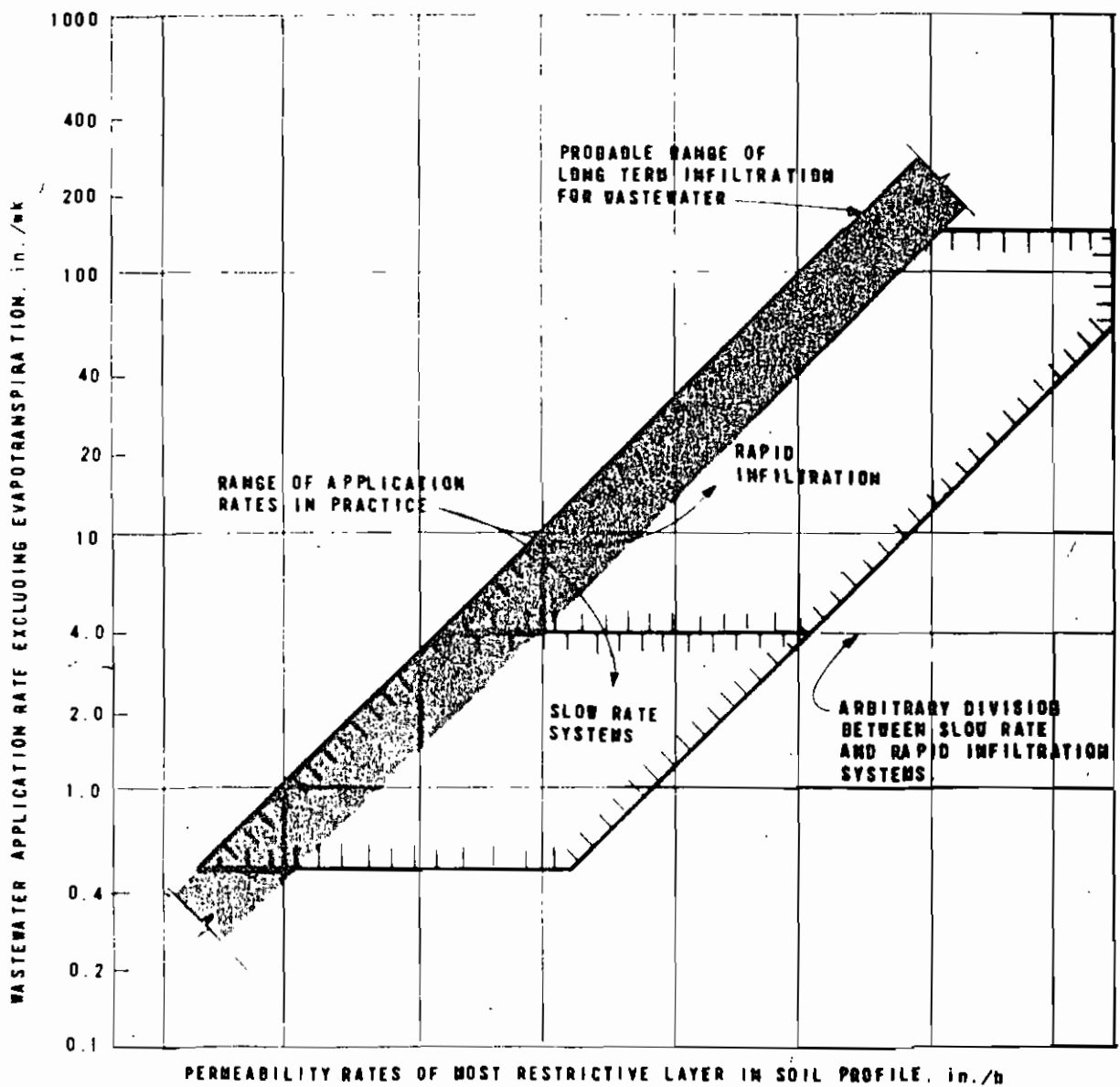
$$\text{Précipitation} + \text{Eau usée appliquée} = \text{Evapotranspiration} \\ + \text{Percolation} + \text{Ruissellement}$$

Le ruissellement de l'effluent n'est pas une bonne chose pour l'irrigation lente. Ce paramètre fera alors l'objet d'un contrôle à travers un profil de terrain adéquat.

La relation qui existe entre la précipitation et l'évapotranspiration relève des données météorologiques à collecter. Si la précipitation de l'année de design est égale à l'évapotranspiration, l'estime de la quantité

d'eau usée à appliquer peut se faire sur la base du taux de perméabilité du sol - à partir de l'abaque suivante publiée conjointement par le corps américain des ingénieurs de l'armée, l'Agence de Protection de l'Environnement et le Département Américain de l'Agriculture.

Abaque (II.1)



PERMEABILITY* SOIL CONSERVATION SERVICE DESCRIPTIVE TERMS

VERY SLOW	SLOW	MODERATE- LY SLOW	MODERATE	MODERATE- LY RAPID	RAPID	VERY RAPID
< 0.06	0.06-0.20	0.20-0.80	0.80-2.0	2.0-8.0	8.0-20.0	> 20.0

* MEASURED WITH CLEAR WATER

1 in./wk = 2.54 cm/wk

En utilisant la figure précédente, on réalise qu'un sol peu perméable peut supporter une charge de 2.5 à 7.6 cm/wk

Si l'évapotranspiration est supérieure à la précipitation, comme dans nos pays du Sahel victimes du déficit pluviométrique, l'effluent à appliquer peut être augmenté au point d'égaliser l'évapotranspiration nette et la perméabilité du sol.

Les valeurs tirées de l'abaque précédente sont indicatives et peuvent être modifiées par la tolérance en eau des cultures, leurs balances nutritives ou la réduction du taux d'application suite aux exigences de la moisson.

La charge hydraulique est aussi affectée par le climat qui détermine la saison appropriée de culture, précise la période d'application et le stockage requis.

Les exigences des cultures influencent fortement le taux de chargement hydraulique qui peut être rentabiliser à travers un choix approprié d'espèces - végétales. Les facteurs qui président à la sélection d'une culture donnée peuvent être ainsi résumés :

- Elle doit être favorable aux conditions du sol et au climat
- facilité d'exploitation.
- consommation en éléments nutritifs et sensibilité aux constituants des eaux usées.
- besoin en eau et tolérances
- étendue de la saison de culture.
- valeur économique : rentabilité.
- respect des normes de santé publique.

2 - AIRE REQUISE

L'aire totale nécessaire pour développer notre procédé de filtration lente peut être décomposée en plusieurs zones :

- une aire d'application des eaux usées.
- une aire additionnelle dite zone tampon.
- les réservoirs de stockage de l'eau.
- le traitement de pré-application.
- les bâtisses de l'administration pour la maintenance et les routes d'accès.

En plus il est souhaitable de laisser un terrain vierge pour une expansion ultérieure.

Dans le cadre d'une étude préliminaire, l'aire totale peut être approximée à partir du nomographe de la page. Les paramètres d'entrée sont le taux d'application des eaux usées, le débit de design et le temps de non opération.

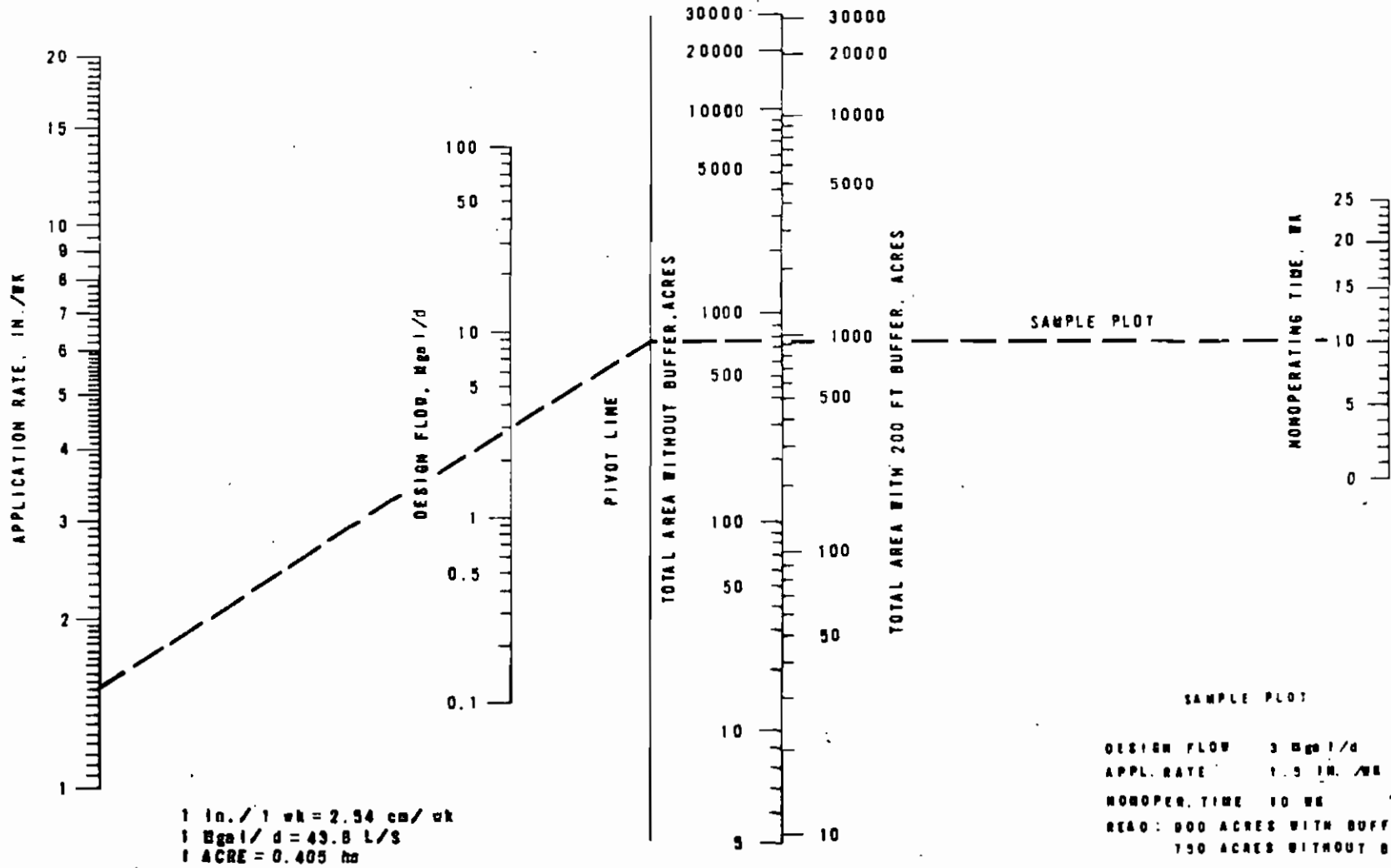
3 TRAITEMENT DE PRÉ-APPLICATION

Le pré-traitement des eaux usées peut être rendu nécessaire par une multitude de raisons, entre autres :

- la nécessité de maintenir un système de distribution fiable.
- le stockage des eaux usées sans créer des conditions de nuisance.
- l'obtention d'un niveau élevé de traitement.
- la réduction de la colmatation du sol ou des possibilités de risques pour la santé publique.

Pour le procédé de l'irrigation lente un minimum de pré-traitement des eaux usées par sédimentation primaire est requis.

TOTAL LAND REQUIREMENT (INCLUDES LAND FOR APPLICATION, ROADS, STORAGE, AND BUILDINGS)



Abaque (II.2)

4 - STOCKAGE

Le stockage des eaux usées est nécessaire dans les périodes de non exploitation ou de réduction du taux d'application suite à des contraintes d'ordre climatiques. Même si ces possibilités sont inexistantes, le stockage peut quand même s'imposer pour assurer une régulation du débit et répondre aux exigences de l'exploitation agricole (période de moisson...). Il est nécessaire d'avoir un estimé de la capacité du réservoir et son coût.

5 - RECUPERATION DES EAUX RENOVÉES

Le captage des eaux renouvelées pour une réutilisation éventuelle est souvent une partie intégrante de tous les procédés. Pour ce faire les moyens utilisés sont: la collecte des eaux de ruissellement pour le procédé du ruissellement, les puits de recouvrement pour l'infiltration rapide, les drains souterrains et la récupération des eaux en aval pour le système de l'irrigation lente.

C / QUALITÉ DES EAUX USÉES

1. DONNÉES DE BASE

La connaissance de la qualité des eaux usées à traiter est une donnée d'importance dans le planning pour cerner le niveau du traitement de pré-application et au niveau du design pour déterminer les exigences de l'exploitation.

Eddy et Metcalf proposent un tableau des constituants essentiels d'une eau usée domestique typique. En même temps, ils suggèrent un essai de classification sur la base de la concentration relative des éléments étudiés.

table (II.1)

Constituants	Type d'eau usée			mg/l.
	Grps	Moyen	faible	
DBO	300	200	100	
Solides en suspension	350	200	100	
Azotes (total)	85	40	20	
organique	35	15	8	
ammoniacale	50	25	12	
nitrate	0	0	0	
Phosphore (total)	20	10	6	
organique	5	3	2	
inorganique	15	7	4	

Tous ces paramètres doivent être quantifiés d'une façon précise pour notre eau usée. Ainsi, il sera possible d'apprécier les préalables à la filtration lente et l'efficacité de notre système durant l'exploitation.

Le traitement de pré-application à l'aide d'une sédimentation primaire permettra de réduire la demande biochimique d'oxygène et les solides en suspension mais il n'affectera pas la concentration en azote et en phosphore.

Les traitements par oxydation des étangs et des lagunes aérées ou tout autre procédés biologiques de traitement, réduisent à la fois la D.B.O, les solides en suspension de même que les azotes et les phosphores.

Par contre, avec la filtration lente, il devient possible de réduire considérablement la D.B.O, les solides en suspension, aussi bien que les éléments nutritifs (azotes, phosphores...) et ceux à l'état de trace et les micro-organismes.

D'une manière générale, les constituants des eaux usées à évaluer pour les différents procédés de filtration lente sont variables en fonction du climat et des exigences de qualité de la décharge. C'est ainsi que le rapport d'adsorption du sodium (R.A.S) et la conductivité électrique, qui sont des paramètres qui influencent la perméabilité du sol, trouvent plus de pertinence dans les zones arides et semi-arides que dans les zones humides.

$$\text{R.A.S. de l'eau d'irrigation} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Na = sodium, Ca = calcium, Mg = magnésium sont exprimés en (meq/l)

De même que certaines plantes sont très sensibles au sodium, aux chlorures et au bore et exigent une limitation de ces éléments dans la décharge.

2 INCIDENCE SUR L'AIRE REQUISE

En se référant à l'abaque II.2, on se rend compte que ce sont des données hydrauliques qui constituent les paramètres d'entrée pour la détermination de l'aire requise. Dans certains cas, le chargement des constituants de l'eau usée étant très critique, il gouverne le design et permet de déterminer une plus grande surface pour notre site.

Pour les besoins d'une planification préliminaire, la charge en demande biochimique d'oxygène (DBO) peut être utilisée pour savoir qui de la charge hydraulique ou des constituants de l'eau usée contrôlent notre conception notamment sur la question de l'évaluation de la surface requise pour notre système.

En utilisant le taux hydraulique d'application approprié pour notre procédé et la concentration en D.B.O de l'eau usée, on peut calculer le chargement en D.B.O que l'on compare avec les valeurs proposées par l'Agence Américain de Protection de l'Environnement (E.P.A) à la table suivante.

Taux de chargement typique en D.B.O		[3]
	Irrigation lente.	table (II.2)
taux typique d'une eau usée (urbaine) *	0.2 à 5.6 kg/ha.d.	

* Le taux de chargement représente la charge annuelle totale en D.B.O divisée par le nombre de jours de la période d'exploitation de notre système. Le dépassement de ces valeurs peut ne pas être critique pour notre procédé. Dans certains cas des spécifications peuvent être données par les ingénieurs à titre de mesure de sauvegarde.

Un calcul plus précis du taux de chargement des constituants de l'eau usée et de la surface requise sera discuté plus en détail dans le prochain chapitre.

3. LES ELEMENTS A L'ETAT DE TRACE

La concentration de certains éléments à l'état de trace dépend de la localisation des industries, de leur importance relative et de la législation qui leur est imposée en matière de traitement préliminaire avant le rejet de leur eau usée dans le réseau d'égout.

L'Organisation Mondiale de la santé a proposé des standards pour l'eau de boisson au regards des éléments à l'état de trace.

table (II-3)

Concentration des éléments à l'état de trace	
Eléments	Norme de l'O.M.S
Arsenic	0.05
Cadmium	0.01
Chrome	0.05
Cuivre	1.0
Fer	0.3
Plomb	0.05
Manganèse	0.05
Mercuré	0.002
Nickel	
Zinc	5.0

mg/l.

[8]

Dans l'étude du procédé de design, nous reviendrons sur la charge des éléments à l'état de trace et plus particulièrement si les valeurs recommandées risquent d'être dépassées.

D/ CARACTERISTIQUES DU SITE

Les traits physiques essentiels à considérer dans la région d'étude sont la topographie, les sols, la géologie, le climat, l'hydrologie, la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. Une telle investigation est essentielle dans le choix du site de développement de notre système d'irrigation lente.

1- IDENTIFICATION DU SITE

La complexité de l'identification du site dépend des dimensions de notre étude et des plans d'aménagement du territoire. Une approche serait de commencer par repérer les terres non exploitées et d'affiner davantage notre

étude à la lueur du guide suivant table (II-4)

Caractéristiques	Procédés concernés	Commentaires
Perméabilité du sol	infiltration rapide irrigation lente	le taux d'application augmente avec la perméabilité
	ruissellement	Un sol de très grande perméabilité convient plus aux autres procédés.
Pollution potentielle des eaux souterraines.	infiltration rapide irrigation lente	(1) l'existence à proximité du site d'un aquifère potable (2) Présence d'aquiclude (3) direction de l'écoulement (4) Possibilité de récupération des eaux souterraines par des puits ou des drains à des fins de vérification.
Plan d'aménagement du territoire.	tous les procédés	Le développement urbain peut à terme affecter la possibilité de l'expansion de notre système.
Dimensions du site	tous les procédés	S'il existe de petites habitations il est souvent difficile de contrôler le besoin en surface et l'implantation.
Un ruissellement incontrôlé	tous les procédés	Ce paramètre peut empêcher ou limiter une utilisation optimale d'un site donné
Pente.	tous les procédés	Les pentes raides peuvent accroître le coût des travaux de terrassement et les risques d'érosion durant la période des (voir suite). *

* Une pente excessive peut causer des conditions d'instabilité quand le sol devient saturé et rend les cultures difficile à promouvoir. Le critère de la pente maximale dépend de l'importance des terres à pente moyenne (10%) et du type de procédé de filtration lente. Il est établi que des pentes de 15 % peuvent donner de grands succès sur le plan agricole [9]

2 - LE RELIEF

Le relief du terrain peut influencer le pompage économique des eaux usées. Le coût de pompage est la principale

dépense annuelle d'exploitation, quand il existe une grande différence d'élevation entre la source des eaux usées et le terrain d'application.

