



SUD SCIENCES & TECHNOLOGIES

ENVIRONNEMENT :
Création du Parc National
du Diawling en Mauritanie

N° 001
JANVIER 1998

EPURATION DES EAUX USÉES :
Le lagunage à macrophytes

PEDOLOGIE
Expérimentation d'une nouvelle
méthode d'infiltrométrie



- Techniques nouvelles pour la construction de barrages
- Evaluation multicritère des systèmes d'AEP des petits centres urbains africains
- Habitat : l'adobéton, une technologie appropriée

S O M M A I R E

3 Avant-propos

Amadou Hama MAIGA

4 Editorial

Jean-Maurice DURAND

5 Epuration des eaux usées

Le lagunage à macrophytes, une technique permettant l'épuration des eaux usées pour son recyclage et de multiples valorisations de la biomasse..

Michel MOREL, Mansour KANE

17 PEDOLOGIE

Projet de réaménagement de la plaine de Bou-Sirasso : diagnostic infiltrométrique à partir d'une nouvelle méthode et orientation pour la réhabilitation du périmètre irrigué.

Jacques FOURNIER

28 ENVIRONNEMENT

Le parc National du Diawling (Mauritanie); infrastructures hydrauliques pour la restauration d'une plaine d'inondation et la création d'un estuaire artificiel.

Olivier HAMERLINCK, François CAZOTTES

39 EAU POTABLE

Evaluation multicritère des systèmes d'approvisionnement en eau des petits centres urbains africains.

Amadou Hama MAIGA

45 HABITAT

L'adobéton, une technologie appropriée pour un habitat économique amélioré.

Michel MARTIN

56 BARRAGES

La technique du béton compacté au rouleau (B.C.R.) - Possibilités d'application en Afrique.

Jean-Maurice DURAND, Gérard DEGOUTTE, Paul ROYET, M. JENSEN

63 LA VIE DE L'E.I.E.R

64 GROS PLAN SUR...LE CEFOC

66 DANS VOS BIBLIOTHEQUES

67 CREATION DE L'APHEN

67 INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

Photo de couverture.

Parc National de Diawling (Mauritanie) : rupture de l'ancienne digue de Lekser par l'ouverture brusque du barrage de Diama (1,15m IGN) en septembre 1994. La nouvelle digue construite dans le même cadre du projet UICN en 1995 - 1996 a résisté sans problème à la cote 1,30 m IGN à l'aval de Diama pendant l'inondation 1997 (voir l'article de O. HAMERLYNK et F. CAZOTTES).

AVANT-PROPOS

Amadou Hama MAIGA
Directeur de publication

La communication a de tout temps été un moyen efficace pour le développement des nations, des systèmes et des groupes.

Si à l'Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural (E.I.E.R.) nous faisons beaucoup dans la transmission des connaissances scientifiques et technologiques grâce à nos différentes filières de formation dont ont bénéficié plusieurs centaines d'élèves et stagiaires issus pour la plupart de nos 14 Etats membres, il n'en a pas été autant

de la diffusion des connaissances issues de nos activités de recherche et d'ingénierie, pourtant très fournies et de grande qualité. C'est là, de par notre constat une situation propre aux pays d'Afrique francophone. En effet, le non développement scientifique et technologique de notre région provient tant de l'insuffisance des programmes de recherche que du manque de diffusion des résultats de la recherche.

" Sud Sciences et Technologies : Bulletin Technique de l'E.I.E.R. " vient donc pour combler cette lacune. Cette revue scientifique est proposée pour servir de cadre d'expression et de présentation de programmes et de résultats de recherches ou de travaux d'ingénierie ayant un intérêt scientifique et technologique pour le développement socio-économique des populations d'Afrique. Conformément au statut et à la vocation de l'E.I.E.R., en tant qu'institution interafricaine de formation et de recherche collaborant avec des partenaires du Sud et du Nord, " Sud-Sciences et Technologie " est ouvert aussi bien aux chercheurs de l'E.I.E.R. qu'à tout spécialiste du Sud ou du Nord ayant une expérience ou des connaissances à partager avec des homologues engagés dans la lutte contre le sous-développement en Afrique.

Articles et annonces porteront de préférence sur les domaines d'intérêt de l'E.I.E.R., notamment les aménagements hydro-agricoles, la mobilisation et la gestion des ressources en eau, l'approvisionnement en eau et l'assainissement, la maîtrise de l'énergie, le génie civil et l'équipement du milieu urbain, périurbain et rural, la gestion des ressources naturelles et de l'environnement, l'utilisation de l'outil informatique.

Soucieux de la qualité des articles proposés à nos lecteurs, nous avons fait appel pour le Comité de Lecture, à des personnes dont la compétence est reconnue dans leur domaine. Ces personnes sont du Sud ou du Nord évoluant dans des institutions de formation ou de recherche ou bien encore dans des bureaux d'études, dans des services techniques nationaux, dans des organismes internationaux, dans des O.N.G. Nous espérons ainsi contribuer à la circulation de l'information scientifique et technologique de qualité entre les acteurs de développement en Afrique.

Nous comptons enfin sur les uns et les autres pour soutenir cette revue en souscrivant à des abonnements, soit au titre de leur institution, soit à titre privé, mais aussi en nous proposant des articles à publier. □

FICHE D'ABONNEMENT SUD SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Nom Prénom (s)

Organisme ou Institution.....

Fonction

Adresse

Pays Tél..... Télécopie.....

E-Mail.....

Souscrit abonnement(s) à S-S et T pour l'année 19.....

	Zone Afrique	Zone Hors Afrique
Abonnement individuel	6 000 f cfa	100 FF
Abonnement d'Institutions ou d'Organismes	9 000 f cfa	100 FF
Abonnement de soutien (inscrire le montant)		

Ci-joint un chèque barré à l'ordre de « EIER-Bulletin technique » d'un montant de

..... émis sur Banque Agence

Date Signature

Veillez retourner la fiche accompagnée de votre règlement à l'adresse ci-dessous :
 E.I.E.R. (Bulletin) - 03 BP 7023 Ouagadougou 03 - BURKINA FASO

Tél. : (226) 30 71 16/17

Fax : (226) 31 27 24

E-mail : eier@eier.univ-ouaga.bf

PO Box 93190, 3509 AD, THE HAGUE

Tel. +31 70 30 689 80

Fax. +31 70 35 899 64

BARCODE: 1827

LO:

824 AFW98

Un aboutissement !

Après presque trente années d'existence de l'Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural, nous pourrions nommer ainsi la naissance de notre revue.

Un aboutissement, mais aussi un nouveau départ, où l'on se dote des moyens qui permettent de créer les conditions d'une nouvelle dynamique affermissant la position et la crédibilité de notre établissement.

Conscients des difficultés que connaissent nombre de nos États membres et persuadés que cette démarche, bien que modeste, pourra contribuer à les alléger, nous voulons résolument nous tourner vers l'avenir et offrir à nos partenaires et à nous-mêmes un espace d'expression qui soit un lieu d'échange et de confrontation d'idées ; un forum à l'antique donc, mais voué à la veille technologique et à la recherche.

Car nous croyons que sans ces deux aspects, il n'est point de développement durable dans l'Afrique d'aujourd'hui. Car nous sommes convaincus que seuls de fructueux échanges nord-sud et sud-sud permettent d'aller de l'avant.

L'E.I.E.R., centre d'enseignement supérieur regroupant quatorze pays africains, en relation avec de nombreux partenaires dans le monde, est, de par la poli-

tique et la géographie, située au cœur même de la problématique actuelle du développement. Il ne faut pas laisser passer les chances que nous offre cette position privilégiée.

Ce premier numéro de « Sud-Sciences et Technologies » se veut le reflet de ces préoccupations. La rédaction s'est efforcé d'y publier des articles se rattachant à des thèmes aussi variés que l'environnement, l'habitat ou la mobilisation des ressources en eau au sens large, préoccupations majeures s'il en est de la plupart de nos États membres. La diversité des sujets se veut aussi une invitation à une large collaboration à notre revue. Celle-ci ne vivra en effet pleinement que si tous, professeurs, collaborateurs, correspondants à des titres divers se sentent interpellés et perçoivent clairement l'importance de l'enjeu. L'un des objets de ce premier numéro est aussi de les y aider.

Je terminerai en demandant l'indulgence du lecteur pour les imperfections qui l'entachent, mais en invitant néanmoins tout un chacun à nous adresser ses remarques, ses critiques et ses suggestions afin que nous puissions les corriger et répondre au mieux aux attentes du public □

EDITORIAL

Jean-Maurice DURAND

Sud-Sciences et Technologies

Semestriel de l'Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural

N° 1 - Premier semestre 1998

03 BP 7023 Ouagadougou 03 - BURKINA FASO

Tél : (226) 30 71 16 / 17 - Fax : (226) 31 27 24 - E-mail : eier@eier.univ-ouaga.bf

Directeur de publication
Amadou Hama MAIGA

Rédacteur en Chef
Jean Maurice DURAND

Comité de rédaction
A.H. MAIGA
J.M. DURAND
T. DJIAKO
J. DJOUKAM
M. MOREL
G. CISSE
E. TRAORE

avec l'aimable participation de
A. DEZETTER (ORSTOM).

Réalisation de la maquette
F. de S. NASSA
sous la responsabilité de
M. MOREL (EIER) et de
R. QUATTARA (CREPA).

Impression
IMUPA
02 BP 5597 Ouagadougou 02
Tél : 30 17 59
Fax : 30 17 59

RÉSUMÉ -

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

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

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

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

SUMMARY-

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

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

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

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

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

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

Michel A. MOREL *

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

Mansour KANE

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

INTRODUCTION (1)

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

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

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

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

pas de service de collecte des déchets solides.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

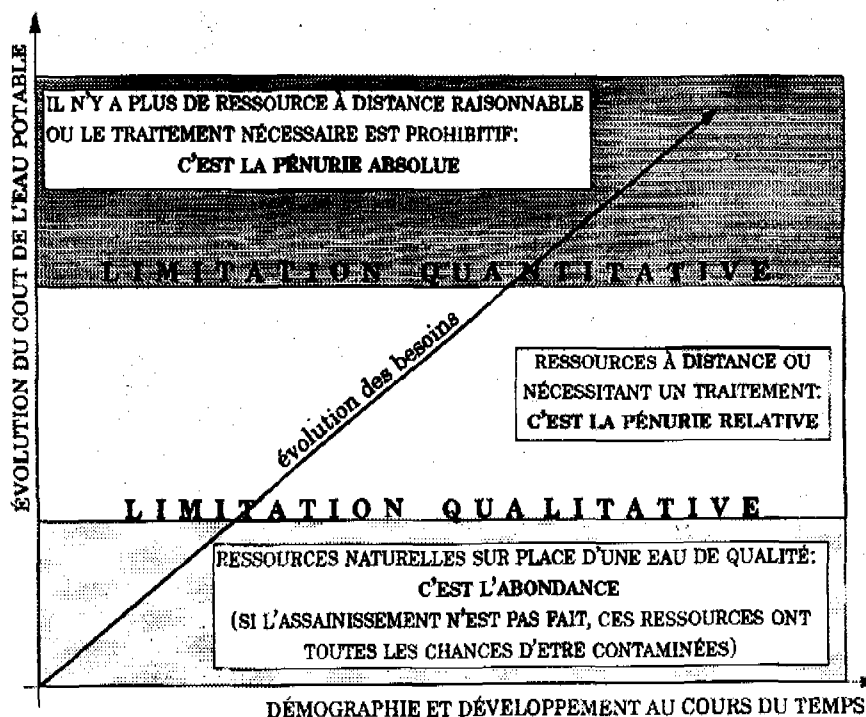


Fig. 1 : Évolution du coût de l'eau en fonction de la croissance des besoins (d'après RUMEAU).

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

Le lagunage naturel dit lagunage à microphytes

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

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

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

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

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

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

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

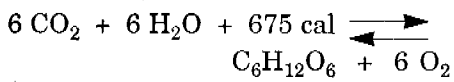
(1) mauvaise eau en occitan

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

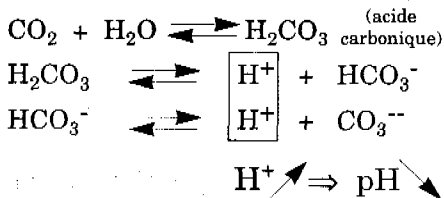
* L'oxygène dissous varie entre le jour et la nuit :

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

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



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



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

* L'envasement des bassins est inéluctable :

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

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

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

η le rendement de conversion de la lumière

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

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

* La réutilisation des eaux épurées pose des problèmes :

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

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

Le lagunage à macrophytes

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

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

Décanteur-digesteur

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

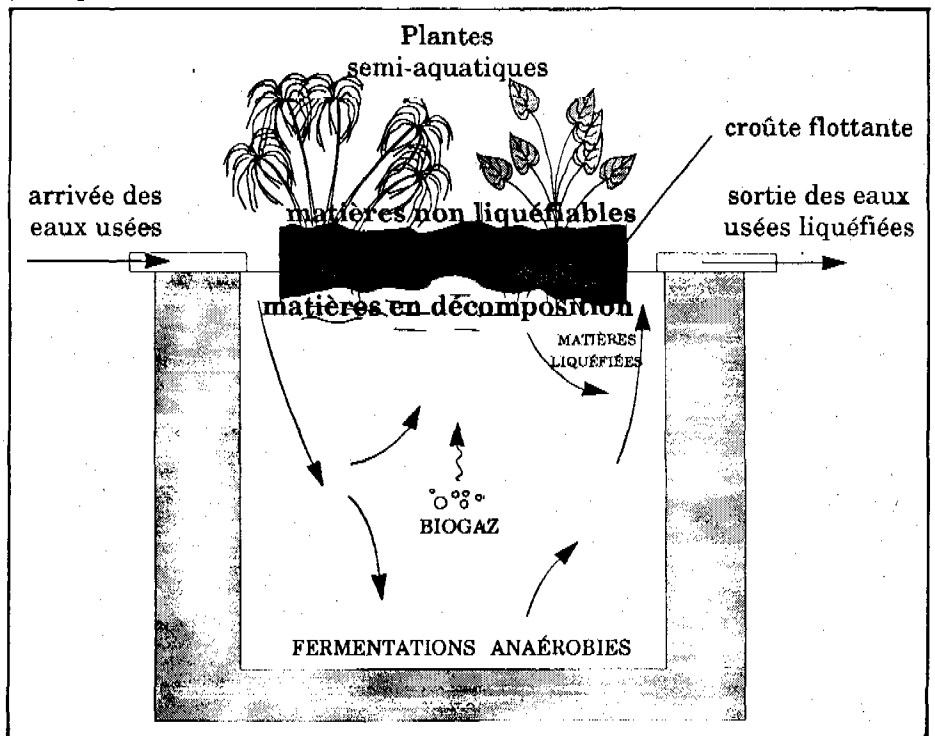


Fig. 2: Traitement primaire; fonctionnement du décanteur-digesteur.

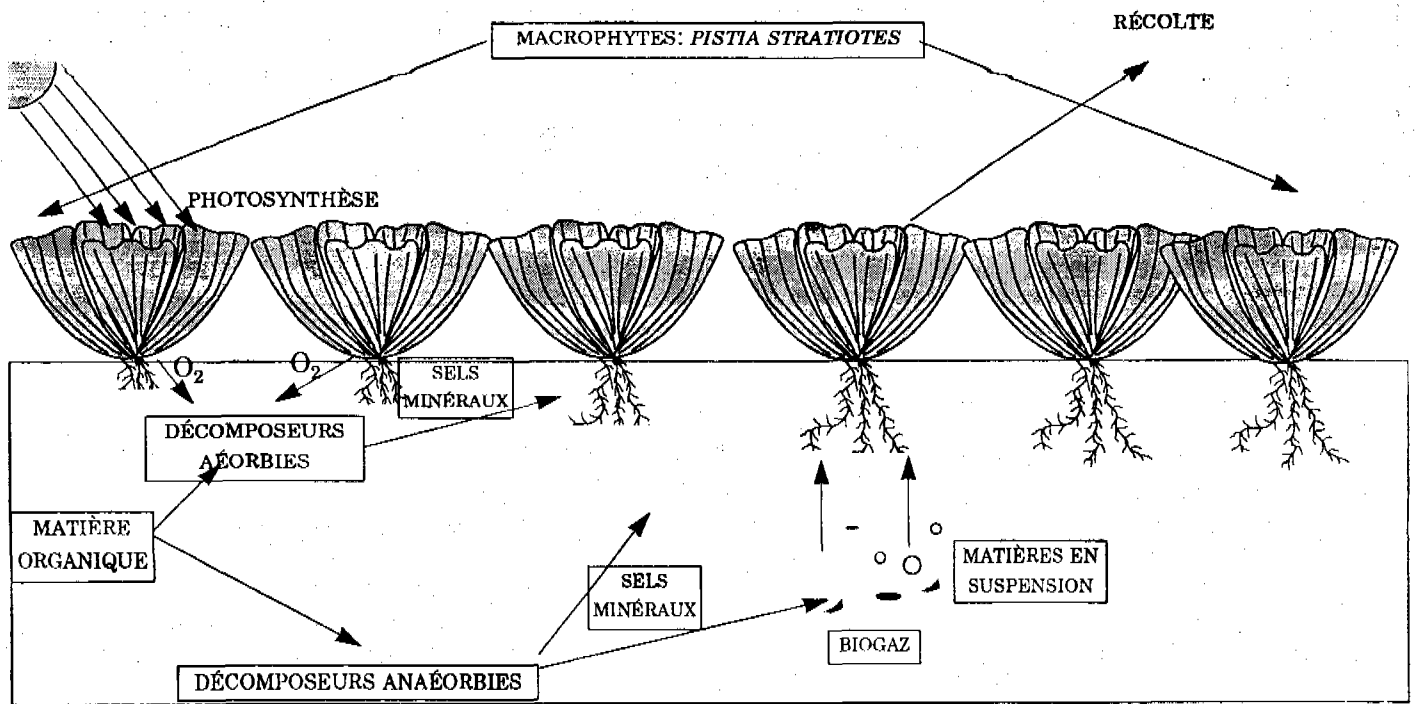


Fig. 3 : Traitement secondaire : fonctionnement du lagunage à macrophytes.

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

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

Lagunage à macrophytes

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

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

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

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

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

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

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

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

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES - MATÉRIELS ET MÉTHODES

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

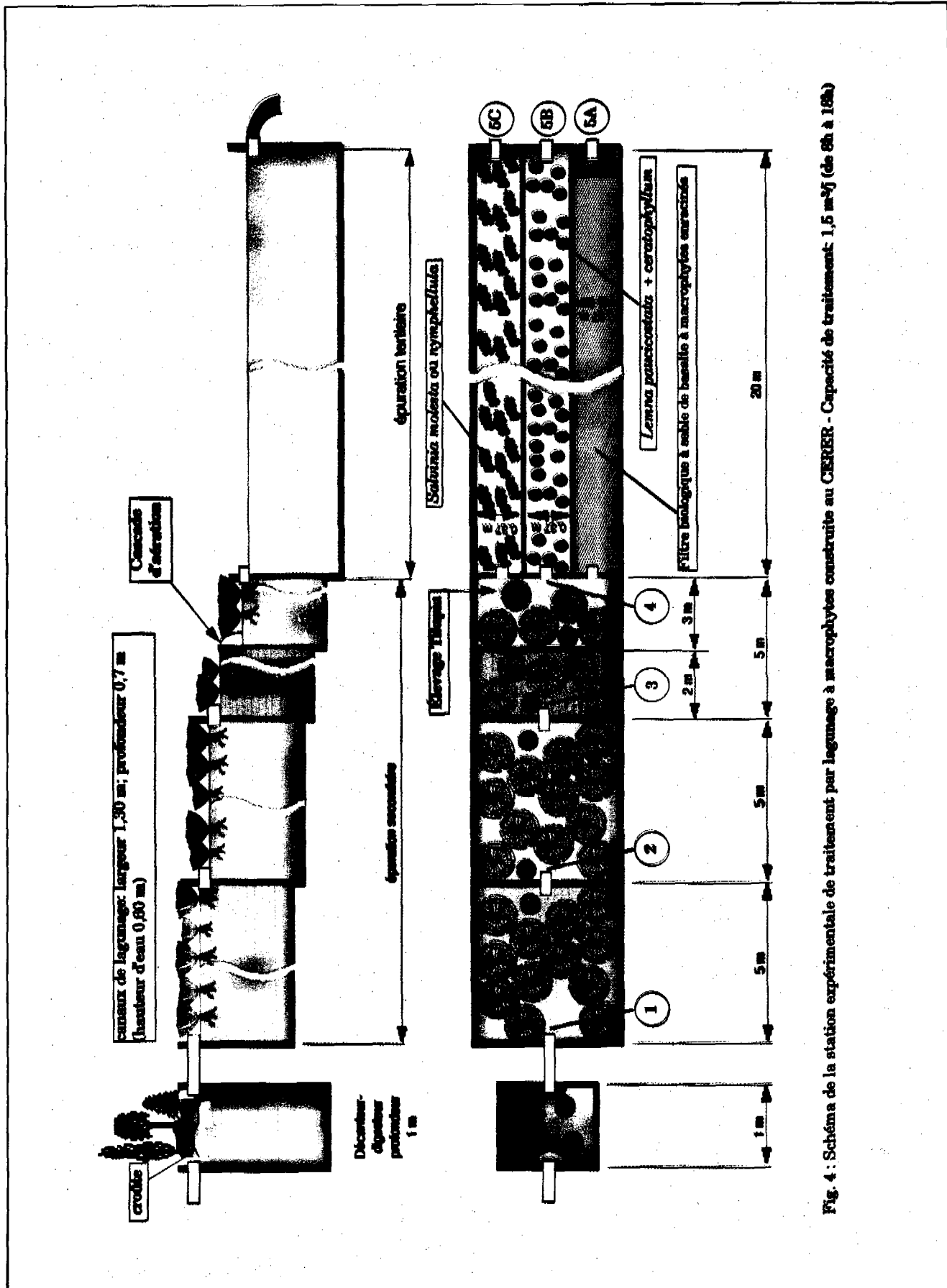


Fig. 4 : Schéma de la station expérimentale de traitement par lagunage à macrophytes construite au CÉRER - Capacité de traitement: 1,5 m³/j (de 8 h à 18 h)

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

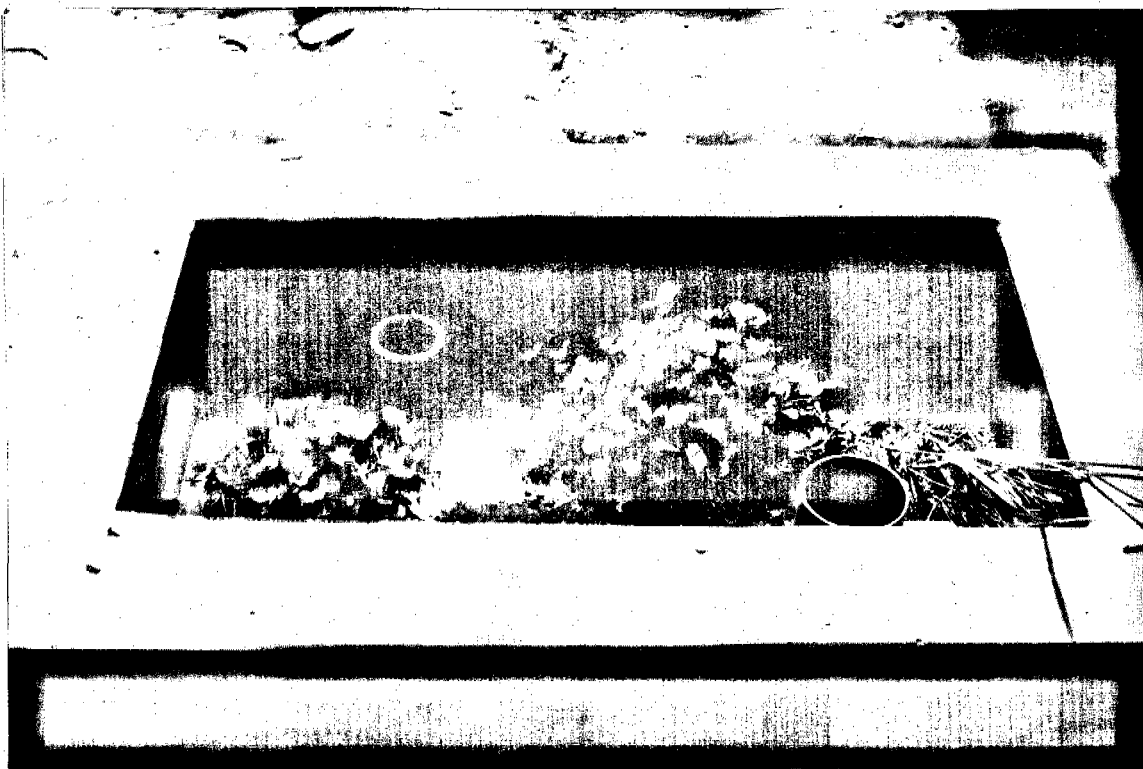


Photo 1 : Le décanteur-digesteur avec la croûte plantée en Marsilea.

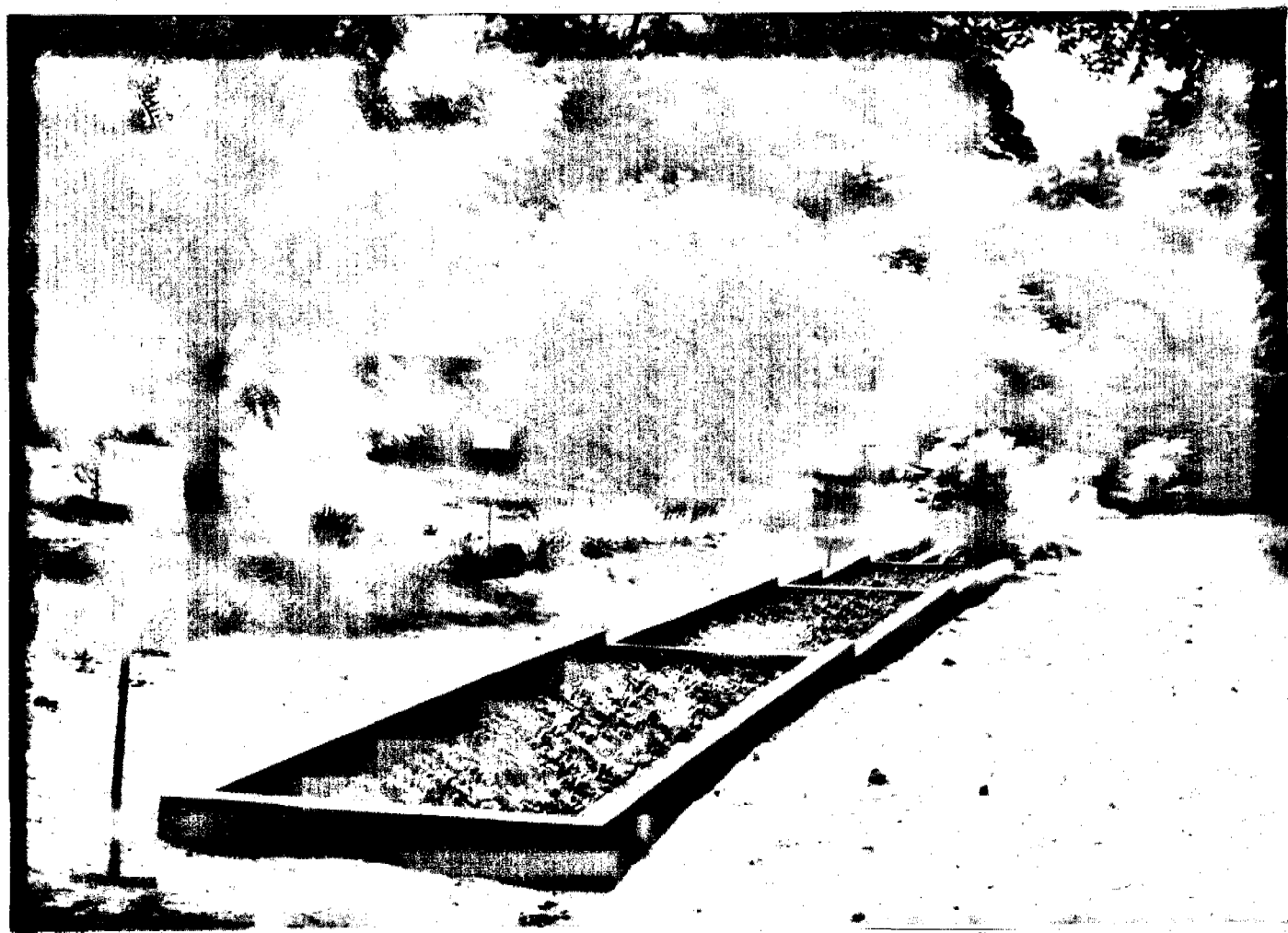


Photo 2 : Vue d'ensemble du lagunage à macrophytes. Au 1^{er} plan les 3 canaux en série de l'épuration secondaire. Au second plan les 3 canaux en parallèle pour l'étude de l'épuration tertiaire et notamment de l'abattement bactérien.

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

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

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

Analyses des Eaux

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

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

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

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

Valorisation de la biomasse

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

Résultats expérimentaux

Eaux usées domestiques

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

Abattement de la DCO et de la DBO₅

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

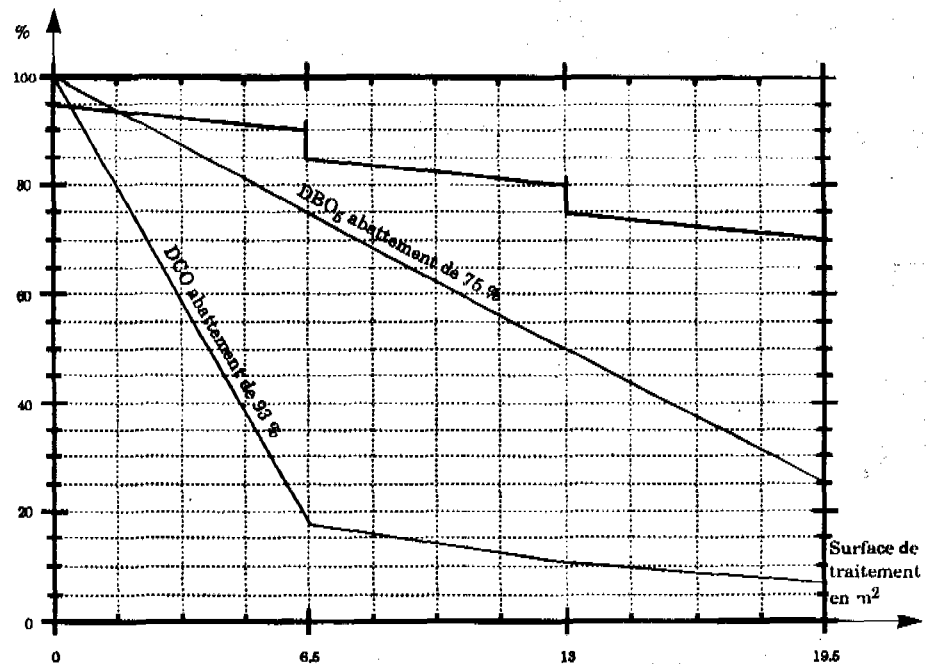


Fig. 5 : premières analyses SONEES (30/05/94).
 Les épurations tertiaires ne sont pas encore en service.



Build Africa

ENTREPRISE GENERALE

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

Dorénavant, le label de qualité pour toutes vos réalisations.