3. LE SOL

Le sol du site potentiel doit être déterminé en termes de ses propriétés physiques, hydrauliques et chimiques.

Tableau des paramètres essentiels.	
Propriétés Physiques	. texture et structure du sol, . Profil en profondeur.
Propriétés hydrauliques	. Taux d'infiltration et perméabilité . test d'aquifère
Propriétés chimiques	. P.H - Capacité d'échange en cation (C.E.C) - Conductivité électrique et absorption du phosphore

table
(4.5)

3.1. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

3.1.1. TEXTURE ET STRUCTURE

La texture et la structure d'un sol sont des aspects physiques qui affectent ses propriétés hydrauliques.

Les classes de texture sont définies au regard des pourcentages relatifs de sable, de silt et d'argile présents dans le sol. Pour ce faire, il faut réaliser des essais granulométriques et s'appuyer sur une classification très utilisée à travers le monde et qui est proposée par le Soil Survey Staff of U.S Department of Agriculture. Les valeurs proposées dans le tableau suivant sont les intervalles des diamètres de particules. [3]

Les classes de texture du sol et la terminologie générale utilisée pour les décrire sont établies au tableau suivant table (II.7)

Termes généraux		Noms des classes de texture des sols de base
Noms usuels	Texture	
Sol sableux	grossière	Sable Sable limoneux
	Modérément grossière	limon sableux limon sableux fin
Sol limoneux	Moyenne	limon sableux très fin limon Silt limoneux Silt
	Modérément fine	Glaise limoneuse limon glaise sableux limon glaise silteux
Sol argileux	fine	Argile sableuse Argile silteuse Argile

Les sols à fine texture n'assurent pas un drainage adéquat et retiennent un grand pourcentage de l'eau appliquée pendant une période de temps assez prolongé. Le résultat est que l'exploitation des cultures est plus difficile comparativement aux sols limoneux.

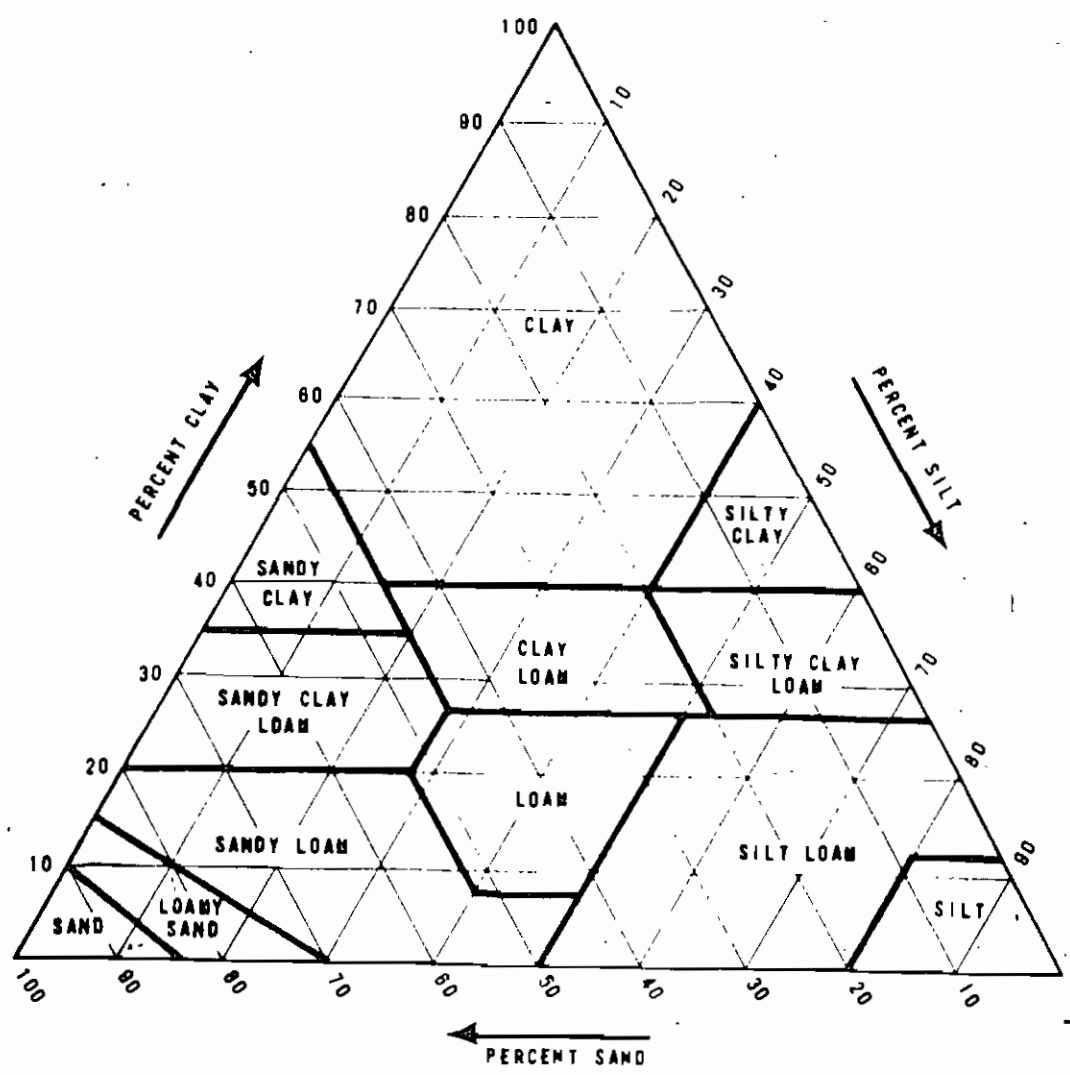
Les sols sableux peuvent accepter une grande quantité d'eau et ne retiennent pas l'humidité pendant longtemps. Cette caractéristique est particulièrement importante pour des cultures qui ne peuvent résister contre une submersion ou une saturation prolongée de la zone des racines.

À présent, nous pouvons faire quelques considérations sur la structure d'un sol qui est un paramètre qui réfère à la grandeur relative des forces de gravitation et des forces superficielles de liaison entre les particules.

table (II.61)

Argile	0 - 2 µm
Silt	2 - 50 µm
Sable très fin	50 - 100 µm
Sable fin	0.1 - 0.25 mm
Sable moyen	0.25 - 0.50 mm
Sable gros	0.50 - 1.00 mm
Sable très gros	1.00 - 2.00 mm
Gravier	> 2.00 mm

A partir de la distribution des dimensions de particu-
 on peut se référer au triangle de classification du Soil
 Survey Staff pour déterminer la classe de texture de notre
 sol.



On dira d'un sol qu'il a bonne structure si ses particules résistent à la désintégration, une fois mouillées ou broyées. De tels sols ayant de larges pores, conduisent l'eau et l'air et sont très désirables pour assurer l'infiltration.

3. 1.2 PROFIL EN PROFONDEUR.

Le profil en profondeur est important pour le développement des racines, pour la rétention des constituants des eaux usées par les particules de sol et enfin pour l'action bactérienne.

La rétention des constituants des eaux usées tel que le phosphore, les métaux lourds et des virus est fonction du degré de contact entre les particules colloïdales et du temps de résidence des eaux dans le sol.

La profondeur minimale de sol pour la plupart des systèmes de filtration lente est de 1.0 à 1.5 m. Le Corps Américain des Ingénieurs de l'Armée de concert avec le Département de l'Agriculture et l'E.P.A ont proposé des profondeurs désirables pour les différents procédés.

table (I-B)	Profil en profondeur du sol (mètres)	Commentaires
	< 0.30 à 0.6	désirable pour le procédé du ruissellement.
	> 0.6 à 1.5	désirable pour l'irrigation lente et le ruissellement.
	1.5 à 3.05	désirable pour tous les procédés.

3.2 - PROPRIETES HYDRAULIQUES

Le drainage des eaux dans le sol de la texture, de la structure et de l'absence de contraintes à l'écoulement dans le sous-sol. Des exemples de contraintes verticales pourraient

être de l'argile imperméable ou du substratum qui serviraient de lit à un sol sableux.

La transmissivité latérale et le taux de percolation sont des paramètres qui peuvent limiter le taux d'application des eaux usées à moins qu'ils soient supérieurs ou égaux au taux d'infiltration. Pour les systèmes à taux élevé d'application et qui dépendent très largement du mouvement vertical des eaux, la perméabilité de la couche la plus restrictive en profondeur détermine la charge hydraulique maximale.

La classification la plus récente des perméabilités des sols, réalisée par le Soil Survey Staff U.S. Department of Agriculture est présentée au tableau suivant [10]

Classes de perméabilité pour les sols saturés.	
Perméabilité du sol (cm/h)	Classes.
< 0.15	très lente
0.15 à 0.51	lente
0.51 à 1.5	Modérément lente
1.5 à 5.1	Modérée
5.1 à 15.2	Modérément rapide
15.2 à 50.8	Rapide
> 50.8	très rapide.

table (II.9)

Les chercheurs de l'armée et les agronomes américains en s'appuyant sur les expériences développées proposent pour les trois principaux procédés les valeurs et recommandations suivantes:

table (II.10)

	Irrigation lente	infiltration rapide	Ruissellement.
intervalle de perméabilité acceptable	0.15 à 50.8	5.1	0.51
Classes de Perméabilité	Modérément lente à Modérément rapide	Rapide	Lente.
Classe de texture	Argile limoneux à Sable limoneux	Sable et Sable limoneux	Argile et Argile limoneux.

3.3. PROPRIETES CHIMIQUES

Les propriétés chimiques sont importantes dans l'estimation du potentiel de rentabilité d'un système de filtration lente. En effet, leur détermination permet de saisir le niveau de base de tous les constituants qui s'accumuleront dans le profil du terrain avec le traitement et qui sont susceptibles de créer des problèmes à long terme. Sur cette base il devient alors possible pour les concepteurs d'appréhender les modifications à apporter dans la composition du sol.

Pour allons à présent étudier les paramètres chimiques les plus importants dans l'approche technique de faisabilité.

3.3.1 P.H.

Les mécanismes chimiques et biologiques de traitement sont affectés par le P.H. du sol. Il influence notamment l'enlèvement du phosphore. En outre, on note une réduction des activités biologiques si le P.H. tombe en dessous de 5. Son effet sur les plantes est une donnée essentielle à intégrer dans notre approche. table (II.11)

Résultats des test	Interprétation.
PH d'une patte de sol saturé	
< 4.2	trop acide, entrave la plupart des cultures.
4.2 - 5.5	désirable pour les cultures qui tolèrent l'acide.
5.5 - 8.4	désirable pour la plupart des cultures.
> 8.4	trop alcalin pour la plupart des cultures - indique un problème possible de sodium.

Le P.H. donc est un paramètre très utile parce qu'il est facile à évaluer et en outre il permet d'avoir une bonne idée du caractère d'un sol. On peut le déterminer à l'aide d'un P.H. mètre portatif à électrodes en verre. Pour ce faire, on réalise une patte de sol et d'eau dans un rapport déterminé qui peut être de 1/1, 1/2, 1/5, 1/10 ou une patte saturée. On suggère d'utiliser une solution de sel diluée à titre de solution réceptrice. Ainsi le faible changement intervenu dans la concentration initiale en sel du sol et qui affecte le P.H., serait alors contrebalancé. Il est à noter que le meilleur degré de précision que l'on pourrait obtenir d'une mesure de P.H. est de l'ordre de ± 0.2 [10]

Dans l'interprétation des informations sur le P.H., il est toujours important de savoir quelle est la méthode qui a été utilisée, du fait de l'influence de la procédure du test sur les résultats.

Dans l'étude de l'aménagement du sol, au prochain chapitre, nous reviendrons sur le P.H. et sur les correctifs à apporter dans certaines situations non désirables.

3.3.2 LA CAPACITÉ D'ÉCHANGE EN CATION

La capacité d'échange en cation (C.E.C) est la quantité de cations échangeable que le sol est capable d'adsorber. C'est une mesure indicative du potentiel d'adsorption des éléments à l'état de trace. L'adsorption intervient, comme étant le résultat de l'attraction entre les charges positives et négatives qui existent sur une surface de minéraux argileux, d'aluminums hydratés, d'oxydes de fer et de matières organiques.

Les cations impliqués dans l'échange sont le calcium, le magnésium, le potassium, le sodium, l'aluminium,

l'hydrogène et l'ammonium. Les éléments micro-nutritifs tel que le manganèse, le fer et le zinc sont aussi concernés par l'échange ionique, mais à plus faible échelle. La capacité d'échange en cation est une mesure de la réactivité chimique du sol, et est généralement une indication de l'efficacité du sol dans l'adsorption des éléments contaminants cationiques des eaux usées tel que les métaux lourds.

Les sols ayant une grande quantité d'argile et de matières organiques auront naturellement une plus grande capacité d'échange que les sols sableux à faible teneur en matière organique. Il est à noter cependant que les charges négatives qui s'associent avec les oxydes de métaux hydratés et les matières organiques résultent de la dissociation de l'ion hydrogène avec les groupes OH et COOH et sont donc dépendantes du pH.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour mesurer la capacité d'échange en cation. Elles impliquent un déplacement des cations adsorbés du site d'échange avec une solution de sel concentrée, suivi de l'analyse de notre échantillon au regard des cations déplacés. La différence essentielle entre les différentes méthodes se situe au niveau du pH auquel la solution de sol est maintenue.

Si nous sommes en présence d'un sol acide ($\text{pH} < 6.5$) il est recommandé que la capacité d'échange en cation soit calculée à partir de la somme des cations échangeables suivants (Al^{3+} , Mn^{2+} , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) déterminés à partir d'une analyse individuelle pour éviter l'effet des charges qui dépendent du pH. La détermination individuelle des cations échangeables permet en outre de calculer le pourcentage de

spécifications à propos des mesures à prendre pour couvrir les conditions sodiques.

En ce qui concerne la procédure d'évaluation du P.S.E, les références [12, 13, 14] développent une méthode d'analyse directe. Il est aussi possible de déterminer ce paramètre à partir d'une analyse indirecte ayant un degré de fiabilité très appréciable.

Cette deuxième approche implique l'analyse d'une extraction de sol saturé au regard du calcium, du magnésium et du sodium. Il s'agit de calculer en premier lieu le niveau que va atteindre l'adsorption du sodium des eaux usées par le sol; paramètre qui peut être estimé par la formule suivante:

$$\text{Rapport d'adsorption en sodium} = \text{R.A.S.} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{++} \cdot \text{Mg}^{++})/2}}$$

(en milliequivalents par litre)

Ensuite, on peut déterminer le Pourcentage de sodium échangeable (P.S.E) à l'aide du nomogramme publié par Tisdale et Nelson. [11]

Le Laboratoire Américain d'étude de la Salinité (U.S.S.L) a proposé une correction à apporter à l'équation précédente (R.A.S) pour tenir compte de la précipitation ou dissolution du calcium dans le sol et de la teneur en alcalinité, carbonate (CO_3) et bicarbonate (HCO_3) dans l'eau. La formule de correction et les facteurs requis qui y interviennent sont présentés au tableau (II.15)

sodium échangeable et le pourcentage de saturation en base. que feront l'objet des sections suivantes.

Une discussion plus approfondie sur la détermination de la capacité d'échange en cation a été réalisée par Tisdale et Nelson à la référence [11].

Les valeurs typiques de C.E.C pour différents sols ont été compilées par le Corps Américain des Ingénieurs de l'Armée et le Département Américain de l'Agriculture au tableau suivant: [3]

table (II.12)

Type de sol	C.E.C meq/100g	Commentaire
Sol sableux	1 à 10	adsorption limitée
Silt limoneux	12 à 20	adsorption modérée
Sols argileux et organiques	> 20	adsorption élevée

3.3.3 POURCENTAGE DE SATURATION EN BASE

Le pourcentage occupé par le calcium, le magnésium, le potassium et le sodium dans la capacité totale d'échange en cation est une importante propriété connue sous le nom de pourcentage de saturation en base. C'est une fausse appellation car ces cations ne sont pas véritablement basiques mais un tel terme est devenu courant.

En général, la disponibilité des cations basiques pour les plantes augmente avec le degré de saturation en base. Le PH aussi s'accroît avec le (D.S.B). Une balance satisfaisante des cations échangeables occupants la capacité d'échange en cation est donnée au tableau (II.13) [3]

Il est à remarquer, que si le sodium occupe 10% ou plus, de la capacité d'échange du site, des sols à fine texture

risquent de rencontrer des problèmes de perméabilité. table (II.13)

Balance désirable des cations échangeable occupant la capacité d'échange en cation.

[3]

Cation	% du total
Calcium	60 à 70
Magnésium	20 à 35
Potassium	5 à 10
Sodium	< 5

3.3.4 POURCENTAGE DE SODIUM ÉCHANGEABLE

Les sols ayant en quantité excessive du sodium échangeable sont appelés des sols "sodiques". Dans le passé, les termes "alkali" et "Alkali noirs" étaient plus utilisés. Un sol est considéré comme sodique si le pourcentage de la capacité totale d'échange en cation occupé par le sodium, plus connu sous le nom de pourcentage de sodium échangeable, dépasse 15 %.

Une telle proportion de sodium peut causer une dispersion des particules d'argile dans le sol du fait de la nature chimique des ions sodium. Cette dispersion est à l'origine d'une faible perméabilité du sol et de sa pauvre aération. Le niveau du P.S.E. à partir duquel ces problèmes sont rencontrés est variable selon la texture du sol. Les sols à texture fine sont affectés si le P.S.E. atteint la valeur de 10%. Par contre les sols à texture grossière ne seront pas endommagés - à moins que le P.S.E. n'atteigne 20% [3]

Dans l'étude de l'aménagement du sol au niveau du procédé de design, nous précisons certaines

NOMOGRAPH FOR DETERMINING THE SAR VALUE OF IRRIGATION WATER AND FOR ESTIMATING THE CORRESPONDING ESP VALUE OF A SOIL THAT IS AT EQUILIBRIUM WITH THE WATER [13]

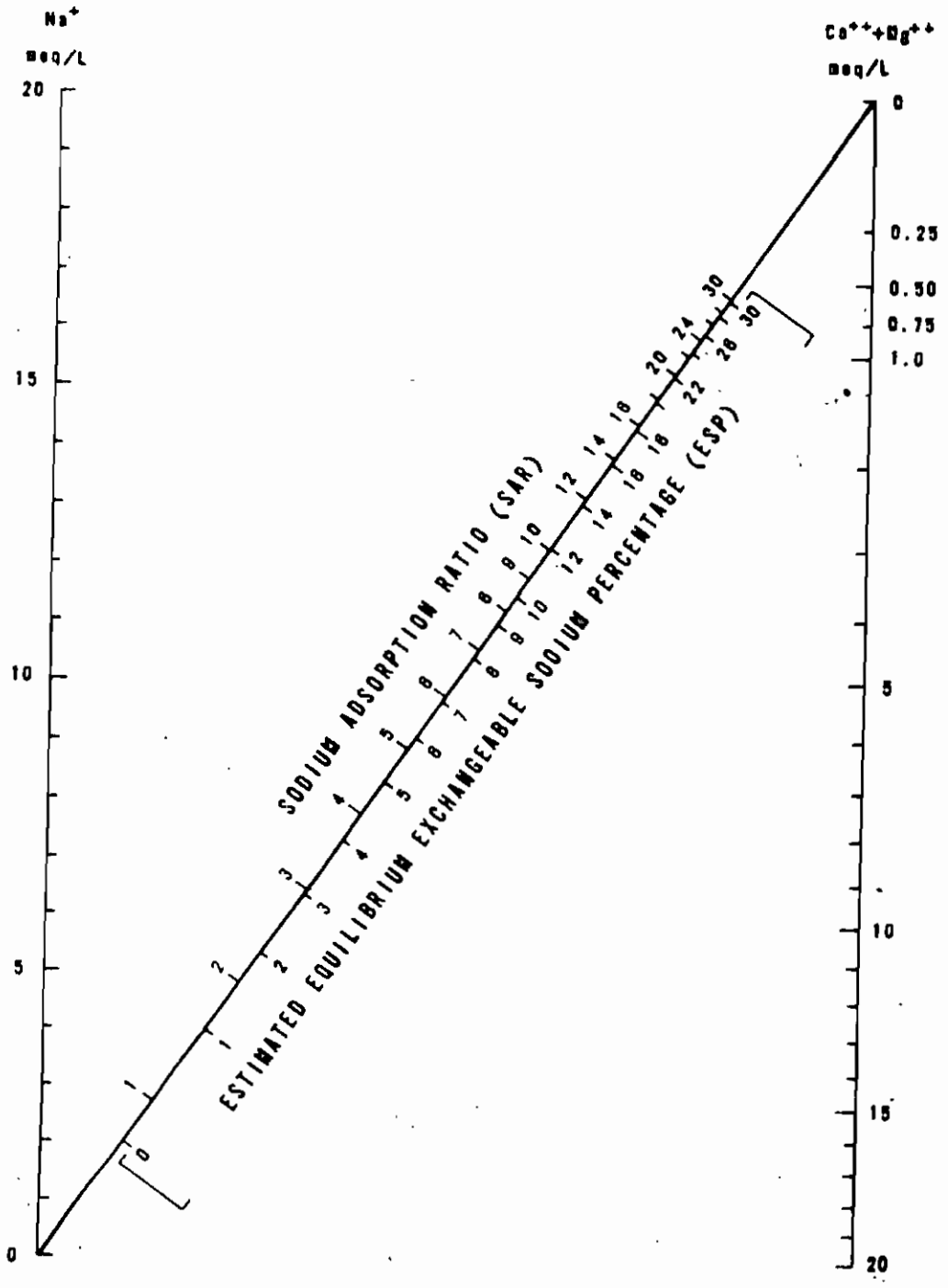


tableau (II.13')

Concentration Ca+Mg+Na meq/L	Column 1 p(H ₂ -K ₂)	Concentration Ca+Mg meq/L	Column 2 p(Ca+Mg)	Concentration CO ₃ +HCO ₃ meq/L	Column 3 pAlk
0.5	2.11	0.05	4.60	0.05	4.30
0.7	2.12	0.10	4.30	0.10	4.00
0.9	2.13	0.15	4.12	0.15	3.82
1.2	2.14	0.2	4.00	0.20	3.70
1.6	2.15	0.25	3.90	0.25	3.60
1.9	2.16	0.32	3.80	0.31	3.51
2.4	2.17	0.39	3.70	0.40	3.40
2.8	2.18	0.50	3.60	0.50	3.30
3.3	2.19	0.63	3.50	0.63	3.20
3.9	2.20	0.79	3.40	0.79	3.10
4.5	2.21	1.00	3.30	0.99	3.00
5.1	2.22	1.25	3.20	1.25	2.90
5.8	2.23	1.58	3.10	1.57	2.80
6.6	2.24	1.98	3.00	1.98	2.70
7.4	2.25	2.49	2.90	2.49	2.60
8.3	2.26	3.14	2.80	3.13	2.50
9.2	2.27	3.90	2.70	4.0	2.40
11	2.28	4.97	2.60	5.0	2.30
13	2.30	6.30	2.50	6.3	2.20
15	2.32	7.90	2.40	7.9	2.10
18	2.34	10.00	2.30	9.9	2.00
22	2.36	12.50	2.20	12.5	1.90
25	2.38	15.80	2.10	15.7	1.80
29	2.40	19.80	2.00	19.8	1.70
34	2.42				
39	2.44				
45	2.46				
51	2.48				
59	2.50				
67	2.52				
76	2.54				

$$\text{adj SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca}+\text{Mg}}{2}}} [1 + (8.4 - \text{pHc})]$$

$$\text{pHc} = (\text{pK}'_2 - \text{pK}'_1) + \text{p}(\text{Ca}+\text{Mg}) + \text{pAlk}$$

$$= \text{Column 1} + \text{Column 2} + \text{Column 3}$$

3.3.5 ADSORPTION DU PHOSPHORE

Pour le procédé de l'irrigation lente où l'enlèvement du phosphore est très important, le test sur l'adsorption du phosphore doit être développé. Pour ce faire il faut placer 10g de sol dans un récipient ayant une solution à concentration en phosphore connue. Après des agitations périodiques, on procède à l'analyse du phosphore résiduel de la solution. La différence de concentration avec l'état initial est attribuée à l'adsorption. Des procédures plus détaillées ont été présentées par Enfield et Bledsoe. [15]

Tofflemire et Chen ont publié qu'après 5 jours d'adsorption de phosphore dans un sol sableux, le résultat était entre 2.8 et 278 mg/100 g de phosphore appliqué avec une valeur moyenne de 38. [16]

Enfield et Bledsoe ont conduit des tests d'adsorption au delà de 4 mois et ont découvert que la rétention du phosphore était de l'ordre de 1.5 à 3.0 fois la rétention observée sur 5 jours. [15]. Ainsi Tofflemire et Chen ont fini par conclure que la rétention totale du phosphore dans un système donné serait entre 2 à 5 fois l'estimation d'un test d'adsorption sur 5 jours.

3.3.6 - ELEMENTS A L'ETAT DE TRACE

Certains éléments nutritifs peuvent atteindre un niveau tel dans le sol, qu'ils deviennent toxiques pour les plantes. Les éléments concernés sont le bore (B), le zinc (Zn), le cuivre (Cu) et le manganèse (Mn). Il existe aussi des corps étrangers ou des contaminants non nutritifs présent dans l'eau usée et qui peuvent s'accumuler dans le sol et être phytotoxique ou toxique pour les consommateurs des plantes ou des cultures les contenant. Dans l'essentiel, de tels éléments, comprennent l'arsenic (As), le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le nickel (Ni), le mercure (Hg) et le chromium (Cr).

Une des procédures d'analyse des métaux dans le sol est la méthode de la décomposition intégrale.

La décomposition totale et la solubilisation de tous les métaux par digestion d'un acide chaud est une méthode très indiquée pour des objectifs d'interception des eaux usées afin d'appréhender les changements intervenus dans la composition du sol suite à l'application des eaux usées.

Une autre approche serait de développer la méthode de l'extraction partielle qui est très utile pour étudier l'amélioration de la fertilité du sol. Tous ces tests ont été largement décrits par Niets et Lindsay, Brow et Deboer dans les références [17] et [18]

3.3.7 - SALINITÉ

Des sels solubles s'accumulent dans la zone des racines si la filtration est inadéquate pour les entrainer en profondeur dans le profil du terrain. Une filtration inadéquate est causée par une faible tombée des pluies, une irrigation insuffisante des terres ou de mauvaises conditions de drainage.

Dans les zones arides et semi-arides où l'évaporation annuelle est substantiellement en excès par rapport à la précipitation, les sels s'accumulent sous tous les sols.

Le niveau de salinité d'un sol est généralement mesuré sur la base de la conductivité électrique d'une solution de sol saturé extraite. La procédure d'analyse implique la préparation d'une pâte saturée suivie de l'extraction des vides et de la détermination de la conductivité électrique telle que décrit dans le handbook du Département Américain de l'Agriculture (U.S.D.A) [14] et les publications de la Société Américaine de l'Agronomie (A.S.A) [12].

Les sols salins sont définis comme étant ceux dont la conductivité électrique est plus grande que 4000 micromhos/cm à 25°C. Le sel dans la solution de sol va restreindre la croissance des plantes à des concentrations variables selon le type de culture pratiquée. L'U.S.D.A a proposé différents niveaux de salinité pour des cultures sensibles au sel.

Taux de Salinité Conductivité électrique micromhos/cm à 25°C	table (II.14) Effet
< 2 000	Pas de problème de salinité
2 000 - 4 000	Réduit la croissance des cultures très sensibles au sel.
4 000 - 8 000	Réduit la croissance de la plupart des plantes
8 000 - 16 000	Réduit la croissance de toutes les cultures sauf celles qui supportent le sel
> 16 000	Parmi les cultures qui supportent le sel, on note un faible rendement.

Dans l'étude de la préparation du site, au niveau du procédé de design, nous donnerons des suggestions sur le contrôle de la salinité.

4 - GEOLOGIE

La formation géologique et les discontinuités qui peuvent être à l'origine d'un patron d'écoulement imprévu de l'eau souterraine doivent être identifiées au préalable.

Si le roc sous-jacent est fissuré ou crevassé, il se produit une diminution du temps de rétention des eaux usées dans le sol et par conséquent une baisse du taux d'épuration.

5 - CLIMAT

L'évaluation des paramètres climatiques tels que la précipitation, l'évapotranspiration, la température et les vents est extrêmement utile pour le calcul de la balance de l'eau, l'estimation de la longueur de la période des cultures, du nombre de jours de non exploitation et les exigences dans la capacité de stockage des eaux usées de notre système.

En outre, le besoin en eau des cultures est en relation directe avec le climat de notre site de traitement.

Leur besoin en eau ou l'évapotranspiration est la quantité totale d'eau utilisée dans la transpiration, le stockage dans les tissus de la plante et l'évaporation à partir du sol adjacent [19]. Ce besoin varie avec le type de culture, l'humidité, la température de l'air, la longueur de la période de croissance et la vitesse du vent.

La quantité d'eau perdue par évapotranspiration peut être estimée à partir des mesures d'évaporation de l'eau d'un bac normalisé. Et il existe plusieurs modèles théoriques et empiriques de corrélation entre les deux variables.

6 - L'HYDRAULIQUE DES EAUX DE SURFACE

L'hydraulique des eaux de surface est une donnée pleine d'intérêt pour les systèmes d'irrigation lente. Les accessoires de notre système doivent être protégés contre l'érosion et l'enfoncement suite à une averse de forte intensité. Par exemple les tranchées et les crêtes, en terre pour l'irrigation et les cultures doivent être conçues pour résister contre le ruissellement des eaux d'orage.

7 - LES EAUX SOUTERRAINES

Les informations désirables ont trait à la profondeur de la nappe phréatique, à ses fluctuations saisonnières et à l'analyse chimique de l'eau souterraine.

Un aspect d'importance dans l'approche par filtration lente est la détermination du niveau suffisant d'enlèvement des éléments polluants de l'eau usée appliquée, avant qu'ils n'atteignent une nappe souterraine.

D'autres données utiles sont la direction, la profondeur et le débit des eaux souterraines qui nous permettent de faire des prédictions sur l'effet des eaux usées appliquées sur le

régime d'écoulement des eaux souterraines.

La plupart des informations requises pour l'évaluation des eaux souterraines peuvent être déterminées en utilisant des puits existant à proximité de notre site. La qualité des eaux souterraines doit être appréciée pour fin de comparaison avec celle des eaux renouvelées pour pouvoir apporter des correctifs nécessaires afin de respecter les normes de l'eau de boisson publiées par l'O.M.S.

E / AUTRES CONSIDERATIONS

Le traitement par filtration lente se réalise à partir des conditions naturelles existantes. Ainsi, il faut assurer une intégration de tous les aspects techniques, politiques, économiques et sociaux. Il faut dès lors se pencher sur :

- la législation en vigueur sur l'eau
- les programmes gouvernementaux
- l'utilisation des terres (plan d'aménagement du territoire)
- l'impact sur l'environnement
- les aspects économiques et sociaux.

L'ensemble de ces paramètres sont d'importance mais deux d'entre eux attireront plus particulièrement notre attention dans la suite de notre étude à savoir l'impact sur l'environnement et les problèmes économiques et sociaux.

1- IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

La plupart des projets publics nécessitent une étude de l'amélioration de leur impact sur l'environnement et particulièrement sur la végétation, la vie sauvage et sur la préservation des sites historiques et archéologiques.

1-1 VEGETATION ET VIE SAUVAGE

D'importantes relations existent entre des communautés écologiques. Une tâche importante serait d'étudier comment la totalité de l'écosystème peut être ajusté à notre projet. Cette démarche génère des contraintes à intégrer dans notre étude.

En l'absence d'une étude exhaustive, il existe un minimum de paramètres à considérer notamment :

- l'habitation des espèces rares et non dangereuses
- la localisation des communautés écologiques uniques.
- le chemin préféré des animaux migratoires ou des oiseaux
- la localisation des zones de pâturage, d'alimentation en et d'accouplement des animaux qui tolèrent très peu la proximité avec une activité humaine.
- les espaces dont les écosystèmes seraient légèrement perturbés suite à une application périodique d'eau
- les communautés de plantes ayant une grande tolérance en eau dans les alternatives de traitement par filtration lente.

Ainsi par exemple, l'empiètement sur l'habitation d'espèces menacées, en voie de disparition peut nous emmener à abandonner un site déjà choisi. Dans certains cas, l'intervention de biologistes et de zoologistes s'avère alors indispensable.

1-2 SITES HISTORIQUES ET ARCHEOLOGIQUES

Du fait que les systèmes de traitement par irrigation lente se développent sur de grands espaces, la possibilité d'interférer avec des sites historiques et archéologiques doit faire l'objet d'une très grande attention.

2 - ASPECTS ECONOMIQUES ET SOCIAUX

Les aspects économiques et sociaux comprennent la relocalisation, l'esthétique, l'acceptabilité des populations et leur participation dans notre œuvre. Et, ces facteurs sont les plus difficiles à appréhender et à évaluer.

La compilation des faits et des données statistiques sur notre aire d'étude, constitue la première direction de travail. Y'il arrive qu'une zone soit retenue, il peut arriver que la relocalisation des résidences, des bâtiments et du commerce soit envisagée. La relocalisation a un impact social et économique profond et s'il s'avère impossible de l'éviter dans des situations limites, nous devons fortement atténuer son ampleur et la réaliser dans de bonnes conditions.

Il existe d'autres considérations additionnelles à faire notamment sur la proximité d'une mosquée, d'une église ou d'un cimetière et pour lesquels une relocalisation est socialement inacceptable.

Quelle sera la réaction du public face au traitement par filtration lente et la réutilisation de l'eau renouée. Si le recyclage des déchets des animaux est accepté et encouragé, les populations se montrent par contre très méfiantes vis à vis de l'application des déchets des hommes sur le sol. Le phénomène est lié à une crainte des problèmes de maladies, d'odeurs et de nuisances, or ceux-ci ne peuvent se poser dans un système qui a été bien plantifié, conçu correctement et qui s'exploite dans des conditions normales en accord avec les standards existants et en intégrant tous les résultats de la recherche sur le traitement par filtration lente.

L'effet esthétique peut être réhaussé par une exploitation soignée, l'usage de zones tampons, l'implantation d'arbres et d'arbustes pour minimiser les odeurs potentielles, la croissance des mauvaises herbes et les eaux stagnantes.

Dans certains cas, les ingénieurs doivent apprécier la réceptivité des populations par rapport au traitement par filtration lente et envisager l'opportunité de campagnes d'éducation et de sensibilisation pour leur permettre de comprendre les objectifs et de pouvoir participer. Il sera alors possible de s'appuyer sur des groupes intéressés par le développement communautaire, des propriétaires de zones capable d'accomoder notre système ou des coopératives.

L'irrigation lente étant un procédé très économique de traitement des eaux usées et de promotion des cultures vivrières ou commerciales gagnera certainement leur approbation et leur adhésion.

F / ESSAI D'ESTIMATION DES COÛTS

Les facteurs qui influencent le coût du capital, de l'exploitation et de la maintenance sont sommairement discutés dans cette section.