Siège social :

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

Succursale :

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

Compétence & Qualité

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

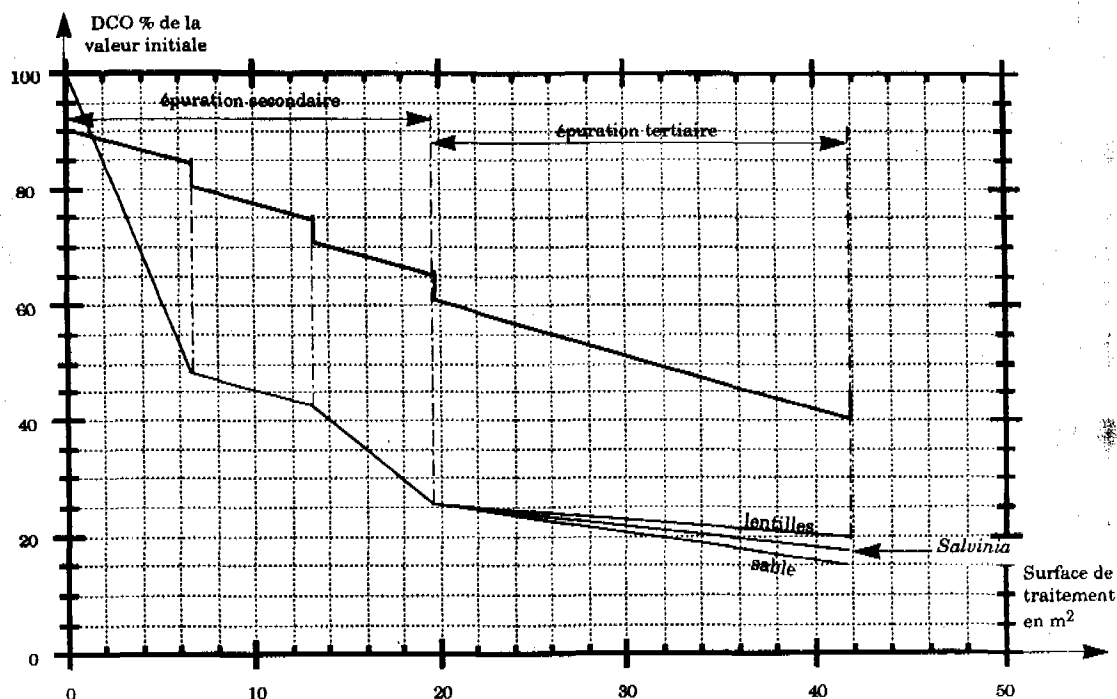


Fig.6 : analyses SONEES (30/06/94). Eaux usées domestiques.

Abattement de l'azote et de ses dérivés

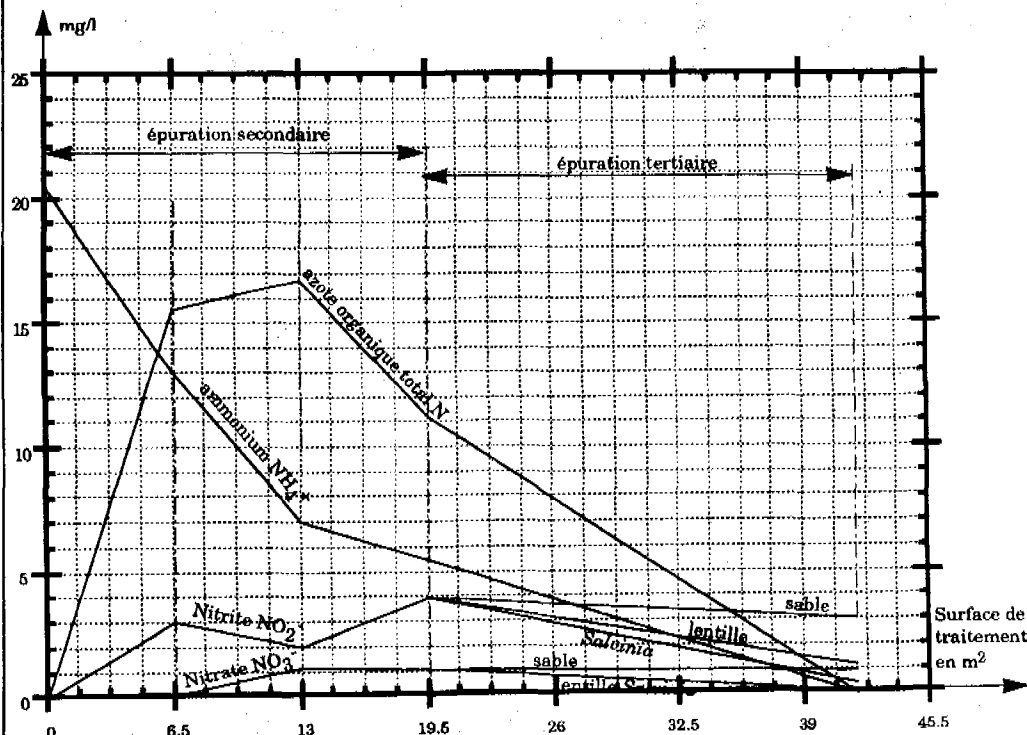


Fig.7 : analyses SONEES (30/06/94). Eaux usées domestiques.

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

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

Abattement des matières en suspension-Désodorisation

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

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

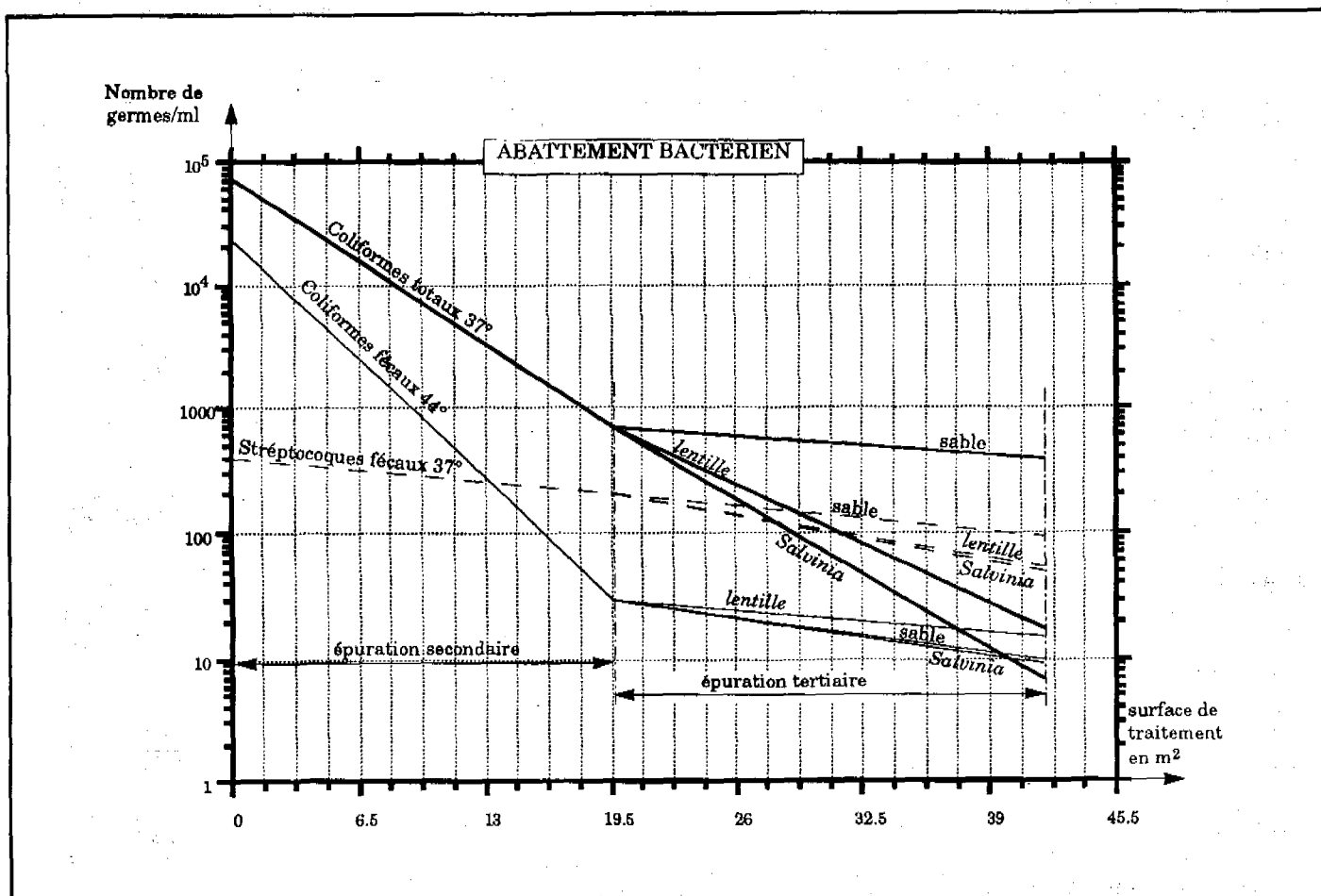


Fig. 8 : Analyses SONEES du 23/06/94 - Eaux usées domestiques (début de la croissance des végétaux sur le filtre).

Abattement bactérien

Globalement :

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

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

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

Eaux usées de latrines

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

(obligatoires) des camions de vidange.

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

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

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

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

dans le lagunage à macrophytes par le décanteur-digester.

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

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

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

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

Valorisation de la biomasse

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

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

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

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

en g/kg de MS

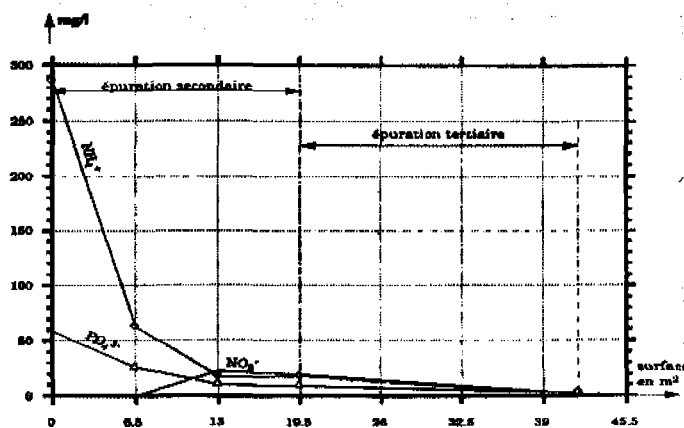


Fig. 9 : analyses de l'ORSTOM. Eaux usées de latrine.

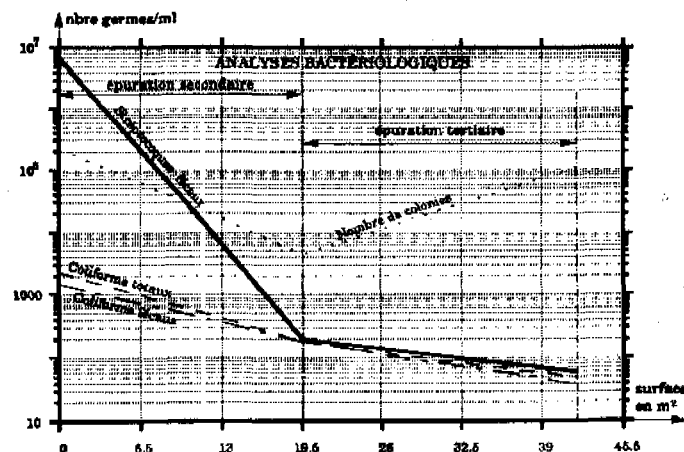


Fig. 10 : analyses E.I.S.M.V. Eaux usées de latrine.

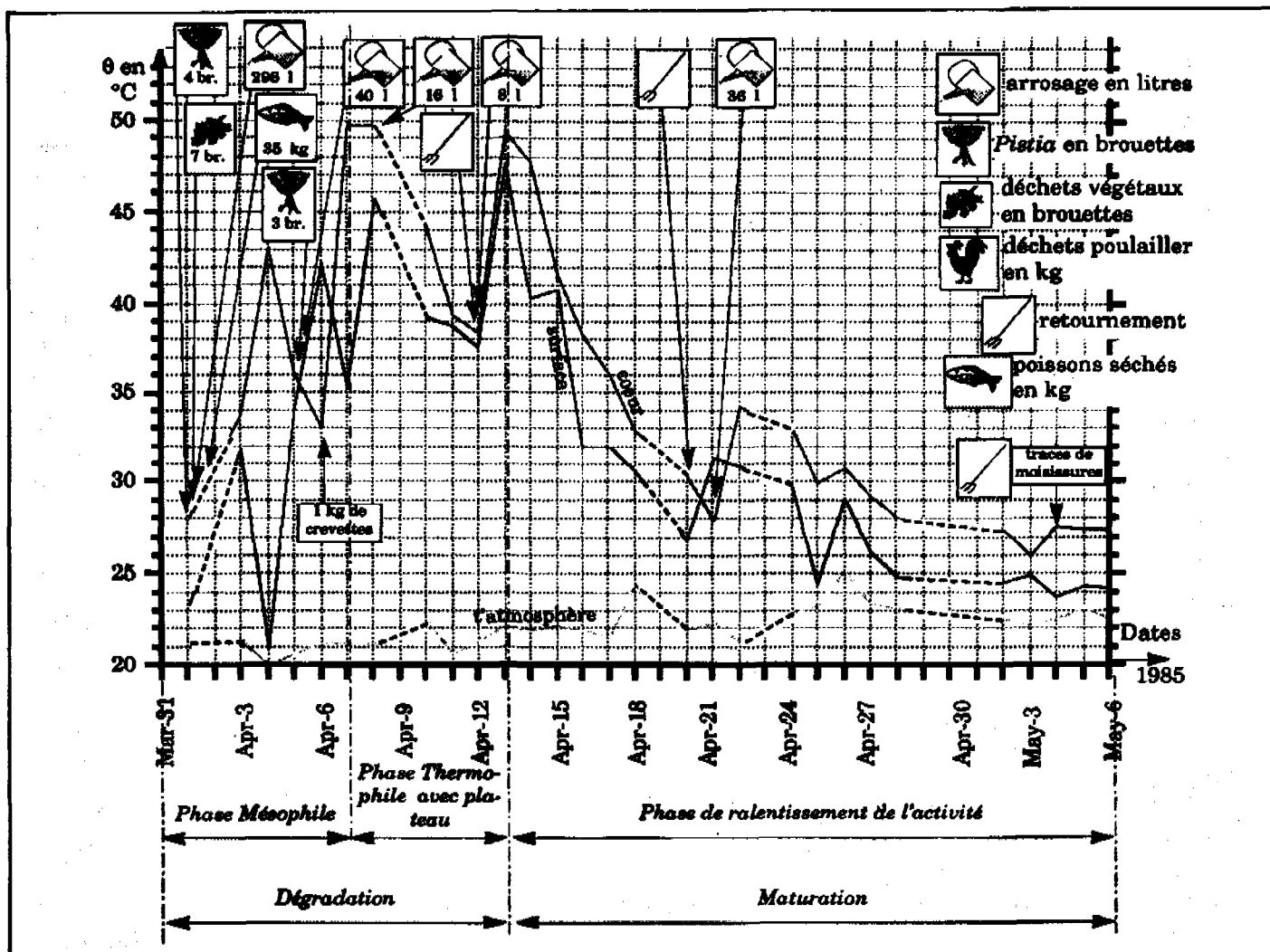


Fig 11 : 5^e Essai de compost, courbes de températures ; association des *Pistia* avec des déchets végétaux et du poisson séché (il n'est évidemment pas classique de rajouter des composants, en dehors de l'eau, dans les 15 premiers jours, mais la production de biomasse du lagunage ne permettait pas de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

CONCLUSIONS

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

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

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

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

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

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

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

Les prospectives sont intéressantes.

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

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

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

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

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

PROJET DE REAMENAGEMENT DE LA PLAINE DE BOU SIRASSO : DIAGNOSTIC INFILTROMETRIQUE A PARTIR D'UNE NOUVELLE METHODE ET ORIENTATIONS POUR LA REHABILITATION DU PERIMETRE IRRIGUE

RÉSUMÉ

L'article développe le volet « diagnostic infiltrométrique » d'une étude menée par la C.F.P.I.¹, sur le périmètre irrigué de Bou Sirasso (Nord de la Côte d'Ivoire), en vue de sa réhabilitation.

L'analyse critique des études conduites avant aménagement, aboutit à la proposition d'une nouvelle approche, visant à mieux expliquer le comportement des sols de cette plaine alluviale. L'étude se déroule en trois étapes : regroupement a priori des sols sur la base de critères conditionnant fortement l'infiltration ; conduite d'une campagne infiltrométrique permettant d'estimer la consommation en eau des sols, dans les conditions de l'irrigation par submersion pratiquée sur le périmètre ; classement des sols suivant leur aptitude à l'irrigation.

Le diagnostic démontre le rôle prépondérant de la position de la nappe phréatique dans la plaine alluviale, sur la vitesse d'infiltration verticale de l'eau dans les sols : le drainage excessif de la plaine par les cours d'eau, se traduit par l'impossibilité de pratiquer l'irrigation par submersion en dehors des zones basses du périmètre.

La réhabilitation passe donc par le contrôle du drainage de la plaine, par implantation de seuils dans le lit des cours d'eau permanents. Dans ces conditions, il serait possible d'augmenter très sensiblement les surfaces aptes à l'irrigation par submersion en contre saison.

Cette étude est également l'occasion de mettre au point une nouvelle méthode infiltrométrique donnant des mesures plus représentatives des conditions d'infiltration à l'échelle du casier rizicole que les « méthodes classiques ».

¹ C.F.P.I. : Centre de Formation Professionnel à l'Ingénierie de l'EIER et de l'ETSHER

Jacques FOURNIER *

Ingénieur E.S.A.T. - Montpellier
ETSHER - Département Gestion des Eaux et des Sols
01 BP 594 Ouagadougou 01 - Burkina Faso

ABSTRACT

The article develops the facet « infiltrometric diagnostic » of a study conducted by CFPI¹ on the irrigated perimeter of Bou Sirasso (Northern Côte d'Ivoire) for its rehabilitation. The critical analysis of the studies done before improvement works resulted in proposing a new approach aiming to better explain the soils behavior of this alluvial plain. The study is to be carried out in three steps : a preliminary soils grouping based on criteria which highly condition infiltration ; conducting an infiltrometric campaign which permits to estimate soils water consumption in the conditions of irrigation through flooding practiced on the perimeter ; soils classification according to their aptitude for irrigation. The diagnostic shows the important role of the position of ground water in the fluvial plain on the water vertical infiltration speed in soils : the excessive draining of the plain by rivers makes it impossible to practice irrigation through flooding apart from low zones of the perimeter.

Then rehabilitation occurs through controlling the plain draining with the deposit of sills in the rivers bed. In these conditions it would be possible to noticeably increase surfaces capable for irrigation through flooding during counter seasons.

This study also presents the opportunity to develop a new infiltrometric method which gives more representative measures of infiltration conditions in rice growing areas than « classic methods ».

INTRODUCTION

Le périmètre irrigué de Bou Sirasso est situé dans la région nord de la Côte d'Ivoire, à 70 km au sud-ouest de Korhogo. Il s'agit d'une plaine alluviale aménagée en aval du barrage de Nafoun (60 millions de m³). Depuis leur mise en exploitation en 1991, les 400 ha destinés à la riziculture intensive sont nettement sous-utilisés, puisque les surfaces cultivées en riz sont en moyenne de 70 à 80 ha en saison des pluies et en contre saison. Plusieurs facteurs concourent à cette sous-utilisation.

En saison des pluies, les cultures irriguées entrent en concurrence avec les cultures pluviales de versant, coton principalement mais aussi cultures vivrières (maïs et autres céréales, igname et autres tubercules...). Les cultures pluviales restent prioritaires dans les stratégies paysannes. De plus, une partie du périmètre est difficilement accessible en période de crue (C.F.P.I., 1997). En saison sèche, la riziculture reste limitée aux sites accessibles à l'eau (problème de conception et de gestion du système de distribution de l'eau) et sur lesquels l'installation et le maintien d'une lame d'eau sont possibles. Cette dernière caractéristique est fonction de la perméabilité du sol (environ 70 % des sols présenteraient une perméabilité moyenne comprise entre 50 et 100 mm.h⁻¹ ; D.C.G.Tx., 1988) et de la position du casier dans la toposéquence.

Le dysfonctionnement du périmètre se traduit par une forte démotivation des paysans présents sur le site : mauvaise organisation et exploitation anarchique du réseau d'eau, absence d'entretien, parcelles en friche depuis plusieurs années.

Dans le but de proposer une réhabilitation du site, le B.N.E.T.D.¹ (ex D.C.G.Tx.²), organisme responsable de l'aménagement, a confié à la C.F.P.I. la conduite d'une étude devant permettre l'identification des obstacles à l'exploitation du périmètre et la proposition d'orientations techniques en vue d'une mise en valeur plus intensive.

Cette étude s'est déroulée sur 18 mois, de décembre 1995 à juin 1997. Elle comportait trois volets distincts : un volet hydraulique (systèmes de stockage et de distribution de l'eau) ; un volet infiltrométrique (diagnostic du comportement des sols à l'infiltration) ; un volet agronomique (techniques culturales, diversification de la production et des techniques d'irrigation).

L'étude infiltrométrique fait l'objet du présent article. Elle a deux objectifs principaux. En premier lieu, il s'agit de comprendre et de mettre en évidence le ou les facteurs explicatifs d'une perméabilité jugée excessive aux vues d'une campagne infiltrométrique effectuée avant aménagement. Cette perméabilité expliquerait en partie la sous-utilisation actuelle du périmètre. La mise en évidence de ces facteurs explicatifs doit permettre d'orienter une éventuelle réhabilitation.

Le second objectif est de réévaluer la perméabilité des sols, afin d'optimiser la mise en valeur du périmètre et l'utilisation actuelle d'une ressource en eau limitée. Il s'agit ici d'estimer des vitesses d'infiltration verticale à charge constante et dans les conditions de l'irrigation par submersion rencontrées sur le périmètre. Afin d'atteindre ces deux objectifs, une démarche originale a été mise en œuvre par la C.F.P.I.

La démarche mise en œuvre

A l'origine de cette démarche : une analyse critique des données existantes et de la méthode retenue pour le diagnostic des sols de la plaine de Bou Sirasso et l'orientation de l'aménagement du périmètre irrigué (D.C.G.Tx., 1988 à 1993). Cette analyse met en exergue certaines carences, qui ne sont pas spécifiques aux études conduites ici, mais révèlent le manque d'outils simples et adaptés à ce type d'étude pré ou post-aménagement. Deux points méritent d'être relevés.

Le regroupement des sols de la plaine alluviale en unités simples ou complexes, s'est fait sur la base de critères pédologiques dits « morphogénétiques » (classification CPCS 1967, modifiée par l'ORS-TOM pour la Côte d'Ivoire). Il permet essentiellement d'expliquer la genèse de ces sols et l'organisation des horizons au sein du profil type de chaque unité. Par contre, il ne donne pas d'indications suffisantes sur leur comportement à l'infiltration. Celui-ci dépend en grande partie de caractéristiques physiques facilement observables (texture, structure et porosité en grand d'origine structurale ou biologique ; position dans la topographie et par rapport à la nappe...) qui ne sont pas prioritairement prises en compte ici. Seule la texture intervient dans le classement des sols, mais toujours comme critère secondaire. Il en va de même pour l'organisation des différentes unités dans le paysage. Cette zonation pédologique « classique » apparaît pour le moins inadaptée à la problématique d'aménagement posée ici. En outre, elle n'est jamais utilisée dans la suite du diagnostic pour expliquer le comportement des sols à l'infiltration.

Une campagne infiltrométrique lourde est venue compléter l'étude pédologique : 117 sites de mesure au double anneau de Müntz, répartis de façon systématique sur 1000 ha de la plaine alluviale (D.C.G.Tx., 1988). Dans cette

étude, un site (casier de 1 m²) est caractérisé par deux mesures d'infiltration dont on fait la moyenne. Les essais d'infiltration sont effectués à charge constante (lame d'eau de 3 cm), jusqu'à obtention d'un régime d'écoulement stabilisé.

Cette campagne a permis de distinguer trois groupes ou classes de perméabilité : un groupe de sols de perméabilité modérée, où l'on mesure des vitesses moyennes d'infiltration de l'ordre de 10 mm.h⁻¹ ; un groupe de sols perméables, présentant des vitesses moyennes d'infiltration de l'ordre de 20 à 80 mm.h⁻¹ ; un groupe de sols très perméables, pour lesquels les vitesses moyennes d'infiltration sont de l'ordre de 180 mm.h⁻¹.

L'analyse détaillée de cette campagne infiltrométrique pose le problème du système de mesure utilisé, de l'échelle d'étude, du protocole mis en œuvre et finalement de la représentativité des classes d'infiltrabilité proposées ici. Après élimination des essais infiltrométriques incomplets (vitesse d'infiltration non stabilisée), il apparaît que les coefficients de variation des mesures effectuées sur un même site ou sur une même unité texturale (et pendant une même période), sont toujours supérieurs à 60% et peuvent aller jusqu'à 105% (d'après essais D.C.G.Tx.). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette dispersion très importante des mesures sur des sites a priori homogènes :

1 - Le système de mesure utilisé : le double anneau donne des mesures considérées généralement comme précises, mais très ponctuelles (AUDRY, 1973 ; HENIN, 1977), qui ne caractérisent que la surface de mesure (100 cm²). HUMBEL (1975), explique la grande dispersion des mesures de conductivité hydraulique *in situ*, par le fait que l'essentiel du débit est assuré par les plus gros conduits de la porosité (d'origine structurale et biologique), dont la répartition est la plus irrégulière. De nombreux travaux de caractérisation hydrodynamique du

¹ B.N.E.T.D. : Bureau National d'Etudes Techniques et de Développement.

² D.C.G.Tx. : Direction et Contrôle des Grands Travaux.

sol font apparaître l'importance de ces « chemins de circulation préférentielle » affectant, entre autre les transferts liquides (BOIVIN et al., 1988 ; TOUMA et al., 1988 ; GASCUEL et al., 1988). Il s'agit de fissures, crevasses, pores d'origine biologique dont la prise en compte sera fonction de l'échelle d'observation.

2 - La variabilité naturelle des propriétés hydrodynamiques du sol : le sol est un milieu structuré, hétérogène et anisotrope, dont les caractéristiques d'état et de fonctionnement varient d'un site à l'autre, soit de façon aléatoire, soit selon certaines lois (BRUCKLER et al., 1988 ; GASCUEL et al., 1988 ; VOLTZ et al., 1988). L'organisation et les interactions entre constituants (argiles, matières organiques, minéraux plus ou moins inertes), génèrent une variabilité spatiale et une variabilité temporelle toute aussi importante (état hydrique, travail du sol...) des propriétés du sol. La description de son fonctionnement hydrodynamique à partir d'observations ponctuelles (étude de processus locaux), n'est donc pas transposable en tant que tel à la parcelle ou au bassin versant. La dispersion des mesures sur un même site ou une même unité, indique que la taille de l'échantillon (ici, la surface de mesure) est inférieure à la maille de l'hétérogénéité naturelle du sol.

L'étude de ces processus à une échelle macroscopique est une des voies possibles pour une meilleure compréhension du comportement d'un sol (en particulier avec des objectifs d'aménagement), (GUENELON et al., 1988). Cette approche devra, dans la mesure du possible, prendre en compte des états du sol représentatifs de la variabilité temporelle de ses propriétés. C'est l'orientation retenue pour le diagnostic infiltrométrique du périmètre de Bou Sirasso (voir plus loin dans le texte).

3 - Le non-respect d'un protocole standard, en particulier en ce qui concerne les états de surface et la correction des mesures en fonction de la température de l'eau. Ce der-

nier point semble fondamental en région tropicale. En effet, la campagne infiltrométrique conduite par la C.F.P.I. à Bou Sirasso montre qu'au cours d'un même essai, la température de l'eau fluctue entre 30 et 34°C. Elle peut même atteindre 38°C alors que la température de référence est de 20°C. Ces températures élevées se traduisent par une surestimation de l'ordre de 20 à 30% des vitesses mesurées (C.F.P.I., 1997). Bien sûr, ceci ne préjuge en rien de la température de l'eau dans les casiers rizicoles.

4 - L'absence de contrôle de la profondeur de la nappe phréatique (nappe d'inféro-flux) au moment de la mesure : ce facteur joue un rôle essentiel dans la dynamique d'infiltration de l'eau dans les sols, en particulier lorsqu'ils sont filtrants. Il est à mettre en relation avec la variabilité temporelle et spatiale des propriétés hydrodynamiques des sols. Les mesures effectuées par la D.C.G.Tx. conduisent au regroupement des sols en classes de perméabilité sur la base de leur situation topographique, entre autre, sans qu'il soit possible de dégager une tendance particulière (les mesures ne sont pas rattachées à une profondeur de la nappe).

Finalement, cette démarche de diagnostic avant aménagement, lourde en investissement, n'a pas permis d'expliquer le comportement à l'infiltration des sols de la plaine alluviale de Bou Sirasso. Une diminution progressive de la vitesse d'infiltration de l'eau dans les sols après quelques années de riziculture (travail du sol, déstructuration de l'horizon de surface, tassements...) ayant été pronostiquée, la D.C.G.Tx. a engagé l'aménagement de la plaine, avec le peu de réussite que l'on connaît. Le seul facteur perméabilité des sols n'explique pas tout dans cet échec. Le dysfonctionnement du système d'amenée d'eau et les blocages d'ordre socio-économiques contribuent pour une part non négligeable à la sous-utilisation du périmètre (C.F.P.I., 1997).

Une nouvelle approche tenant compte des lacunes de la démarche

précédente a donc été proposée, afin d'orienter la réhabilitation du périmètre. Cette approche s'organise autour de trois axes principaux.

1- Zonation « a priori » des sols sur la base de critères simples conditionnant fortement la vitesse d'infiltration de l'eau : texture et structure de l'horizon cultural et des horizons sous-jacents ; position dans la toposéquence et altitude par rapport aux exutoires de la nappe phréatique (cours d'eau et drains fonctionnels). A partir de cette cartographie rapide de la plaine alluviale, un plan d'échantillonnage est élaboré pour la nouvelle campagne infiltrométrique. Des regroupements en classes de perméabilité seront proposés à l'issue de cette phase de mesure.

2- Mise au point d'une méthode de mesure qui permet d'estimer des vitesses d'infiltration pouvant être considérées comme représentatives des conditions d'infiltration de l'eau en riziculture inondée, pour une unité de sol (telle que définie en 1) et à l'échelle du casier rizicole.

En outre, cette nouvelle méthode doit conserver les qualités reconnues au double anneau de Müntz : précision des mesures, bonne « simulation » des processus d'infiltration verticale dans le cas d'une irrigation par submersion, simplicité de mise en œuvre et faible coût du matériel.

La conception de cette méthode infiltrométrique repose sur le constat suivant : toutes choses égales par ailleurs, la grande dispersion des mesures effectuées au double anneau de Müntz est liée à l'hétérogénéité naturelle du sol (hétérogénéité s'exprimant principalement par la structure et l'organisation de la porosité du sol) et à une échelle de mesure insuffisante (100 cm²) pour appréhender cette hétérogénéité. Une série d'essais à surfaces croissantes (anneau intérieur de 0,5 ; 1 ; 1,5 ; 2 ; 3 m²) a donc été réalisée sur chacune des unités de sol du périmètre. Compte tenu de l'influence démontrée de la dimension de l'anneau de garde sur les vitesses mesurées (COLOMBANI et al., 1972), il a été retenu de

conserver les proportions du dispositif standard de Müntz pour tous les essais, soit un rapport entre la surface de l'anneau de garde et celle de l'anneau intérieur égal à 8.

L'évolution de la dispersion des mesures fait apparaître pour chaque unité de sol et dans des conditions identiques de profondeur de nappe, une "surface seuil" à partir de laquelle le coefficient de variation est inférieur ou égal à 30% (voir figure 2 page suivante). Dans ces conditions, on admet que la mesure effectuée est interprétable. Cette dernière est représentative des conditions d'infiltration pour une unité de sol, telle que définie plus haut, dans une situation donnée (profondeur de nappe, travail du sol, hauteur de la lame d'eau...). Bien sûr, pour caractériser une unité de sol, plusieurs essais infiltrométriques devront être réalisés et la densité des mesures sera liée à la complexité de l'unité de sol.

3- Réalisation d'une campagne infiltrométrique reposant sur la nouvelle zonation des sols et mettant en œuvre cette nouvelle méthode. Les objectifs de cette campagne sont doubles. En premier lieu, il s'agit d'estimer la vitesse d'infiltration verticale de l'eau, à régime stabilisé et à charge constante, dans des conditions

proches de l'irrigation par submersion pratiquée par les paysans sur le périmètre. Ces conditions sont variables au cours de l'année (périodes de crue et d'étiage) et correspondent à des situations piezométriques différentes. De plus, le système d'irrigation ne permet pas la saturation du profil sur toute sa profondeur. Il n'y a pas continuité entre la lame d'eau superficielle et la nappe phréatique, sauf lorsque celle-ci est proche de la surface. Ceci n'est pas systématiquement réalisé pour toutes les unités de sol, même en période de hautes eaux, du fait de leur situation topographique.