Dans le cadre de l'aménagement du sol, les travaux de terrassement génèrent des déboursés à estimer en fonction de l'étendue du terrain et du temps d'opération des engins. Les composantes du traitement de pré-application telles que la sédimentation primaire, les lagunes aérées, de même la manipulation des boues et tout l'appareillage de transmission et de distribution des eaux usées doivent être intégrés dans notre évaluation.

Il est recommandé d'autre part que la période de vie économique de nos infrastructures interfère avec les valeurs couramment utilisées dans le domaine du génie sanitaire.

L'Agence Américain de Protection de l'Environnement (E.P.A) suggère à travers le tableau suivant une durée de vie en service pour les composantes d'un système d'irrigation. [3]

	Service life	
	Hours ^b	Years
Well can casing	.....	20
Pump plant housing	.....	20
Pump, turbine		
Bowl (about 50% of cost of pump unit)	16,000	8
Column, etc.	32,000	16
Pump, centrifugal	32,000	16
Power transmission		
Gear head	30,000	15
V-belt	6,000	3
Flat belt, rubber and fabric	10,000	5
Flat belt, leather	20,000	10
Power units		
Electric motor	50,000	25
Diesel engine	28,000	14
Gasoline or distillate		
Air cooled	8,000	4
Water cooled	18,000	9
Propane engine	28,000	14
Open farm ditches (permanent)	.....	20
Concrete structures	.....	20
Concrete pipe systems	.....	20
Wood flumes	.....	8
Pipe, surface, gated	.....	10
Pipe, water works class	.....	40
Pipe, steel, coated, underground	.....	20
Pipe, aluminum, sprinkler use	.....	15
Pipe, steel, coated, surface use only	.....	10
Pipe, steel galvanized, surface only	.....	15
Pipe, wood burfed	.....	20
Sprinkler heads	.....	8
Solid set sprinkler system	.....	20
Center pivot sprinkler system	.....	10-14
Side roll traveling system	.....	15-20
Traveling gun sprinkler system	.....	10
Traveling gun hose system	.....	4
Land grading ^c	.....	None
Reservoirs ^d	.....	None

Nous publions ici une fiche de coût du capital pour une alternative d'irrigation lente. table (II.15)

Alternative N° _____	Débit moyen _____ m ³ /j
Type de système _____	Date d'analyse _____

	Coût annuel (C-FA)			
	Travaux	Puissance	Matériel	Total
Traitement de Pré-application	_____	_____	_____	_____
Transmission	_____	_____	_____	_____
Stockage _____ m ³	_____	_____	_____	_____
Préparation du terrain	_____	_____	_____	_____
Distribution	_____	_____	_____	_____
Récupération des eaux	_____	_____	_____	_____
Coûts additionels	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____	_____
Revenus	_____	_____	_____	_____
TOTAL	_____	_____	_____	_____

En annexe ; nous proposons une publication pour une estimation plus précise des coûts : [20]

CHAPITRE III ETUDE DU PROCÉDE DE DESIGN

A / CONSIDERATIONS PRELIMINAIRES

Les paramètres essentiels à déterminer dans le design d'un système de traitement par filtration lente sont :

- la selection du site et du procédé de traitement
- le calcul de l'aire requise.

Ce chapitre vise à asseoir un guide sur la méthodologie du design d'un procédé d'irrigation lente. Notre étude s'articulera autour de la détermination de la surface requise et des composantes du système telles que :

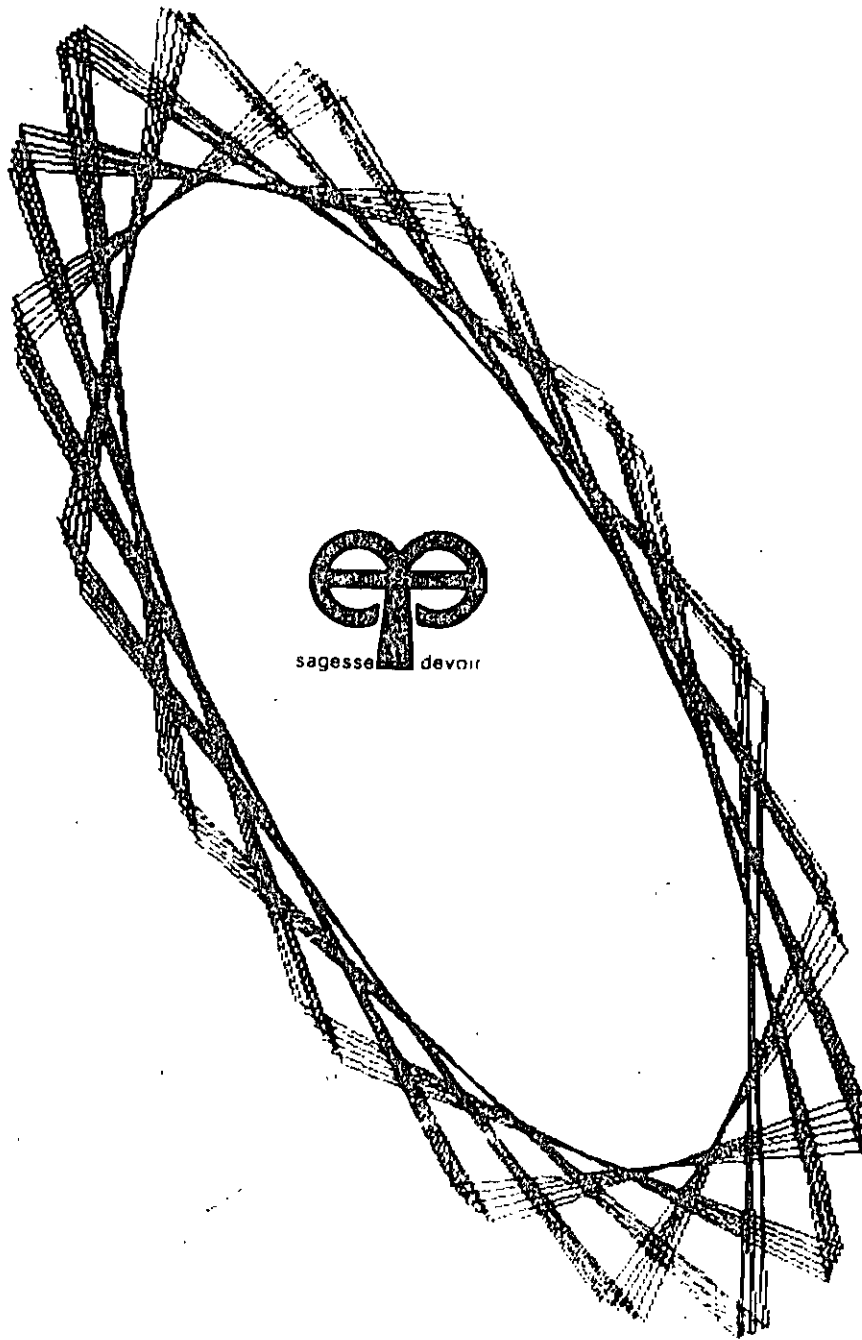
- le traitement de pré-application
- le stockage
- la distribution
- la récupération des eaux renouvelées
- les cultures et le mode d'exploitation agricole
- le système d'interception.

Nous essayerons alors de suivre le cheminement illustré par le diagramme relationnel des étapes montré à la figure (III.1) de la page suivante. (55)

B / REGION D'ETUDE

Notre objectif est d'approfondir le système d'irrigation lente et d'établir un guide pour le développement d'une culture de légumes ou de céréales dans la région de Thiès

Dans les conditions où les caractéristiques des eaux usées de la région ne sont pas encore déterminées, il s'agit de promouvoir une étude de façon à pouvoir apprécier la demande biochimique d'oxygène (D.B.O), les solides en suspension, la concentration en azote, en



sagesse devoir

phosphore... à partir d'un échantillon typique.

Du point de vue des exigences sur l'effluent, on peut avancer la nécessité d'intégrer les tolérances en eau et en éléments nutritifs des céréales (mil...) ou des légumes et d'éviter d'affecter les eaux souterraines qui sont utilisées comme eau de boisson par les populations.

A présent, nous pouvons nous pencher sur la sélection de notre site dans notre région d'étude.

C/ CARACTERISTIQUES DU SITE

1 - IDENTIFICATION DU SITE

1.2 PLAN D'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE THIÈS

L'étude de l'assainissement de la ville de Thiès du point de vue des eaux usées et des eaux pluviales a été réalisée pour l'horizon 2000. Le programme des interventions techniques s'articule en trois tranches de travaux successives respectivement en 1980 - 1990 - 2000. Ce projet relève d'une convention financière entre le Sénégal et l'Italie.

1.2.1 . DISPOSITIF DE COLLECTE DES EAUX

La ville de Thiès est située au centre d'un haut plateau en pente de l'Ouest vers l'Est. Le résultat de cette situation topographique est que les eaux, qui, lors de la saison des pluies s'écoulent des bassins les plus élevés, doivent traverser la ville avant de pouvoir s'épandre dans les dépressions situées au Nord Est de celle-ci : cette caractéristique combinée avec des averses d'une forte intensité, a provoqué au cours des années des inondations qui ont fait des victimes et provoqué des dommages importants par le passé.

Afin de protéger la ville, il a été prévu un anneau

de canaux périmétraux à l'extérieur des limites du développement urbain prévu, permettant ainsi l'écoulement des eaux en évitant leur afflux dans le centre habité. Cet anneau de canaux se développe sur environ 18 km, dont 10 ont été réalisés au cours de la première tranche.

L'éloignement des eaux de pluies propres à la ville de Thiès sera réalisé au moyen d'un réseau de dalots couverts qui flanquera et complètera le réseau de canaux déjà existants.

En ce qui concerne les eaux usées, la configuration altimétrique de la ville, comme précisée plus haut est caractérisée par deux bassins aisément identifiables, l'un s'écoulant vers le Nord et l'autre vers le Sud-Ouest. Ce phénomène a entraîné l'élaboration du projet d'un réseau d'égouts relié à deux installations de dépuración s'appelant respectivement Thiès Nord et Thiès Sud. Le réseau complet est composé de plus de 70 km de tuyaux en fibro-ciment, d'un diamètre variant entre 250 et 1000 mm

1.2.2. MODE D'ÉPURATION

Dans les stations d'épuration les eaux usées passeront tout d'abord à travers une grille afin de retenir les corps solides volumineux éventuels transportés. Puis elles passeront dans un dessableur pour réaliser la sédimentation des sables suspendus; elles seront ensuite introduites dans une série de bassins où auront lieu toutes les réactions biochimiques de la dépuración.

À la sortie de l'installation, l'eau dépurée sera stérilisée au moyen de l'adjonction de chlore.

1.3 - SELECTION D'UN SITE DE TRAITEMENT PAR IRRIGATION LENTE

Nous avons tenu à présenter ce projet parce que nous nous proposons d'intégrer le réseau de collecte des eaux usées avec notre système de traitement par irrigation lente.

Ainsi Diakhate II, le site de la station d'épuration Nord, peut être retenu comme lieu de développement de notre procédé de filtration lente en tant qu'alternative au mode d'épuration classique et plus onéreux proposé dans le plan d'assainissement de la ville de Thiès.

La station sud ayant été enlevé du projet, des considérations topographiques nous ont emmené à retenir cette localité comme site potentiel. Ainsi les coûts de transmission des eaux usées seront minimisés et il sera possible de développer une culture céréalière intégrée au processus de traitement par irrigation lente. Cette zone, du point de vue de la projection des populations et des plans d'aménagement du territoire jusqu'à l'an 2000 est considérée comme "zone verte" et à très faible densité. Il s'agira alors de continuer les investigations en profondeur pour compiler toutes les données essentielles nous permettant de faire la conception de notre système à Diakhate II.

Dans le cadre d'une ébauche, nous allons faire une présentation sommaire de quelques caractéristiques de la région et qui interfèrent avec notre domaine de recherche

1.3.1. QUELQUES DONNEES SUR LA ZONE D'ETUDE

1.3.1.1. GEOLOGIE, SOL, EAUX SOUTERRAINES

Sur la base d'une carte géologique et de l'échelle stratigraphique reconnue au Sénégal, nous établissons que nous

sommes en présence de formations qui datent de l'éocène moyen (lutécien) caractérisées par un lithofaciès très variable qui va des roches détritiques sableuses aux roches argilo-marneuses et au calcaires.

Les données suivantes recueillies sur un forage existant dans notre zone d'étude, permet de préciser quelques notions sur le sol, la géologie et les eaux souterraines: [21]

Forage F ₄ (Thiès)		table (III.1)
1. Longitude	16° 55' 0.7"	2. Latitude 14° 47' 10"
3. Altitude au sol	76 m	4. Profondeur 347 m.
5. Coupe géologique	0 à 150 m marnes + calcaire gris 150 à 247 m calcaire + marnes 247 à 290 m Alternances marnes / calcaires 290 à 348 m Sable grossier + argile	
6. Niveau statique de la nappe	: 77.2 m	
7. Rabattement	: 58 m	pour un débit de 100 m ³ /h.
8. Chimie des eaux :	teneur en fluor < 0.1 mg/l. Résidu sec 0.312 mg/l.	

Au regard de ces informations, il s'avère impérieux de continuer les analyses sur le sol et les eaux souterraines selon les directions d'étude avancées au cours du chapitre précédent.

table (III.2)

1.3.1.2. - DONNEES CLIMATOLOGIQUES

Pluviométrie à Thiès de 1970 à 1979 (mm)

1970	443.8
1971	526.6
1972	228.0
1973	266.5
1974	655.4
1975	578.7
1976	407.5
1977	287.7
1978	605.6
1979	787.9

Il ressort du tableau précédent que 1979 peut être retenue comme année de design. Le total de 787.9 mm reflète la quantité de pluie tombée sur toute l'année or il n'existe pas une compilation complète de la pluviométrie par mois pour la même année. Les données mensuelles disponibles sont présentées au tableau suivant.

table (III.3)

Mois	Température (°C)				Précipitation (mm)	Evaporation (mm)
	Moyenne Journalière Minimum	Moyenne Journalière Maximum	Minimum Absolu	Maximum Absolu		
Janvier	15.0	31.6	8.7	37.4		200
Février	15.9	31.6	10.5	40.6		170
Mars	16.8	33.6	12.8	42.1		212
Avril	17.1	33.4	14.0	43.0		189
Mai	19.6	33.0	15.2	42.6	0.3	144
Juin	21.9	33.3	17.5	41.3	133.4	115
Juillet	22.8	31.7	19.9	36.8	38.2	87
Aout	22.7	30.6	19.9	34.8	181.9	53
Septembre	22.5	31.4	19.5	36.0	158.9	51
Octobre	21.7	32.6	16.0	39.9		68
Novembre	18.9	33.4	11.8	40.2		112
Décembre	16.0	30.9	8.0	38.0		174

Total (incluant les données mensuelles manquantes) 787.9 1575

Les mesures d'évaporation ont été réalisées avec un bac normalisé classe A qui est utilisé au Sénégal de préférence à tout autre pour des raisons de standardisation et d'harmonisation avec un vaste réseau international.

En ce qui concerne la corrélation entre l'évaporation et l'évapotranspiration, nous pouvons partir de modèles empiriques développés au Centre National de Recherche Agronomique de Bambeu et qui s'appuient sur le concept du coefficient de végétation: $k = ET.M / Ev. Bac.$

La notion d'évapotranspiration maximale (E.T.M) se rapporte à une culture, c'est à dire à un complexe sol-plante dans lequel le sol a un rôle prédominant en début de cycle (évaporation sol nu), puis négligeable ensuite par rapport à la transpiration du végétal.

Il a été établi que k varie entre 0.66 et 0.79 avec une valeur recommandée de 0.73. A partir de cette valeur suggérée, nous pouvons établir un tableau nous permettant d'évaluer le déficit pluviométrique qui est une donnée importante dans le calcul de la balance de l'eau.

Mois	Precipitation (mm)	Evapotrans- Piration (mm)	Déficit
Janvier		$200 \times 0.73 = 146$	
Fevrier		$170 \times 0.73 = 124$	
Mars		$212 \times 0.73 = 155$	
Avril		$189 \times 0.73 = 138$	
Mai	0.3	$144 \times 0.73 = 105$	$0.3 - 105 = -104.7$
Juin	133.4	$115 \times 0.73 = 84$	$133.4 - 84 = 50$
Juillet	38.2	$87 \times 0.73 = 64$	$38.2 - 64 = -25.8$
Août	181.9	$53 \times 0.73 = 39$	$181.9 - 39 = 142.9$
Septembre	158.9	$51 \times 0.73 = 38$	$158.9 - 38 = 120.9$
Octobre		$68 \times 0.73 = 50$	
Novembre		$112 \times 0.73 = 82$	
Décembre		$174 \times 0.73 = 127$	
	787.9	1152	- 364.1 (mm)

table
(III.4)

Centre National de Recherche Agronomique
 de Bambeu
 1968

Ces considérations climatologiques qui sont spécifiques à notre zone d'étude, seront intégrées autant que possible dans la suite de notre développement. Du fait de l'inexistence de données exhaustives sur notre site, notre approche sur la méthodologie du design, à travers les sections qui suivront, sera très générale mais utile pour tout essai de finalisation de notre modeste contribution.

D/ CALCUL DE LA SURFACE REQUISE

La surface nécessaire est calculée en premier lieu sur la base de la charge hydraulique et de l'écoulement des eaux usées à traiter. En second lieu, on détermine le taux de chargement en azote, et la surface induite. Ainsi la plus grande des deux est alors utilisée dans la suite du design.

1. CHARGE HYDRAULIQUE

Le taux d'application suit la balance de l'eau.

$$L_w + P_r = E.T + W_p + R.$$

P_r : précipitation ft/yr (cm/yr).

L_w : taux de chargement hydraulique des eaux usées ft/yr (cm/yr).

$E.T$: évapotranspiration ft/yr (cm/yr).

W_p : eau de percolation ft/yr (cm/yr).

R : ruissellement ft/yr (cm/yr).

Pour l'irrigation lente, le ruissellement net peut être estimé négligeable ; ainsi $R \approx 0$.

A partir des considérations climatologiques faite sur notre zone d'étude nous savons que la précipitation totale annuelle est de 787.9 mm/yr (31.02 in/yr) moins l'évapotranspiration totale 1575 mm/yr (62.09 in/yr) nous donne un déficit de 787.1 mm/yr (30.99 in/yr).