Le second objectif de cette campagne infiltrométrique est la caractérisation de la perméabilité intrinsèque des sols par le coefficient de DARCY (« K_{sat} »). Il s'agit d'une vitesse d'infiltration assimilée à la conductibilité hydraulique de la loi de DARCY, caractéristique du milieu poreux à travers lequel s'écoule l'eau (PHILIPP, 1957 ; HILLEL, 1957 ; HENIN, 1977 ; CHAMAYOU et al., 1989). Cette valeur n'est donc pas indexée à une profondeur de nappe. Elle ne peut être estimée que si la continuité entre la lame d'eau de la parcelle de mesure et la nappe phréatique est assurée (on s'approche dans ces conditions du mécanisme de filtration au sens de DARCY).

Nous verrons par la suite que cet objectif n'est que partiellement atteint en raison du choix du protocole (épaisseur de la lame d'eau). Toutefois, ce protocole permet de définir un régime permanent saturé dans des conditions proches de celles de la riziculture inondée.

Les résultats du diagnostic de la C.F.P.I.

1 - Zonation de la plaine de Bou Sirasso : réalisée sur la base de critères simples (voir plus haut dans le texte) dont certains tels que la texture ont été confirmés par analyse, elle met en évidence 4 unités distinctes, organisées comme suit le long de la toposéquence (voir figure 1 ci-dessous) :

- Unité I, dite de bourrelet de berge. Texture argileuse homogène sur tout le profil ; macroporosité très développée sur une grande profondeur (80 cm. au minimum ; voir figure 4), liée à la structure du profil et à l'activité biologique. Elle occupe 47 % de la surface du périmètre.

- Unité II, caractéristique des zones dépressionnaires de la plaine alluviale. Elle est localisée en arrière du bourrelet de berge et occupe 8 % de la surface du périmètre. Horizon de surface à texture de sable argileux, horizon profond plus argileux.

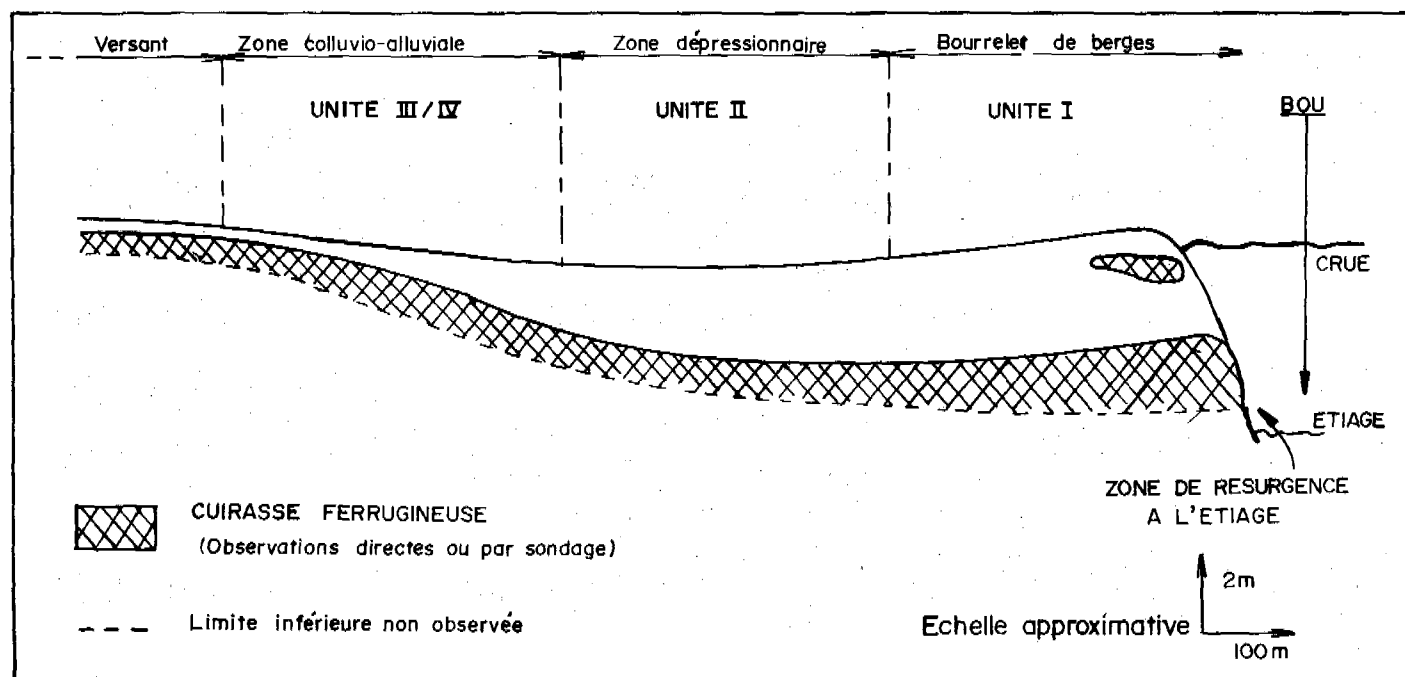


Figure 1 : Toposéquence dans la plaine alluviale de Bou Sirasso. Section « à cours d'eau encaissé ». (représentation schématique).

• Unités III et IV. Elles constituent la zone de contact avec le bas-versant cuirassé :

L'unité III est graveleuse sur tout le profil, avec une matrice à texture équilibrée. Elle occupe 19 % de la surface du périmètre.

L'unité IV présente une texture équilibrée sur tout le profil, avec une charge graveleuse faible. Elle occupe 26 % de la surface du périmètre.

En fonction des situations, cette séquence peut-être tronquée (unité III ou unité IV absente).

Enfin, il faut distinguer les cas de figure où les cours d'eau permanents sont encaissés et rabattent fortement la nappe à l'étiage, de ceux où plainc alluviale et cours d'eau sont pratiquement au même niveau (nappe peu profonde toute l'année).

Le tableau 1 ci-contre résume les caractéristiques physiques des sols de la plaine alluviale de Bou Sirasso.

2 - La phase expérimentale de la nouvelle méthode infiltrométrique a permis la définition d'une surface de mesure à partir de laquelle la dispersion des valeurs mesurées est inférieure ou égale à 30 % (figure 2). Cette « surface seuil », dite « surface élémentaire représentative » ou maille d'hétérogénéité naturelle (Humbel, 1975) est représentative de l'hétérogénéité du sol en surface et varie d'une unité à l'autre. Elle est d'autant plus grande que la structure du sol est développée et complexe dans l'horizon de surface (cas de l'unité I) et reste faible lorsque le sol est peu ou pas structuré (cas de l'unité III, graveleuse et de l'unité IV, peu structurée). On constate que la dispersion des mesures sur l'unité II est la plus élevée, même pour les grandes surfaces d'anneau intérieur, alors qu'une des caractéristiques de cette unité est l'absence de structure construite (structure particulière meuble). Comme nous le verrons par la suite, cette unité sablo-argileuse est sensible au phénomène de déstructuration de l'horizon super-

Tableau 1 : caractéristiques physiques des sols de la plaine de Bou Sirasso (horizon cultural ; présence/absence d'une discontinuité dans le profil, au-dessus de la cuirasse latéritique)

Horizon cultural (*)						
Unité	Profondeur	Classe texturale (G.E.P.P.A)	% M.O.	Aptitude à la fissuration (*)	Stabilité structurale (terre fine) (*)	discontinuité dans le profil (*)
Unité I	0 à 15 cm	argileuse à argile limoneuse	satisfaisant	excellente	bonne à moyenne	profil continu
Unité II	0 à 15 cm	sable argileux à sable argilo-limoneux	très faible	aucune	stable	argileux à 15 cm
Unité III	0 à 25 cm	graveleux (matrice limono-argilo-sableuse à argile limono-sableuse)	satisfaisant à élevée	bonne à moyenne	stable	légèrement plus argileux à 25 cm
Unité IV	0 à 15/20 cm	limono-argilo-sableuse	faible	faible	instable	profil continu

(*) : évaluation par observation directe et/ou interprétation à partir des normes GREY (1990) et SOLTNER (1989).

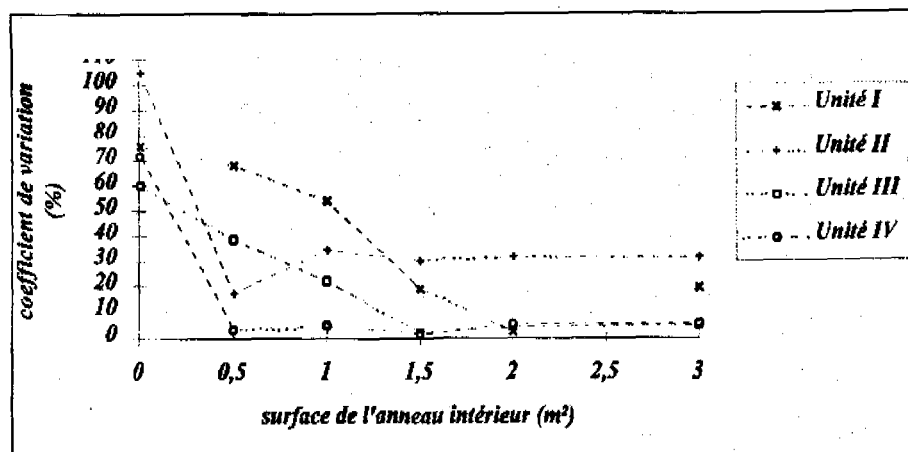


Figure 2 : évolution de la dispersion des mesures de vitesse d'infiltration à régime stabilisé, suivant la surface de l'anneau intérieur.

ficiel lors de la préparation du sol. Ceci se traduit par la formation d'une croûte superficielle argileuse, fortement structurée, à l'origine d'une dispersion plus importante des mesures d'infiltration. La granulométrie relativement hétérogène d'un site à l'autre (texture de sable argileux à sable argilo-limoneux) contribue également à la dispersion des mesures sur cette unité. Les mesures sur grandes surfaces restent toutefois interprétables. Compte tenu de la lourdeur de ce type de mesure, le plan d'expérimentation a été réduit à 3 répétitions (3 sites homogènes), pour chacune des surfaces de mesure et des unités de

sol (soit 60 mesures). De plus, les coefficients de variation retenus pour l'anneau standard de 100 cm² sont ceux observés à l'issue de la campagne D.C.G.Tx. 1992, après correction. La campagne D.C.G.Tx. 1988 a donné lieu à un regroupement des sites de mesures suivant leur situation topographique, sans qu'il soit tenu compte de la texture. Dans ce cas, les coefficients de variation sont compris entre 60 et 88%.

Pour l'ensemble des unités, on constate une évolution comparable : réduction de la dispersion des mesures de l'ordre de 80 %, quand on passe d'une surface d'anneau intérieur de 0,01 à 3 m². La « surface élémentaire représentative »

est comprise entre 0,5 m² pour le sols les moins structurés en surface (unité IV) et 1,5 m² pour les sols dont la structure est bien développée en surface (unités I et II).

Lorsque les mesures d'infiltration deviennent interprétables pour toutes les unités de sol (à partir d'une surface de mesure de 1,5 m²), on observe corrélativement une « stabilisation » de la valeur de la vitesse d'infiltration à régime stabilisé, quelle que soit l'unité considérée (tableau 2 ci-contre). Les essais agronomiques effectués sur des casiers de 20 m², placés dans les mêmes conditions que l'anneau intérieur (témoin non cultivé, travail du sol « standard », anneau de garde assurant une infiltration verticale, contrôle de la profondeur de la nappe) mais avec une lame d'eau variable (12 cm maximum), confirment les mesures effectuées sur un anneau intérieur compris entre 1,5 et 3 m² (C.F.P.I., 1997).

L'extension des mesures sur anneau de 3 m² (photo 1) à l'ensemble du périmètre (62 mesures complémentaires), confirme la faible dispersion des résultats pour une unité de sol prise dans une situation comparable (de profondeur de nappe, en particulier). Sur l'ensemble de la campagne de mesure, les coefficients de variation (CV %) sont systématiquement inférieurs à 30 % (tableau 3 ci-contre). Les légers écarts constatés entre les coefficients de variation expérimentaux et ceux des mesures d'extension sont liés au choix des sites expérimentaux, plus ou moins représentatifs de l'hétérogénéité des unités de sol définies à l'issue de la zonation C.F.P.I (1997).

3 - La campagne infiltrométrique a donné lieu à des mesures de saison sèche et de fin de saison des pluies, afin de caractériser les situations extrêmes du fonctionnement des sols à l'infiltration (illustration de la variabilité temporelle des propriétés hydrodynamiques des sols). Les vitesses d'infiltration ainsi mesurées, correspondent à des vitesses d'infiltration à régime stabilisé, sous une lame d'eau de 8 cm. Les valeurs obtenues sont indexées à une profondeur de nappe.

Tableau 2. Evolution de la vitesse d'infiltration à régime stabilisé (en mm. h⁻¹), mesurée à des échelles croissantes et à deux profondeurs de nappe.

Unités de sol	Profondeur de la nappe	Vitesse d'infiltration (mm.h ⁻¹) pour différentes dimensions de l'anneau intérieur			Moyenne (C. V. %)	Vitesse d'infiltration (mm.h ⁻¹) sur casier de 20 m ²
		1,5 m ²	2 m ²	3 m ²		
I	Profonde (*)	64,9	70,2	62,4	66,0 (5)	70 (***)
	Peu prof. (**)	-	-	4 à 7	-	-
II	Profonde (**)	-	-	16 à 29	-	22 (***)
	Peu prof. (*)	9,4	7,0	6,4	7,8 (17)	-
III	Profonde (*)	109,6	77,3	98,3	96,9 (13)	96 (***)
	Peu prof. (**)	-	-	43 à 59	-	-
IV	Profonde (*)	41,0	39,1	40,8	40,3 (7)	-
	Peu prof. (**)	-	-	11 à 18	-	10 (***)

(*) : valeurs expérimentales (moyenne sur trois mesures) ; (**) : valeurs relevées au cours de la campagne infiltrométrique sur 3 m² (voir point 3 dans le texte) ; (***) : vitesse d'infiltration verticale moyenne, mesurée sur parcelle d'essais agronomiques de 20 m², sous une lame d'eau variable (infiltration répétée d'une lame d'eau de 12 cm), mesures de saison sèche.

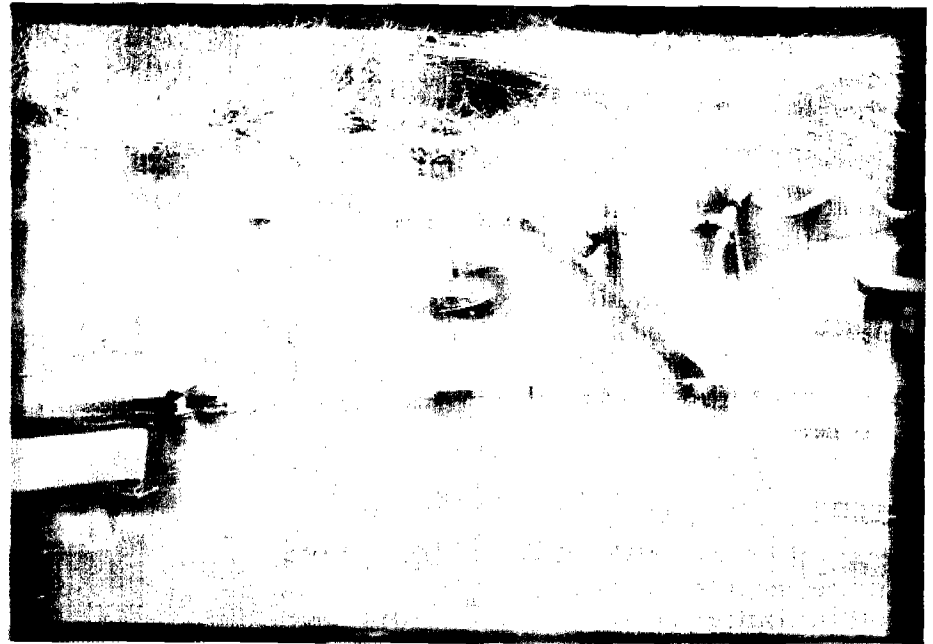


Photo 1 : Mesure infiltrométrique sur double anneau de grande dimension (parcelle interne de 3 m², parcelle externe de 24 m²). La lame d'eau (8cm) est maintenue constante par un système de robinet flotteur à gros débit, relié à un réservoir. En cas de débit d'infiltration important, une vanne reliée à une motopompe (alimentation de la parcelle externe) permet d'assurer manuellement le maintien de la charge constante. (Photo J. Fournier, déc. 1996).

Tableau 3 : coefficients de variation observés à l'issue de la campagne infiltrométrique complémentaire, avec des mesures au double anneau de 3 m².

Unités de sol (classement CFPI)	C. V. % expérimentaux (anneau int. de 3 m ²)	C.V. % des mesures d'extension (anneau int. de 3 m ²)
I	19	21
II	31	24
III	5	10
IV	5	14

CV % = 100 (écart type / moyenne)

Le tableau 4 résume les caractéristiques infiltrométriques des différentes unités de sol du périmètre :

Pour ces deux unités, les vitesses mesurées à régime permanent saturé (le profil est saturé jusqu'à

La position topographique des unités III et IV ne leur permet pas d'arriver à cette infiltration minimale, même en période de hautes eaux. La situation où la nappe est suffisamment proche de la surface pour permettre la saturation du profil, n'est jamais rencontrée dans ces unités.

Tableau 4 : bilan des mesures infiltrométriques au double anneau de 3 m², sur 394 ha du périmètre de Bou Sirasso. Il s'agit ici de situations extrêmes de profondeur de nappe (nappe au plus bas et au plus haut dans les différentes unités de sol).

Unité de sol (classement CFPI)	Vitesse d'infiltration à régime stabilisé : nappe profonde (*)	Vitesse d'infiltration à régime stabilisé : nappe peu profonde (**)
Unité I	67 à 80 mm.h ⁻¹ - nappe > 2,0 m	4 à 7 mm.h ⁻¹ - nappe < 0,35 m
Unité II	16 à 29 mm.h ⁻¹ - nappe > 1,5 m	8 à 11 mm.h ⁻¹ - nappe < 0,30 m
Unité III	91 à 100 mm.h ⁻¹ - nappe > 2,0 m	43 à 59 mm.h ⁻¹ - nappe < 1,20 m
Unité IV	39 à 43 mm.h ⁻¹ - nappe > 2,0 m	11 à 18 mm.h ⁻¹ - nappe < 0,60 m

(*) : période d'étiage (fin de saison sèche) et/ou situation topographique haute par rapport à l'axe de drainage. (**): période de hautes eaux et/ou situation topographique basse par rapport à l'axe de drainage.

Quelle que soit l'unité de sol, le facteur « profondeur de la nappe » apparaît comme un élément conditionnant la vitesse d'infiltration à régime stabilisé : elle diminue fortement et tend vers une valeur minimale lorsque la nappe est peu profonde (période des hautes eaux dans les cours d'eau ou situation topographique basse). Au-delà des propriétés intrinsèques de chaque sol (texture, structure, type de porosité, organisation du profil), cet effet « profondeur de nappe » s'explique par des phénomènes de succion matricielle exercée par la terre encaissante non saturée sur le volume de sol concerné par la mesure au double anneau (Humbel, 1975). Lorsque la nappe est basse, la succion interne est maximale, alors qu'elle s'annule lorsque l'ensemble du profil est saturé.

Lorsque cela était possible, une courbe caractéristique de l'évolution de la vitesse d'infiltration à régime stabilisé en fonction de la profondeur de la nappe phréatique a été établie. C'est le cas pour les unités I et II (figure 3 ci-dessous) :

la nappe située à moins de 0,30 m) tendent vers une valeur minimale. Cette valeur minimale ne peut être assimilée au K_{sat} de Darcy, dans la mesure où le gradient hydraulique i^1 au moment de la mesure ne peut être considéré comme égal à 1 (l'épaisseur de la colonne de sol saturé n'est pas connue avec précision). Cependant, cette valeur est caractéristique du mécanisme de filtration pour le sol considéré (valeur non indexée à une profondeur de nappe), placé sous une lame d'eau de 8 cm. On note un « effet profondeur de la nappe » beaucoup moins marqué pour l'unité II. Ceci peut s'expliquer par des phénomènes de déstructuration de l'horizon de surface au moment de la préparation du sol : on observe alors une organisation superficielle de type bi-couche (voir photo 2 page suivante) et la couche argileuse déposée en surface contrôle en partie le processus d'infiltration, rendant ceux-ci moins sensibles aux mouvements de la nappe.

Une caractérisation *in situ* des sols du périmètre complète la campagne infiltrométrique. Elle permet de confirmer et/ou d'expliquer le comportement de chaque unité :

- l'unité I : c'est celle qui présente le plus grand écart de vitesse d'infiltration en fonction de la position de la nappe. En situation de nappe profonde (profondeur supérieure à 2 m), la perméabilité est élevée pour un sol à texture argileuse. Une importante macroporosité d'origine structurale (fentes de retrait et vides d'entassement entre agrégats, de diamètre supérieur à 5 mm) et biologique (chenaux, galeries, grosses racines) s'observe de façon continue sur tout le profil jusqu'à la cuirasse poreuse (figure 4 page suivante), ce qui explique les vitesses mesurées lors de la campagne infiltrométrique de saison sèche. Cette importante macroporosité continue sur tout le profil, se combine avec l'effet « succion matricielle » pour donner une perméabilité élevée. Lorsque la nappe remonte dans le profil, la macroporosité est fortement réduite par gonflement des argiles et déstructuration du profil qui devient faiblement perméable et l'effet de succion matricielle disparaît.

- l'unité II, à texture de sable argileux (sable # 60 %), est l'unité la moins perméable du périmètre lorsque la nappe est profonde (ceci est confirmé par l'exploitation spécifique de cette unité par les paysans, pour une riziculture de contre-saison).

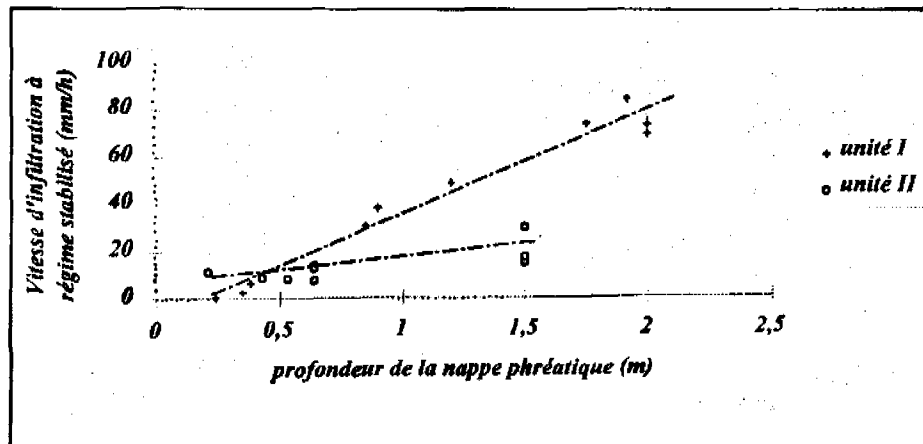


Figure 3 : évolution de la vitesse d'infiltration à régime stabilisé, suivant la profondeur de la nappe : cas des unités I et II.

$K = (Q/S) \times i \times (\mu/\mu_{20})$
 où Q/S est le débit infiltré par unité de surface
 et i (gradient hydraulique) = $h/(h + e)$

avec h : la hauteur de la colonne de sol saturé
 e : épaisseur de la lame d'eau en surface
 μ : la viscosité à une température donnée



Photo 2 : état de surface de l'unité II (texture de sable argileux) en riziculture traditionnelle : la préparation du sol se traduit par la formation en surface d'un micro-horizon argileux (noter les fentes de retrait) qui contrôle en partie l'infiltration de la lame d'eau.
(Photo J. Fournier, déc. 1996).

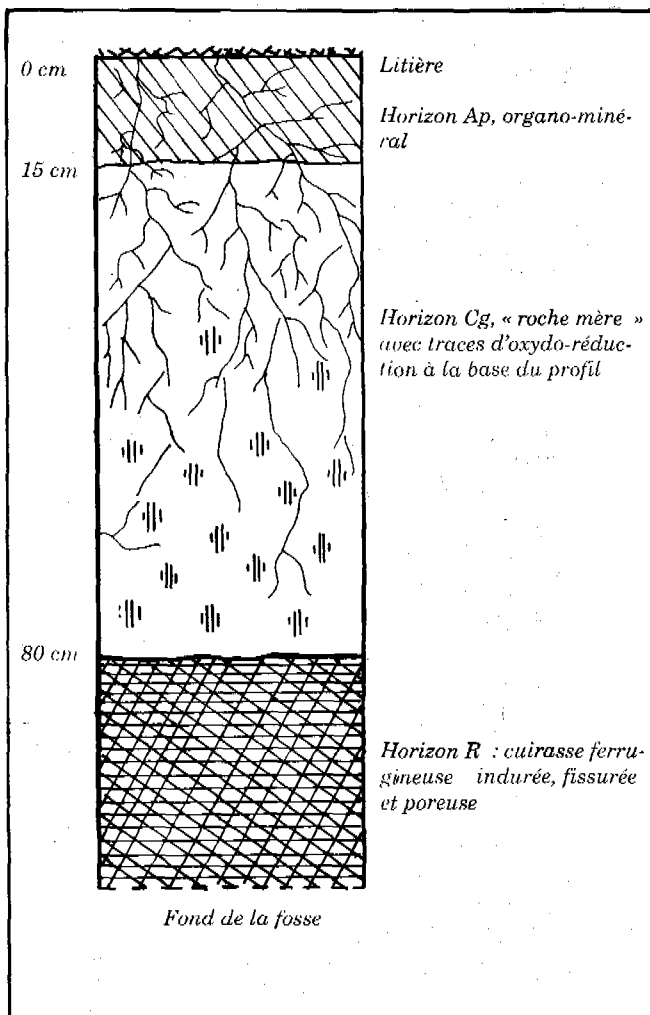


Figure 4 : profil moyen de l'unité I. Profil de type A/C/R (cuirasse), présentant une importante macro-porosité d'origine structurale et biologique. Pas de discontinuité texturale au-dessus de la cuirasse poreuse.

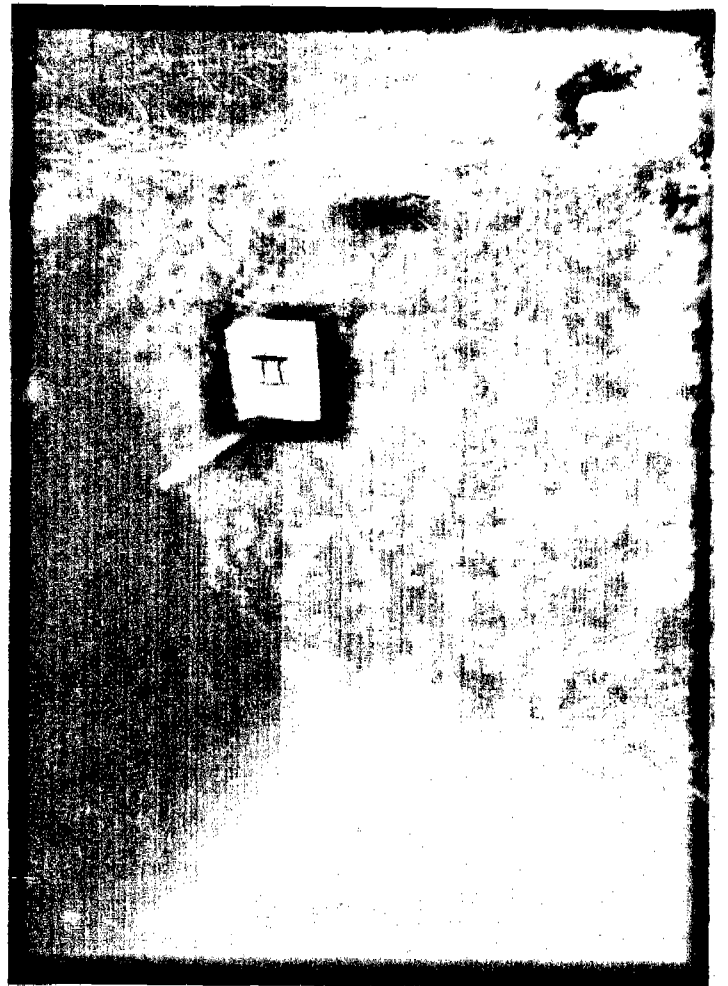


Photo 3 : Profil de sol dans l'unité II. La transition brutale dans le profil A/Cg/R, correspond à une discontinuité texturale (horizon Cg argileux). Noter la présence de la nappe à 40 cm de profondeur, au mois de décembre.
(Photo J. Fournier, déc. 1996).

Trois facteurs concourent à ce comportement particulier :

- la texture discontinue de cette unité favorise la formation d'une couche superficielle millimétrique d'argile au moment du travail du sol (déstructuration de l'horizon de surface ; photo 2). Cette couche argileuse « contrôle » en partie les mécanismes d'infiltration. Ce phénomène est décrit par TOUMA (1988), dans le cas de sols bi-couche argile/sable, lorsque la couche argileuse se trouve au-dessus de la couche sableuse.

- le profil présente une discontinuité texturale nette (horizon C argileux) ; (photo 3). Cette discontinuité tend à limiter la vitesse d'infiltration et à bloquer la nappe.

- la position topographique de cette unité, dans des dépressions, se traduit par un battement limité de la nappe phréatique (1,5 m de profondeur à l'étiage), ce qui réduit l'effet de « succion matricielle » des couches sous-jacentes.

- les unités III et IV ont des comportements « conformes » à leurs caractéristiques physiques et à leur situation dans la toposéquence :

- l'unité III graveleuse reste très perméable, même en période de hautes eaux (période durant

laquelle la nappe reste la plus profonde dans cette unité).

- l'unité IV présente un profil homogène jusqu'à la cuirasse.

Sa structure est modérément développée et peu stable : structure polyédrique sub-anguleuse fine à très fine en profondeur. Cette structure ainsi qu'une activité biologique importante confèrent à cette unité une perméabilité élevée à modérée, en fonction de la position de la nappe.

Conclusions et recommandations

Le diagnostic infiltrométrique tel qu'il a été conduit ici semble indiquer qu'au-delà des caractéristiques physiques de chaque unité de sol, c'est la dynamique de la nappe phréatique qui est le principal facteur explicatif du comportement à l'infiltration des sols du périmètre.

Les cours d'eau permanents (Méryndia et Bou) constituent à l'étiage des axes de drainage qui rabattent la nappe phréatique de façon excessive. Ceci se manifeste plus particulièrement dans les parties du périmètre où ces cours d'eau sont encaissés (marnage de l'ordre de 3 m). Le rabattement excessif de la nappe phréatique induit des

vitesse d'infiltration à régime stabilisé très élevées. Dans ces conditions, seules les zones basses du périmètre et les sols localisés dans les dépressions topographiques sont aptes à la riziculture par submersion. Les autres unités devront être réservées à l'irrigation gravitaire ou à l'aspersion (tableau 5 ci-dessous).

Le « fonctionnement » du périmètre de Bou Sirasso apparaît aux vues de ce diagnostic comme très différent de celui des périmètres irrigués « classiques » aménagés sur des sols peu filtrants ($K_{sat} \leq 4 \text{ mm.j}^{-1}$). Ceci nous a conduit à proposer un classement de ces sols à partir de normes d'interprétation spécifiques à ces conditions particulières, très proches de celles des bas-fonds à lit majeur filtrant, aménagés par contrôle du drainage de la nappe (C.F.P.I., 1997).

La réhabilitation du périmètre passe donc par un aménagement des cours d'eau permettant le contrôle du drainage de la nappe phréatique. Elle pourrait alors être maintenue à faible profondeur dans la plaine alluviale, même à l'étiage : dans ces conditions, les vitesses d'infiltration à régime stabilisé tendent vers une vitesse minimale (régime permanent saturé, sous une lame d'eau de 8 cm) sur une grande partie du périmètre. Les

Tableau 5 : aptitude à l'irrigation des sols du périmètre de Bou Sirasso. D'après normes d'interprétation SYS, 1985, modifiées C.F.P.I. 1997.