Comme $ET > P_r$. l'effluent à appliquer sera augmenté au point d'égaliser l'évapotranspiration nette et la perméabilité du sol.

L'application des eaux usées peut se faire du mois d'avril au mois d'octobre . Cette période permet aux cultures vivrières d'être pratiquées et d'avoir des chances de donner des résultats . Notre système nécessitera alors 24 semaines de stockage (5 mois).

La quantité des eaux qui percolent , peut être estimée à partir de l'abaque (II.1)

Pour l'utiliser , il aurait fallu faire un essai de perméabilité sur le sol de notre site . A défaut, nous supposons une valeur déductible pour l'irrigation lente soit une perméabilité de 1.5 cm/h (0.6 in/h) . Un taux conservateur de 3.5 in/wk (8.9 cm/wk) est choisi du fait des activités agricoles prévues . Cette valeur multipliée par 28 semaines nous donne la charge annuelle :

$$(3.5 \text{ in/wk})(28 \text{ wk/yr})/12 \text{ in/ft} = 8.17 \text{ ft/yr} \\ \approx 248.9 \text{ cm/yr}$$

La charge totale de liquide doit être augmentée du déficit noté dans les considérations pluviométriques . Ainsi .

$$L_w = 248.9 \text{ cm/yr} + 78.71 \text{ cm/yr} = 327.6 \text{ cm/yr} \\ = 10.75 \text{ ft/yr}.$$

L'aire requise se calcule à partir d'une formule empirique proposée par le Corps Américain des Ingénieurs de l'Armée (U.S.A.C.I) de concert avec l'Agence de protection de l'Environnement (E.P.A) et le Département Américain de l'Agriculture (U.S.D.A).

à savoir :
$$A = \frac{3.06 \cdot Q}{L_w}$$

- A: aire requise (acres).
- Q: débit annuel des eaux usées Mgal/yr.
- L_w: chargement en eaux usées ft/yr.

Pour déterminer le débit de design, il aurait fallu connaître l'importance relative des populations qui déverseraient leur eau usée vers la station d'épuration Nord (Diakhati) à l'an 2000. Pour continuer notre illustration de la méthodologie du design, nous choisirons la valeur de 450 l/s (litre par seconde) qui peut être applicable à une population de plus de 100 000 personnes.

Ainsi
$$Q = 10.3 \text{ Mgal/d} \times 365 = 3759.5 \text{ Mgal/yr}$$

$$A = \frac{3.06 \times 3759.5}{10.75} = 1070.1 \text{ acres.}$$

Ce calcul de la surface est tout à fait indicatif et pourrait être utilisé dans le cadre d'une approche préliminaire des besoins.

Un calcul plus précis est réalisé dans l'approche suivante:

A partir de la balance de l'eau nous avons établi que :

$$W_p = L_w + P_r - ET$$

$$= L_w - 2.58 \text{ ft/yr.}$$

La quantité d'eau qui percole (W_p) et qui résulte de l'effluent appliqué (L_w) a une influence significative sur la charge en azote permise (L_n). La section suivante nous permettra d'illustrer les inter-actions qui existent entre ces différentes variables.

2. LA CHARGE EN AZOTE

L'exploitation de l'azote à travers le procédé de l'irrigation lente est principalement assurée par sa consom-

mation par les cultures avec en plus un phénomène de dénitrification. La balance annuelle en azote peut être calculée à partir de l'équation suivante et qui découle des recherches menées en Amérique du Nord.

$$L_n = U + D + 2.7 W_p C_p$$

- L_n : Chargement en azote des eaux usées lb/acre·yr (kg/ha·yr)
- U : consommation en azote des cultures lb/acre·yr (")
- D : dénitrification lb/acre·yr (kg/ha·yr)
- W_p : l'eau de percolation ft/yr (cm/yr)
- C_p : la concentration d'azote ayant percolé mg/l

À partir de la publication de la Station Agricole d'Expérimentation de Minnesota (M.A.E.S) et de l'Agence de Protection de l'Environnement, nous établissons que les céréales consomment entre 155 à 172 lb/acre·yr d'azote [3] Ces valeurs pour le Sénégal sont en train de motiver des recherches au Centre National d'Agronomie de Bambey, avec comme culture de référence le sorgho.

La dénitrification est difficile à déterminer, mais les chercheurs admettent que les pertes se situent entre 15 à 25% de l'azote appliqué. On sait qu'un phénomène de volatilisation se produit mais qu'il est difficile à quantifier. Aujourd'hui, il a été établi que des facteurs tels

- qu'un sol à fine texture ou à forte teneur en matière organique.
 - l'existence d'une couverture végétale et
 - les températures élevées
- ont tendance à réhausser la dénitrification.

La concentration permise en azote qui percole vers l'eau souterraine doit être limitée à 10 mg/l pour respecter les

standards de l'eau de boisson.

A partir de ces considérations, nous choisirons un taux de fixation des azotes pour une culture d'un céréale par exemple soit 172 lb/acre.yr. D'autre part, nous avons prévu d'exploiter notre système pendant 7 mois, d'avril à Octobre on pourrait cultiver du maïs (2 mois), un mil de 90 jours suivi d'une autre exploitation de maïs. Ainsi on peut supposer que $U \approx 2(172) = 344$ lb/acre.yr.

Dans le processus de finalisation de cette ébauche, il faudra accorder beaucoup d'attention aux résultats des chercheurs de Bambey sur le taux de fixation des azotes par les cultures sénégalaises.

La dénitrification est supposée égale à 20% de l'azote appliqué. Ainsi $D = 0.2 L_n$.

La concentration de design d'azote ayant percolé C_p est maintenue à 10 mg/l

Ainsi $L_n = 344 + 0.2 L_n + 2.7 (L_w - 2.58)(10) *$

Une autre relation importante suggérée par les chercheurs est celle qui existe entre la charge en azote et la charge hydraulique. [3]

$$L_n = 2.7 C_n L_w$$

C_n : concentration d'azote appliqué mg/l.

L_w : chargement hydraulique des eaux usées ft/yr.

En se référant à la table de la page, on peut supposer être en présence d'une eau usée de type moyen avec une concentration en azote total de 40 mg/l et en assumant que le traitement de pré-application et le stockage nous ramènent à une valeur projetée de $C_n = 28$ mg/l ; on a alors le résultat suivant :

$$L_n = 2.7 (28) L_w = 75.6 L_w$$

$$L_w = 0.013 L_n \quad *$$

Ainsi, avec nos deux équations à deux inconnues, (*) la balance de l'azote peut alors être résolue.

$$\begin{aligned}
 L_n &= 344 + 0.2 L_n + 2.7 (L_w - 2.58)(10) \\
 &= 344 + 0.2 L_n + (2.7) [(0.013 L_n) - 2.58] (10) \\
 &= 609.6 \text{ lb/acre.yr.}
 \end{aligned}$$

La solution complète pour une concentration de design d'azote ayant percolé égale à 10 mg/l est la suivante:

1. Le chargement en azote des eaux usées appliquées sur notre site de traitement = $L_n = 609.6 \text{ lb/acre.yr.}$
2. la charge hydraulique des eaux usées = L_w
 $L_w = 0.013 L_n = 0.013 (609.6) = 7.92 \text{ ft/yr.}$
3. l'eau de percolation = $W_p = L_w - 2.58 = 5.34 \text{ ft/yr}$
4. La dénitrification = $D = 0.2 L_n = 121.9 \text{ lb/acre.yr.}$
5. Charge en azote ayant percolé = $P_n = 2.7 C_p W_p$
 $P_n = 2.7 (10) (5.34) = 144.2 \text{ lb/acre.yr.}$
6. La surface requise = F (acres).

$$A = \frac{3.06 \cdot Q}{L_w} = \frac{3.06 \times (365) \times 10.3}{7.92} = 1452.5 \text{ (acres).}$$

TABLEAU DES RÉSULTATS

Chargement en azote des eaux usées L_n :	609.6 lb/acre.yr.	682.8 kg/ha.yr
Charge hydraulique des eaux usées L_w :	7.92 ft/yr	2.42 m/yr
eau de percolation W_p :	5.34 ft/yr.	1.63 m/yr.
Dénitrification D :	121.9 lb/acre.yr.	136.5 kg/ha.yr
Charge en azote ayant percolé P_n :	144.2 lb/acre.yr.	161.5 kg/ha.yr
Surface requise pour notre site A :	1452.5 acres.	588.3 ha ≈ (590 ha)

Après la détermination de la surface requise, nous devrions en principe nous pencher sur l'enlèvement de la DBO, des solides en suspension, du phosphore, des éléments à l'état de trace et des micro-organismes. Du fait de l'absence de données de base, une telle approche s'avère impossible. On ne peut faire des projections de performance de notre système. Nous tenterons de revenir sur cette question à travers une appréciation d'ensemble du procédé.

E / LE TRAITEMENT DE PRE-APPLICATION

Le traitement de pré-application est conçu dans notre système comme un moyen de contrôle des odeurs durant la période de 24 semaines de stockage et pour la réduction des solides en suspension. Ainsi on procède à l'enlèvement des solides grossiers et décontables pour éviter leur dépôt sur nos tranchées d'irrigation.

L'enlèvement des azotes, du phosphore et des autres constituants organiques et inorganiques des eaux usées ne dépend pas du niveau spécifique de traitement avant application sur notre site. Ainsi une oxydation partielle des eaux usées serait adéquate.

Le bassin de stockage à long terme sera à l'origine d'un processus de traitement additionnel durant le temps de rétention des 24 semaines. Dès lors un traitement de pré-application par une lagune aérée qui réduirait certainement la concentration en D.B.O serait largement suffisant. Il existe d'autres procédés d'oxydation des matières organiques avant eaux usées avant l'application, mais notre choix peut être considéré acceptable pour nos objectifs.

Les procédures de détail pour le design des lagunes

sont entièrement couvertes dans d'autres études et publications que nous proposons en

F/ LAGUNE DE STOCKAGE

Des considérations climatiques nous ont permis d'établir la nécessité de 24 semaines de stockage. Notre débit de design étant de 10.3 Mgal/d (450 l/s), nous avons un volume à stocker de $24 \times 7 \times 10.3 = 1730.4$ Mgal ($6.55 \cdot 10^6$ m³).

Ainsi il faudrait une surface 187.2 ha ayant une profondeur de 3.5 m. Soit par exemple un carré de 1368 m de côté.

Il faudrait alors faire des considérations sur l'effet du vent sur notre surface d'eau. Cette étude est basée sur l'approche qui est développée pour les réservoirs des petits barrages.

Soit H_D : la hauteur de la vague de design.

D'après Stevenson $H_D = 0.75 + 0.34 F^{0.5} - 0.26 F^{0.25}$ (m)

où F est une longueur fictive pondérée représentant la notion de force du au vent (fetch) $F \approx 1.3 \cdot \text{km}$.

$$H_D = 0.86 \text{ m.}$$

La surélévation du plan d'eau due au vent: S

$$S = \frac{V^2 \cdot F}{1400 D}$$

ou F est en miles, V : vitesse du vent en mile/heure et D : profondeur en pied.

A Thiès durant la saison sèche la vitesse maximale du vent peut être établie à 3 m/s = 10.8 km/h.

$$V = \frac{10.8}{1.609} = 6.71 \text{ mile/h.}$$

$$F = \frac{1.3}{1.609} = 0.81 \text{ miles.}$$

$$S = (6.71)^2 (0.81) / 1400 \times \left(\frac{3.5}{0.305} \right) = 2.27 \cdot 10^{-3} \text{ (pi)}$$

La hauteur de déferlement de la vague $H_V = 1.25 H_D$.

L'accroissement de profondeur $R = H_V + S = 1.25 (0.86) + S$

$$R = 1.10 \text{ m.}$$

Ainsi, nous aurons une profondeur totale de 4.6 m. On peut ensuite envisager la division de notre lagune en plusieurs cellules. Ainsi on pourrait contre carter la génération des vagues et diminuer sensiblement notre profondeur définitive. Une telle alternative serait très bénéfique pour l'entretien de notre dispositif et réduirait les coûts d'excavation. Il est vrai que notre site se situe dans un bassin ce qui constitue un avantage certain.

G/ DISTRIBUTION DES EAUX USEES

Les techniques courantes de distribution des eaux usées dans un procédé d'irrigation lente se résument à deux méthodes :

- l'application en surface
- l'utilisation d'arroseeur automatique rotatif (tourniquet)

L'utilisation de l'un ou l'autre, dépend des objectifs du projet, des limites imposées par la topographie, le type de sol et les exigences des cultures.

L'application en surface employé par gravité à partir d'un système de conduites ou de tranchées ouvertes pour inonder l'aire d'application avec plusieurs centimètres d'eau. Cette méthode est plus convenable pour les sols à de prise faible ou modéré.

La distribution par arroseeur automatique rotatif, simule une précipitation et subit moins de contraintes topographique que la méthode précédente. Elle permet l'irrigation de plus de cultures et quand la conception est bien faite, elle fournit une distribution plus uniforme et une plus grande flexibilité dans les fourchettes de taux d'application.

En dépit de ces avantages, ce procédé admet

d'importantes limites que sont les conditions aduerses de vent la colmatation des orifices du bec par les solides et son coût beaucoup plus élevé que la méthode d'application en surface. Cette dernière polarisera davantage notre attention. En plus elle est très fonctionnelle pour une culture de légume ou de céréales particulièrement pour le maïs.

1- LES TRANCHEES D'IRRIGATION



Les cultures se font sur les crêtes alors que les tranchées doivent être droites et nivelées. En référence, nous proposons une liste de publication qui précisent le design du flot dans les tranchées, leur profondeur, leur pente et leur espacement. [3]

La F.A.O (Food and Agricultural Organization of United Nations) a publié sur les surfaces d'irrigation des standards que nous reproduisons ici: [3]

Longueurs maximales suggérées de tranchées pour différents sols, pentes et profondeurs d'eau appliquée.
(feet)

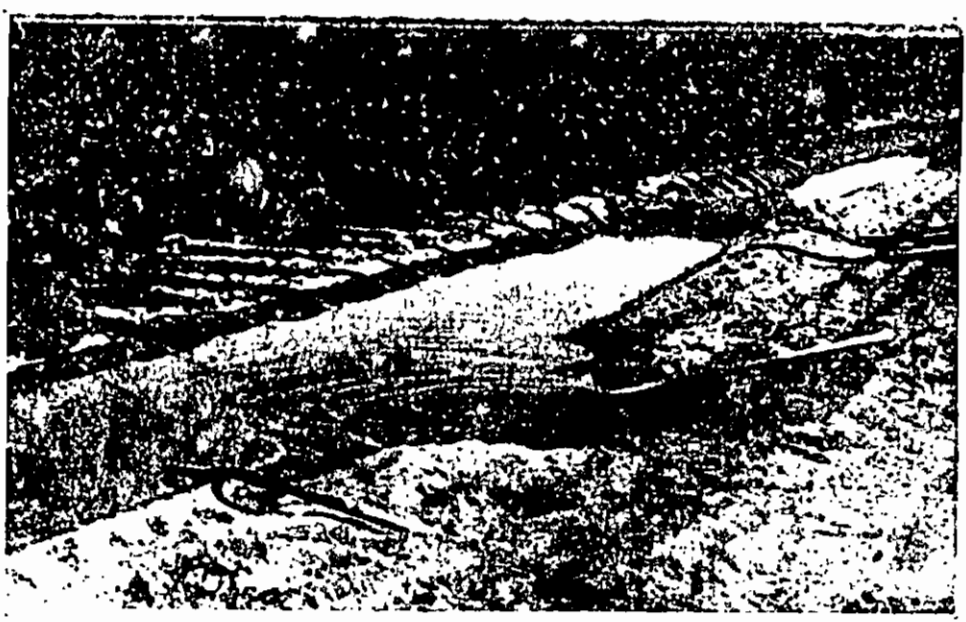
Profondeur moyenne d'eau appliquée (in)

Pente des tranchées % ↓	Argiles.				limons				sables			
	3	6	9	12	2	4	6	8	2	3	4	5
0.05	1000	1300	1300	1300	400	900	1300	1300	200	300	500	600
0.1	1100	1400	1500	1600	600	1100	1400	1500	300	400	600	700
0.2	1200	1500	1700	2000	700	1200	1500	1700	400	600	800	1000
0.3	1300	1600	2000	2600	900	1300	1600	1900	500	700	900	1300
0.5	1300	1600	1800	2400	900	1200	1500	1700	400	600	800	1000
1.0	900	1300	1600	1900	800	1000	1200	1500	300	500	700	800
1.5	800	1100	1400	1600	700	900	1100	1300	250	400	600	700
2.0	700	900	1100	1300	600	800	1000	1100	200	300	500	600

2. LE SYSTEME D'ACHEMINEMENT DES EAUX

Le système d'acheminement le plus couramment utilisé pour l'irrigation par tranchée, consiste en des fossés ouverts avec des conduites à siphon. Les fossés ouverts doivent être alimentés par des fosses de distribution, des canaux ou par des pipelines enfouis avec des tuyaux de canalisation ascendante à valve.

La conduite à siphon est un tube en acier, aluminium ou en plastique qui permet de siphonner l'eau à partir des fosses ouvertes pour approvisionner les tranchées en eau. Le contrôle du débit est assuré par les dimensions et le nombre variable de conduites utilisées. Une fois en opération, la demande est très significative du fait de l'importance des manipulations et de la nécessité de maintenir un niveau d'eau minimum dans la fosse d'approvisionnement pour assurer la continuité du débit. L'utilisation des conduites à siphon permet à partir du niveau d'eau dans la fosse d'exercer un excellent contrôle sur le nombre d'heures d'opération.



H / LA RÉCUPÉRATION DES EAUX RENOVÉES

Pour le traitement par irrigation lente, il existe deux formes de recouvrement des eaux renouvelées :

- les drains : utilisés pour le contrôle de l'eau souterraine et la récupération de l'effluent traité.
- la collecte des eaux en aval dans le cas de l'application en surface.

1. LES DRAINS

L'installation d'un système de conduites souterraines permet de contrôler la nappe phréatique pour pourvoir le sol d'un temps de rétention suffisant et d'une bonne distance de migration des eaux usées à travers le sous-sol. Ainsi on peut s'assurer que la qualité désirée des eaux renouvelées a été atteinte. Dans le cas de l'irrigation lente, la possibilité pour les plantes de croître et de faire de bonne récolte dépend aussi des conditions de drainage.

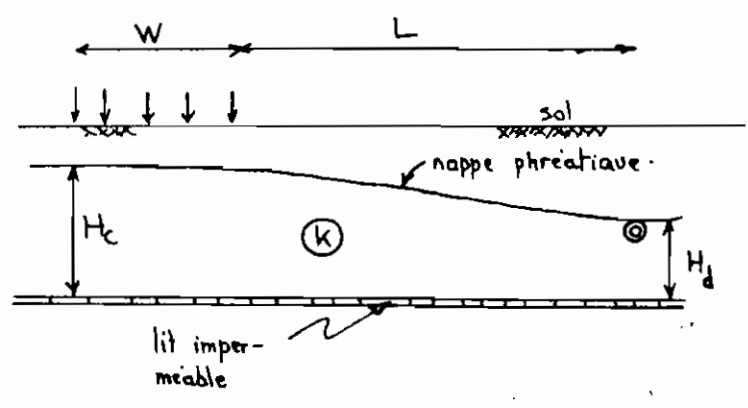
Des modèles de drainage ont été développés lors du troisième Symposium Américain sur le drainage à Chicago en 1976, mais ils s'appliquent surtout pour les sols à nappe phréatique élevée. [3]

Dans les régions arides et semi-arides, les drains sont placés le plus profondément possible pour éviter une remontée par capillarité d'une eau salée vers la zone des racines. Bouwer a suggéré une équation pour déterminer la distance à laquelle les drains doivent être placés :

$$H_c^2 = H_d^2 + IW (W + 2L) / k$$

H_d : hauteur du drain à partir de la couche imperméable : ft (m).

- I: taux d'infiltration in/h (cm/h).
- W: largeur du champs d'application ft (m).
- L: distance vers le drain ft (m).
- k: perméabilité du sol.



Les drains sont en plastique, béton ou tuile d'argile. Le choix dépend du prix et de la disponibilité des matériaux. Si du sulfate est présent dans l'eau souterraine, il est nécessaire d'utiliser des conduites en ciment.

2. RECUPERATION DES EAUX EN AVAL

C'est une pratique répandue que d'inclure un système de récupération des eaux en aval dans la conception. Pour ce faire, trois éléments sont nécessaires: une pompe, un petit bassin et une conduite de retour. Le système est généralement dimensionné pour reprendre 25 à 50% de l'écoulement superficiel. Pour estimer les facteurs de ruissellement, le Département de l'Agriculture de l'université de l'état du Colorado a suggéré des valeurs [3]

Perméabilité		classe de texture	Durée maximale de ruissellement. % du temps d'application	Estime du volume du ruissellement, % du volume appliqué
Classe	taux cm/h			
lente à Modérée	0.15 à 1.5	Argile à Silt.	33	15
Modérée à modérément rapide.	1.5 à 15.2	Argile limoneuse à sable limoneux	75	35

I/ LES CULTURES ET LE MODE D'EXPLOITATION AGRICOLE

La végétation en général dans un système d'irrigation lente sert à deux fonctions majeures :

1. En fixant les éléments nutritifs, les cultures concentrent l'azote et le phosphore au dessus du sol. Ainsi ils peuvent être enlevés à travers les récoltes.

2. Les plantes réduisent effectivement l'érosion du sol en diminuant la vitesse de ruissellement. Les ramifications des racines entretiennent et augmentent la perméabilité du sol, alors que l'abri que constitue les feuilles protège le sol contre l'effet de compaction qui en résulterait d'une eau tombante.

1- CONSIDERATIONS HYDRAULIQUES

La pointe de besoin en eau et la profondeur des racines constituent des données d'importance. La tolérance des cultures aux inondations et à leur durée est basée sur la profondeur des racines.

La saturation de la zone des racines par l'eau souterraine peut être tolérable mais elle peut dans certains cas et pour des cultures données affecter

Les céréales et les patates peuvent en général subir l'inondation pendant quelques jours sans dommage. Il est à noter que le maïs se montre particulièrement résistant. Il est certain que ce sont les herbes et les plantes fourragères qui résistent le plus à ce phénomène, mais leur intérêt économique est moindre.

En annexe, nous publions des résultats des chercheurs de Bambey sur les principales cultures du Sénégal au point de vue besoin en eau et rendement.

2. PRISE DES ELEMENTS NUTRITIFS

Les elements nutritifs essentiels pour la croissance des plantes sont l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium et les sulfures.

Les recherches menées par l'armée américaine à Hanovre et les résultats de la Station d'Experimentation Agricole à Minnesola (M.A.E.S) ont permis d'établir les besoins en éléments nutritifs des céréales et des patates : [3]

Cultures.	Besoins lb /acre.yr.		
	Azote	Phosphore	Potassium
Céréales	155 - 172	17-25	96
Patates	205	20	220-288

Au niveau cellulaire, les cultures ont un besoin minimal en éléments nutritifs et qui peut doubler ou quadrupler en présence d'une irrigation par des eaux usées à la place d'une eau ordinaire [3]. Nous devons cette importante conclusion à Sopper et Kardos qui se sont penchés sur la réponse de différentes cultures à l'irrigation avec les eaux usées urbaines à l'université de Pennsylvanie.

La prise de l'azote par les céréales est faible dans les trente (30) à quarante (40) premiers jours mais elle augmente brusquement après cette période et cette croissance se maintient jusqu'à la récolte.

La quantité de phosphore existant dans les eaux usées dépasse en général le besoin des plantes. Mais fort heureusement, plusieurs sols ont une grande capacité de prise de phosphore et le peu d'excédent qui en résulte percole vers

l'eau souterraine. C'est un élément qui enrichit le sol, ceci est particulièrement bénéfique pour le Sénégal où les sols sont très pauvre en phosphore.

Pour le potassium, les cultures en consomment beaucoup alors que les eaux usées typiques connaissent une certaine déficience pour cet élément. Dans certains cas, il devient nécessaire d'utiliser un fertilisant pour optimiser la croissance des plantes mais une telle alternative est rare et dépend du sol et du type de culture pratiquée.

Les micro-éléments intervenant dans la croissance des plantes par ordre décroissant sont le fer, le manganèse, le zinc, le bore, le bronze, le molybdène et occasionnellement le sodium, le silicium, les chlorures et le cobalt. La plupart des eaux usées contiennent et dans de bonnes proportions ces éléments et même dans certains cas il faudrait faire des considérations sur la phytotoxicité.

3 - SENSIBILITE PAR RAPPORT AUX CONSTITUANTS DES EAUX USEES

La croissance des plantes peut être gravement affectée par l'excès de sel (généralement du chlorure ou du sodium), par l'excès d'acidité ou une concentration trop importante d'un des micro-éléments.

En général, dans l'échelle des tolérances, les plantes fourragères sont plus résistantes, suivies des céréales et enfin les oléagineux.

En ce qui concerne l'accumulation des éléments à l'état de trace dans le sol, il existe deux considérations à faire : la phytotoxicité et la possibilité d'une migration dans la chaîne alimentaire.

Le bronze, le zinc et le nickel sont des exemples de premiers ordres et qui sont capables d'être très toxiques pour certaines plantes. D'après toutes les informations collectées jusqu'à une date assez récente, il n'existait nulle part où les micro-éléments se sont accumulés à un niveau phytotoxique. On ne peut non plus prouver si le traitement par filtration lente plus de risques pour la santé publique que les méthodes conventionnelles. Cette pauvreté des informations disponibles sur les maladies causées par ce procédé reflète probablement l'absence de problème majeur. Il existe, certes, un élément : le cadmium qui a un grand potentiel de migration dans la chaîne alimentaire. Nous proposons une étude plus exhaustive sur ces questions d'intérêt en référence.

4 - PREPARATION DU SITE

Une fois que les importantes questions qui relèvent de la conception du système sont correctement appréhendées, il s'agit à présent de transformer la nature pour atteindre nos objectifs. On se rend compte alors qu'il est très difficile de maintenir le complexe sol-végétation dans de bonnes conditions de productivité et dans un état régénératif durable. Il devient donc nécessaire d'avoir une certaine idée des techniques agricoles.

4.1 PREPARATION DU CHAMPS

La procédure de préparation du site pour l'irrigation lente consiste à défricher, à enlever la couche végétale et les souches d'arbres, à amasser les mauvaises herbes en pile, exécuter leur brûli, aménager et régulariser la pente si une telle opération s'impose, à labourer et à retourner la terre pour l'ameublir et l'aérer.

Pour les sols pauvres, il faudrait envisager leur amé-

l'irrigation au niveau chimique en y ajoutant du gypse pour corriger les conditions sodiques du sol et accroître la perméabilité ou de la chaux pour réduire l'acidité et la toxicité des métaux. Les fertilisants peuvent s'avérer inutile du fait de la richesse en éléments nutritifs des eaux usées.

4.2 MAINTIEN DE L'INFILTRATION POUR LE SYSTEME DE L'IRRIGATION LENTE

Le taux d'infiltration de l'eau dans le sol peut être réduit par l'obturation et la colmatation en surface. Ces phénomènes sont le résultat d'une compacton de la surface par les machines ou par la pluie, de l'existence d'une croûte d'argile causée par l'écoulement ou tout simplement dus aux particules en suspension qui sont faites de matières organiques et de gaz emprisonnés.

Cette couche de surface relativement étanche peut être par des scarifications, des sillons ou tout autre technique permettant de remuer la terre et de réhausser le taux de prise des eaux par le sol.

4.3. CONTRÔLE DE LA SALINITE

Si la salinité du sol est très élevée pour la plupart des cultures ($EC > 4$ mmhos/cm), des mesures de contrôle doivent être effectuées. La méthode préconisée consiste à lessiver le sel de l'écorce terrestre en ajoutant suffisamment d'eau d'irrigation si bien que la quantité d'eau en excès par rapport aux besoins des cultures percole en dessous de la zone des racines et y réduit la salinité globale. Il faudra veiller aussi à la protection des eaux souterraines ainsi le Handbook du Département Américain de l'Agriculture constitue une excellente référence pour corriger les

sols salins et sodiques.

4.4 EXPLOITATION DES CULTURES

Il est possible d'envisager une double moisson, ce qui accroît le temps d'opération de notre système et augmente le gain et la capacité d'adsorption des azotes.

Dans notre étude à Diakhate, nous avons alors proposé une triple moisson de maïs, mil, maïs.

4.5. UTILISATION DE LA RECOLTE

Depuis que le traitement par filtration lente a commencé à permettre une pratique fiable des cultures commerciales, les céréales se sont révélées être à l'origine du plus grand profit [3]

Au projet de Muskegon en 1976, les revenus à partir de la moisson des céréales s'élevait à \$ 1.000.000. Il n'y avait eu aucune restriction dans la vente des récoltes produites par irrigation lente. [3]

5 - SYSTEME D'INTERCEPTION

Le système d'interception dans le traitement par filtration lente implique l'observation des changements significatifs intervenus dans l'eau usée appliquée. Ces informations permettent de confirmer les prédictions ou de déterminer les correctifs à apporter pour protéger l'environnement et pour maintenir la capacité renouvatrice de notre système.

L'observation doit être portée sur les eaux usées, le sol et les eaux souterraines et, dans certains cas, il faut se pencher sur la croissance des cultures. Nous polariserons notre attention sur l'étude du sol et à la fin de cette section, nous proposerons un programme de système d'inter-

ception, qui impliqueraient des investigations dans tous les domaines.

5-1 AMENAGEMENT DU SOL

Il peut arriver que le traitement par filtration lente modifie les propriétés du sol. Les tests pourront alors constituer une base d'analyse pour étudier l'opportunité d'améliorer le sol. Les paramètres à mesurer sont le PH, le pourcentage de sodium échangeable, la salinité, le statut des éléments nutritifs et les métaux. Nous pouvons maintenant proposer quelques correctifs possibles pour faire face à certaines situations indésirables.

5.1.1 P.H.

En dessous d'un PH de 6.5, la capacité du sol à retenir les métaux est réduite de façon appréciable, alors qu'un PH supérieur à 8.5 indique généralement une grande teneur en sodium et des problèmes possibles de perméabilité. Un programme d'ajustement du P.H requiert l'intervention des professionnels de l'agriculture.

Les sols acides (faible PH) peuvent être corrigés de différentes façons par l'addition de carbonate de calcium. Les sols alkalin (PH élevé) peuvent être réajustés par l'addition d'agents acidifiants.

5.1.2 % DE SODIUM ECHANGEABLE

Quand le % de sodium dans le complexe d'échange du sol dépasse 10 à 15 % des problèmes peuvent surgir avec la réduction de la perméabilité.

Les conditions sodiques du sol peuvent être modifiées en ajoutant du calcium soluble dans le sol. Ainsi le sodium enlevé de l'échange pourrait alors être lessivé.

Le calcium peut être appliqué sous la forme de gypse ($CaSO_4$), en poudre sèche ou dissoute dans les eaux usées.

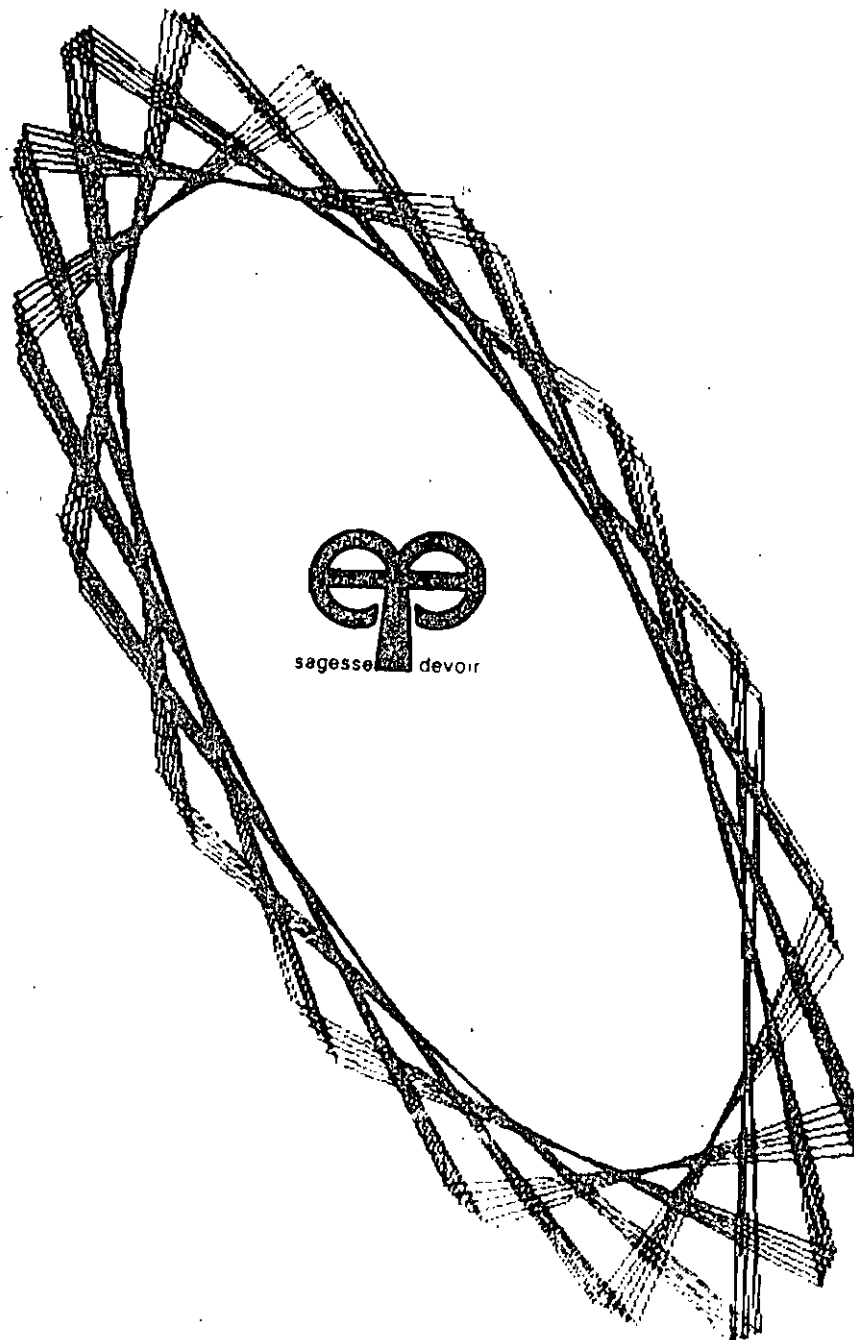
Si le sol est calcaire et contenant du calcium sous la forme d'un sel insoluble tel que les carbonates, les sulfates ou les phosphates, le calcium peut être solubilisé et devient disponible pour l'enlèvement du sodium si on ajoute du sulfure, de l'acide sulfurique ou du sulfate d'aluminium.

5.2 PROGRAMME D'INTERCEPTION [3]

Exemple de programme d'interception pour un système d'irrigation lente à large échelle.

Paramètres	Eau usée appliquée	Sol	Plantes	Eaux souterraines		
				Puit à l'intérieur du site	Puit périmétral	Puits d'arrière plan
Débit	C					
D.B.O	W			Q	Q	Q
Solides en Suspension	W					
Azote, total	W	2A	A	Q	Q	Q
Azote, nitrate				Q	Q	Q
Phosphore, total	M	2A	A	Q	Q	Q
Coliforms, total	W			Q	Q	Q
PH	D	Q		Q	Q	Q
Solides totaux dissous	M			Q	Q	Q
Alcalinité	M			Q	Q	Q
SAR	M	Q		Q	Q	Q
Niveau statique de l'eau				M	M	M

C: continuellement. W: par semaine. M: par mois.
 D: par jour. 2A: 2 exemples par an.
 Q: trimestriel. A: annuellement



sagesse  devoir

CHAPITRE IV EXPERIMENTATION DE L'IRRIGATION LENTE A L'E.P.T.

A/ OBJECTIF

A travers les deux chapitres précédents, nous avons voulu asseoir une approche spécifique à notre procédé et clarifier tous les paramètres de design qui constituent l'ossature des systèmes de filtration lente.