Unité de sol	Profondeur de la nappe	Vitesse d'infiltration à régime stabilisé	Classe de perméabilité	Aptitude à l'irrigation / type d'irrigation
Unité I	peu profonde	4 à 7 mm.h ⁻¹ (à 1 mm.h ⁻¹)	faible classe VII	marginale pour l'irrigation gravitaire ; optimale pour la submersion du riz si la nappe participe à l'alimentation
Unité I	profonde	67 à 80 mm.h ⁻¹	élevée classe III	moyennement apte à l'irrigation gravitaire, submersion exclue
Unité II	peu profonde	8 à 11 mm.h ⁻¹	modérée classe VI	apte à l'irrigation gravitaire et à l'aspersion ; submersion du riz possible si la nappe participe à l'alimentation
Unité II	profonde	16 à 29 mm.h ⁻¹	modérée classe V	optimale pour l'irrigation gravitaire, submersion du riz exclue, et pour l'aspersion
Unité III	peu profonde	43 à 59 mm.h ⁻¹	modérée classe IV	optimale pour l'irrigation gravitaire, submersion exclue, et pour l'aspersion
Unité III	profonde	91 à 100 mm.h ⁻¹	élevée classe III	moyennement apte à l'irrigation gravitaire, submersion exclue
Unité IV	peu profonde	11 à 18 mm.h ⁻¹	modérée classe V	optimale pour l'irrigation gravitaire, submersion exclue, et pour l'aspersion
Unité IV	profonde	39 à 43 mm.h ⁻¹	modérée classe IV	optimale pour l'irrigation gravitaire, submersion exclue, et pour l'aspersion

mesures infiltrométriques effectuées pendant la période de hautes eaux ou dans les zones basses du périmètre permettent de simuler une situation avec contrôle du drainage : environ 50 % de la surface aménagée seraient aptes à la riziculture par submersion plusieurs mois après la fin de la saison des pluies, contre 15 à 20 % actuellement. Les unités III et IV resteraient exploitables par irrigation gravitaire, dans des conditions optimales (tableau 5). Il s'agit d'une projection visant à illustrer les effets d'une réhabilitation du périmètre par contrôle du drainage de la nappe. Ces estimations doivent nécessairement être précisées, après définition du niveau optimal de la nappe phréatique sur le site. D'autre part, ces perspectives de mise en valeur sont étroitement liées au fonctionnement du système d'amenée d'eau jusqu'à la parcelle.

Tout contrôle du drainage de la plaine alluviale par implantation de seuils dans le lit des cours d'eau permanents pose le problème de la submersion d'une grande partie du périmètre en période de crue. Il faudra mettre en place un système modulable (du type seuil basculant ou vanne) permettant alternativement de réduire le drainage par les cours d'eau ou d'évacuer les excès d'eau. Il est impératif dans cette optique d'aménagement, de prévoir l'endiguement et le drainage des parties basses de la plaine si l'on veut continuer à les mettre en valeur.

Bien sûr le seul volet « comportement des sols à l'infiltration » n'est pas suffisant pour orienter une éventuelle réhabilitation du périmètre, même si cet aspect semble

fondamental ici. Les autres volets de l'étude font apparaître des possibilités d'amélioration du système de distribution de l'eau (reprofilage et étanchéification des canaux) et des systèmes de culture (travail du sol en particulier), ainsi que des possibilités de diversification de la production devant permettre une meilleure valorisation de la ressource en eau (C.F.P.I., 1997). Toutefois, il ne s'agit là que d'une approche technique du fonctionnement du périmètre et les blocages d'ordre socio-économique restent à aborder : organisation et gestion de l'aménagement ; concurrence avec les activités de versant en saison des pluies et disponibilité de la main d'œuvre ; organisation des filières de production...

Enfin, cette étude a été l'occasion de mettre au point une méthode infiltrométrique de terrain donnant des mesures plus fiables et plus représentatives des conditions d'in-

filtration à l'échelle du casier rizicole (infiltration verticale).

En ce qui concerne la mise en œuvre de cette méthode, ceci se traduit par une réduction notable du nombre de mesures, en regard des campagnes infiltrométriques conduites au double anneau standard (Audry -1973- préconise 10 répétitions pour un même site de mesures). Dans l'étude conduite ici, la réduction du nombre de mesure compense largement la lourdeur de la méthode (consommation en eau, mise en place) et l'opération est également bénéficiaire du point de vue économique (gain de temps, faible coût de la main d'œuvre supplémentaire).

Cette nouvelle méthode validée sur une gamme de sols assez large et en conditions réelles d'étude, devra être testée plus largement avant de faire l'objet d'une diffusion auprès des professionnels. □

L'opération n°95.12.10 D.C.G.Tx. / C.F.P.I. conduite par la C.F.P.I. sur le périmètre de Bou Sirasso, à la demande de la D.C.G.Tx., puis du B.N.E.T.D., s'est déroulée de décembre 1995 à juin 1997, sous la responsabilité technique de M. T. M. DUC (directeur de la recherche et de l'ingénierie à l'EIER) et de M. J.C. DEMOULIN (directeur de la C.F.P.I. à l'EIER et à l'ETSHER), pour la coordination du projet.

Ce projet d'étude comportait trois volets complémentaires :

- le volet ressources en eau, conduit par M. Lamine MAR (EIER) ;*
- le volet agronomie, conduit par M. Tran Minh DUC (EIER) ;*
- le volet sols et perméabilité, conduit par M. Jacques FOURNIER (ETSHER).*

L'article proposé ici fait principalement référence aux résultats du troisième volet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUDRY P., COMBEAU A., HUMBEL F. X., ROOSE E., VIZIER J.F.** ; 1973 : Comité technique de pédologie ; bulletin du groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols. N°2, juillet 1973. ORSTOM, Paris. pp. 48-58.
- BOIVIN P., TOUMA J., ZANTE P.** ; 1988 : Mesure de l'infiltrabilité du sol par la méthode du double anneau. 1. Résultats expérimentaux. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIV, n°1. pp. 17-25.
- BRUCKLER L., BERTUZZI P., GAUDU J.C.** ; 1988 : Transferts de masse et de chaleur entre le sol et l'atmosphère : comparaison entre modélisation et expérience in situ. Etudes sur les transferts d'eau dans le système sol-plante-atmosphère. INRA, 1988. pp.21-70
- C.F.P.I.**, collectif ; 1997 : Projet d'aménagement hydro-agricole de la plaine de Bou Sirasso - programme d'expérimentation. Rapport final. EIER, ETSHER, Ouagadougou.
- CHAMAYOU H., LEGROS J.P.** ; 1989 : Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. P.U.F. ; Paris. 593p.
- COLOMBANI J., LAMAGAT J.P., THIEBAUX J.** ; 1972 : Mesure de la perméabilité des sols en place : un nouvel appareil pour la méthode MÜNTZ. Une extension de la méthode PORCHET aux sols hétérogènes. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. IX, n°3 ; pp. 15-46.
- D.C.G.Tx.**, collectif ; 1988 : Aménagement hydro-agricole de la plaine de Bou Sirasso. Mémoire technique. Abidjan. 82p.
- D.C.G.Tx.**, collectif ; 1992 : Projet d'aménagement hydro-agricole de la plaine de Bou Sirasso - Consolidation de la première tranche (APS). Mémoire technique. Abidjan. 39p.
- D.C.G.Tx.**, collectif ; 1993 : Projet d'aménagement hydro-agricole de la plaine de Bou Sirasso - Consolidation de la première phase et extension potentielle du périmètre. Etudes complémentaires à la prospection pédologique. Mémoire technique. Abidjan. 13p + annexes.
- GASCUE-ODOUX C., MEROT PH.**, 1988 : Variabilité spatiale du transfert de l'eau : géostatistique, traçage isotopique, relation avec l'organisation des sols. Etudes sur les transferts d'eau dans le système sol-plante-atmosphère. INRA, 1988. pp.133-152.
- GUENNELON R., CALVET R.**, 1988 : Propriétés physiques des sols et transferts (masse et énergie). Etudes sur les transferts d'eau dans le système sol-plante-atmosphère. INRA, 1988. pp.9-20.
- HENIN S** ; 1977 : Cours de physique du sol. Vol. II. ORSTOM, Paris. pp. 59 à 112.
- HILLEL D** ; 1974 : L'eau et le sol. Principes et processus physiques. Vander Ed., Louvain, 1 vol., 288p.
- HUMBEL F. X.** ; 1975 : Etude de la macroporosité des sols par des tests de perméabilité : application d'un modèle de filtration aux sols ferrallitiques du Cameroun. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XIII, n°2. pp. 93-117.
- GRET, FAMV**, collectif ; 1990 : Manuel d'agronomie tropicale appliquée à l'agriculture haïtienne. Paris. pp. 41-90.
- PHILIPP J.R.** ; 1957 : The theory of infiltration. 1. The infiltration equations and its solution. Soil Sci., 83, p. 345-357. 6. Effect of water depth over soil. Soil Sci., 85, p. 278-286.
- SOLTNER D.** ; 1989 : " Les bases de la production végétale - Tome 1 : le sol, 17^{ième} édition ". Angers, collection Sciences et Techniques agricoles.
- SYS**, collectif ; 1985 : Land evaluation, general administration for development cooperation. Brussels. 352p.
- TOUMA J., BOIVIN P.**, 1988 : Mesure de l'infiltrabilité du sol par la méthode du double anneau. 2. Résultats numériques. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIV, n°1. pp.27-37.
- VOLTZ M., BORNAND M.**, 1988 : Analyse de la variabilité spatiale des propriétés physiques du sol. Contribution à la recherche de méthodes quantitatives simples de cartographie des paramètres hydrodynamiques. Etudes sur les transferts d'eau dans le système sol-plante-atmosphère. INRA, 1988. pp.101-132.

LE PARC NATIONAL DU DIAWLING (MAURITANIE) : INFRASTRUCTURES HYDRAULIQUES POUR LA RESTAURATION D'UNE PLAINE D'INONDATION ET LA CRÉATION D'UN ESTUAIRE ARTIFICIEL

Résumé :

L'hydrologie du bas-delta du fleuve Sénégal a été totalement modifiée par la mise en service du barrage de Diama et de ses digues annexes. Ceci a eu des impacts écologiques et sociaux considérables. L'article décrit les infrastructures hydrauliques construites et leur mode d'opération dans le cadre de la mise en œuvre du plan directeur d'aménagement d'une aire protégée dans le bas-delta mauritanien. Les résultats préliminaires de cet essai de restauration d'un écosystème sont présentés.

Abstract :

The hydrology of the lower delta of the Senegal river was totally modified by the building of the Diama dam and its associated embankments, this had important ecological and social consequences. The paper describes the hydraulic infrastructure built and the operations implemented within the framework of the management plan of a protected area in the mauritanian part of the delta and presents some of the preliminary results of the restoration effort.

INTRODUCTION

La zone d'intervention se situe dans le bas-delta du fleuve Sénégal en rive droite (Fig. 1). Jusqu'au début des années soixante le bas-delta était une zone d'une extraordinaire richesse biologique tant pour la végétation (Diawara 1997), les poissons (Diagana 1997), que pour les oiseaux (Hamerlynck et al. 1997). Des systèmes traditionnels d'exploitation permettaient à au moins dix mille personnes d'y vivre.

Olivier HAMERLYNCK *

Conseiller Technique UICN ;
Parc National du Diawling, BP 3935, Nouakchott,
République Islamique de Mauritanie ; Tél./ Fax :
(222) 2 51276 ; e-mail : roma@pactec.org

François CAZOTTES

Conseiller Technique du Directeur de l'Environnement et de l'Aménagement Rural, Mission Française de Coopération et d'Action Culturelle, BP 5231, Nouakchott, République Islamique de Mauritanie ;
Tel. (222) 259183, Fax (222) 29376.

Les résidents permanents sur la dune côtière étaient essentiellement des Wolofs qui pratiquaient la pêche et un peu d'agriculture dans les années de bonne crue.

Dans le reste de la zone, différentes tribus et fractions maures se répartissaient sur l'année selon le calendrier écologique dominé par les inondations : élevage transhumant avec la migration du bétail vers le nord pendant la saison des pluies, pêche et collecte de graines de nénuphar à la décrue, collecte de *Sporobolus robustus* pour la sparterie en début de saison sèche, retour

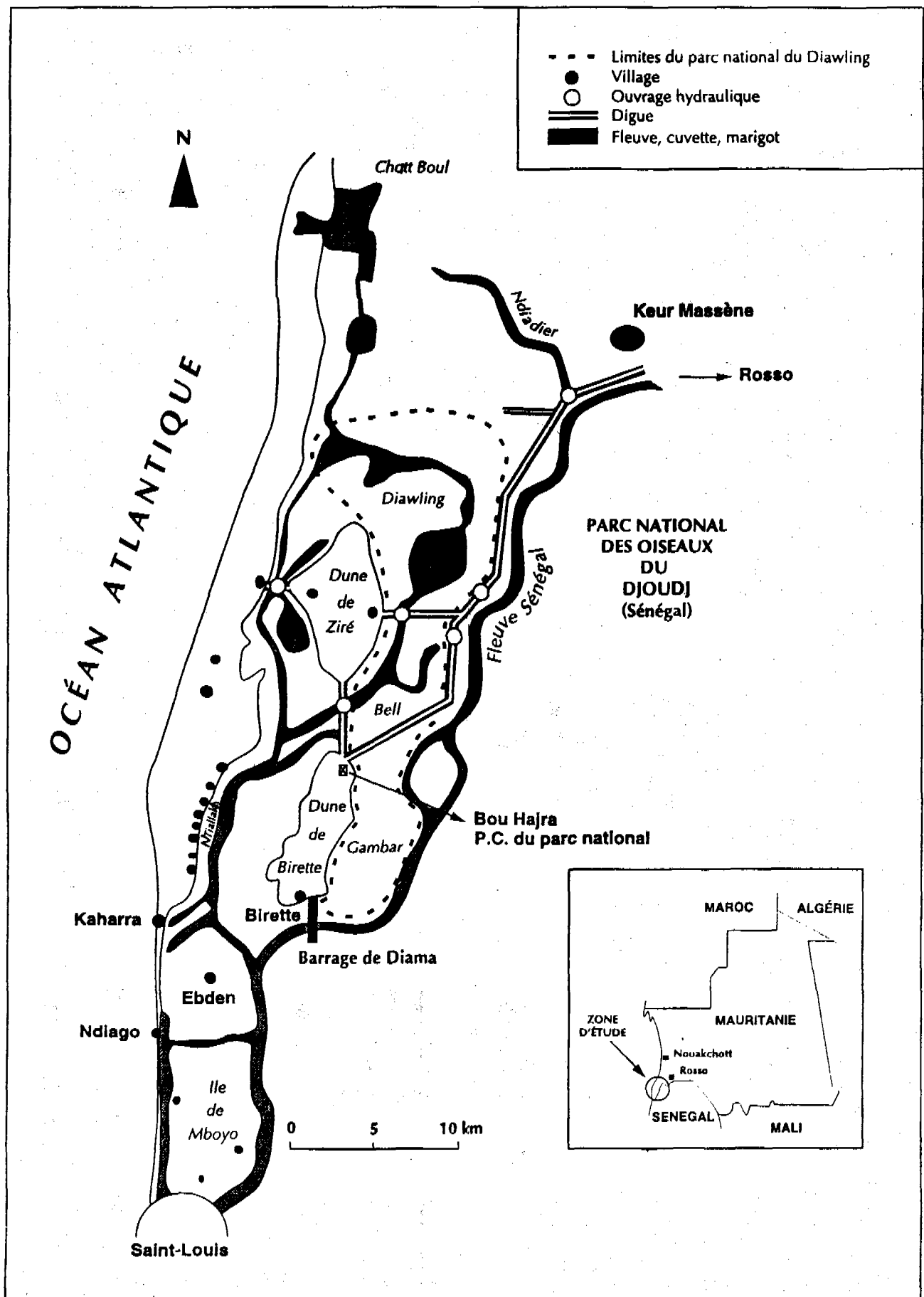


Figure n° 1 : Situation du Parc National du Diawling.

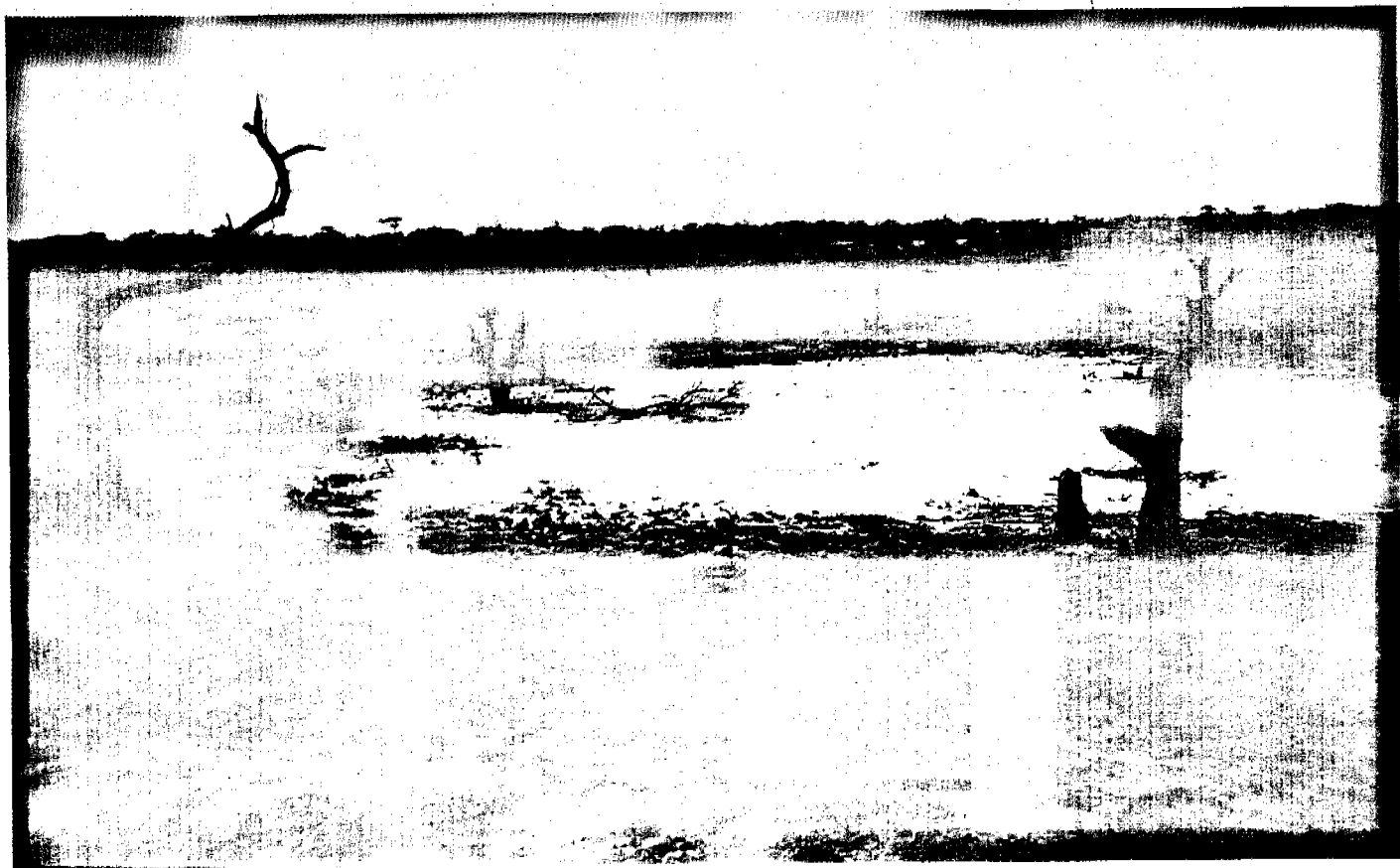


Photo n°1 : Cuvette de la dune de Birette à proximité de la retenue de Diama. En 1993, il y avait encore une forêt productive de govakiés (acacia nilotica), actuellement, on y récolte le sel.

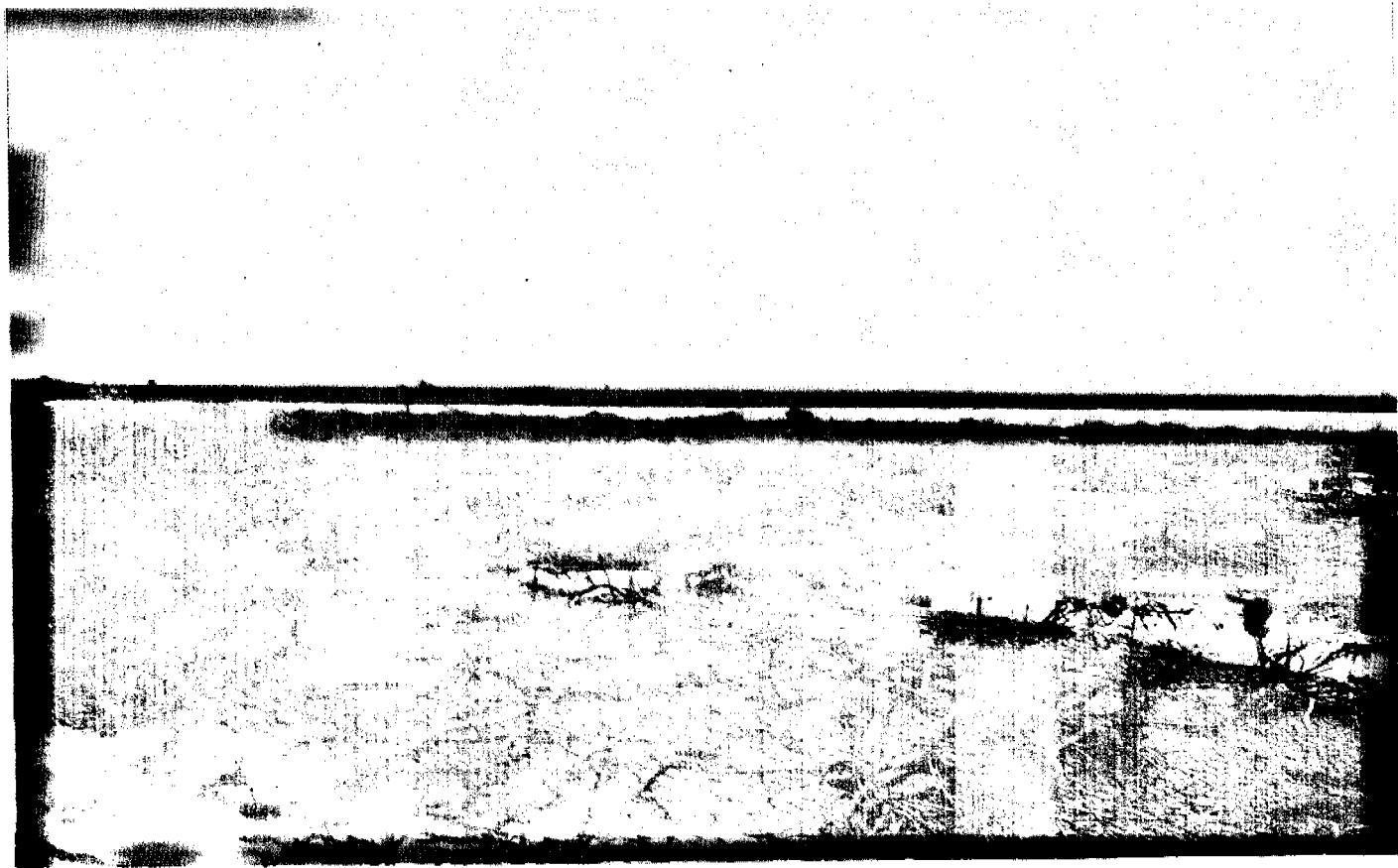


Photo n°2 : Ancienne mangrove du confluent Бел-Итхаларк тухе пар ics eaux hyper-salines à l'aval de Diama (teneur supérieure à 80 g/l) - 1994.

au pâturage de soudure des plaines inondables en fin de saison sèche. A partir des années soixante ces collectivités se sont progressivement sédentarisées. La zone a été touchée par une grave crise écologique depuis la diminution des crues dans les années soixante et les grandes sécheresses des années soixante-dix et quatre-vingt.

Pour contrer cette péjoration climatique les pays de l'O.M.V.S., Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal regroupant le Mali, le Sénégal et la Mauritanie, et soutenus par les bailleurs de fonds, ont mis en place un programme ambitieux de contrôle des eaux du fleuve. Des aménagements hydrauliques réalisés dans le cadre du programme de l'O.M.V.S. ont fondamentalement modifié le caractère du fleuve Sénégal et du bas-delta.

La construction du barrage anti-sel de Diama, situé à 27 Km en amont de St. Louis (Sénégal) et achevé fin 1985, a réduit de façon considérable la zone estuarienne. Les endiguements en rive droite (terminés en 1991), nécessaires pour la création de la retenue de Diama, ont effectivement partagé l'ancienne plaine d'inondation en une zone qui est sous l'eau en permanence (une cote minimum de 1.75 m IGN est garantie par l'O.M.V.S.) et une zone qui ne peut être alimentée en eau qu'à travers des ouvrages hydrauliques. Le réservoir de Manantali (11 milliards de m³, achevé en 1990) au Mali permet de stocker l'eau des pluies saisonnières et de la rendre disponible sur une plus longue période que celle de la crue naturelle. En théorie les réservoirs de Manantali et de Diama permettent l'accès continu à l'eau douce pour l'irrigation sur

plusieurs dizaines milliers d'hectares de la vallée alluviale. Néanmoins les réalisations sont encore de loin au-dessous des prévisions peut-être trop optimistes (Crousse et al. 1991). Les autres objectifs et aménagements : la production d'hydro-électricité et la navigation sur le fleuve, sont encore en phase initiale ou au stade de conception.

En plus, le mode de gestion des deux barrages pratiqué par l'O.M.V.S. entraîne de nombreux impacts environnementaux et sociaux et reste controversé (Acreman & Hollis 1996 ; Ould Baba & Hamerlynck 1997).

AMENAGEMENTS PREVUS POUR LE BAS-DELTA :

Les sols acides et très salés du bas-delta mauritanien en font une zone inapte au développement de l'agriculture irriguée et, dès les premières études (FAO 1977), la création d'une aire protégée était proposée comme la meilleure façon de rentabiliser la zone (Gannett Fleming 1986).

Cette étude préconisait non seulement de rétablir les inondations des plaines, mais aussi de créer un estuaire artificiel par l'évacuation des eaux vers le bassin du Ntiallakh à l'aval du futur Parc National. Pour repousser les eaux salées jusqu'à l'embouchure du Ntiallakh un débit minimal de 18 m³.s⁻¹ était nécessaire.

Ces aménagements étaient considérés comme étant une compensation des impacts environnementaux négatifs du barrage de Diama et devaient être mis en oeuvre avant la mise en place du barrage (réalisé en 1986) et de la digue rive droite (réalisée en 1991). Malheureusement, les priorités des bailleurs étaient

ailleurs et les infrastructures nécessaires au fonctionnement du Parc n'ont pu être réalisés à temps. Les plaines inondables se sont rapidement désertifiées, la pêche s'est effondrée et l'eau des puits devenait salée. Un exode rural massif s'en est suivi. Les aménagements, en dehors de la digue rive droite devaient comprendre (Fig. 2) :

1. un ouvrage de prise d'eau sur le fleuve de 20 m³.s⁻¹ à Cheyal pour l'alimentation du bassin de Diawling-Tichilitt.

2. un ouvrage de prise d'eau sur le fleuve de 25 m³.s⁻¹ à Lemer pour l'alimentation du bassin de Bell et du bassin de Ntiallakh.

3. un ouvrage d'évacuation des eaux du bassin de Bell de 15 m³.s⁻¹ pour l'alimentation du Ntiallakh.

4. des digues de contrôle :

a) la digue nord (15 km) délimitant le bassin du Diawling-Tichilitt du bassin de Ndiader (avec un ouvrage de 3 m³.s⁻¹ sur le marigot de Hassi Baba, permettant d'alimenter la lagune du Chatt Boul)

b) la digue de Lekser (2 km) qui sépare le bassin du Diawling-Tichilitt du bassin de Ntiallakh.

c) la digue de Ziré (5 km) qui sépare le bassin du Diawling-Tichilitt du bassin de Bell.

d) la digue de Bell (5 km) qui sépare le bassin de Bell du bassin de Ntiallakh.

Le mode de gestion préconisé était de simuler la crue naturelle dans les bassins de Diawling-Tichilitt (11000 ha, dont 7900 ha dans le Parc) et Bell (4800 ha) pendant la saison des pluies (juillet à fin octobre) avec l'envoi maximal d'eau douce dans le Ntiallakh par l'ouvrage de Bell (Tableau 1).

vers le Chatt Boul

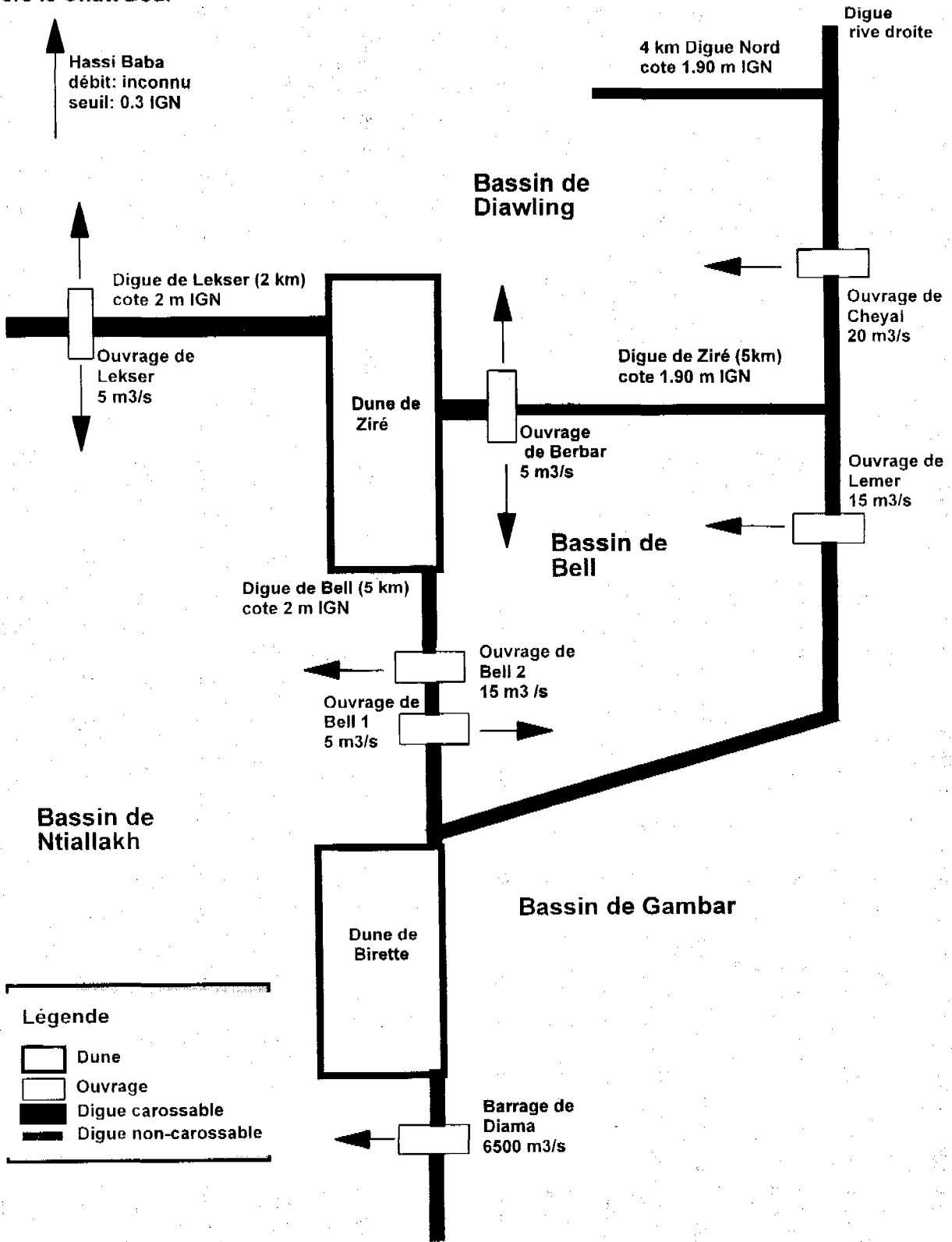


Figure 2 : Principe de fonctionnement hydraulique du Parc National du Diawling (juin 1997).