Notre objectif essentiel aura été de jeter des bases sûres pour une continuation de notre modeste œuvre. L'irrigation lente faisant irruption pour la première fois dans notre pays, donc l'expérimentation à petite échelle s'avère absolument nécessaire avant tout essai de généralisation. Il s'agit de s'appuyer sur la station d'épuration du campus pour tester le procédé, cerner et résoudre les problèmes susceptible de se poser dans l'optique d'une implantation plus gigantesque à Diakhate. Notre but est dès lors clairement défini.

B/ PROCEDURE

Il faudrait alors promouvoir toutes les directions d'investigation exposées dans le cadre des techniques de planification et de l'étude de faisabilité et que, concernant l'eau usée de la station d'épuration, le sol, les eaux souterraines et les autres considérations techniques, sociales et économiques. (liste des besoins en équipement... etc).

C / INVESTIGATIONS

1- STATION D'EPURATION

Un premier niveau d'étude serait de se pencher avant tout sur la station d'épuration, de faire l'examen de son fonctionnement et de dégager tous les correctifs nécessaires pour assurer son intégration optimale dans un

système d'irrigation lente. Il s'agira alors de faire une visite technique de ses différents accessoires et d'appréhender en laboratoire tous les paramètres des eaux usées. Il serait alors très utile de se pencher sur tous les projets de fin d'étude qui dans le passé, ont été développés sur la station d'épuration [22]

2. SOLS

Il existe plusieurs expériences à réaliser et qui nécessitent un léger rééquipement du laboratoire de sol pour le domaine de la chimie des sols. L'analyse des propriétés physiques étant entièrement réalisable à partir du matériel et des appareils disponibles.

3. EAUX SOUTERRAINES

Les puits existants dans les deux villages environnant peuvent permettre une estimation des données hydrologiques, chimiques et bactériologiques des eaux souterraines.

4. LE SITE

Nous sommes en présence d'un domaine militaire, et que certainement une extension de la frontière sud de l'école est à envisager pour permettre l'implantation de la totalité de notre système. Cette donnée est à intégrer dans nos démarches préliminaires.

D/ DESIGN

L'exemple qui a été réalisé sur la ville de Thier peut servir de référence pour des études ultérieures. Il est important par contre de noter que ce canevas est tout à fait indicatif. Il laisse à son continuateur toute la flexibilité requise et l'initiative dans son étude.

E/ PERSPECTIVES

Tous les aspects théoriques se rapportant au traitement par filtration lente n'ont pu être cernés à travers notre ébauche. Nous pensons qu'il serait fort désirable de poursuivre aussi cette direction dans l'investigation. Aujourd'hui, la fixation des azotes par les cultures sénégalaises font l'objet d'études expérimentales assez poussées au Centre National Agronomique de Bambey, il est souhaitable que ces questions soient davantage appréhendées sur le plan théorique, de même que l'adsorption du phosphore. Il est nécessaire que les ingénieurs aient une bonne idée de toutes les réactions chimiques et biologiques qui se produisent pour pouvoir faire des projections et se pencher de façon critique sur les résultats publiés au Sénégal ou aux Etats Unis, tout en faisant preuve de beaucoup d'humilité.

En outre la prise en charge de ce projet peut constituer une base d'échange entre l'Ecole Polytechnique de Thiès et nombre d'universités américaines. Nous avons pris l'initiative de prendre le contact avec d'éminents chercheurs en la matière, à d'autres d'en assurer le suivi pour le plus grand bien de la promotion de la recherche à l'école. En annexe, nous avons publié les correspondances échangées à cet effet pour faciliter la collaboration à long terme.

La réalisation d'un site d'irrigation lente sur le campus participera certainement au rayonnement de l'école. Notre système par la force de l'exemple gagnera certainement un jour l'approbation et l'adhésion

de personnes morales ou de collectivités locales intéressées par sa généralisation. Et les retombées bénéfiques sur le plan interne ne sont pas en reste. L'exploitation des eaux usées par ce procédé induira une multitude d'activités annexes pour l'étudiant de "Polytechnique", permettra l'économie de l'eau potable et des finances de l'école.

V. CONCLUSION.

Le traitement des eaux usées par irrigation lente est un procédé d'ingénierie hautement fiable qui trouve des applications dans différents domaines.

Au delà du traitement proprement dit de l'effluent il est possible d'utiliser les éléments nutritifs de notre eau renouée à des fins agricoles, silviculturales ou dans l'aquaculture. Il peut constituer un apport important dans la préservation des surfaces en jachère pour créer des ceintures vertes et lutter contre l'avancée du désert.

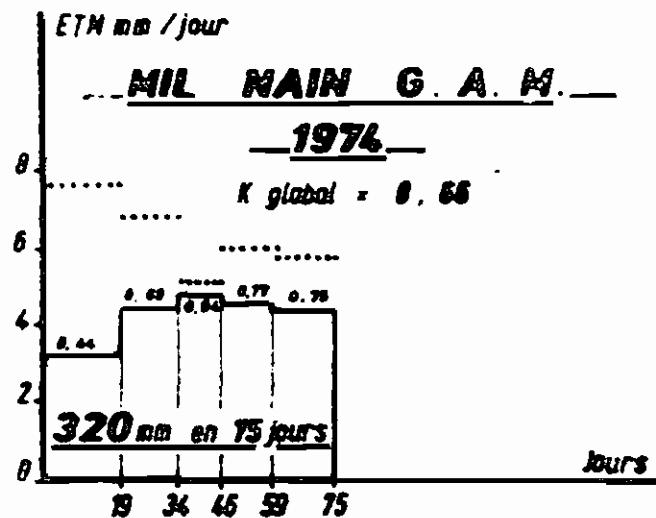
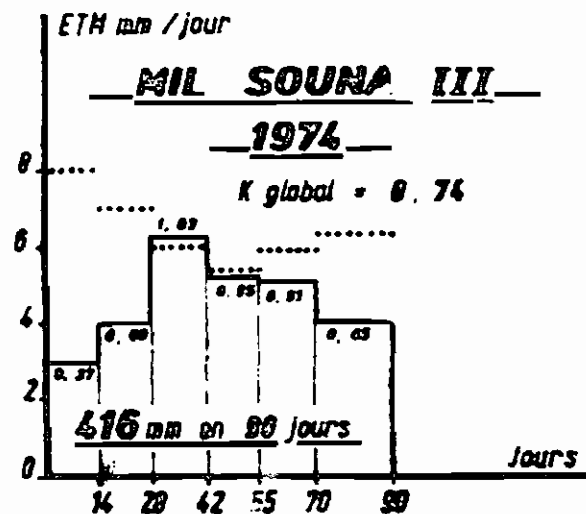
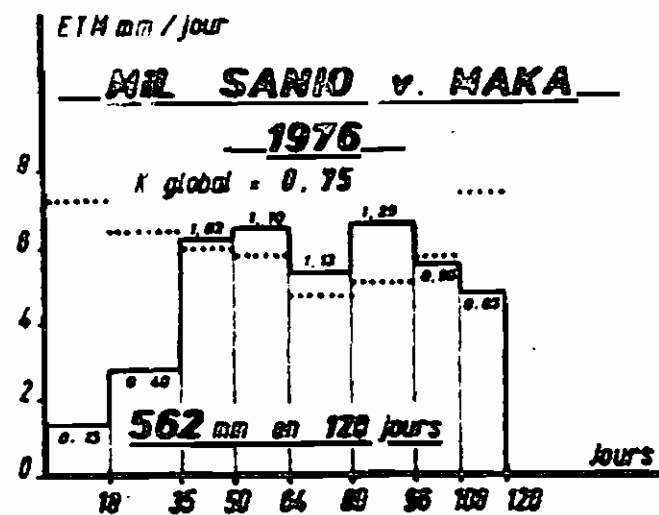
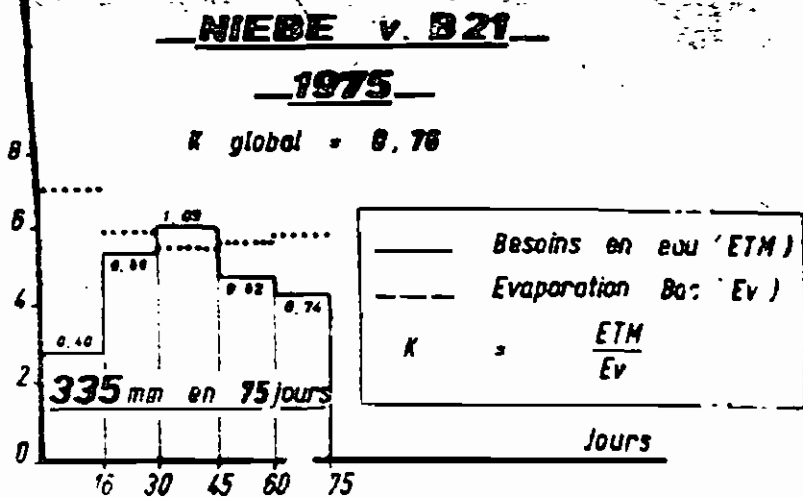
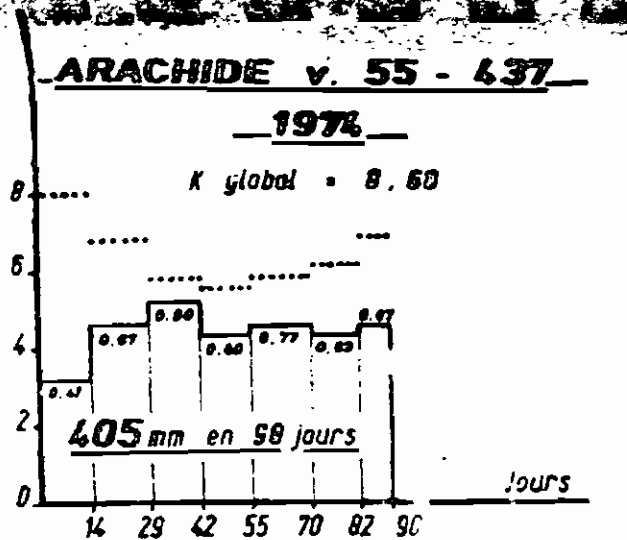
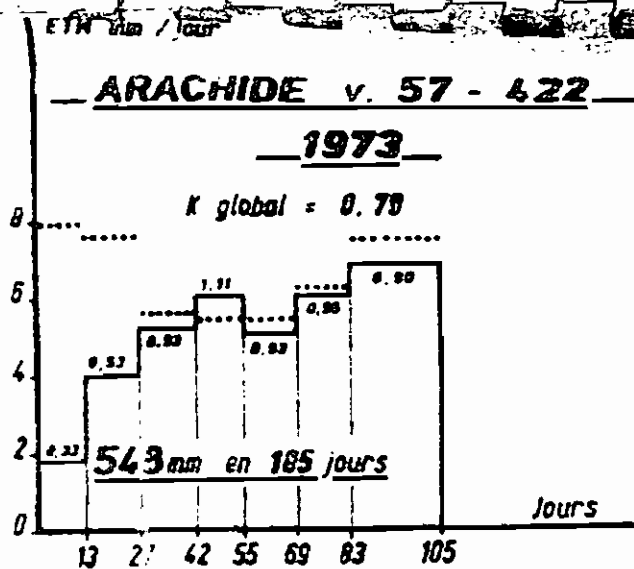
Du fait du caractère pluridisciplinaire de notre étude et de l'absence de donnée exhaustive, nous avons enfin de compte proposé plus de bonnes questions que de réponses.

En dépit de la rationalité de la méthode, de la complexité de certains paramètres de design, le procédé est assez simple d'exploitation et s'apparente sous ce rapport à une technologie appropriée pour les pays en voie de développement.

L'expérimentation de ce système assurera un assainissement rentable de nos villes et banlieues. Il tire sa force dans la promotion des cultures vivrières et commerciales et dans l'atteinte d'un niveau de traitement très élevé des eaux usées. Il est impérieux que l'Ecole Polytechnique se penche sur sa matérialisation pour assurer l'exemple et l'expertise nécessaire à toute œuvre nouvelle. Sa généralisation pourrait certainement un jour impliquer un développement communautaire à large échelle (Diakhatié)

ANNEXE I.

Pour faciliter le choix d'une culture donnée lors de la matérialisation du projet, nous avons compilé des valeurs propres aux différentes cultures pratiquées au Sénégal.



BESOINS EN EAU DES PRINCIPALES CULTURES SENEGALAISES MESURES AU C. N. R. A. DE BAMBEY

(I. S. R. A.)

C U L T U R E		Consommation hydrique en mm		Rendements kg/ha		Valorisation de l'eau consommée, litre/k, M.S.		K = $\frac{ETM}{E_{v. \text{ bio}}}$
				Grain ou gousses (H° %)	Mat. sèche aérienne totale	Grain	M. Stot.	
MIL SOUNA 90 J. 1973	Arrosé (ETM) i=68	417	451 400 214	2690 (7,8%)	10 120	1681	412	0,72
	Non arrosé (ETR)	378		2770 (5,4%)	9 879	1443	383	
MIL SOUNA 90 J. 1974	Arrosé (ETM) i = 73 mm	416	465 422 386	2948 (5,4%)	9 760	1492	226	0,74
	Non arrosé (ETR)	415		2951 (5,2%)	9.573	1483	434	
MIL NAIN GAM 75 J. 1974	Arrosé (ETM) i = 51 mm	320	369 327 294	2151 (9 %)	9 368	1635	342	0,67
	Non arrosé (ETR)	324		2288 (8,3%)	9 250	1544	350	
MIL SANIO 120 J. Souche Maka 1976	Arrosé (ETM) i = 215 mm	562	610 583 533	2035 (7,5%)	à compléter	2986	à compléter	0,75
	Non arrosé (ETR)	409		1092 (7,4%)	"	4045	"	
ARACHIDE 105 jours v. 57-422 1973	Arrosée (ETM) i=147mm	548	564 528 484	3660 g (5,2%)	8060	2080	680	0,78
	Non arrosée (ETR)	398		2974 g (5,3%)	8047	1884	495	
ARACHIDE 90 jours v. 55-437 1974	Arrosée (ETM) i = 70 mm	405	453 411 370	2945 g (5,2%)	5392	1977	751	0,72
	Non arrosée (ETR)	402		2705 g (5,8%)	5113	2132	786	
ARACHIDE 120 J. v. 28-206 1976	Arrosée (ETM) i = 134 mm	468	508 485 444	2927 g (5,0%)	à compléter	2244	à compléter	0,62
	Non arrosée (ETR)	379		2236 g (5,3%)	"	2386	"	
NIÈBE 75 jours v. B.21 1975	Arrosé (ETM) i = 28 mm	335	421 373 335	2012 (g) (11,3%) 1488 (gr)	4720	2538	710	0,76
	Non arrosé (ETR)	310		1898 (g) (11,0%) 1464 (gr)	4493	2379	690	

Principaux résultats concernant l'alimentation hydrique des cultures dans la zone de Bambeý

M.R. 1-ETM= Besoins en eau (irrigation en complément des pluies si nécessaire) ou évapotranspiration maximale; chiffre de l'année, extrêmes et moyenne
ETR= Consommation hydrique en conditions pluviales strictes ou Evapotranspiration réelle

2- Les mesures sur arachide de 120 jours seront recommencées en 1977, cette culture venant après un précédent sorgho, ayant peut-être mal exprimé ses potentialités

C U L T U R E	Nombre de litres consommés par la culture pour produire 1 kg de grain sec (arachide et niébé égoussés)
MIL SOUNA (90 jours) 1973 Pluie = 400 mm; ETR = 378 Rendement = 2770 kg grain/ha à 5,4 % d'H°	1443
MIL GAM (75 jours) 1974 Pluie = 447 mm; ETR = 324 mm Rendement = 2288 kg grain/ha à 8,3% d'H°	1544
ARACHIDE 57-422 (105 jours) 1973 Pluie = 400 mm; ETR = 398 Rendement = 2231 kg grain/ha à 5,3% d'H°	1884
ARACHIDE 55-437 (90 jours) 1974 Pluie = 492 mm, Irr.72mm - ETM = 405 mm Rendement = 2179 kg grain/ha à 6,0% d'H°	1977
ARACHIDE 28-206 (120 jours) 1976 Pluie = 399mm, Irrig.134mm - ETM = 468 mm Rendement = 2195 kg grain/ha à 5,0 % d'H°	2244
NIEBE B 21 (75 jours) 1975 Pluie = 533 mm - ETR = 310 mm Rendement = 1464 kg grain/ha à 11,0% d'H°	2379
MIL SANIO (120 jours) 1976 Pluie = 399 - Irrig.215mm - ETM = 562 mm Rendement = 2035 kg grain/ha à 7,5 % d'H°	2986

Meilleurs résultats de valorisation de l'eau consommée, relatifs à la production de grain, obtenus au CNRA de Bamby, pour les principales cultures

N.B.: ETM = Evapotranspiration maximale ou besoins en eau (avec irrigation en complément des pluies, s'il le faut)

ETR = évapotranspiration réelle en conditions pluviales (sans irrigation d'appoint).

322.1 Cas de l'arachide

Par rapport à la campagne 1977, les rendements sont bien. La pluviométrie 1978 est mieux répartie et bien satisfaisante: 1011,9 mm (1978) contre 707,6 mm en 1977. Depuis 1972 et en année de pluviométrie satisfaisante on a toujours observé une augmentation progressive du rendement en arachide mais restant inférieur à celui obtenu sur le champ dégradé. Il semble y avoir une adaptation progressive de l'arachide aux conditions biochimiques du sol récemment mis en culture.

322.2- Cas du maïs

Les résultats obtenus restent nettement au-dessous des potentialités de la variété (B.D.S. avec 4 à 5 t/ha) . Il est possible, comme on l'a observé également à Sédhiou (bande test) que le riz soit un mauvais précédent cultural pour le maïs.

322.3- Cas du riz

La variété Se 302 G jusque là utilisée a été remplacée en 1978 par la 144 B9 de même longueur de cycle mais plus résistante à la sécheresse et à la piriculariose. Les résultats obtenus sont très bons malgré quelques creux de sécheresse observés au cours du cycle.

322.4- Cas du mil

Comme les années passées, l'attaque des Cécidomyies a été totale. Aucune récolte n'a été effectuée aussi bien en culture améliorée que traditionnelle. Seule une forte quantité de paille a été produite en système de culture améliorée soit : 17.561 kg/ha.

Une étude menée par M. NDOYE (1978) a montré le rôle important de l'entomofaune en général, des borers et des Cécidomyies en particulier sur la production en grain du mil.

Le système traditionnel a montré l'intérêt des techniques culturales intensives même en conditions de sol de défriche récente.

322.5- Cas du maïs test

	1977		1978				
	Système traditionnel		Système amélioré				
	Arachi do	Mil	Maïs	Mil	Arachi do	Riz	Jachère enfouie
Nombre de pieds à l'ha	45 267	40 328	40 328	41 357	40 328	40 740	37 654
Nombre d' épis à l'ha	21 193	26 748	33 744	35 596	37 036	35 596	20 987
Rendement M.S. grain kg/ha	514	2 592	2 958	3 435	3 415	3 023	196

Tableau n° 17 : Résultats culturaux de la bande test.

1977	SYSTEME TRADITIONNEL		S Y S T E M E						A M E L O R E						
	Arachi de	Mil	Maïs+ 10t/ha fumier + engr.	Maïs+ 20t/ha fum/3 ans+ engr.	Maïs+ 10t/ha fum.+ onlongrais	Maïs/ Jach. + engr.	Riz/ Maïs	Riz/ Mil	Riz+ 10t/ha fumier	Mil sur jachère enf.+	Arach 10t/ha	Arach. Mil	Jachè- rc II	Jachè- rc I	Jachè- ro con
1978															
Nombre de pieds à l'ha	56.172	57.612	59.876	46.913	51.028	56.789	59.464	60.001	51.028	60.001	61.933	55.349	58.435	57.407	58.641
Nombre d'épis à l'ha	10.493	27.777	53.909	21.193	28.600	14.197	20.987	23.868	36.625	32.520	34.156	43.621	24.073	27.777	42.180
Rendement M.S. grain kg/ha	56	319	4114	719	942	198	226	333	1732	752	706	1412	244	565	1236

Tableau n° 16: Résultats culturaux de la bande test.

	Système amélioré			Système traditionnel
	Semis en suc	Semis au 15/6	Semis retardé 20/7	Semis 20/7
Rendement matière sèche grain kg/ha	1996	1770	1478	383
Rendement matière sèche paille kg/ha	12 414	5 569	9 078	2 499

Tableau n°15: Résultats culturaux du mil

321.5- Cas du maïs test

Le traitement maïs test permet de mesurer la valeur agronomique de l'arrière effet des différents traitements. Le tableau n°16 montre que les apports annuels de fumier (10 t/ha sur maïs et sur riz) ont donné les meilleurs arrière-effets. La matière organique joue un rôle essentiel dans la régénération et l'amélioration des sols cultivés. Les résultats montrent également l'effet positif de l'engrais eu égard aux résultats obtenus en système de culture traditionnelle. Les précédents maïs sur jachère enfouie, riz sans fumier, jachère des rotations quadriennales ont donné les plus bas rendements au niveau du système amélioré.

322. Maintien de la fertilité d'un sol de défriche récente

Il s'agit ici du maintien de la fertilité d'un sol de zone récemment défrichée par l'application de méthodes culturales intensives: apport d'engrais, labour à pied avec restitution de résidus de récolte, rotation quadriennale (Maïs-Mil-Arachide-Riz). Ce système est comparé à un témoin représentant la culture traditionnelle appliquée par les paysans (labour en billons, sans engrais ni restitution de paille avec une rotation biennale Arachide-Mil). Le tableau n°17 reproduit les résultats obtenus.

	Système traditionnel		Système amélioré			
	Arachide	Mil	Arachide	Maïs	Riz	Mil
Rendement M.S. Grain ou gousses	895	-	2000	3890	3887	-
Poids M.S. paille en kg/ha	1039	2018	2169	5489	3744	17 561

Tableau n°17: Résultats culturaux du mil, maïs, riz et arachide.

ANNEXE II

L'azote, comme le fait ressortir le design est un élément important, donc à quantifier. Nous proposons ici un syllabus de laboratoire pour réaliser les expériences.

En outre, l'appareil de mesure des azotes de l'école étant défectueux, nous avons adressé une correspondance à la maison mère et que nous avons jointe à ce rapport.



No. 611-15/16
(3 Pages)

The Determination of

AMMONIA NITROGEN

With Hellige Color Discs Nos. 611-15 and 611-16,
and Testing Outfit No. 611-15A
for use with the Aqua Tester

Hellige Ammonia Nitrogen Testing Outfit No. 611-15A contains the following equipment and reagents for use with the Aqua Tester:

1	No. 611-15	Ammonia Nitrogen Color Disc
4 oz.	No. R-418	Nessler Reagent
1	No. 2999	1 ml Dropping Pipette
1	No. 2103	50 ml Cylinder
1	No. 2303	125 ml Erlenmeyer Flask
1		Set of Directions

Refer to Technical Information Circular No. 611 for directions on the use and care of the Aqua Tester.

PROCEDURE A. AMMONIA NITROGEN

1. Measure 50 ml of sample with the No. 2103 Cylinder and pour it into the No. 2303 Erlenmeyer Flask.
2. Add 1 ml No. R-418 Nessler Reagent with the No. 2999 Dropping Pipette. Mix and note the time.
3. Fill one of the No. 611-T Nessler Tubes to the mark with the treated sample and insert a No. 611-PL Plunger in the tube. Swing open the back cover of the Aqua Tester. Rest the bottom of the tube in the right-hand circular depression in the base of the cover, and then press the tube into the right-hand spring clip.
4. Fill a second Nessler tube with distilled water or clear tap water, insert a plunger, and place this tube in the left-hand depression and spring clip. Close the cover and switch on the lamp.
5. Remove the light shield at the top of the apparatus and insert the Ammonia Nitrogen Color Disc with the number plates facing upward. Replace the light shield.
6. Make the color comparison within 10 to 20 minutes after the time was noted in step 2. Revolve the color disc so that one standard after another is brought into the observation field. When a color match is obtained with one of the standards, the result is read directly from the figure seen in the circular opening within the light shield. If the color of the test solution is intermediate between two glass standards, the true result of the test will be intermediate between their corresponding values and may be estimated by interpolation.

VALUES AND RANGE OF COLOR STANDARDS

Ammonia Nitrogen Color Discs Nos. 611-15 and 611-16 read directly in parts per million nitrogen (N). Higher ranges can easily be determined by diluting the sample used in step 1 of the procedure with ammonia-free water, and multiplying the result by the appropriate factor. For example, if 10 ml of sample is diluted to 50 ml, and this diluted sample is used in step 1, multiply the result by 50/10, or 5. Parts per million of NH_4 or NH_3 may be obtained by multiplying the N values by 1.216 or 1.288, respectively.

GENERAL REMARKS

Fresh samples should be used for ammonia determinations. Where delay is unavoidable, add 0.8 ml No. R-337 Sulfuric Acid, Concentrated, for each liter of sample.

If the sample is not approximately neutral, adjust to about pH 7 with dilute sulfuric acid or sodium hydroxide and No. R-1096 Universal pH Test Paper before proceeding with the test.

Remove residual chlorine from the sample by adding 5 to 10 drops of No. R-391 Arsenite Reagent before adding the Nessler reagent in step 2.

INTERFERENCES

Various substances, including a variety of organic materials such as acetone, aldehydes, organic chloramines, and amines, interfere with the test for ammonia. When the presence of interference is suspected, one of the following modifications of the test should be used. Method 1 is suitable for concentrations of ammonia over 0.2 p.p.m. N, while the more complicated Method 2 generally eliminates all interference and is suitable for all ranges of ammonia concentration.

Method 1 for Eliminating Interference:

Add 1 ml No. R-486 Zinc Sulfate, 10%, to 100 ml of sample and mix. Add sufficient (about 0.4 to 0.5 ml) No. R-328 Sodium Hydroxide, 25%, to produce a pH of 10.5. Mix and let stand 5 minutes. Centrifuge, and use 50 ml of the clear supernatant as the sample in step 1 of Procedure A for Ammonia Nitrogen.

Method 2 for Eliminating Interference:

Set up an apparatus for distillation and use a one liter distilling flask with a vertical condenser so arranged that the distillate drops directly from a Pyrex, black tin, or aluminum tube into the receiving vessel. Add approximately 300 ml of distilled water to the flask and distill until a small portion of distillate gives no color reaction with a few drops of Nessler reagent. Empty the flask and refill

with 500 ml of the water to be tested. Add 10 ml of No. R-426 Phosphate Buffer. Distill at a rate of 6 to 10 ml per minute and collect the distillate in four 50 ml portions.

Nesslerize the separate portions of distillate according to Procedure A, and add the results. Divide the sum by 10 to obtain the parts per million nitrogen present as ammonia in the original sample.

PROCEDURE B. ALBUMINOID NITROGEN

1. Proceed as directed in Method 2 on page 2.
2. To the residue in the distilling flask add 50 ml No. R-381 Alkaline Potassium Permanganate, and repeat the distillation. The result obtained is parts per million albuminoid nitrogen in the original sample.

PROCEDURE C. ORGANIC NITROGEN

1. Proceed as directed in Method 2 on page 2.
2. Add 5 ml No. R-337 Sulfuric Acid, Concentrated, and a small piece of pumice to the residue in the distilling flask.
3. Digest in a hood until the flask is filled with white fumes.
4. Let stand until cool, and add 300 ml of distilled water.
5. Slowly add 20 ml No. R-325 Sodium Hydroxide, 10 N, while shaking the flask.
6. Repeat the distillation. The result obtained is parts per million organic nitrogen in the original sample.



Dakar, Senegal

May 28, 1982

Lab. Con. Co.
8811 Prospect
Kansas City, M.O.
U. S. A.

Gentlemen,

Please be informed that we own a Nitrogen Measure
Apparatus:

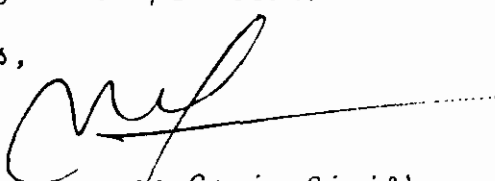
CATALOG NO: 21232-02F
SERIAL NO.: 26116
VOLT AC: 230
PHASE: 1
CYCLE: 60.

The apparatus is not operative because we don't have
the "Directions for Use", and we guess some parts are
missing.

Please send us a handbook for that apparatus if available,
and the parts price list.

Thank you for your cooperation.

Sincerely yours,



Mr. Baba Ly (5eme année Genie Civil)
c/o Mr. Sherif Diagne
Ecole Polytechnique de Thies
B. P. 10
Thies, Senegal
(West Africa)

ANNEXE III

Pour faciliter le maintien des attaches avec les chercheurs americains pour des raisons d'echange et de collaboration sur le sujet de recherche propose', nous avons juge utile d'inclure dans ce rapport les correspondances que nous avons echangees avec eux.

Dakar, Senegal

April 22, 1982

prof.
Oklahoma State University
of Agriculture and Applied Sciences
Stillwater, Oklahoma 74074

Attn: Dr. M. Kirkham

Dear Sir,

Please find attached a french version document of the Polytechnic School of Thies, Senegal (sponsored by the Polytechnic School of Montreal, Canada) where I am a student in last year of Civil Engineering. Following is an attempt of translation and explanation:


I am preparing a project of mastership subject on land treatment systems (by soil and plants) which will follow this plan:

- Bibliographical research on the subject
- Detailed explanation of the mechanism of crop irrigation, rapid irrigation, moist land, ground water recharge processes;
- Thourough study and presentation of a rational procedure for desing of crop irrigation based on corn and vegetable cultivation in Thies area.
- Development of a research project which will allow to test the crop irrigation process by the treatment of wastewater in my school.

Any help from you will be highly welcome (including documents, suggestions, etc...). If necessary, I will cover the cost of the possible documents and correspondences; and I plan to keep in touch with you for possible collaboration in the futur.

Thank you for your cooperation.

Sincerely yours,


 Baba Ly
 C/O Khady Faye
 H. L. M. Ouagou Niayes II
 Villa NO, 663
 Dakar, Senegal
 (West Africa)



Evapotranspiration Laboratory

~~Evapotranspiration Laboratory~~
Waters Annex
Manhattan, Kansas 66506
913-532-5731

3 May 1982

Baba Ly
c/o Khady Faye
H.L.M. Ouagou Niayes II
Villa NO. 663
Dakar, Senegal
West Africa

Dear Dr. Ly,

Thank you for your letter of April 22, 1982, which was just forwarded to me at my new address. Under separate cover, I am sending some reprints which may be of help to you.

Thank you again for your letter and interest. I wish you good luck with your project.

Sincerely yours,

M.B. Kirkham
Associate Professor



UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

WASHINGTON, D.C. 20460

May 7, 1982

OFFICE OF
INTERNATIONAL ACTIVITIES

Mr. Baba Ly
c/o Khady Faye
H.L.M. Ouagou Niayes II
Villa No. 663
Dakar, Senegal

Dear Mr. Ly,

Thank you for your letter of April 22, 1982, concerning EPA publications on wastewater and crop irrigation.

I have enclosed a variety of publications relating to this topic. I hope they are useful.

If I can be of further assistance, please contact me again.

Sincerely yours,

Janet Fisher

Janet R. Fisher
International Requests Coordinator

Enclosure

Dakar, Senegal

May 28, 1982

Dr. P. Hunt
ARS, USDA
14th and Independence Ave.,
N.W., Washington, D.C. 20250

Dear Sir,

Please find attached a french version document of the Polytechnic School of Thies, Senegal (sponsored by the Polytechnic School of Montreal, Canada) where I am a student in last year of Civil Engineering. Following is an attempt of translation and explanation:

I am preparing a project of mastership subject on land treatment systems (by soil and plants) which will follow this plan:

- Bibliographical research on the subject
- Detailed explanation of the mechanism of crop irrigation, rapid irrigation, moist land, ground water recharge processes.
- Thourough study and presentation of a rational procedure for desing of crop irrigation based on corn and vegetable cultivation in Thies area.
- Development of a research project which will allow to test the crop irrigation process by the treatment of wastewater in my school.

Any help from you will be highly welcome (including documents, suggestions, etc...). If necessary, I will cover the cost of the possible documents and correspondence; and I plan to keep in touch with you for possible collaboration in the futur.

Thank you for your cooperation.

Sincerely yours,

Baba Ly
C/O Khady Faye
H.L.M. Ouagou Niayes II
Villa NO. 663
Dakar, Senegal
(West Africa)

BIBLIOGRAPHIE.

- [1] POUND, C.E and R.W. CRITES: Wastewater Treatment and Reuse by land Application. Volumes I and II. E.P.A, Office of Research and Development August. 73
- [2] RAFTER, G.W Sewage irrigation, Part II. USGS Water Supply and Irrigation, Paper n°. 22. 1899.
- [3] U.S.A.C.E, US.DA, USEPA Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater. 1977.
- [4] ISKANDAR, I, K, R.K SLETTEN, D.C LEGGETT: Wastewater Renovation by Prototype Slow Infiltration Land Treatment System. Corps of Engineers, U.S Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory. CRREL - REPORT 75-15. Hanover, N.H June 1976.
- [5] BOUWER, H. J.C LANCE, and M.S RIGGS. High-Rate Land Treatment II: Water Quality and Economic Aspects of Flushing Meadows. Project. Jour. WPCF. 46: 844 - 859, May 1974
- [6] Brookhaven National Laboratory, Small, M.M Meadow/Marsh Systems as Sewage Treatment Plants BNL20757: Upton, N.Y. 1975

- [7] WOLVERTON, B.C et al. Bio-conversion of Water Hyacinths into Methane Gas: Part I. NASA Technical Memorandum TM-x-72725. Bay St Louis, Miss. July 1975
- [8] US. E.P.A. National Interim Primary Drinking Water Regulations. 40 CFR 141 December, 1975.
- [9]. SEPP, E. DISPOSAL of Domestic Wastewater by Hillside Sprays. Journal of the Environmental Engineering Division, Proceedings of the ASCE. 99 (2): 109 - 121, April 1973.
- [10] STONE, J.E Soil as a Treatment Medium. In: Land Application of Wastes - An Educational Program, Cornell University. May 1976.
- [11] Tisdale, S. L and W.L NELSON. Soil Fertility and Fertilizers New York, Macmillan 1975.
- [12] BLACK, C.A (ed). Methods of Soil Analysis Part 2: Chemical and Microbiological Properties Agronomy. Madison 1965.
- [13] CHAPMAN, H.D and P.F. PRATT. Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters. University of California. 1961.
- [14] RICHARDS L.A. (ed) Diagnostics and Improve-

ment of Saline and Alkali soils. Agricultural Handbook 60. US Department of Agriculture: 1954.

[15] Enfield C.G. and B.E BLEDSOE. Kinetic Model for Orthophosphate Reactions in Mineral Soils. E.P.A. O.R.D. EPA - 660/2-75-022 Jun 75.

[16] Tofflemire T.J and M. CHEN. Phosphate Removal by sands and Soils In: Land as a Waste Management Alternative. Loehr, R.C (ed). Ann Arbor Science 1977 pp 151-170

[17] VIETS, F.G. Jr and W.L LINDSAY. Testing Soils for Zinc, Copper, Manganese, and Iron. Madison Soil Science Society of America 1973.

[18] BROWN, A.L and G.J. DeBOER. Soil tests for Zinc, Iron, Manganese, and copper. University of California. Division of Agricultural Sciences. April 1976.

[19] BLANEY, H.F and W.D. CRIDDLE. Determining Consumptive Use and Irrigation Water Requirement. USDA. Washinton D.C Bulletin no 1275 December 1962.

[20] POUND, C.E. R.W CRITES and D.A GRIFFES. Cost of Wastewater Treatment by Land Application. EPA. Office of Water Program. EPA-430/9-75-003 June 75.

[21] MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT : Répertoire
des forages d'eau du Sénégal .1978 .

[22] ANTOINE. D. THIAW . Etude de la station
d'épuration des eaux usées du campus de
l'E.P.T . Juin 79 .