Tableau 1. Mode de gestion du bassin de Diawling au cours de l'année (Ih: mode inondation d'hivernage ; Ee: mode exondation par évaporation) avec cotes théoriques (en m IGN).

Bassin du Diawling												
Mois	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
Mode	Ee	Ih	Ih	Ih	Ih	Ee	Ee	Ec	Ec	Ec	Ee	Ee
Cote	0	1	1,2	1,3	1,3	1,1	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1	0

Le bassin de Bell (Tableau 2) a cette particularité de connaître une deuxième inondation, dite de contre-saison. Les eaux dans le Ntiallakh sont hypersalées en cette période de forte évaporation et représentent un danger pour les mangroves et les pâturages lors des vives eaux de mai à juillet.

C'est ainsi qu'au mois d'avril on fait transiter de l'eau douce par le bassin de Bell pour diluer les eaux du Ntiallakh. Cette inondation se fait à une cote inférieure à 1m IGN dans ce bassin pour éviter d'inonder les plaines.

Cette précaution est nécessaire afin de ne pas perturber le cycle naturel des graminées qui risqueraient d'entamer leur cycle végétatif mais sans arriver à la floraison ou à la production de graines, entraînant ainsi une perte de la banque de semences dans les sols et une baisse du potentiel pastoral.

Tableau 2. Mode de gestion du bassin de Bell au cours de l'année (Ih: mode inondation d'hivernage; Ee: mode exondation par évaporation; Is: mode inondation en saison sèche) avec cotes théoriques (en m IGN).

Bassin de Bell												
Mois	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
Mode	Ee	Ih	Ih	Ih	Ih	Ee	Ee	Ec	Ee	Ee	Is	Ee
Cote	0,6	1,05	1,3	1,2	1,2	1	0,8	0,6	0,4	0,2	1	0,8

Le troisième bassin est celui du Gambar (3500 ha dans le Parc) et fait partie de la retenue du barrage de Diama. Son mode de gestion est une cote stable, actuellement de 1.75 m IGN. Il est prévu de rehausser jusqu'à 2.20 m IGN.

A l'approche de la crue le plan d'eau est légèrement baissé (1.50 à 1.60 m IGN) pendant quelques semaines.

ELABORATION DU PLAN DIRECTEUR D'AMENAGEMENT

Pour contrer la perte de la productivité des écosystèmes naturels du bas-delta le Gouvernement Mauritanien a créé en 1991 le Parc National du Diawling (P.N.D.) sur 16000 ha de plaines inondables (Fig. 1). Il n'est séparé du Parc National des Oiseaux du Djoudj au Sénégal, de taille semblable, que par le fleuve. Les objectifs du P.N.D. sont :

- la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles d'un échantillon de l'écosystème du bas-delta ;
- le développement harmonieux et permanent des diverses activités des populations locales ;
- la coordination des activités pastorales et piscicoles menées sur son territoire.

Il s'agit donc d'une aire de conservation "moderne" où les collectivités

locales ne sont pas considérées comme des entraves à la conservation mais comme des partenaires avec une bonne maîtrise de gestion de l'écosystème. Les modes ancestraux d'exploitation des ressources garantissent la durabilité de cette gestion.

Le projet "établissement du Parc National du Diawling et élaboration

de son plan de gestion", financé par les Pays-Bas (D.G.I.S.) à travers le Programme Régional Zones Humides de

l'U.I.C.N., a commencé fin 1993 pour élaborer le plan directeur d'aménagement du Parc National du Diawling et de sa zone périphérique (Hamerlynck 1996). Pour l'utilisation durable des ressources il est nécessaire de parvenir à un accord général entre les différents propriétaires, occupants et autres parties intéressées par une zone particulière. L'élaboration d'un plan de gestion est un processus dynamique qui doit faire l'objet d'examen et d'évaluations constantes. La base de la démarche a été une mission pluridisciplinaire d'experts mauritaniens et étrangers qui ont fait un exercice de recherche participative avec les collectivités du bas-delta. Cet exercice a soulevé des questions auxquelles des études complémentaires sectorielles et des interviews approfondies avec les utilisateurs des ressources ont apporté des réponses. La restauration, dans la mesure du possible, des conditions écologiques

qui existaient au bas-delta avant 1970, est apparue comme la première nécessité. Sur la base du retour de la productivité naturelle, les activités

économiques traditionnelles et nouvelles (notamment l'écotourisme) pourront se développer. Ce processus devra être accompagné de solutions au manque d'eau potable et au problème de l'enclavement.

Le document de base (Hamerlynck 1996) a fait l'objet de discussions internes au Parc et avec ses partenaires directs (Faculté de Sciences, Parc National du Banc d'Arguin,

Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Rural). Il a ensuite été discuté avec un éventail de partenaires plus large (élus locaux, administrations diverses, services techniques, partenaires, représentants de la société civile) lors d'une réunion de travail le 11 décembre 1996 et approuvé. Il a par la suite été approuvé par le conseil d'administration du Parc dans sa session extraordinaire du 23 décembre 1996 et par le Ministère du Développement Rural et de l'Environnement en début 1997.

La mise en oeuvre (1997-2000) sera financée par la Caisse Française de Développement pour les actions de développement intégré (adduction d'eau, désenclavement, maraîchage, pêche, tourisme), le Fonds Français pour l'Environnement Mondial pour les études scientifiques et les actions de maintien de la biodiversité. L'U.I.C.N.-D.G.I.S. continuera son appui en assistance technique et de support aux autres activités (chantier de construction de pirogues).

AMENAGEMENTS REALISES

Les infrastructures hydrauliques peuvent être séparées en celles à la charge de l'O.M.V.S. et celles qui devaient être réalisées par U.I.C.N.-D.G.I.S.

INFRASTRUCTURES O.M.V.S.

Pour les infrastructures O.M.V.S. les réalisations ont été :

1. l'ouvrage de prise d'eau sur le fleuve de $20 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à Cheyal, réalisé en 1996 sur financement de la Banque Africaine de Développement. Néanmoins, cet ouvrage n'a pas pu être utilisé au début parce qu'un financement complémentaire était nécessaire à la réalisation de son bassin de dissipation.

La réception définitive de l'ouvrage est prévue pour décembre 1997, mais il a pu être utilisé partiellement en 1997. Malheureusement le chenal entre le fleuve et l'ouvrage est comblé progressivement par des dépôts éoliens depuis 1990 et a été envahi par le roseau-massue (*Typha domingensis*). Ainsi les débits pour l'alimentation du bassin de Diawling-Tichilitt ont été très faibles (moins de $5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ en moyenne). En plus, le batardeau amont n'avait été enlevé qu'à la cote de 1.65 m IGN et donc à la baisse de la cote du fleuve pratiquée avant l'arrivée de la crue ce seuil bloquait les écoulements. Ainsi la cote dans le bassin de Diawling-Tichilitt n'a pas dépassé 1 m IGN en 1997.

2. un ouvrage de prise d'eau sur le fleuve de $25 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ à Lemer pour l'alimentation du bassin de Bell et du bassin de Ntiallakh. Cet ouvrage, redimensionné à $15 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ a été réalisé en 1991 sur financement de la Caisse Française de Développement. Lors de la mise en fonction la consigne d'une ouverture progressive, permettant l'équilibrage des cotes amont-aval, n'a pas été respectée et d'importantes érosions se sont produites à l'aval de l'ouvrage. Un bassin de dissipation a été ajouté à l'ouvrage et l'ouvrage a été remis en fonction en 1994. Bien que le niveau d'eau n'ait pas encore dépassé 1.20 m IGN, des érosions causées par le batillage se sont produites sur le talus ouest de la digue rive droite autour de l'ouvrage. Des enrochements ont été mis en place par l'O.M.V.S. pour réparer cela.

3. un ouvrage d'évacuation des eaux du bassin de Bell de $15 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ pour l'alimentation du Ntiallakh (l'estuaire artificiel). Un premier ouvrage de $5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ y avait été construit en 1991 lors de la mise en place de la première digue de Bell. Cette digue avait été réalisée pour

empêcher la remontée des eaux du Ntiallakh vers le bassin de Bell, eaux qui gênaient les travaux sur la digue rive droite. En 1995 la digue de Bell a été refaite et rehaussée à 2 m IGN et l'ouvrage de $15 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ a été ajouté sur financement de la Banque Africaine de Développement.

Comme pour Cheyal un bassin de dissipation a été ajouté en 1996 et l'ouvrage a pu être testé pour la première fois lors de l'inondation de contre-saison en avril 1997. La réception définitive est prévue pour décembre 1997. Des restes de batardeau forment encore un seuil qui limite les écoulements.

En plus, avec l'assèchement de la plaine inondable et la disparition de la végétation depuis la mise en fonction du barrage de Diama, des dépôts éoliens ont comblé le marigot de Bell à l'ouest de l'ouvrage.

Les débits réalisés sont donc loin en dessous des débits nominatifs. La digue de Bell a en plus été sévèrement abîmée par la circulation de voitures pendant les pluies.

INFRASTRUCTURES U.I.C.N.-D.G.I.S.

Lors des discussions avec les collectivités locales il est vite apparu que deux ouvrages vannés additionnels, un sur la digue de Ziré et un sur la digue de Lekser, seraient nécessaires pour permettre aux poissons et crevettes de migrer vers leurs zones de ponte (Boissezon 1994).

Ces dépenses imprévues ont fait que la digue délimitant le Parc au nord n'a pu être réalisée dans cette phase (4 km en raccordement avec la digue rive droite réalisés sur 15 km programmés). Le terrain naturel étant à 1,10 à 1,25 m IGN sur l'essentiel du trajet, la digue n'est

pas indispensable pour le contrôle des eaux dans les conditions actuelles (cotes réduites). L'ouvrage sur le marigot de Hassi Baba, qui devait se situer dans le prolongement de la digue nord pour assurer la communication avec le Chatt Boul n'a pas de sens tant que la digue nord n'est pas achevée.

La réalisation de ces aménagements (ouvrages hydrauliques et digues) nécessitaient de vaincre plusieurs difficultés :

1. la faible portance des sols a été compensée par des opérations de pré-chargement conduites au moins un an avant la construction des ouvrages pour recevoir leurs fondations ;
2. la salinité impliquait l'utilisation d'un ciment spécial et un enrobage de 5 à 7 cm des armatures ;
3. la dissipation et l'érosion à l'aval des ouvrages n'ont pu être réduites qu'après plusieurs interventions ;
4. les propriétés des matériaux de remblai et l'absence de matériaux adéquats (graves et enrochements) à plus de 200 km à la ronde laissaient présager une usure rapide des talus de digues. Une faible pente et des fossés en pied de digue pour faciliter l'enherbement des talus s'avère être la solution la plus efficace et la moins coûteuse pour neutraliser les effets érosifs.

Sur le plan institutionnel, les opérations ont été conduites de la façon suivante :

- Maîtrise d'ouvrage	: U.I.C.N. - Parc National du Diawling
- Assistance à la maîtrise d'ouvrage	: Direction de l'Environnement et de l'Aménagement Rural
- Maîtrise d'oeuvre	: SERADE (bureau d'étude mauritanien)
- Entreprise	: Razel (entreprise ayant réalisé l'endiguement rive droite, installée à Keur Macène).

Cette opération a pu bénéficier de l'expérience acquise pour les travaux d'endiguement rive droite du fleuve sous maîtrise d'ouvrage O.M.V.S., réalisés par Razel et dont la maîtrise d'oeuvre avait été alors assurée par le bureau d'études Coyne et Bellicr. C'est ainsi que la technologie de construction des ouvrages (du préchargement à la vanne à crémaillère) a été intégralement reconduite. Ceci en facilitera certainement la gestion. Le montant global des travaux s'est élevé à 4 800 000 FF (y inclus les études d'avant-projet sommaire et détaillé et le suivi et contrôle) pour 9 km de digue non-carrossable et 2 km de digue carrossable et deux ouvrages équipés de vannes.

Les ouvrages réalisés sont donc :

1. l'ouvrage de Lekser (5 m³.s⁻¹) sur le marigot de Ndernaye près de la limite ouest de la digue de Lekser. Cet ouvrage permet des échanges entre le bassin de Diawling-Tichilitt et le Ntiallakh et est surtout important pour les crevettes et les poissons d'eau saumâtre. Suite à la mise en fonction en 1996 des érosions importantes se sont produites côté nord lors de l'arrivée de la crue par le Ntiallakh. Pourtant la charge n'avait pas excédé 0.30 m. Ces érosions ont été réparées par des enrochements qui prolongent le bassin de dissipation. En 1997 ces enrochements ont bien résisté mais des sacs remplis de sable ont dû être rajoutés régulièrement aux abords non-protégés de l'ouvrage en fonction de la cote pour la protection contre le batillage.

2. l'ouvrage de Berbar (5 m³.s⁻¹) sur la digue de Ziré permet les échanges entre les bassins du Diawling et du Bell. Il est surtout important pour la migration des poissons d'eau douce. Comme l'ouvrage de Cheyal n'était pas fonctionnel en 1996, c'était par l'ouvrage de Berbar que le remplissage du bassin du Diawling a dû être fait. L'ouvrage a fonctionné sous d'importantes charges sans problèmes à l'aval (côté nord) du bassin de dissipation. Par contre, des restes d'un ancien ouvrage créaient des remous causant d'importantes érosions sur les talus non-protégés aux abords de l'ouvrage. En 1997 l'ancien ouvrage a été enlevé et, mises à part quelques érosions dues au batillage (et contrôlé par des sacs remplis de sable), l'ouvrage a donné satisfaction.

Pour les digues, l'absence de roches dans le bas-delta pose un grand problème. Les digues sont donc obligatoirement construites en terres compactées. Pour contrer les érosions par batillage le fruit des talus H/V a été fixé à 4,5/1. En plus, il est absolument nécessaire de favoriser le développement de la végétation sur ces talus ou du moins en pied de digue, ce qui n'est pas évident dans une zone où la pluviométrie moyenne est de 200 mm par an en quelques averses. Heureusement, dès qu'on crée un obstacle perpendiculaire à la direction dominante des vents de saison sèche (nord - nord-est) des dépôts éoliens de limons s'installent rapidement. Ces dépôts permettent à la végétation (essentiellement des Tamarix) de germer. Pour favoriser ces dépôts et l'arrosage de la végétation des fossés de 0.40 m ont été creusés en pied de digues et les déblais laissés sur place.

Une gestion prudente dans les premières années avec des cotes réduites dans les bassins, l'ajout de

sacs remplis de sable aux endroits menacés et la plantation active de diverses essences dans les dépôts éoliens semble donner des résultats. L'utilisation de sacs en jute, qui fixent temporairement le sable et qui se dégradent lentement est à préférer. Pour les zones à problème (passages de bétail par exemple) il

est prévu d'ajouter de la terre non compactée sur les talus.

Ont été réalisés de cette façon en 1995-1996 :

1. 4 km de la digue nord (la portion à l'est, en raccordement avec la digue rive droite) à la cote 1.90 m IGN et large de 1m en crête. Cette

portion de digue n'a pas encore été touchée par les inondations, mais les eaux de pluie accumulées dans les fossés de pied de digue ont favorisé la germination de Tamarix dans les dépôts éoliens.

2. la digue de Lekser à la cote de 2m IGN avec revêtement en sol-ciment (2% sur 0.1 m d'épaisseur).

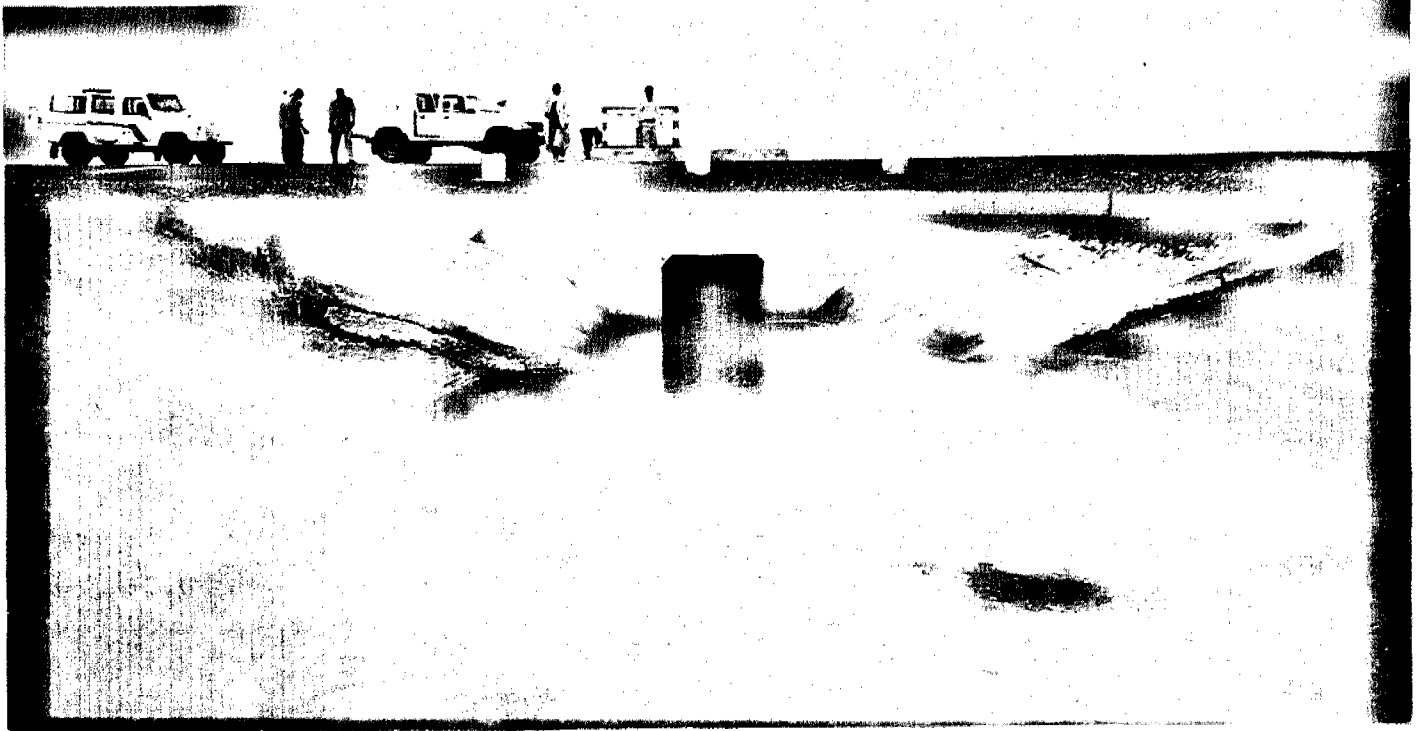


Photo n°3 : Ouvrage de Bell 1 (O.M.V.S.) et érosions en aval.



Photo n° 4 : Réparation d'érosions similaires survenues à l'aval de l'ouvrage de Lekser en 1996. Ces réparations (juin 1997) ont bien résisté aux débits beaucoup plus importants de l'inondation 1997.

Large de 4m en crête cette digue permet le désenclavement des villages de la dune côtière. Cette digue donne satisfaction et la végétation s'installe en pied de digue. Malheureusement la digue a été un peu abîmée par la circulation pendant les pluies.

3. la digue de Ziré à la cote de 1.90 m IGN, large de 1 m en crête. Quelques endroits sont menacés par le battillage quand la cote dans le bassin de Bell avoisine 1.20 m IGN mais ceci a été contrôlé par des sacs remplis de sable. Néanmoins, le prétaissement de l'ouvrage de Berbar n'a apparemment pas été suffisamment large et la digue à l'ouest de l'ouvrage n'est plus à la cote 1.90 m.

En conclusion, si le calendrier d'exécution de l'O.M.V.S. est réalisé le Parc du Diawling pourra finalement lors de l'hivernage 1998, disposer de l'alimentation en eau douce programmée, bien qu'avec un débit de 60 % du débit initialement prévu à Lemer, douze ans après l'installation du barrage de Diama dont il était censé compenser les effets négatifs.

RESULTATS PRELIMINAIRES DE LA RESTAURATION

Progressivement, avec la mise en fonction des différents ouvrages, la restauration écologique a pu être entamée. Les inondations des bassins par les fortes crues du fleuve, en 1994 et 1995, ont eu des résultats spectaculaires avec la reprise de la végétation, notamment des espèces importantes pour l'exploitation par les collectivités locales comme le "teshent" (*Sporobolus*

robustus, utilisé pour la fabrication artisanale des nattes), le "djakar" (graines du nénuphar *Nymphaea lotus*, utilisé comme le couscous), le poisson et les crevettes du fleuve et de l'estuaire, les pâturages de qualité (*Echinochloa*), etc. Des milliers de jeunes palétuviers (*Avicennia germinans*) colonisent les zones basses du bassin de Ntiallah. Le retour tout aussi spectaculaire des oiseaux, qui se trouvent au sommet de la chaîne trophique et sont donc des indicateurs du bon fonctionnement de toutes les mailles de l'écosystème, résume assez bien l'évolution. Depuis la remise en eau le Parc accueille des quantités d'importance internationale de pélicans, de cormorans, de canards paléarctiques (souchets, pilets et sarcelles) et afrotropicaux (dendrocygnes), de cigognes noires et de spatules, plusieurs milliers à des dizaines de milliers de flamants roses et nains, différentes espèces d'aigrettes, de hérons et de limicoles (avocettes, bécasseaux).

On remarque aussi le retour des

Les collectivités locales, initialement hostiles à l'idée d'une aire protégée dans leur zone, commencent à en sentir les effets bénéfiques.

Exception doit être faite pour la zone du Gambar dans la retenue de Diama. A cause du niveau d'eau constant et élevé, cette zone devient une monoculture de *Typha domingensis*, entraînant une perte de la biodiversité. La retenue est aussi un endroit où les vecteurs de maladies hydriques s'épanouissent avec effets néfastes sur la santé humaine et animale.

CONCLUSION

Les gestionnaires du bas-delta, tant de l'O.M.V.S. que du P.N.D. sont encore en mode apprentissage. Les ouvertures des vannes se font encore parfois avec du retard et les conseils des collectivités locales restent nécessaires pour l'optimisation de la gestion. Les cotes atteintes restent au-dessous des



Photo n°5 : Mangrove en régénération (fin juin 1996).

espèces nidificatrices comme l'anhinga d'Afrique, la spatule africaine, plusieurs espèces d'aigrettes et de hérons et au moins une dizaine de couples de grues couronnées. D'un désert salé le bas-delta redevient lentement une zone de vie.

objectifs mais les érosions par le battillage demandent encore de la prudence dans la gestion et des interventions rapides. Pour l'instant c'est le P.N.D. qui s'en charge mais progressivement les collectivités locales devraient être responsa-

bilisées pour la relève. Des travaux supplémentaires de curage de marigots, de renforcement de bassins de dissipation, de protection des infrastructures contre la circulation lors des pluies et contre le batillage sont nécessaires mais les premières expériences démontrent la faisabilité de la restauration des écosystèmes de la plaine inondable et de l'estuaire.

Les débits d'alimentation du Ntiallakh resteront néanmoins faibles à cause du sous-dimensionnement de l'ouvrage de Lemer. Il serait préférable d'ajouter un ouvrage d'alimentation directe du bassin de Ntiallakh à travers la limite nord-est de la dune de Birette. Ainsi la double inondation du bassin de Bell, dont les marigots risquent à terme d'être envahis par les roseaux-massues peut être supprimée ou réduite.

Les débits transités par le parc resteront toujours inférieurs aux débits qui remontent dans le Ntiallakh par l'aval (estimés à quelques centaines de mètres cubes par seconde) pendant les ouvertures du barrage de Diama. Une gestion du barrage garantissant une cote minimum de 1,10 m IGN à l'aval en septembre - octobre contribuerait grandement au fonctionnement de l'estuaire artificiel.

Il restera à surveiller de près l'évolution du niveau piézométrique dans le bas-delta. Effectivement, une remontée de la nappe salée sous l'influence de l'accroissement de la pression hydrostatique causé par les centaines de millions de m³ stockés dans la retenue de Diama peut menacer le Parc et la fertilité des plaines inondables plus en amont. Déjà on constate une importante mortalité des arbres dans les zones basses de la dune de Birette et une stérilisation de la partie sud-ouest du bassin de Bell devenues zones de collecte de sel. Si cette tendance se confirme une

baisse considérable de la cote dans la retenue entre les saisons agricoles pourrait ralentir ce processus. Aussi, une réflexion sur l'installa-

tion d'un système de drainage le long de la digue rive droite s'imposerait. □

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Acreman, M.C. & Hollis, G.E. 1996 (Eds.) : Water management and wetlands in sub-saharian Africa, IUCN, Gland and Cambridge, 249 pp.

Baba, M.L. Ould & Hamerlynck, O. 1997 : Water management in the Senegal river delta. IUCN Wetlands Newsletter 15 : 8-12.

Boissezon, J. de 1994 : Mission d'assistance au Parc National du Diawling UICN 41 pp.

Crousse, B., Mathieu, P. & Seck, S. M. 1991 : La vallée du fleuve du Sénégal: évaluation et perspectives d'une décennie d'aménagements. Karthala 380 pp.

Diagana C. H. 1997 : Premières observations sur l'écologie du peuplement ichtyologique de la zone inondée et de l'estuaire du Parc National du Diawling (Mauritanie). In : Colas, F. (éd. scient.). Environnement et littoral mauritanien. Actes du colloque, 12-13 juin 1995, Nouakchott, Mauritanie. CIRAD, Montpellier : 135- 142.

Diawara, Y. 1997 : Formations morphopédologiques et les unités floristiques du bas-delta mauritanien. In : Colas, F. (éd. scient.). Environnement et littoral mauritanien. Actes du colloque, 12-13 juin 1995, Nouakchott, Mauritanie. CIRAD, Montpellier : 47- 52.

FAO 1977 : Etude hydro-agricole du bassin du fleuve Sénégal. Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal. Rapport de synthèse des études et travaux. PNUD-FAO AF : DP/RAF/65/061. Rapport technique 1. Rome, 303 pp.

Gannet Fleming. 1986 : Etude de factibilité pour la création d'un estuaire artificiel dans le bas-delta mauritanien 66 pp + 165 pp annexes.

Hamerlynck, O. 1996 : Plan de Gestion du Parc National du Diawling et de sa zone périphérique 1996-2001. UICN PND 63 pp.

Hamerlynck, O. & Ould Samba E. 1996 : Le Parc National du Diawling: restauration d'une plaine d'inondation et création d'un estuaire artificiel. Bulletin de liaison et d'information du groupe de travail oiseaux migrateurs du paléarctique occidental 14 : 31-40.

Hamerlynck, O., Samba E. Ould, Messaoud B. Ould & Diagana C.H. 1997 : Valeurs ornithologiques du bas-delta mauritanien. In : Colas, F. (éd. scient.). Environnement et littoral mauritanien. Actes du colloque, 12-13 juin 1995, Nouakchott, Mauritanie. CIRAD, Montpellier : 57- 63.

RESUME

Dans les petits centres urbains (PCU) ou centres secondaires d'Afrique, on a réalisé des systèmes d'approvisionnement en eau potable (AEP) de type urbain, c'est-à-dire des réseaux de conduites de distribution avec la possibilité pour les ménages de se connecter par un branchement privé (BP) alors que le plus souvent leur taille et leurs activités économiques ne justifient pas le niveau de service correspondant. Le prix de l'eau ainsi produite dépasse largement la capacité et la volonté de payer des populations. Ainsi dans les PCU équipés de systèmes d'AEP urbains, environ 1/3 des ménages ont encore recours aux sources d'eau insalubres telles que les puits traditionnels, les rivières et les mares.

Les coûts engagés ne sont pas couverts par la vente de l'eau car les tarifs appliqués restent malgré tout trop bas par rapport au prix de revient et l'eau consommée dans les services publics n'est en général pas payée.

ABSTRACT

In small urban centers (SUC-PCU) or African secondary centers safe water supplying systems (SWS-AEP) of urban type have been established. These are networks of distribution pipes which make it possible for households to have private installations (PI-BP) but most of the time, their size and economic activities don't justify the corresponding service level. Then the cost of water which is produced becomes higher than the population's capacity and willingness to pay. Therefore, in small urban centers where urban SWS systems are installed, about 1/3 of households still get water from dirty sources such as traditional wells, rivers and ponds.

The costs applied are not covered by the water sale because current rates remain much lower than the cost price and water consumed in public services is not generally paid.

EVALUATION MULTICRITERE DES SYSTEMES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU DES PETITS CENTRES URBAINS AFRICAINS

Amadou Hama MAIGA *

Docteur Ingénieur E.P.F.L
Directeur de la Recherche et de l'Ingénierie
EIER 03 BP 7023 Ouagadougou 03

Problématique de l'approvisionnement en eau en milieu semi-urbain et rural en Afrique

La politique africaine de l'approvisionnement en eau

Les réalités socio-économiques de l'Afrique ont conduit à la réalisation de deux systèmes différents d'approvisionnement en eau des populations :

- le système d'AEP de type urbain, c'est-à-dire un système comportant un réseau de conduites de distribution offrant la possibilité aux ménages d'avoir un branchement privé (BP) et (ou) de se ravitailler aux bornes fontaines (BF)

- le système d'AEP de type rural (ou hydraulique villageoise) destiné aux communautés rurales et ne comportant qu'un point d'eau collectif. Il s'agit de puits ou forages équipés ou non de pompes manuelles.

La démarcation entre centre urbain et communauté rurale varie selon les pays et les considérations politiques.

La plupart des pays d'Afrique ont établi à l'occasion de divers ateliers nationaux et internationaux sur le secteur de l'AEP, la liste des localités à équiper en système d'AEP urbain et celles qu'il faut équiper en système d'hydraulique villageoise.

Le contexte

Nous nous intéressons dans notre étude à la situation des petits centres urbains (ou centres secondaires ou encore centres semi-urbains) pour deux raisons principales :

- Des systèmes d'AEP de type urbain sont réalisés dans plusieurs petits centres urbains alors que la population et les structures économiques sont insuffisantes dans ces petits centres urbains pour assurer une économie d'échelle dans les coûts d'investissement et le prix de revient de l'eau distribuée.

Il se pose ainsi des problèmes d'accessibilité des ménages au service de l'eau et de recouvrement des coûts engagés.

C'est ainsi que dans certaines localités, malgré la présence d'un système d'AEP, près d'un tiers des ménages continue d'utiliser des sources traditionnelles (puits non protégés, rivières, mares) pour la totalité de leurs besoins domestiques, pendant qu'environ un autre tiers des ménages utilise aussi bien l'eau du réseau que celle des sources traditionnelles.

La figure 1 illustre cette situation dans trois PCU africains suite à des enquêtes réalisées en 1992.

- Par manque de ressources financières, beaucoup de petits centres

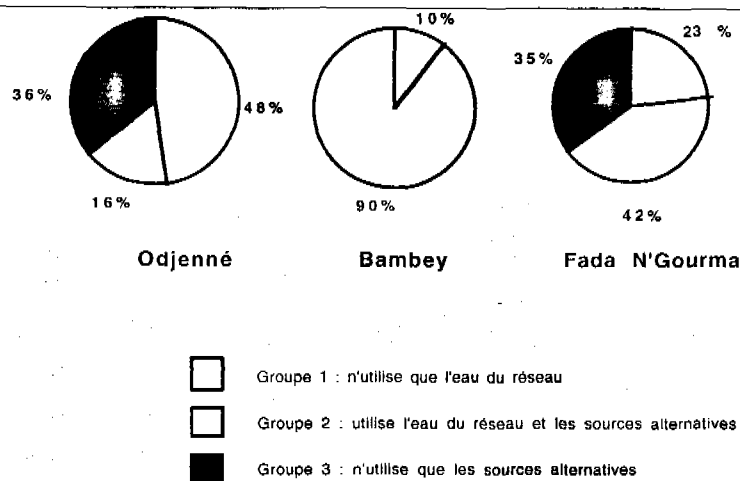


Figure 1 : Sources de ravitaillement en eau des ménages dans 3 petits centres urbains africains : Odjenné (C. Ivoire), Bambey (Sénégal), Fada N'Gourma (B. Faso).

urbains africains restent encore à équiper en système d'AEP.

Nous présentons dans cet article une évaluation des systèmes d'AEP déjà réalisés dans les PCU africains. Nous présenterons dans le prochain n° de Sud Sciences et technologies un article sur une nouvelle technique et une nouvelle approche pour les petits centres urbains africains afin que les systèmes d'AEP soient plus faciles à financer, accessibles à toute la population dans une même localité et viables.

Evaluation multicritère des systèmes d'AEP des petit centres urbains africains

Le cadre de l'étude

Cette étude est fondée sur la monographie du système d'AEP de 10 petits centres urbains (PCU) dans 6 pays d'Afrique de l'ouest francophone : Bénin (Klouekamé), Côte

d'Ivoire (Boundiali, Katiola, Odjenné), Mali (Bougouni), Niger (Dosso, Kollo), Sénégal (Bambey, Fatick, M'Backé).

L'évaluation est fondée sur une analyse technique, socio-économique et d'exploitation-gestion des systèmes d'AEP. L'analyse est faite sur la base des préoccupations supposées de quatre acteurs identifiés comme les principaux décideurs : l'Etat, la population bénéficiaire, la société chargée de l'exploitation-gestion, le bailleur de fonds. Les résultats de l'étude correspondent à la situation qui prévalait entre 1992 et 1994.

Les indicateurs d'analyse

Cinq indicateurs d'analyse ont été retenus :

- le niveau de desserte du périmètre urbain par le réseau de conduites ;
- le rendement technique du réseau ;

- le prix de l'abonnement au réseau ;
- le coût de l'eau ;
- le recouvrement des coûts.

Le niveau de desserte du périmètre urbain Id

Pour l'ensemble des petits centres urbains étudiés, le réseau de conduites ne couvre qu'une partie du périmètre urbain. Ce qui constitue pour les populations des quartiers non couverts un facteur limitant à l'accès au service de l'eau.

Le tableau 2 présente les valeurs approximatives de cet indicateur, pour les 10 PCU de la monographie et trois autres PCU.

Ces valeurs résultent d'une observation d'ensemble de chaque centre.

Par ailleurs, dans beaucoup de cas, la densité d'équipement dans les quartiers couverts par le réseau de conduites est faible.

Tableau 2 : Niveau de desserte du périmètre urbain par le réseau de distribution Id dans les PCU de la monographie et dans trois autres PCU.

Petits centres urbains	Indicateur Id	Petits centres urbains	Indicateur Id
Klouekamé	4/4	Bambey	4/4
Boundiali	3/4	Fatick	3/4
Katiola	3/4	M'Backé	4/4
Odjenné	3/4		
Bougouni	3/4	Banfora (B. Faso)	3/4
Dosso	3/4	Pô (Burkina Faso)	1/2
Kollo	4/4	Koulikoro (Mali)	1/2

Ce qui est également un facteur limitant l'acquisition par les ménages d'un branchement privé car le prix correspondant est proportionnel à la distance par rapport à la conduite de distribution.

Ainsi à cause d'une insuffisance de couverture du périmètre urbain par le réseau de conduites, les ménages d'une même ville n'ont pas la même chance d'accéder au service de l'eau potable dans les petits centres urbains d'Afrique.

Le rendement technique du réseau (taux de pertes T_p)

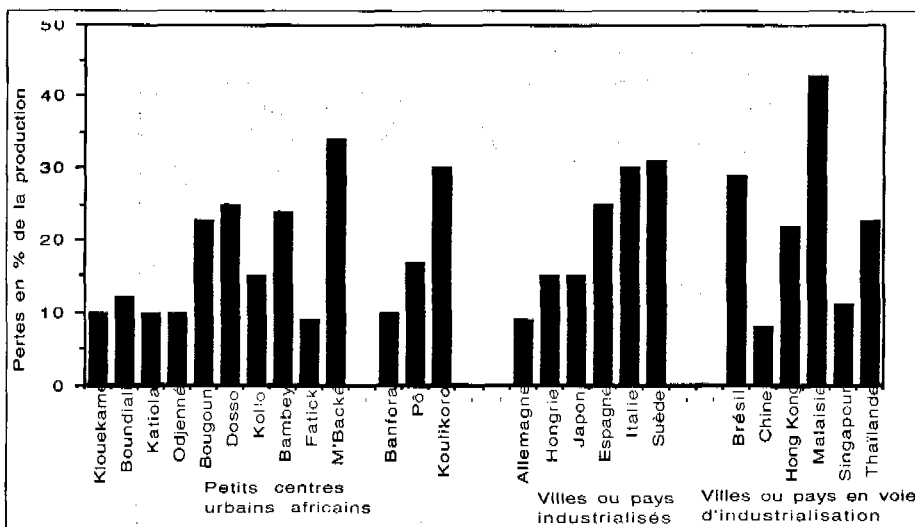


Figure 3 : Comparaison entre pertes d'eau dans les systèmes d'AEP des PCU étudiés et dans d'autres villes et pays du monde.

La maîtrise des pertes d'eau est l'une des préoccupations affichées de la plupart des Sociétés de distribution d'eau d'Afrique :

Elle conduit en effet à deux avantages pour la Société de distribution :

- la réduction des coûts annuels d'exploitation ;
- l'économie résultant du report des investissements et biens d'équipement pour produire et distribuer l'eau en remplacement des pertes d'eau.

Mais le contrôle des pertes d'eau a également des coûts dont la valeur unitaire est d'autant plus élevée que le taux de pertes est faible.

On estime entre 20 et 25 % le taux de pertes d'eau au-delà duquel une recherche et la remédiation systématique au pertes d'eau est économiquement viable.

La figure 3 présente les taux de pertes d'eau (T_p) enregistrées sans aucune action de recherche systématique de fuites dans les réseaux d'AEP enquêtés en comparaison avec des systèmes d'AEP dans des pays plus développés. Il apparaît donc que les niveaux de pertes d'eau ne nécessitent pas d'importants investissements dans la recherche des fuites, à cause peut être de la relative jeunesse de la plupart de ces réseaux.

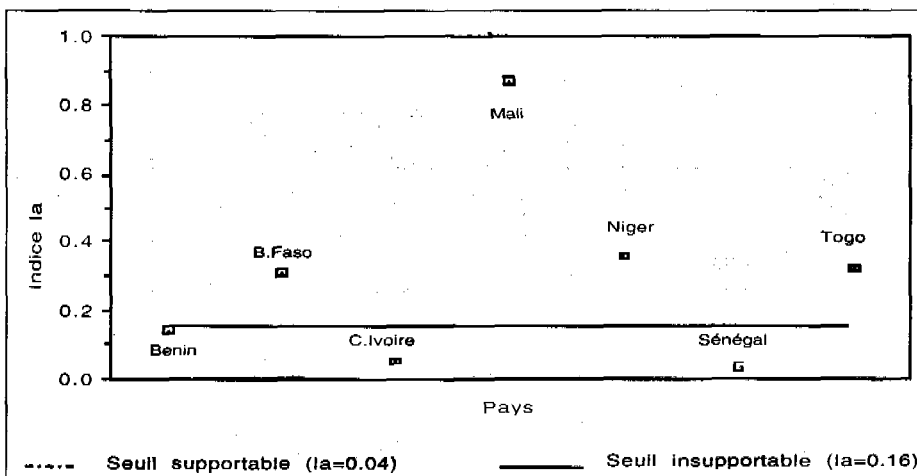


Figure 4 : Prix relatif de l'abonnement I_a dans les six pays enquêtés et au Togo, en comparaison avec les seuils définis.

Le prix relatif de l'abonnement privé au réseau I_a

Le prix à payer pour obtenir un abonnement privé (branchement au réseau de conduites) représente le plus souvent pour les ménages dans les petits centres urbains africains une contrainte majeure à l'accès au service de l'eau, d'autant plus que les frais correspondants sont le plus souvent à payer intégralement et par avance. L'indicateur I_a est le prix minimal relatif de l'abonnement. C'est le rapport entre le prix minimal à payer pour l'abonnement privé en Fcfa et le salaire minimal interprofessionnel garanti annuel (SMIG) retenu comme revenu d'un ménage moyen. Le seuil de 0.04 (4% des revenus annuels du ménage, soit la moitié

du revenu mensuel) est retenu comme supportable pour le ménage. Le seuil de 0.16 (16% des revenus annuels du ménage soit deux mois de revenus) est retenu comme limite insupportable pour le ménage.

La figure 4 montre que le prix de l'abonnement privé est tout juste supportable pour un ménage gagnant le SMIG dans les pays où l'on pratique une politique de branchement social (ou branchement subventionné) comme la Côte d'Ivoire et le Sénégal. Il est à peine supportable au Bénin où malgré la politique de subvention du branchement privé, le prix à payer vaut 2 mois de SMIG.

Quant aux pays qui ne pratiquent pas de politique de branchement

social, le prix à payer pour l'abonnement est totalement inaccessible pour un ménage gagnant le SMIG.

Le prix minimum relatif de l'eau I_e

Le prix de vente de l'eau peut être de nature à défavoriser la consommation d'eau potable. L'indicateur I_e représente le poids financier de l'achat de l'eau potable dans le budget du ménage.

Un seuil de 5 % des revenus mensuels du ménage est retenu comme supportable comme le suggèrent différentes publications de l'OMS. Un seuil de 11% des revenus du ménage est retenu comme étant la limite au-delà de laquelle il n'est pas possible d'aller pour les seuls besoins d'eau de consommation.

Les figures 5 et 6 ci-dessous présentent les résultats de calcul de I_e .

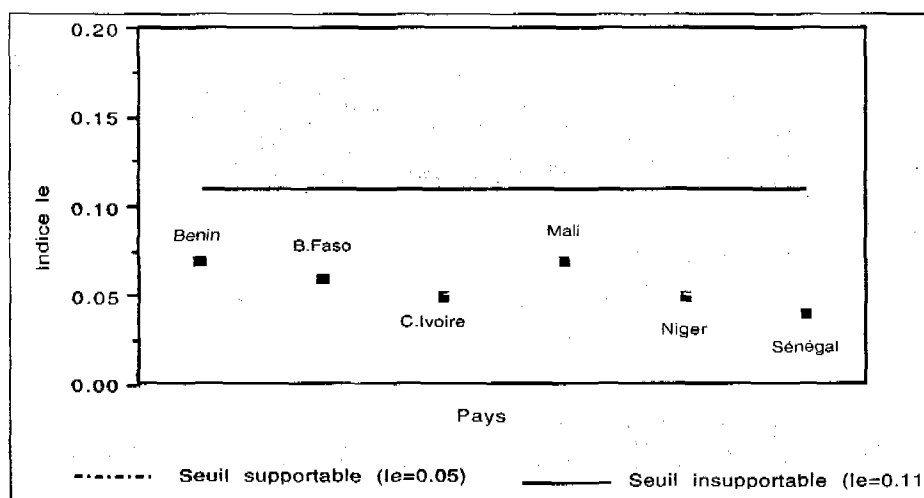


Figure 5 : Prix minimum relatif de l'eau I_e pour les abonnés privés dans les six pays enquêtés en comparaison avec les seuils définis.

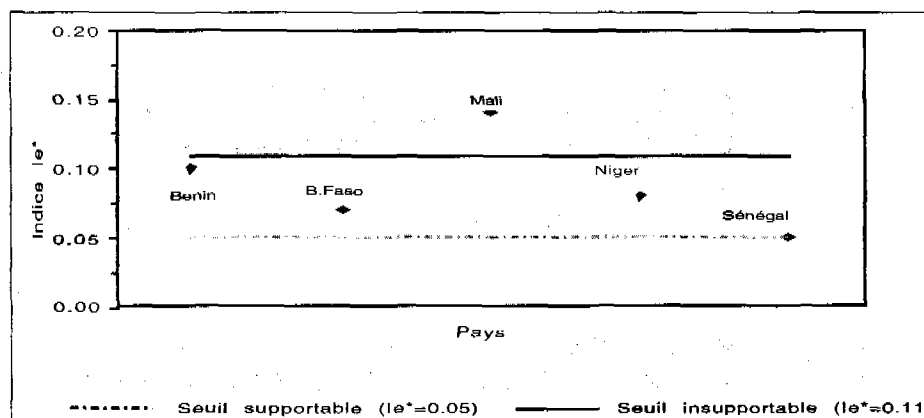


Figure 6 : Prix minimum relatif de l'eau I_e^* pour les usagers de BF dans 5 pays enquêtés (sans la Côte d'Ivoire) en comparaison avec les seuils définis.

- Pour un ménage se ravitaillant en eau par BP, I_e est le rapport entre le prix à payer pour un volume d'eau mensuel de 10 m³ considéré comme le minimum nécessaire (ceci correspond le plus souvent au volume auquel s'applique le tarif social) et le SMIG mensuel.

- Pour un ménage se ravitaillant aux bornes fontaines, I_e est calculé avec le prix à payer pour un volume de 6 m³ d'eau par mois.

Sur la base des hypothèses ci-dessus, le prix de l'eau paraît supportable pour les ménages se ravitaillant par BP en Côte d'Ivoire, au Niger et au Sénégal, mais il représente une charge considérable et dissuasive pour les ménages dans les autres pays enquêtés. En se ravitaillant aux bornes fontaines, le prix à payer pour 6 m³ d'eau par mois considérés comme le minimum vital pour un ménage ne paraît supportable qu'au Sénégal.

Elle atteint même 10% du SMIG au Bénin et jusqu'à 14 % du SMIG au Mali.

Les prix pratiqués pour le service de l'eau ne sont donc pas à la portée du ménage moyen dans les petits centres urbains africains.

En outre, les structures tarifaires et les modes de gestion des bornes fontaines sont de nature à faire payer plus cher l'eau aux ménages à très faibles revenus utilisant ces bornes fontaines que les ménages à moyens et à hauts revenus dont la plupart ont bénéficié de BP subventionné et restent en consommation dans la tranche de volume à laquelle s'applique le tarif social. En effet l'accès de l'eau à la borne fontaine impliquant l'achat auprès d'un gérant de borne fontaine, le prix à payer par le consommateur comprend également la rémunération de ce gérant.

Les tarifs officiels de vente de l'eau aux usagers à la borne fontaine vont de 1.8 à 3 fois le tarif social de BP selon le pays. Ces tarifs sont parfois dépassés très largement en période de pénurie d'eau.

Le niveau de recouvrement des coûts I_f

Le niveau de facturation de l'eau vendue ne suffit pas à couvrir les coûts engagés dans les systèmes d'AEP des petits centres urbains africains.

I_f est l'indice de facturation de l'eau distribuée. Il correspond au rapport entre le tarif moyen appliqué au m³ d'eau et le prix de revient du m³.

- Le seuil de 0.5 (50% du prix de revient) est pris comme égal aux frais courants (personnel, énergie, réactifs de traitement, administration, dépenses de fonctionnement diverses)

- Le seuil de 1 correspond aux charges totales (prix de revient) c'est-à-dire les frais courants et les amortissements des investissements.

publics est souvent nul alors que celles-ci représentent environ 1/3 du volume d'eau consommée dans les villes d'Afrique.

publics et pour l'administration.

La subvention du BP dans certains pays ainsi que l'application d'un tarif social (inférieur au prix de revient) à la vente de l'eau sur un volume dit social procèdent de l'encouragement des populations à abandonner les sources d'eau traditionnelles. Mais cette politique aggrave le non-recouvrement des coûts engagés, car dans les petits centres urbains la quasitotalité des ménages consomme moins que le volume auquel s'applique le tarif social et il n'y a quasiment pas d'industries grandes consommatrices d'eau.

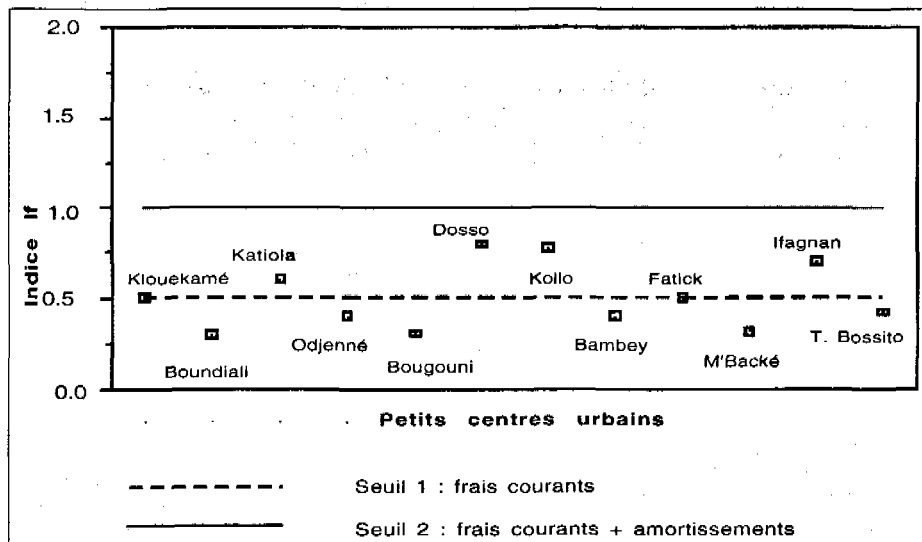


Figure 7 : Indice du recouvrement à la facturation If des charges d'exploitation prévisionnelles en comparaison avec les seuils proposés dans les 10 PCU de la monographie et dans 2 autres PCU du Bénin (Tori Bossito et Ifagnan).

La figure 7 ci-dessus montre les résultats des calculs effectués.

L'indice If est inférieur à l'unité pour l'ensemble des systèmes d'AEP enquêtés. If est inférieur à 0.5 pour la moitié des systèmes d'AEP; c'est-à-dire que pour ces derniers les prix moyens facturés ne permettent même pas de couvrir les frais courants d'entretien et d'exploitation.

Ces systèmes d'AEP ne pourront donc continuer de fonctionner sans les subventions qui leurs sont actuellement octroyées provenant des bénéfices réalisés dans les grands centres urbains. Mais la sous facturation n'est pas la seule cause du non recouvrement des coûts engagés dans les systèmes d'AEP des petits centres urbains africains.

On sait aussi que tandis que l'encaissement des consommations privées avoisine les 95 %, celui des consommations dans les services

Conclusions

Le système d'AEP comportant un réseau de conduites de distribution représente des investissements trop élevés par rapport à la capacité financière des pays d'Afrique si l'on veut que l'ensemble des localités classées centres urbains puisse en être équipé dans les délais souhaitables. Ce type d'installation et les politiques d'exploitation-gestion en vigueur dans les pays d'Afrique francophone correspondent à un niveau de service trop onéreux pour la capacité et la volonté de payer des ménages dans les petits centres urbains. C'est pourquoi, près de 1 ménage sur 3 continue encore d'utiliser exclusivement les sources d'eau traditionnelles insalubres lorsqu'elles existent à proximité (puits, mares, rivières).

Les systèmes d'AEP réalisés dans les petits centres urbains ne sont donc pleinement profitables que pour la fraction de la population la moins démunie, pour les services

Si l'on considère que le taux de pertes d'eau dans les systèmes d'AEP est d'environ 20 % de la production et sachant que l'eau consommée dans les services publics représente environ un 1/3 des volumes consommés et qu'elle n'est pas payée, on ne peut recouvrer les coûts que sur la moitié du volume d'eau produit. Mais comme l'eau est facturée à des tarifs de loin inférieurs aux coûts réels, et que ces tarifs eux même apparaissent trop élevés pour les revenus des ménages, on en arrive à conclure que les installations d'AEP réalisées dans les petits centres urbains ne pourront continuer de fonctionner sans les importantes subventions dont ils bénéficient actuellement par les systèmes de péréquation au niveau national.

La conception et la gestion des systèmes d'AEP dans les petits centres urbains africains doivent donc être revues si l'on veut que :

- l'on puisse équiper dans des délais raisonnables les nombreux petits centres urbains qui restent à équiper en systèmes d'AEP ,
- l'accès au service de l'eau soit possible et équitable pour toutes les

couches de population d'une même localité ;

- le prix de vente de l'eau soit compatible avec les revenus financiers des populations ;

- le prix de vente de l'eau couvre les coûts engagés.

C'est ce que nous proposons dans un article dans le prochain numéro de ce bulletin technique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AIDE [1991] Rapports techniques du 18^{ème} Congrès International et Exposition des distributeurs d'eau, *Copenhague, Mai 1991.*

IMBODEN N [1978], L'appréciation et l'évaluation des projets de développement : une approche en terme de gestion, *OCDE, Paris 1978.*

MAIGA A.H. [1996], Evaluation des aspects institutionnels, techniques, d'exploitation et de gestion des systèmes d'approvisionnement en eau potable des petits centres urbains d'Afrique francophone, *Thèse de doctorat ès sciences techniques de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne 1996.*



GENERALE DES EAUX ET DE L'ASSAINISSEMENT URBAIN ET RURAL

Toute la technologie QUIL VOUS FAUT

- Etudes**
- Conseils réqlisqtions**
- Gestion et entretien d'ouvrages d'adduction d'eau et d'assainissement**

Rue 14 prolongée X Bourguiba-Bat. 32-SODIBA
BP 10487 - Tél (221) 24 20 41 / 24 35 18 - Fax (221) 24 76 74

AGENCES REGIONALES

Saint Louis - Louga
BP 5037 - Tél (221) 61 29 90 - Fax 61 35 02
Av. De Gaulle (face Stade Maître Babacar Sèye)

Kaolack
BP 495 Kaolack - Tél (221) 41 44 62
Av. Cheikh Amadou Bamba



HYDRO-PACTE

INGENIEURS CONSEILS - SARL

BUREAU D'ETUDES D'INGENIERIE ET D'ORGANISATION

- PLANIFICATION
- ASSISTANCE
- CONSEILS EN TRAVAUX
- ETUDES HYDRAULIQUE
- HYDRAULIQUE AGRICOLE
- AMENAGEMENTS

Siège Bamako : BP E 1072 - Tél / Fax : 23 12 20
Succursale Ségou : BP 161 - Tél . : 32 02 56

RÉSUMÉ

L'adobéton est une technique de construction de murs extérieurs durable. Elle est à très haute intensité de main d'oeuvre (HIMO) et fait massivement appel aux matériaux locaux. Elle a été mise au point au Maroc à la fin des années 80. Elle s'est développée principalement dans ce pays ainsi qu'au Tchad ; elle commence à se diffuser en Afrique de l'Ouest.

L'article montre la genèse de cette technique et partit du concept de «stabilisation» du matériau terre et comment elle fait la synthèse entre les constructions traditionnelles en adobe (dites «banco» en Afrique de l'Ouest) et celles dites «en dur».

Puis il présente la technique elle-même dans son principe et dans ses aspects les plus concrets. Il met ainsi en évidence l'intérêt qu'elle présente, non seulement pour les occupants des bâtiments ainsi construits, mais encore pour les professionnels de la construction et pour les autorités politiques des pays en développement.

Après la récapitulation des inconvénients et des avantages de la technique, l'article montre les perspectives qu'elle ouvre. Certaines sont de simples variantes techniques qui élargissent son champ d'application. D'autres ont une tout autre ampleur et débouchent sur des conséquences inédites :

* développement des citernes enterrées (pour les pays à longue saison sèche),

* émergence d'une nouvelle ingénierie. Celle-ci a pour objet principal le développement et l'amélioration de l'habitat économique, notamment dans les zones périphériques à forte croissance démographique de nombreuses grandes villes de pays en développement.

ABSTRACT

"Adobeton" is a new building technology which makes earthen external walls durable. It is high intensive labour (HIL) and requires a lot of local materials. It was set up in Morocco by the end of the eighties. Then, it has mainly developed in this country and in Chad. For a few years, it has begun spreading in Western Africa.

The paper shows the genesis of this technology from the concept of earth stabilization ; so that adobeton could be considered now as a synthesis of traditional adobe building ("banco" in Western Africa) and concrete building.

It introduces the technology itself and its practical aspects. It highlights its interest, not only for

owners, but also for professionals in construction and for public authorities in developing countries. It lists the drawbacks and the advantages of adobeton and shows the main prospects that could be opened up. Some are simple technical variants which widen its field of application. Others lead to original consequences :

* development of underground tanks (for countries with a long dry season),

* emergence of a new engineering. Its main object is the development and the improvement of low cost housing, especially in suburban areas of great cities in developing countries.

L'ADOBETON UNE TECHNOLOGIE APPROPRIÉE POUR UN HABITAT ÉCONOMIQUE AMÉLIORÉ

Michel MARTIN *

Docteur-Ingénieur Ecole des Mines de Paris
Chef du département de Génie Civil (E.I.E.R.)

INTRODUCTION

Dans cet article, on ne cherche pas à donner des informations exhaustives sur le procédé : celles-ci figurent dans les "Documents Normatifs de l'Adobéton" que l'on peut se procurer auprès de l'E.I.E.R. (1).

On ne cherche pas non plus à en donner de nombreuses illustrations : une exposition intitulée "Architectures et Technologies Africaines Contemporaines" a en effet été présentée en Avril 1997 au Centre Culturel Français de Ouagadougou et placée depuis sur Internet. Tous ceux qui y sont raccordés peuvent donc désormais la visiter sur leur écran d'ordinateur (2).

On veut seulement présenter dans cet article :

1/ l'évolution de la terre comme matériau de construction ; ce faisant, on montrera comment, et pour répondre à quelles questions, on a abouti à l'adobéton ;

2/ ce qu'est effectivement la technologie "adobéton" (néologisme résultant tout bonnement de la contraction des mots "adobe" et "béton" !);

3/ quels sont ses avantages et ses inconvénients ;

4/ quelles perspectives elle offre en matière d'habitat, et :

5/ où en est son développement aujourd'hui en Afrique.

1/ ÉVOLUTION DE LA TERRE COMME MATÉRIAU DE CONSTRUCTION

On peut considérer l'adobéton comme la dernière étape dans l'évolution du "matériau terre" lorsqu'il est destiné à la construction de bâtiments. Ces étapes sont (voir tableau 1) :

- a) la terre crue,
- b) la terre stabilisée,
- c) la terre "bicouche",
- d) l'adobéton.

1.a La terre crue

Dans la grande majorité des cas (sur l'ensemble de la planète), la terre crue est mise en oeuvre sous forme de blocs moulés à forte humidité et maçonnés après quelques jours de séchage. Le nom donné internationalement à ces blocs est "adobe" ; mais en Afrique, les deux principaux noms vernaculaires sont "banco" (en Afrique de l'Ouest) et "briques de poto-poto" *** ou même tout simplement "poto-poto" (dans un pays comme le Tchad, par exemple).

1.b La terre stabilisée

Après la seconde guerre mondiale, diverses tentatives ont été faites en plusieurs parties du monde pour améliorer la qualité et la durabilité des constructions en terre. Elles ont été conduites selon deux axes :

*** Ce terme désigne en fait de la boue. Elle peut être mise en oeuvre soit sous forme de blocs (adobes), soit directement par façonnage en place, en général sur une structure de branchages (stick-poto-poto). La première forme est surtout répandue en Afrique centrale sahélienne, alors que la seconde se trouve plutôt en Afrique centrale équatoriale.

* *L'amélioration du matériau* (par adjonction d'un stabilisant, en général du ciment, parfois de la chaux ou du bitume, plus rarement d'autres produits comme la gomme arabique ou même des hydrophobants de synthèse);

* *L'amélioration du bloc des points de vue de la géométrie et de la résistance mécanique* (par compression du matériau dans des presses, soit manuelles, soit plus ou moins mécanisées).

Il est à noter que cette double évolution a imposé un changement des terres utilisées, les terres fines des adobes se prêtant beaucoup moins bien que les terres plus grenues à des mélanges avec un stabilisant et, surtout, à une compression mécanique. D'où les deux corollaires de cette évolution :

* *la sélection géotechnique des terres* dans des carrières ou des gîtes à matériaux, souvent éloignés des chantiers ; et donc la nécessité

d'un chargement, d'un transport et d'un déchargement pour le principal matériau de la construction à réaliser ;

* *L'introduction de matériels spécifiques* : presses, mais aussi pulvérisateurs, cribles, malaxeurs (3) qui sont non ou malaisément fabricables localement et, dans tous les cas, beaucoup plus onéreux que les moules en bois traditionnels !

Cette double évolution n'a donc pas conduit à un remplacement des constructions traditionnelles en adobe, mais a généré un nouveau type de constructions, certes de meilleure qualité, mais aussi de coût nettement plus élevé. Comme il existe par ailleurs d'autres techniques fortement concurrentielles (comme le parpaing de sable-ciment par exemple), on comprend que les constructions en B.T.S. (Blocs de Terre Stabilisée) aient du mal à se développer depuis une trentaine d'années.

1. c. La terre bicouche (4)

Dès le milieu des années 70, à l'E.I.E.R., on a procédé à une première critique de l'évolution sus-indiquée : **au fond, à quoi sert le stabilisant ?**

Cet exercice que l'on peut qualifier d'analyse fonctionnelle a débouché sur les résultats suivants :

* le stabilisant améliore la durabilité à la pluie. Mais cette amélioration est toute relative et loin d'atteindre l'inaltérabilité (réelle ou supposée) des constructions "en dur" ;

* le stabilisant améliore la résistance mécanique de la terre, surtout si celle-ci vient à s'humidifier. Mais il n'est pas nécessaire dans la mesure où la terre est destinée à des constructions :

- en rez-de-chaussée (vu le très faible niveau des contraintes : moins de 1 bar),

Tableau 1 : tableau synthétisant l'évolution du matériau terre et montrant la genèse de l'adobéton

Epoque	Type de produit	Principaux problèmes rencontrés	Mesures techniques et évolution
Jusqu'en 1950	Terre crue	* Erodabilité	* Ajout d'un stabilisant : - ciment (surtout), mais aussi : - chaux, bitume, etc....
Années 50, 60 et 70	Terre stabilisée (ou B.T.S., ou géobéton)	* Coût (dû au stabilisant) * Rejet psychologique non-surmonté	* Sur-stabilisation, mais en surface seulement (économie de sta-bilisant)
Année 1975 et suivantes (Grésillon : EIER)	Terre bicouche	* Fragilité (couche surstabilisée se décollant du substrat non-stabilisé, donc finalement comme les enduits) * Faible productivité * Question de l'acceptation psychologique non-réglée	* Transformation de la couche surstabilisée de surface en un bardage-ancrage par des écailles préfabriquées en aggloméré de ciment (béton)
Année 89 et suivantes (Martin : MAROC, (TCHAD, EIER)	* Adobéton et ses variantes : - <u>adobrique</u> (avec écailles en terre cuite) - <u>gypsobéton</u> (avec substrat en plâtre tiré du phosphogypse non-épuré) - <u>gypsobrique</u>	* Rigidité architecturale * Mise en oeuvre très qualifiée	* Mise au point de produits spécifiques (écailles d'angle) et d'outils d'aide à la mise en oeuvre (crémaillères, gabarit de calage des écailles) * Elaboration d'un programme de formation à la maçonnerie adobéton * Réalisation d'un équipement structurant à l'EIER pour l'étude de la durabilité des structures à la pluie (kiosque de durabilité).

- et adéquatement protégées contre l'humidification de leurs murs.

En d'autres termes, le stabilisant tel qu'employé classiquement dans le BTS n'est pas utile pour la grande majorité des constructions en Afrique (qui sont en rez-de-chaussée) à condition de protéger les murs contre :

- ① les remontées capillaires,
- ② les infiltrations par la toiture, et
- ③ la pluie.

Les deux premiers phénomènes pouvant être efficacement combattus par des dispositions constructives simples (à base de films polyanes ou autres), l'E.I.E.R. a principalement travaillé sur la durabilité des blocs à la pluie. Pour ce faire, elle a mis au point un bloc "bicouche" dans lequel le stabilisant est concentré sur la face verticale qui sera soumise aux intempéries. Il comprend donc :

* une couche "surstabilisée" extérieure, de 3 ou 4 cm d'épaisseur, qui protège

* une "couche" non-stabilisée (en fait, le reste du bloc, beaucoup plus épais).

Cette technique avait l'avantage de faire de sérieuses économies de stabilisants, mais elle n'a pas eu le succès escompté pour les trois raisons suivantes :

* une productivité peu élevée (blocs plus complexes à fabriquer) ;

* la plupart du temps, l'existence d'un retrait différentiel au séchage entre les deux couches de sorte que celle surstabilisée en surface finissait par se décoller et par tomber en cas de choc. Bref, cette couche surstabilisée se comportait comme un enduit intégré et présentait le même défaut d'adhérence, mais avec une mise en oeuvre plus compliquée ;

* enfin, malgré un taux de stabilisation en ciment de la couche extérieure du même ordre que celui du béton (environ 15%), la perception du matériau restait celle d'une terre et non d'un matériau "en dur" comme par exemple le béton.

1. d L'adobéton

A la fin des années 80, au Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (LPEE) de Casablanca au Maroc, on a alors procédé à une critique

complète des actions entreprises pour améliorer le "matériau de construction terre" en posant la question dans toute sa globalité : **au fond, que veulent les différents intervenants dans la construction, à commencer par le moins écouté d'entre eux : l'occupant ?**

On est donc rentré dans une démarche de type analyse de la valeur qui a conduit à distinguer trois groupes d'intervenants :

- * les occupants,
 - * les professionnels de la construction,
 - * les autorités politiques et administratives.
- Il s'est avéré alors que chacun d'eux avait un souci principal bien spécifique et qu'il se déclinait, avec des intensités variables, selon trois domaines bien distincts :
- * les aspect psycho-sociaux,
 - * les aspects économiques,
 - * les aspects techniques.

Ces divers éléments sont regroupés ci-contre dans le "tableau des souhaits" des principaux intervenants, le chiffre apparaissant dans les différentes cases représentant le niveau de priorité donné à l'aspect considéré.

Tableau 2 : tableau des souhaits des intervenants dans la construction

Intervenants	Occupants	Professionnels de la construction	Autorités politiques et administratives
Souci majeur Aspects principaux	Disposer d'un logement digne et financièrement accessible	Exercer une activité rentable et fiable	Susciter une espérance économique
Aspects psycho-sociaux	Construction donnant une <u>image sociale</u> valorisante vis à vis du voisinage 1	Construction donnant une <u>image professionnelle</u> valorisante vis à vis des clients potentiels 3	Construction de <u>qualité</u> et utilisant des technologies à <u>fort potentiel médiatique</u> 3
Aspects économiques	Construction faisant appel à des technologies <u>peu coûteuses</u> et permettant une <u>participation personnelle</u> 2	Construction faisant appel à des technologies <u>rentables</u> où une partie des tâches ne peut être faite que <u>par des professionnels</u> 1	Construction faisant appel à des technologies <u>HIMO</u> et employant un maximum de <u>matériaux locaux</u> 1
Aspects techniques	Construction <u>durable</u> avec <u>entretien minimal</u> et <u>réalisable personnellement</u> 2	Construction faisant appel à des technologies <u>fiabiles</u> et <u>codifiées</u> 2	Construction faisant appel à des technologies <u>arrivées à maturité</u> 2

Sur ce tableau 2, on note que la hiérarchie des souhaits n'est pas identique pour les trois catégories d'intervenants :

* pour la catégorie des "occupants", les aspects psycho-sociaux sont légèrement prédominants, les aspects économiques et techniques venant juste après ;

* pour les deux autres catégories ("professionnels" et "autorités"), ce sont plutôt les aspects économiques qui sont premiers, les autres aspects venant ensuite.

Grâce à cette analyse participative, on a pu établir un véritable cahier des charges fonctionnel de la solution technique à mettre au point pour que les constructions en terre puissent voir leur qualité s'améliorer tout en restant accessible à un grand nombre de ceux qui bâtissent de façon traditionnelle. A partir de là, les grandes caractéristiques de l'adobéton sont apparues assez simplement.

2/ PRESENTATION DE LA TECHNOLOGIE ADOBETON

2.a Principe de la technologie

On peut donc définir l'adobéton comme une technologie de construction de murs extérieurs durables par une maçonnerie mixte d'éléments porteurs en adobes et d'éléments de protection en béton (ou plutôt en aggloméré de ciment, c'est-à-dire la même matière que les "parpaings de ciment"). Et si les éléments de protection sont en terre cuite, parlera d'adobrique.

Par rapport au bloc bicouche, le caractère hybride est encore renforcé : on associe désormais du béton à la terre crue (et non plus de la terre stabilisée). De plus, l'association ne se fait plus au niveau de la préfabrication des blocs avant maçonnerie, mais lors de la mise en oeuvre sur le chantier.

Ceci appelle donc deux remarques générales :

* on glisse du concept de "matériau local" vers celui de "technologie appropriée" :

* on va dans le sens actuel (du moins en ce qui concerne les structures de bâtiment) d'une séparation des fonctions par association de matériaux différents et non dans celui d'une intégration au sein d'éléments polyvalents.

L'innovation consiste surtout dans le système d'association des éléments de protection (appelés couramment "écailles") avec la maçonnerie des blocs porteurs. Etant plus rigides, les écailles doivent pouvoir jouer les unes par rapport aux autres tout en restant fixées aux blocs. Ceci est réalisé :

* grâce la forme des écailles (qui se présentent comme des "L" renversés) et

* par l'ancrage de leur aile horizontale au niveau des joints de maçonnerie.

Afin de mieux faire comprendre le principe de l'association entre les blocs d'adobe et les écailles de protection en béton, on a représenté sur cette page et la suivante :

* deux coupes de murs en adobéton, l'une avec des écaille épaisses (25-30mm), l'autre avec des écailles minces (10-12 mm),

* un gros plan de mur pris sur un chantier récent à Ouagadougou (photo 1),



Photo 1 : Gros plan d'un mur en adobéton (la mise en oeuvre est ici approximative avec des joints de collage trop épais).



Photo 2 : Mise en oeuvre de l'adobéton avec le gabarit de calage des écailles. Pour bien l'utiliser, il faut un marteau, un niveau et un maçon convenablement formé!

* une photo montrant l'emploi du gabarit de calage en bois pour une mise en oeuvre bien régulière des écailles. (photo 2).

2.b Réalisation concrète des murs en adobéton

La réalisation des murs extérieurs en adobéton se décompose classiquement en deux phases : la conception et l'exécution.

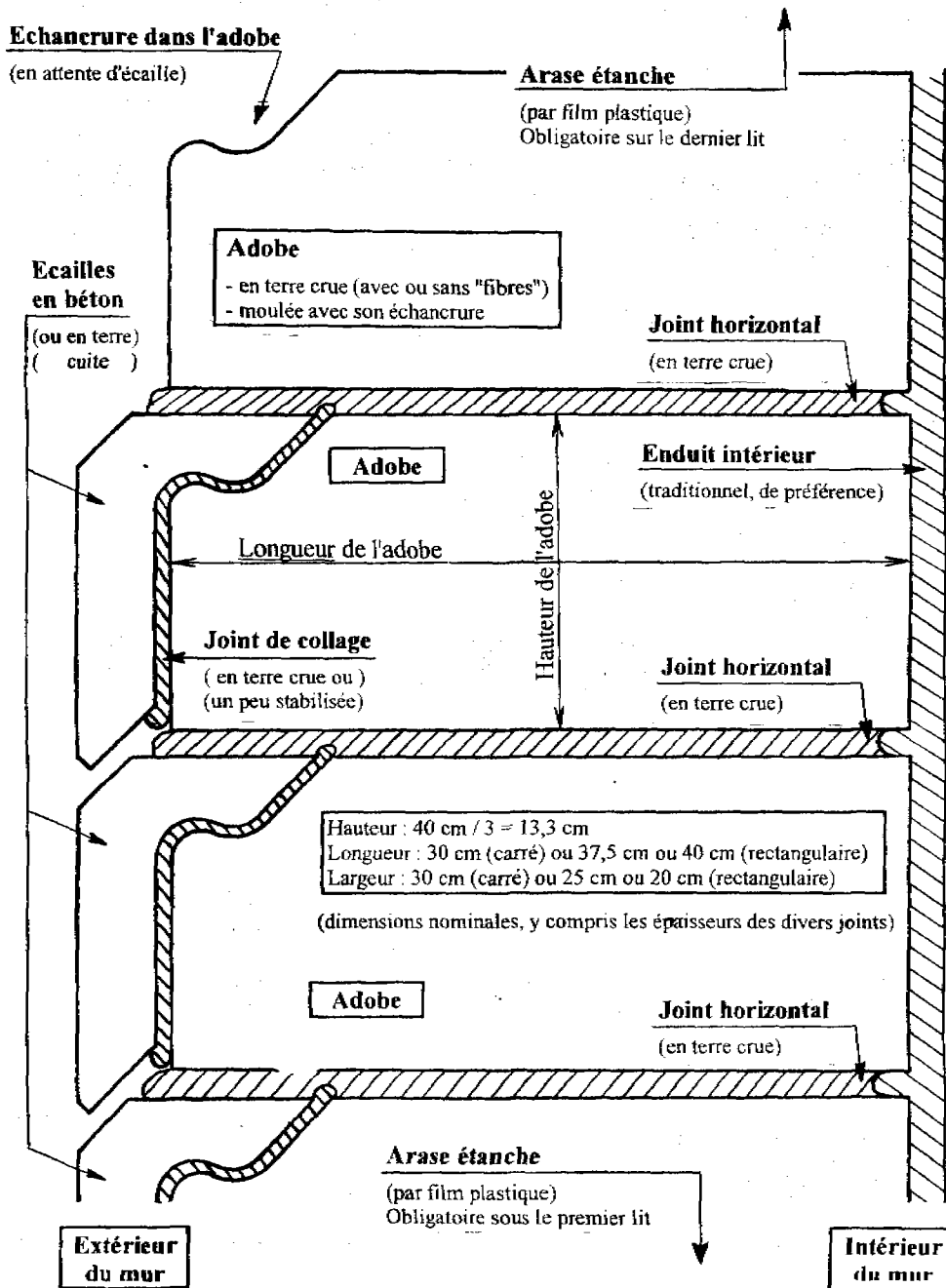
Le travail de conception consiste essentiellement à tracer les plans de calepinage des blocs, mais aussi des écailles.

Pour les blocs, on utilise un des trois formats nominaux suivants : 30x30 cm ; 40 x 20 cm ; 37,5 x 25 cm (les formats rectangulaires étant toujours placés en boutisse car les murs ont une épaisseur minimale de 30 cm). On commence par le lit des linteaux (chainés ou avec un appui latéral minimum de 30 cm), puis on trace les lits impairs et pairs au-dessus de

ce niveau et, pour finir, les lits impairs et pairs des trumceaux et des allèges. Pour ce faire, il n'est pas nécessaire de disposer d'un

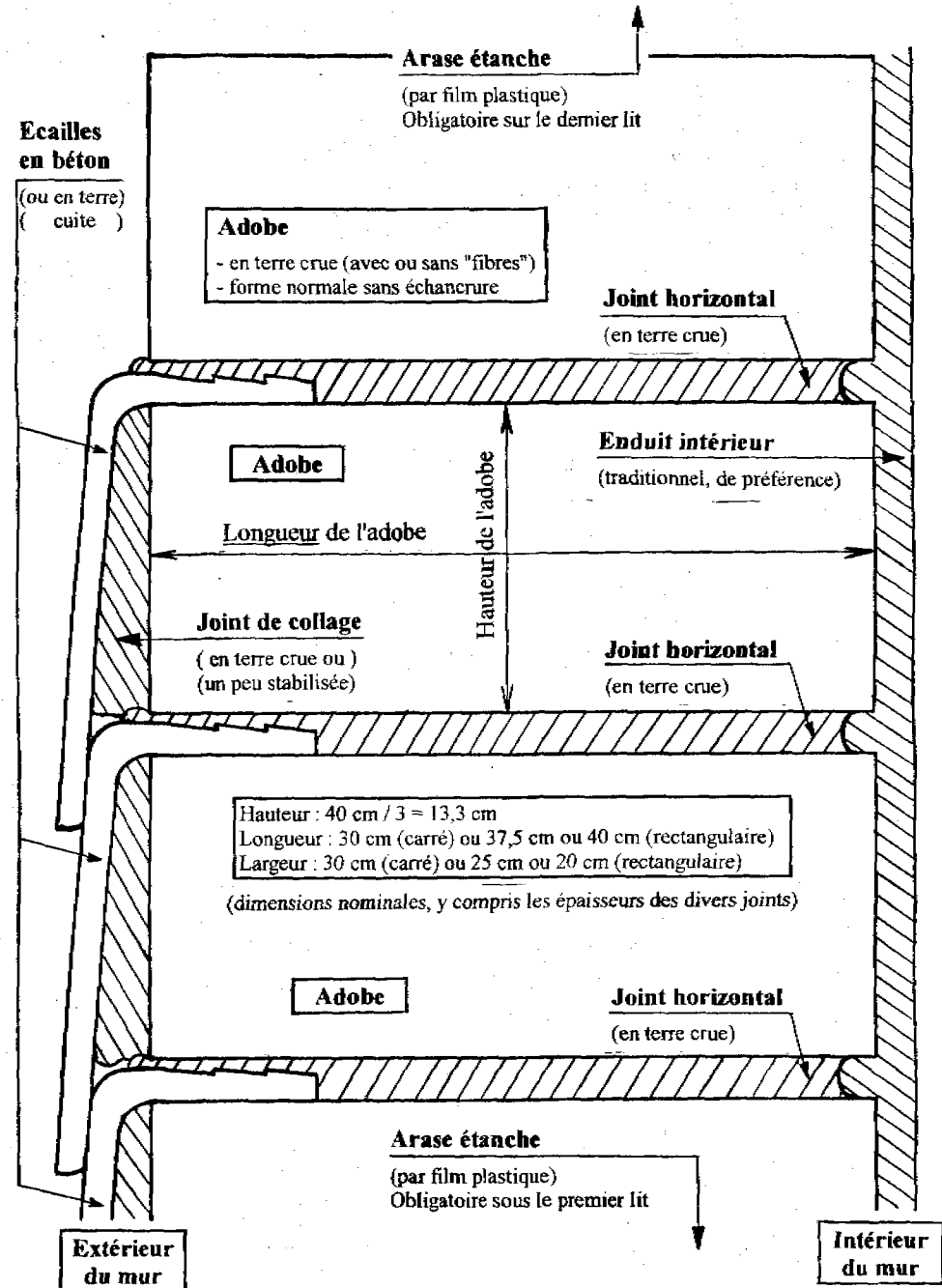
COUPE D'UN MUR EN ADOBETON

(avec écailles épaisses : 25 à 30 mm)



COUPE D'UN MUR EN ADOBETON

(avec écailles minces : 10 à 12 mm)



ordinateur et de logiciels spécialisés (même s'ils font gagner beaucoup de temps) : pour de petits bâtiments, du papier quadrillé est largement suffisant.

Pour les écailles, les plans de calepinage se font sur les élévations des différentes façades. Il est conseillé d'employer des écailles de même largeur que les blocs, c'est-à-dire de 30, de 20 ou de 25 cm (la coïncidence ou non des joints verticaux entre les blocs et entre les écailles étant indifférente). Dans tous les cas, la hauteur usuelle des lits en adobéton est de 13,3 cm, soit 3 lits dans 40 cm (joints horizontaux compris).

L'exécution comprend trois parties : la fabrication des écailles, le moulage des adobes et la maçonnerie commune de ces deux types d'éléments.

La préfabrication des écailles peut se faire au moyen de quatre outils différents :

* quand les écailles sont minces (10 à 12 mm), c'est la même table vibrante que pour les tuiles de mortier vibré (TMV). Ces tables sont assez bien répandues en Afrique Noire en raison de la promotion faite depuis une quinzaine d'années par le BIT pour ce type de couverture comme alternative à la tôle ondulée. Mais par rapport aux TMV, la forme de séchage change : ce ne sont plus des supports spéciaux en plastique ondulé, mais deux simples planches en bois faisant un angle légèrement obtus (90 à 95°) ;

* quand les écailles sont épaisses (25 à 30 mm), on a le choix entre les trois instruments suivants :

• le **moule manuel** (pour l'essentiel en métal). La fabrication se fait à l'unité par damage violent sur un couvercle épais en bois renforcé de métal. Il faut un support de démolage et de séchage, le temps que le béton de l'écaille fasse prise et avant que l'écaille ne soit plongée dans l'eau pour sa cure. La production est de l'ordre d'une centaine par jour ;

• la **poutre vibrante** (métallique). Elle permet de fabriquer simultanément 6 écailles de 30 cm ou 9 écailles de 20 cm ou 7 écailles de 25 cm.

Là encore des supports de démoulage et de séchage (en général en tôle galvanisée de quelques dixièmes) sont nécessaires. Pour éviter tout accrochage du béton sur ces supports, on peut placer en interface des plastiques de récupération. La production est fonction du nombre de supports disponibles. Elle peut atteindre un demi-millier par jour ;

• la **"pondeuse d'agglos"** munie d'un moule particulier (dit moule adobéton). La productivité est très élevée (28 écailles par ponte) et la production quotidienne s'élève à plusieurs milliers. Il n'y a pas de supports de démolage et de séchage puisque les écailles sont pondues verticalement sur le sol. En contrepartie, cet outil ne permet de fabriquer que des écailles de 20 cm de longueur, cette dimension étant elle-même approximative (à quelques millimètres près) principalement du fait du manque de planéité des sols et du léger affaissement du béton au démolage.

La fabrication des écailles demande donc un matériel spécialisé. C'est une niche possible d'activité pour les professionnels qui auraient investi dans de tels outils. Cependant, une production lente - et un peu archaïque - reste possible avec les moules manuels. Elle est plutôt réservée aux zones reculées où les autres outils plus modernes et compétitifs ne seraient pas en concurrence pour cause d'indisponibilité. On notera enfin que les écailles sont des produits non-fragiles qui se transportent très facilement dans des véhicules courants comme les "bâchées" ou autres.

Le moulage des adobes reste, quant à lui, une activité très rustique. Ce n'est donc pas une affaire de professionnels, mais celle de la population qui maîtrise presque partout ce savoir-faire traditionnel et très simple. Les moules sont en général en bois et aux dimensions précédemment indiquées.

Dans le cas d'un emploi ultérieur d'écailles minces, l'aile horizontale passera dans l'épaisseur du joint de la maçonnerie et il n'est pas nécessaire, pour l'accueillir, de prévoir une échancrure dans les adobes. Celles-ci sont donc de très clas-

siques parallélépipèdes.

Dans le cas d'un emploi ultérieur d'écailles épaisses, il convient de mouler des **adobes avec échancrure**. L'emploi des moules habituels par soulèvement s'avère assez inconfortable car, au moment de leur arasement, il faut enfoncer dans la terre humide une - ou plusieurs - pièce(s) en bois de la forme de l'échancrure ; or cette (ces) pièce(s) peu(ven)t basculer ou se coincer ou frotter sur les parois (même en collant du formica à l'intérieur du moule pour faciliter le démolage). Les **moules par retournement** permettent d'éviter tous ces inconvénients ; de plus l'échancrure est très bien formée, quelle que soit sa complexité (angles, etc...). Ces moules sont toujours en bois et un peu moins simples que les quatre planches clouées traditionnelles : les pièces en bois donnant la forme de l'échancrure sont collées sur une plaque de fond (qui est enlevée après démolage). Pour éviter le collage de la terre :

* sur cette plaque et les pièces d'échancrure en bois, on place là encore une interface en plastique de récupération,

* sur le moule au moment du démolage, on colle à l'intérieur du formica.

Enfin, on conseille d'augmenter la longévité du moule en faisant des assemblages non pas cloués, mais vissés-collés.

La mise en oeuvre commune des écailles et des adobes peut difficilement, si l'on veut une rapidité et une qualité acceptables, être faite sans maçons. Pour ceux-ci, il est même fort conseillé de suivre une formation "sur le tas" d'une dizaine de jours.

La terre des adobes et des différents joints étant crue (aucune stabilisation), il faut placer une arase étanche sur le soubassement (en fait, un simple film plastique) pour éviter les remontées capillaires. De la même façon, lorsque le mur sera terminé, il faudra veiller très attentivement à en sur-protéger la partie supérieure afin de prévenir toute infiltration depuis la couverture. Il ne doit pas y avoir de terre crue au-dessus de l'étanchéité supérieure spécifique aux murs en adobéton.

La mise en oeuvre elle-même est relativement classique : on commence toujours par les angles et on maçonne les parties courantes entre ces derniers. La succession des tâches pour chaque lit est la suivante :

- 1- étalement du joint horizontal (en fait une boue pas trop liquide) ;
- 2- pose des adobes ;
- 3- bourrage des joints **verticaux** entre adobes (avec la même matière que pour les joints horizontaux) ;
- 4- remplissage du joint intérieur des écaïlles avec une boue légèrement plus liquide que pour les joints entre adobes ;
- 5- pose des écaïlles sur l'alignement des adobes échançrées ;
- 6- réglage du positionnement de ces écaïlles au moyen d'un maillet et d'un **gabarit de calage en bois** (guidé lui-même par un classique niveau de maçon).

Quand les écaïlles sont épaisses, il est conseillé d'attendre un peu (environ une heure) pour procéder aux étapes 5 et 6 de façon à ce que la boue des joints ait eu le temps de sécher suffisamment et que les coups de maillet ne perturbent pas l'ordonnancement des adobes. Quant aux écaïlles, elles sont posées par groupes de 3 à 6, selon la longueur du gabarit de calage (longueur qui varie en général de 0,6 m à 1,2 m : moins long, son utilité est insuffisante ; plus long, il devient encombrant et malaisé à manipuler).

Quand les écaïlles sont minces, les outils de réglage des écaïlles sont différents. Il n'y a pas de maillet, ni d'ailleurs de gabarit de calage, mais un **système de crémaillère guidant une barre horizontale** (en fait un profil creux métallique de section rectangulaire) sur laquelle s'appuie la base des écaïlles recouvrant celles du lit précédent.

Qu'elles soient épaisses ou minces, les écaïlles peuvent aussi bien se toucher latéralement qu'être séparées par un petit espace qu'on ferme avec un mortier de ciment. Le premier type de joint a en général la faveur du maçon... mais pas celle de l'architecte, et inversement.

Enfin pour la finition intérieure, on emploie les enduits traditionnels. En effet, si la durabilité de ces derniers est le plus souvent insuffisante vis à vis des intempéries, elle est tout à fait convenable à l'intérieur des constructions. Au Burkina, les deux enduits traditionnels les plus utilisés sont la gousse de néré et la plante appelée "ilampon" par les Lobis.

2.c Adéquation entre l'adobéton et les acteurs de la construction

Cette présentation concrète étant faite, on observe à quel point l'adobéton est conforme aux souhaits des principaux intervenants dans la construction.

Pour la catégorie des "Occupants" :

* l'aspect extérieur est "en dur", c'est-à-dire en béton ou, à la rigueur, en terre cuite. De plus, la modénature des murs extérieurs (module : 20 ou 25 ou 30 x 13,3 cm) est très différente de celle du parpaing (40 x 20 cm) et leur donne un aspect flatteur ;

* les blocs d'adobe permettent de construire à faible coût (disponibilité véritablement locale du matériau) et, au futur occupant, de participer effectivement au travail s'il le désire (savoir-faire traditionnel, pas de matériel spécialisé).

Pour la catégorie des "Professionnels" :

* la fabrication des écaïlles en béton ne peut être faite efficacement que par eux (matériel de moulage spécifique) et la mise en oeuvre plus technique de la maçonnerie exclut une éventuelle concurrence des futurs occupants eux-mêmes si ceux-ci veulent une qualité convenable et conforme à l'image sociale qu'ils souhaitent ;

* l'adobéton est très rentable par rapport à des technologies concurrentes comme le parpaing de ciment. A Ouagadougou, la différence de prix de revient au mètre carré de mur est estimée à 15% en faveur du premier alors même que sa qualité est bien meilleure (écaïlles dosées à 250 - 275 kg de ciment/m³ de béton contre 150 kg/m³ environ pour les parpaings "du trottoir") ;

* l'adobéton est une technique codifiée, avec des documents normatifs. On peut donc s'y référer pour établir un cahier des charges ;

* l'adobéton est une technologie fiable dans le cadre des limites d'utilisation actuellement connues. Celles-ci sont principalement fonction de la pluviométrie (pas de constructions jusqu'à ce jour dans des zones au-dessus de 1000-1200 mm/an) et de l'usage du bâtiment (pas d'écaïlles minces, par exemple, pour des écoles car elles sont moins résistantes aux chocs).

Pour la catégorie des "Autorités" :

* l'adobéton est une technologie à très haute intensité de main d'oeuvre (HIMO) qui fait appel à des matériaux véritablement locaux (en provenance de la parcelle même, de la voirie adjacente ou d'une zone à proximité immédiate) ;

* avec près de 10 ans de recul et des évaluations très positives pour les premiers bâtiments construits au Maroc (5), l'adobéton peut être considéré comme une technologie arrivée à maturité ;

* l'adobéton est aisément diffusable et une sensibilisation à grande échelle des décideurs et des populations est aujourd'hui possible grâce à un film vidéo qui s'intitule : "l'adobéton, c'est super-banco !" (6).

3/ AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE L'ADOBETON

L'adobéton présente quelques inconvénients et beaucoup d'avantages.

i1 Le principal inconvénient est de limiter relativement l'*expression architecturale* : l'adobéton convient d'autant mieux que les formes sont simples, rectilignes et que les angles sont droits et pas trop nombreux (un peu de l'instar des constructions en pisé).

i2 Un autre inconvénient est de nécessiter un *apprentissage*. En effet, la mise en oeuvre commune, lit après lit, des adobes et des écaïlles requiert un savoir-faire spécifique. Ainsi, l'adobéton introduit une qualification profession-

nelle supplémentaire dans le métier de maçon. L'expérience montre qu'il faut veiller à leur stabilité sur le chantier tout au long de sa durée.

Quant aux avantages, ils sont multiples :

Sur le plan technique

a1 Grande variété de terres utilisables. Donc, si on construit traditionnellement en adobe dans le secteur, on pourra presque toujours utiliser la terre du site même pour les constructions en adobéton ; d'où de substantielles économies (pas de transport de matériaux).

a2 Bonne régularité de la performance mécanique des blocs d'adobe. Certes, leur résistance est plus modeste que celle des B.T.S., mais elle est de toute façon largement suffisante pour l'usage que l'on en fait (constructions en rez-de-chaussée). Par contre ce qui est capital dans un contexte de normalisation technique et de garantie des constructions, c'est la faible dispersion des valeurs de cette résistance. Le processus de production des adobes (un "compactage solaire" égal pour tous les blocs) conduit à des valeurs très régulières que d'autres techniques ont plus de mal à atteindre (cas par exemple du bloc comprimé dans des presses manuelles dont le magasin n'est pas toujours bien rempli).

a3 Excellente durabilité à la pluie (celle du béton, ou de la terre cuite pour l'adobrique). Pour l'instant, comme indiqué un peu plus haut, celle-ci n'a été testée qu'avec des pluviométries inférieures à 1000-1200 mm/an.

a4 Quantité de ciment employé nulle pour l'adobrique et réduite pour l'adobéton à 10 kg/m² de façade de mur extérieur (avec un dosage normal à 250-275 kg/m³ pour les écaïlles). Par comparaison, les consommations sont d'environ :

° 15 kg/m² pour le parpaing de 15 cm (au sous-dosage minimum de 150 kg/m³) ;

° 17,5 kg/m² pour le B.T.S. de même épaisseur (avec le dosage habituel de 6%) ;

° 35 kg/m² (soit trois fois et demi plus !) pour le B.T.S. avec l'épaisseur minimale des murs en adobéton (30 cm) et le même dosage que ci-dessus.

a5 Quantité de ciment employé indépendante de l'épaisseur des murs (contrairement donc aux parpaings et aux B.T.S.).

La terre étant locale, il en résulte que le coût d'un mur épais est à peine supérieur à celui d'un mur mince ; donc on construit systématiquement avec de fortes épaisseurs ($e \geq 30$ cm) et il en résulte :

a6 Excellent confort d'habitation grâce à l'importante inertie thermique de ces murs épais en terre.

a7 Excellente stabilité mécanique de ces murs porteurs vu leur faible élançement.

a8 Masquage d'éventuels petits désordres dans le mur (fissures, etc...) grâce à l'habillage d'écaïlles.

Sur le plan social

a9 Création de nombreux emplois (fabrication des adobes, des écaïlles, et leur mise en oeuvre commune).

a10 Possibilité de participation en travail (et non en argent) des futurs occupants-bénéficiaires par le moulage des adobes.

Par exemple : militaires pour leur caserne, villageois pour leur centre de santé, parents pour l'école de leurs enfants, etc...

a11 Élévation de la qualification des emplois créés chez les professionnels de la construction (fabrication des écaïlles, maçonnerie plus technique) et création d'une dynamique de qualification professionnelle.

a12 Excellente acceptabilité psychologique par la population ("occupants" potentiels).

Sur le plan macro-économique

a13 Limitation des consommations de ciment dans la phase d'investissement.

a14 Limitation des consommations électriques dans la phase de fonctionnement (moindres besoins de climatisation artificielle).

Sur le plan micro-économique

a15 Très bon rapport qualité-prix en investissement et en fonctionnement dans de nombreux pays.

a16 Coût modéré, surtout depuis la dévaluation du franc CFA qui a provoqué, dans les pays africains de la zone franc, une forte augmentation du prix du ciment.

En conclusion, on peut dire que l'adobéton est un système constructif approprié à fort potentiel de développement local.

En modernisant un procédé très traditionnel : l'adobe, il permet d'améliorer les constructions en milieu périurbain et/ou rural de forte densité, et de toucher de nouvelles couches de population restées jusqu'ici à l'écart d'une amélioration sérieuse de leur habitat.

4/ PERSPECTIVES EN MATIÈRE D'HABITAT

Grâce à certaines de ses caractéristiques, l'adobéton ouvre des perspectives particulièrement intéressantes en matière d'habitat.

La première perspective provient des écaïlles dont on peut varier la matière et l'aspect extérieur (couleur, état de surface, etc...). Ainsi, dans un certain nombre de pays (en Afrique équatoriale notamment), il peut être intéressant de développer l'adobrique, surtout dans les régions où la petite brique cuite est traditionnelle.

En effet, cette technique est très grande consommatrice d'énergie, le combustible étant en général le bois (ou plus précisément l'eucalyptus) et les fours - constitués par l'empilement des briques à cuire - étant des plus rudimentaires avec un rendement très médiocre.

En termes d'intrants énergétiques, la cuisson des seules écaïlles (c'est-à-dire du bardage extérieur des murs) au lieu de toute leur épaisseur, permettrait en principe une économie d'énergie de 85 %, sans même essayer d'améliorer le rendement du four !

Dans des pays comme le Rwanda, le Burundi ou la région bamiléké au Cameroun, l'adobrique pourrait représenter un excellent intermédiaire technico-économique entre le "stick-potopoto" et la terre cuite intégrale. De plus son impact sur

l'environnement serait hautement positif compte tenu :

* des fortes densités de population qu'on y rencontre et

* du relief accidenté de ces pays (où l'érosion est amplifiée par le déboisement).

La deuxième perspective provient des blocs dont on peut envisager de varier aussi la matière. En effet, dans un certain nombre de pays où il existe une industrie des phosphates (Maroc, Sénégal, Togo, Tunisie), les déchets représentés par le phosphogypse posent de sérieux problèmes d'environnement. Et jusqu'ici, leur valorisation éventuelle sous forme de plâtre destiné à la construction a toujours achoppé sur le coût de son indispensable épuration.

Or avec l'adobéton, on peut justement envisager un emploi sans épuration. En effet, le phosphoplâtre (plâtre tiré du phosphogypse par simple chauffage) se prête aussi bien que le plâtre au moulage.

Il suffit simplement d'en maîtriser la prise en y ajoutant, si nécessaire, un retardateur courant comme l'urée agricole.

Avec les écailles à l'extérieur (en béton ou en terre cuite) et un enduit classique à l'intérieur, on peut imaginer de réaliser des murs maçonnés avec de tels blocs. Cependant, tout cela demeure théorique tant qu'un certain nombre de vérifications indispensables - car de nature sanitaire - n'auront pas été menées. Le phosphogypse, en effet, est un produit à manier avec précaution du fait de sa radio-activité naturelle (celle de la roche phosphatée d'origine, mais est-elle supérieure à celle de nombre de pierres granitiques ?) et des traces d'éléments chimiques indésirables (surtout le chrome, mais à quelle concentration et sous quelle forme sont-ils éventuellement nuisibles ?).

La troisième perspective est de loin la plus intéressante. Elle provient de la très grande variété de terres utilisables dans l'adobéton, pourvu qu'elles aient une cohésion naturelle suffisante. Or c'est presque partout le cas dans les régions sahé-liennes et soudano-sahéliennes. En d'autres termes, on a très souvent

la possibilité de prendre la terre sur place, c'est-à-dire dans la parcelle elle-même, dans une parcelle voisine ou dans la voirie adjacente. Compte tenu des importants volumes nécessaires (de l'ordre de 0,5 m³ de terre par m² couvert), il se pose le même problème qu'en ingénierie routière : équilibrer les déblais et les remblais.

Les "remblais" étant les murs de la construction, il reste à donner une fonction d'habitat à (ou aux) excavation(s). On peut imaginer beaucoup de valorisations plus ou moins utiles (7), mais la plus prometteuse est représentée par les citernes enterrées. En effet, on constate la double correspondance suivante :

* volume de terre nécessaire à la construction = volume de l'excavation = capacité de la citerne = quantité d'eau tombant sur ladite construction pendant la saison des pluies dans ces régions (soit une pluviométrie de 500 à 1000 mm par an environ multipliée par l'aire de la toiture qui, en l'occurrence sert d'impluvium) ;

* capacité de la citerne = besoins minimaux journaliers en eau des occupants (selon la norme OMS de 25 litres / personne x jour) multipliés par le nombre de jours d'une saison sèche habituelle (7 mois, soit environ 200 jours).

Par exemple, une construction en adobéton de 100 m² (en rez-de-chaussée) demandera environ 50 m³ de terre. C'est aussi le volume de l'excavation que l'on valorise sous forme de citerne enterrée ; et on peut remplir celle-ci en une saison des pluies (50 m³ = 100 m² x 500 mm).

On peut considérer par ailleurs que la construction abrite une dizaine de personnes dont les besoins minimaux en eau (norme OMS) sont de 25 x 10 = 250 litres par jour, soit 250 litres x 200 jours = 50 m³ pendant toute la saison sèche. C'est justement le volume de la citerne ainsi associée à la construction.

On peut donc imaginer, dans les prochaines années, l'émergence d'une ingénierie innovante spécialisée dans la production d'un habitat économique amélioré à la périphérie de plusieurs grandes villes afri-

caines. La croissance démographique et l'importance des besoins humains qu'on y rencontre montrent, s'il en est besoin, les enjeux considérables qui s'attachent au développement d'une telle ingénierie.

Quant à ses méthodes et aux modalités possibles de sa mise en oeuvre, elles sont explorées dans un autre document (8) - de nature surtout organisationnelle - que l'on peut se procurer également auprès de l'EIER.

5/ DEVELOPPEMENT ACTUEL DE L'ADOBETON EN AFRIQUE ET CONCLUSION

5.a Point technique sur l'adobéton et ses variantes

L'adobéton est une technologie de construction de murs extérieurs durables utilisée principalement au Maroc et au Tchad.

Cette technique est fiable et complètement opérationnelle, du moins avec les écailles épaisses, même si elle reste perfectible sur certains points de détail comme l'amélioration du traitement des angles et des ouvertures (pour ces dernières, on s'oriente de plus en plus aujourd'hui vers des joues et des appuis préfabriqués de faible épaisseur en béton légèrement armé).

La principale action à mener désormais concerne la diffusion et la vulgarisation. C'est en ce domaine que vont porter les efforts de l'EIER dans les mois qui viennent.

Le message devrait être d'autant plus facilement reçu qu'avec la dévaluation du franc CFA et le renchérissement du coût du ciment, l'adobéton creuse l'écart sur le plan micro-économique.

L'adobrique, quant à elle, demeure encore dans le domaine expérimental. Une production pilote d'écailles industrielles minces va commencer à Ouagadougou. Leur mise en oeuvre sera identique à celle des écailles minces en béton (voir l'exemple du chantier du musée national du Tchad, place des Martyrs à N'Djaména).

Mais pour des raisons de distance de transport, l'adobrique "industrielle" restera nécessairement limitée à un certain rayon autour de l'usine de production. C'est pourquoi une autre filière est en cours de développement à l'EIER : l'adobrique "rustique".

Les écailles sont épaisses et moulées manuellement avec un petit outil en bois. Ensuite, elles sont cuites dans un four semi-enterré alimenté exclusivement par de la paille ou de l'herbe fauchée, donc sans bois. Bien entendu, la température de cuisson (600°C environ au lieu de 1000 à 1100°C) est très inférieure à celle des écailles industrielles ; et la qualité de ces produits s'apparente plus à celle des poteries traditionnelles comme les canaris.

Aussi leur durabilité à long terme doit-elle être assurée par un traitement de surface complémentaire comme, par exemple, une simple peinture à base de ciment.

A un niveau beaucoup plus prospectif, d'autres variantes techniques sont envisagées avec des écailles en plastique (traité contre les U.V.) ou avec des blocs à base de plâtre tiré sans épuration des déchets industriels de phosphogypse.

5.b Point sur les constructions en adobéton

On terminera par la présentation de quelques projets déjà menés à bien. Et on ajoutera quelques autres en cours ou en préparation.

Au Maroc, les principales constructions sont des maisons cantonnières réalisées pour le compte de la Direction des Equipements Publics (Ministère de l'Equipement et de la Formation Professionnelle).

Au Tchad, les principales opérations menées*** sont des bases phytosanitaires dans 8 villes du pays pour le compte de la FAO.

Les populations locales ayant demandé et récupéré les moules manuels à écailles à la fin des chantiers, il est vraisemblable que l'adobéton continue de s'y développer... dans l'anonymat.

On doit aussi ajouter une opération récente : le musée national du Tchad en plein N'Djaména avec des murs épais parfois de près d'un mètre, les blocs de "poto-poto" contenant beaucoup d'argile gonflante et n'étant pas stabilisés !

Au Burkina, on a réalisé pour le compte de l'E.I.E.R. divers locaux de service ainsi que l'hôtellerie des vacataires de passage, à la cité des 20 villas de professeurs (voir photo de 4ème de couverture).

Concernant les principaux projets, on notera surtout :

*** Architecte-constructeur :
Monsieur René SCHÄRER,
ONG Arc en Terre,
BP 748 N'Djaména - TCHAD
Tél / Fax : (235) 51 87 92



**Gauff
Ingenieure**

INGENIEURS CONSEILS

30 ans d'activités en Afrique

1 - **BURKINA FASO**
Ouagadougou
BP 3969 - Tél 33 41 56

2 - **COTE D'IVOIRE**
Abidjan
BP 851 - Tél 44 40 82

3 - **GABON**
Libreville
BP 13143

4 - **GUINEE**
Conakry
BP 797

5 - **KENYA**
Nairobi
PO Box 49817 - Tél 33 72 72

6 - **MALI**
Bamako
BP 701 - Tél 22 63 22

7 - **NIGER**
Niamey
BP 12715

8 - **NIGERIA**
Lagos
PO Box 8876

9 - **TANZANIE**
Dar Es Salam
PO box 4651 Tél 287 12

10 - **TCHAD**
N'Djaména
BP 23



11 - **OUGANDA**
Kampala
PO Box 201 Tél 23 13 54

12 - **Rép. D. CONGO (Ex Zaïre)**
Kinshasa
BP 2508 Tél 12/28262

13 - **ZAMBIE**
Lusaka
PO Box 32817 Tél 25 29 32

* la construction d'une école près de Ouagadougou dans le cadre de la phase pilote du projet "FAVRESC" (Formation-Action de Villageois pour la Réalisation de leurs Equipements Socio-Collectifs).

Cette action est soutenue par le FED et les coopérations autrichienne, belge et néerlandaise. Elle vise plusieurs objectifs dont les principaux sont les suivants :

- ° formation technique des artisans dans les villages,
- ° emploi de techniques HIMO (haute intensité de main d'oeuvre) et de matériaux véritablement locaux,
- ° participation populaire à la réalisation des équipements collectifs,
- ° exemplarité sociale, technique et financière des opérations devant assurer leur promotion et leur répétabilité dans les villages voisins ;

* la construction d'extensions du lycée technique de Maradi (Niger) dans le cadre d'une formation-action avec les élèves.

Des contacts préliminaires ont été pris aussi pour la construction de plusieurs écoles au Mali dans le cadre d'un volet du Projet Education, plus particulièrement dans des régions où une forte inertie thermique s'impose et qui s'avèrent déficitaires en granulats (pour le béton) et en terre géotechniquement convenable (pour la terre compressée stabilisée).

5.c Conclusion

On voit sur ces projets à court terme en adobéton la place centrale qu'y occupent les constructions scolaires et l'importance de la formation dans la mise en oeuvre.

Ceci implique sans doute, pour les constructions par entreprise classique, l'introduction de clauses particulières dans le cahier des charges comme, notamment, une exigence de stabilité des maçons sur le chantier.

Mais si, comme dans l'opération FAVRESC, le souci de formation devient aussi important que l'impératif de construction, alors il faut aller plus loin qu'une simple adap-

tation du cahier des charges et réaliser un montage approprié des opérations, ses principales caractéristiques étant les suivantes :

- * calendrier en phase avec le rythme du village (et donc des saisons),
- * opérateur unique ayant la responsabilité de l'animation villageoise, de la formation et de la qualité de l'exécution, donc
- * choix d'un opérateur moins soumis qu'une entreprise classique à des impératifs de rentabilité immé-

diante (ONG, projets, associations, etc...),

* introduction de spécifications particulières concernant l'encadrement de chantier et son appui.

Le développement de l'adobéton - et d'autres techniques HIMO à base de matériaux locaux - passe autant sans doute par le respect de ces conditions que par les différentes actions de diffusion et de vulgarisation que l'on peut entreprendre. □

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) "Documents normatifs de l'adobéton et de l'adobrique"
Michel MARTIN
LPEE 1990 / EIER 1992.
8 pages (Cahier des Prescriptions Techniques) + 11 pages (Cadre du Bordereau des Prix) + 84 pages, dont 43 de figures (Recommandations Constructives)
[Une version actualisée est en préparation].
- (2) "Architectures et Technologies Africaines Contemporaines"
Michel MARTIN, René SCHÄRER, Jean-François TERRET
http://www.refer.org/faso_ct/accueil2.htm (Rubrique « Technologie »)
Octobre 1997
[Il y a une soixantaine de photos et une dizaine de figures. Attention au temps de chargement si vous voulez tout voir !]
- (3) "Blocs de terre comprimée : équipements de production"
Hugo HOUBEN, Vincent RIGASSI, Philippe GARNIER
Editions du Centre pour le Développement Industriel ACP-CEE à Bruxelles
1994 - 149 pages.
- (4) "Un matériau pour les constructions rurales : la brique bi-couche"
Jean-Michel GRESILLON, V.DOURTHE
E.I.E.R. Bulletin Technique N°7
Juin 1981 - 32 pages.
- (5) "Suivi du prototype adobéton de 1989 à El Kalaa des Sraghna"
Toufiq MAHYAOUI, Mohammed EL KOTBI
Laboratoire Public d'Essais et d'Etudes (L.P.E.E.) Casablanca (Maroc)
Janvier 1995 - 13 pages.
- (6) "L'adobéton, c'est super-banco !"
Michel MARTIN, Amidou OUEDRAOGO
Film de sensibilisation tourné en HI8 et dupliqué en PAL
Avril 1997 - 12 minutes.
- (7) "Adobéton et habitat péri-urbain de moyenne densité"
Michel MARTIN
Communication au Séminaire Habitat II à Istanbul
Juin 1996 - 4 pages.
- (8) "Vers une ingénierie de l'habitat péri-urbain ?"
Michel MARTIN
E.I.E.R. - Formation continue "Habitat Economique Amélioré"
Avril 1997 - 7 pages.
- (9) "Construction d'une maison-témoin en adobéton"
Michel MARTIN, Sidiki COULIBALY
E.I.E.R. - 1994.
74 pages + 28 pages d'annexes.

Résumé

Initiée il y a quelques décennies, la technique du béton compacté au rouleau s'est beaucoup développée dans les pays du nord au cours des années quatre-vingt. Ce procédé, qui permet la construction de barrages-poids avec un mode de réalisation proche de celui utilisé pour les remblais en terre, offre en effet de nombreux avantages, le principal étant la rapidité d'exécution.

Mis en œuvre essentiellement pour des barrages de taille importante, le B.C.R. peut cependant trouver des applications intéressantes sur des ouvrages plus modestes, et en Afrique particulièrement. Lorsque de classiques barrages-poids en béton ou en maçonnerie sont projetés, le B.C.R. peut constituer une variante économiquement viable, surtout si, dans le contexte africain, on l'aborde dans une optique de chantier à haute intensité de main d'œuvre. Ceci est bien corroboré par exemple par l'expérience marocaine dont l'article décrit l'une des réalisations. Enfin notre propos est également étayé par l'analyse du cas du barrage des Olivettes en France.

Abstract

Initiated a few decades ago, Rolled Compacted Concrete technology was developed in northern countries all along the eighties. This process which allows construction of gravity dams with a method of realisation near to the one used for earth dams indeed gives many advantages, the main being quickness of execution.

Essentially used for important sized dams, R.C.C. can however be applied to lower structures, particularly in Africa. When classic concrete or masonry gravity dams are planned R.C.C. may be an economically viable variant, mainly if, in African context, it is considered like a high intensive labour experience. That is confirmed for example by the experience in Morocco : this paper describes one of their realisations. Lastly our subject is also supported by the analysis of the case of the dam of Olivettes in France.

LA TECHNIQUE DU BETON COMPACTE AU ROULEAU (B.C.R.)

POSSIBILITES D'APPLICATION POUR LES BARRAGES EN AFRIQUE

J-M. DURAND *

Ingénieur des Techniques de l'Équipement Rural
E.I.E.R.

G. DEGOUTTE

Ingénieur en Chef du GREF
ENGREF - 19, avenue du Maine
75 732 PARIS CEDEX 15

P. ROYET

Ingénieur en Chef du GREF
CEMAGREF
BP 31 Le Tholonet
16 612 AIX-EN-PROVENCE CEDEX 1

M. JENSEN

Stucky

INTRODUCTION

Depuis vingt à vingt-cinq ans, une technique nouvelle est apparue dans le domaine des barrages : le béton compacté au rouleau ou B.C.R.. Elle est innovante tant pour le matériau que pour sa mise en œuvre. Le matériau est composé de granulats, d'eau et de liants hydrauliques mis en place comme un remblai, essentiellement à l'aide des matériels classiques de terrassement, que ce soit pour son transport (camions), sa mise en place en couches minces (bouteur) ou son compactage (rouleau vibrant lourd). Cette technique s'inspire donc à la fois des procédés de construction des ouvrages poids en béton pour le dimensionnement de l'ouvrage et le matériau et des ouvrages en terre ou enrochements pour l'exécution du chantier. Ses gros intérêts sont sa rapidité d'exécution et le faible coût de mise en œuvre. Depuis qu'en 1988 a été mis en service le premier grand barrage français en B.C.R., un certain nombre d'autres ouvrages importants ont été réalisés. On peut citer notamment les barrages du Riou sur le Buech (20 m de hauteur), de la Touche Poupard, du Sep en France métropolitaine et de Petit-Saut en Guyane Française (40 m de hauteur et 400 000 m³ en volume).

Le continent africain n'est pas en reste puisque des réalisations notables ont été menées à bien en Afrique du Sud et au Maroc en particulier. D'autres applications peuvent être envisagées pour construire des barrages, même modestes.

Le présent article, qui est une adaptation d'une notice des Informations Techniques du CEMAGREF [1], vise à sensibiliser décideurs et concepteurs à l'intérêt de cette technique, nouvelle et encore rare dans le contexte africain, mais qui peut, sous certaines conditions s'avérer une solution judicieuse et économique.

I. HISTORIQUE

Le B.C.R., en anglais R.C.C. (Rolled Compacted Concrete) et sa variante japonaise R.C.D. (Rolled Concrete in Dam) sont issus d'évolutions amorcées ponctuellement dans les années 1960 en Italie et au Canada, la première réalisation en grande masse concernant la réparation de l'évacuateur de crues de Tarbela (Pakistan).

Le développement de cette technique s'accélère au début des années 80 avec la réalisation des premiers grands barrages au Japon d'abord, aux États-Unis et en Grande-Bretagne ensuite.

La technique japonaise (R.C.D.) utilise un matériau très proche des bétons classiques et une réalisation de barrages poids à plots indépendants équipés de joints de dilatation alors que la technique américaine (R.C.C.) emploie un béton maigre et une construction de barrage sans joint. C'est cette dernière technique qui s'est le plus largement répandue, en particulier en Australie, en Afrique du Sud, en Espagne et en France.

Fin 1988, une trentaine de barrages de plus de 20 m de hauteur étaient construits en B.C.R. à travers le monde (dont 20 achevés en 1987 et 1988). En outre, le B.C.R. est maintenant fréquemment utilisé pour la construction de batardeaux ou en fondation d'ouvrages.

En France, le barrage des Olivettes dans le département de l'Hérault a été achevé en décembre 1987 et constitue la première réalisation importante en B.C.R. avec une hauteur de 36 m et un volume de béton de 80 000 m³ (cf. V). Il a été précédé par la construction d'une petite digue à Saint-Martin-de-Londres, également dans l'Hérault et du batardeau du barrage de Pont-de-Veyrière en Ardèche.

II. DESCRIPTION DU PROCÉDE

Nous ne développerons pas ici la technique du R.C.D. japonais mise en œuvre essentiellement dans ce pays et économiquement moins intéressante.

II.1. Le B.C.R. est un béton faiblement dosé en liant

La teneur en liant est, en général, différente suivant les parties de l'ouvrage (plus élevée sur les parties externes), mais reste de l'ordre de 100 à 200 kg par m³.

Le liant est constitué de ciment et de cendres volantes, ces dernières dans une proportion pouvant aller jusqu'aux deux tiers du liant.

La réduction des quantités de ciment permet de diminuer les coûts et d'obtenir un liant à prise lente, ce qui diminue l'élévation de

température provoquée par la prise du béton et limite le retrait thermique.

II.2. Le B.C.R. est mis en œuvre à faible teneur en eau

Le passage des engins de compactage exige un produit très sec, tel que l'affaissement au cône d'Abrams soit nul. La détermination de la teneur en eau optimale se fait couramment, comme en mécanique des sols, à l'aide de l'essai Proctor sur grand moule afin de tenir compte de la granulométrie du matériau. On utilise aussi un essai dénommé VeBe consistant à étudier le comportement d'éprouvettes normalisées sur une table vibrante.

La faible teneur en eau à la mise en œuvre permet ainsi de diminuer le retrait hydraulique du béton et d'améliorer sa résistance à long terme, toutes choses égales par ailleurs. Ce sera bien sûr également un atout pour réaliser des chantiers en Afrique sèche où l'approvisionnement en eau pose souvent des problèmes difficiles à résoudre.

II.3. Le B.C.R. est mis en œuvre en couches minces

Le matériau, fabriqué dans des centrales à béton classiques ou à malaxage continu à gros débit, est acheminé sur l'ouvrage par camion-benne ou bande transporteuse.

Il est étalé au boteur en couches minces de 0,30 à 0,50 m. L'épaisseur des couches est commandée par des contraintes d'efficacité de compactage et de cadences de chantier. Le point délicat est la liaison entre couches successives qui présente une double faiblesse potentielle : forte perméabilité et résistance mécanique médiocre.

L'idéal pour avoir une bonne liaison consiste bien sûr à mettre en place la couche supérieure avant que la couche inférieure n'ait fait prise (reprise chaude), ce qui dispense de la mise en place d'un mortier.

Il faut par ailleurs éviter les différences de granulométrie entre la partie inférieure et la partie supérieure d'une couche (ségrégation, remontée de laitance). Lorsque le temps entre la mise en place de deux couches successives dépasse une certaine limite (dépendant du type de ciment et de la température ambiante), on est dans les conditions d'une reprise froide et il est nécessaire de traiter les liaisons entre couches par un mortier de reprise sur 2 à 3 cm d'épaisseur.

II.4. Le B.C.R. est fortement compacté

L'intérêt de l'utilisation des rouleaux vibrants par rapport à la mise en œuvre classique avec aiguille vibrante, est triple :

- ils sont plus adaptés à la faible plasticité du mélange ;
- ils ont un grand rendement ;
- ils compactent le matériau avec une énergie beaucoup plus élevée, ce qui permet d'approcher les densités obtenues avec un béton classique.

II.5. L'ouvrage doit avoir une étanchéité spécifique

Un ouvrage réalisé en béton compacté au rouleau ne peut en général pas être considéré comme étanche en grand, surtout du fait des reprises entre couches. C'est pourquoi l'étanchéité de certains barrages construits en B.C.R. est assurée par un parement amont vertical en béton vibré traditionnel, équipé de joints de dilatation avec waterstops. Ce parement amont sert de coffrage pour le B.C.R. du corps de barrage (cas du barrage de Petit Saut). Cette étanchéité pourrait être également assurée par une géomembrane ou un enduit approprié sur le parement amont de l'ouvrage (cas du barrage du Riou).

Il est enfin des cas où l'étanchéité n'est pas un objectif fondamental et où le B.C.R. peut se suffire à lui-même, moyennant quelques précautions : barrages uniquement écrêteurs de crues, batardeaux provisoires, etc.

III. INTERET DU B.C.R. ET DOMAINES D'UTILISATION

III.1. Intérêt économique

On considère en général que le coût du m³ de B.C.R. mis en œuvre dans un barrage poids est en moyenne deux fois inférieur à celui d'un béton classique (non compris des traitements particuliers entre couches). Cette proportion tend à augmenter avec les quantités mises en œuvre. Mais ce rapport est évidemment moins élevé si l'on considère l'ensemble de l'ouvrage incluant le traitement de la fondation, le déversoir et les ouvrages annexes.

La comparaison entre le barrage poids classique et le barrage poids en B.C.R. est facilitée par un certain nombre de constantes entre ces deux solutions : provenance souvent identique des matériaux ; travaux de fondation semblables ; déversoir identique ; profils voisins. Par contre la comparaison avec d'autres solutions telles que barrages en terre ou en enrochements, à zones ou à masques, nécessite une étude approfondie de la qualité, de la quantité et de la provenance des matériaux, ainsi que des conditions de fondation. Les ouvrages récents réalisés en B.C.R. ont souvent fait apparaître que l'adoption de ce procédé permet d'espérer une économie globale de 10 à 20 % par rapport à des solutions terre ou enrochements, pour autant que les fondations soient favorables à la réalisation d'un barrage poids.

III.2. Intérêt du point de vue des délais de réalisation

Un des atouts majeurs du B.C.R. est de permettre des cadences élevées pour la réalisation du barrage, le facteur limitant étant en général la centrale à béton. On atteint couramment des rythmes d'élévation de l'ouvrage de 1 m par jour. Cet atout peut donc s'avérer primordial dans certains cas de contraintes climatiques particulières ou de périodes d'étiage courtes. De plus l'expérience a montré que les barrages en B.C.R. pouvaient, sans

grands dommages, supporter un déversement en cas de crue importante survenant pendant la construction.

IV. PERSPECTIVES DE DEVELOPPEMENT DE CETTE TECHNIQUE EN AFRIQUE

Les précédentes décennies ont été marquées par une baisse tendancielle de la proportion de barrages en béton réalisés dans le monde, baisse due essentiellement aux progrès considérables dans les engins et techniques de terrassement qui ont permis en corollaire le développement des barrages en terre. L'arrivée récente de la technique du B.C.R. a d'ores et déjà réussi à infléchir cette tendance.

Cependant, elle a jusqu'ici surtout concerné des barrages de taille importante. L'intérêt économique du B.C.R. consiste en effet à pouvoir édifier des ouvrages de grand volume avec des cadences de chantier élevées.

Mais le B.C.R. peut trouver des applications intéressantes sur des ouvrages plus modestes (retenues de type collinaire). Il pourra en particulier être compétitif du point de vue économique dans le cas de petits barrages de grande longueur, comme on en réalise dans de nombreuses zones à faible relief en Afrique. En fait, il semble que l'on pourrait situer le seuil de rentabilité dans le contexte africain autour de 40 000 à 50 000 m³.

L'expérience marocaine (cf. V.2.) montre par ailleurs que la technique du B.C.R. peut être compétitive par rapport à de classiques barrages en maçonnerie.

En Afrique, on peut en effet envisager des chantiers à haute intensité de main d'œuvre à faible coût et utilisant des moyens peu mécanisés (un matériel minimum est cependant indispensable pour le contrôle du béton, son transport et son compactage).

Un autre argument peut être la rapidité d'exécution : elle permet en effet de réaliser rapidement le chantier avant le début de la saison des pluies dans les pays soumis au régime tropical.

Et même si des pluies précoces surviennent, on a vu que l'ouvrage était en mesure de résister à une surverse se produisant en cours de construction.

Cependant, la mise en œuvre de la technique du B.C.R. suppose qu'un certain nombre de conditions favorables soient réunies, comme par exemple la présence d'une fondation rocheuse et la disponibilité à proximité du site de granulats en quantité suffisante.

Enfin, même si, comme on l'a vu, le B.C.R. est compacté à faible teneur en eau, les volumes mis en jeu nécessitent tout de même une disponibilité en eau non négligeable. Si ces conditions sont réunies, les quelques arguments cités ci-dessus pourraient amener les concepteurs de barrages en Afrique à considérer les ouvrages en B.C.R. comme une alternative possible et économiquement intéressante.

V. DEUX EXEMPLES D'APPLICATION DU B.C.R. DANS LE DOMAINE DES BARRAGES

V.1. Le barrage des Olivettes (France)

V.1.1. Cadre du projet

Le barrage des Olivettes, dont la retenue totale est de 6,7 million de m³ pour une hauteur maximale de 36 m, a pour objectif le contrôle des crues du haut bassin de la Peyne qui contribuent pour une bonne part aux inondations de la basse vallée de l'Hérault.

Il a, par ailleurs, une fonction de stockage pour l'irrigation des plaines en aval, en particulier de la zone nord de Pézenas (photo 1).

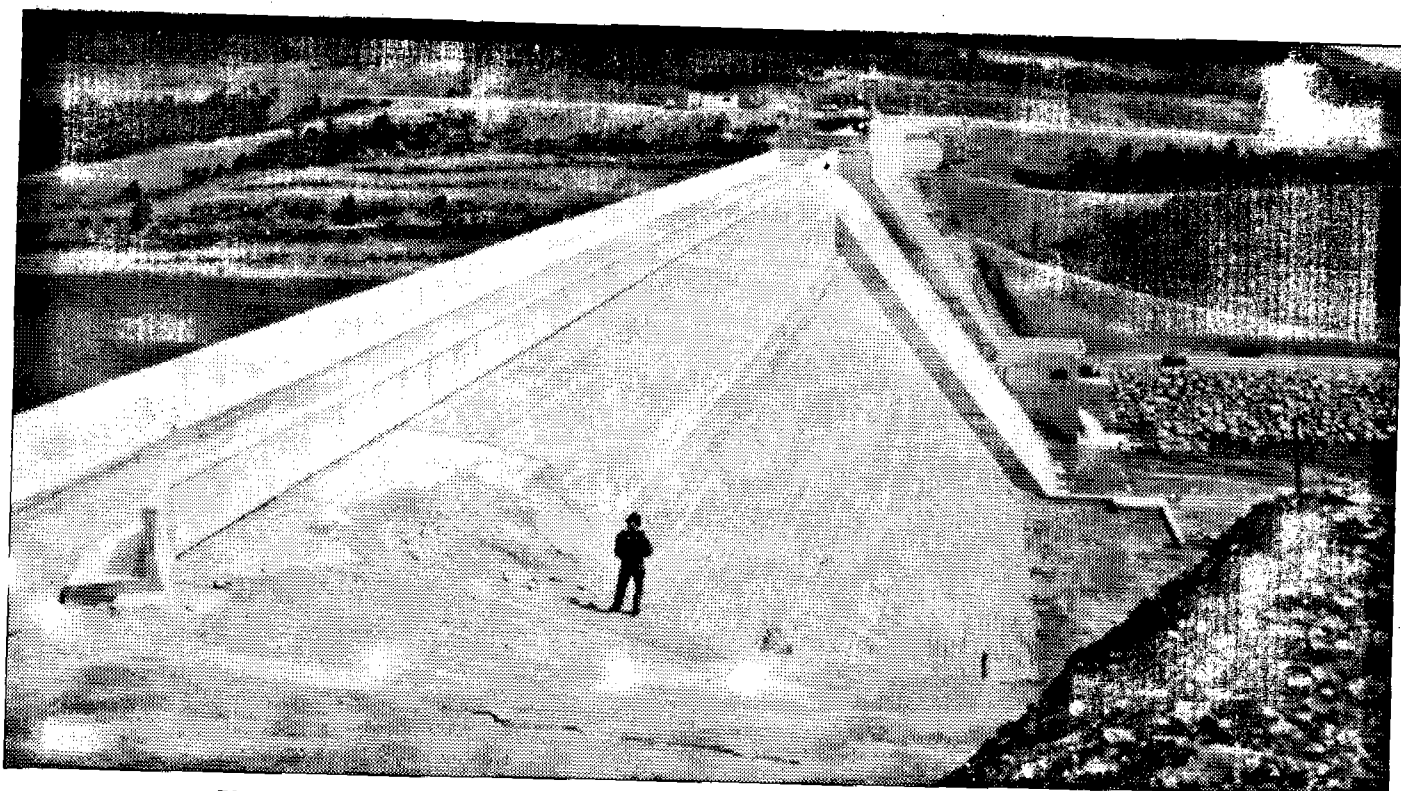


Photo 1 : Le barrage des Olivettes terminé (source : CEMAGREF, groupement d'Aix-en-Provence).

V.1.2. Raisons du choix de la solution barrage en B.C.R.

Le site du barrage et la cuvette de retenue s'inscrivent en totalité dans une série de schistes (Flysch du Viséen supérieur) couverts d'alluvions en fond de vallée, d'éboulis et de colluvions en versant.

Au droit du site, les schistes, altérés en partie supérieure, présentent, à une profondeur de 2 à 3 m en fond de vallée et de l'ordre de 10 m en versant, des caractéristiques mécaniques correctes pour supporter un barrage de 30 à 40 m de hauteur.

Ces conditions de fondation, ainsi que la présence à proximité du site d'un plateau basaltique susceptible de fournir des enrochements, ont conduit à proposer une solution de barrage en enrochements à masque amont en béton bitumineux après comparaison avec une solution de barrage à voûtes multiples. C'est donc sur la base de la solution digue en enrochements que la consultation des entreprises a été lancée.

Une variante en B.C.R. a été propo-

sée, qui s'est avérée techniquement et économiquement intéressante.

La mise au point de cette solution a été le fruit d'une collaboration étroite entre le maître d'œuvre

mois seulement et que l'on pouvait a priori estimer l'économie à environ 11% du coût de la solution initiale.

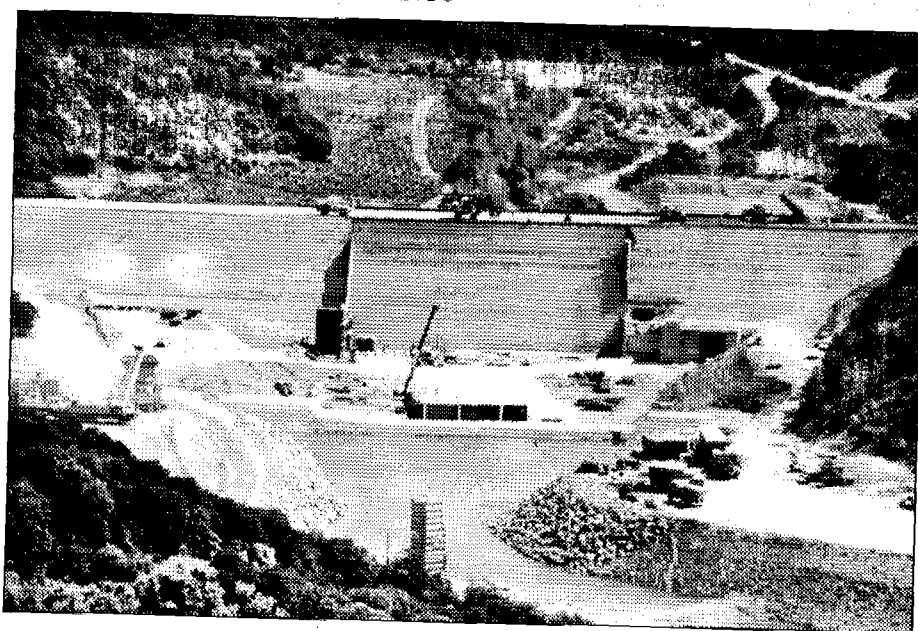


Photo 2 : Le barrage en chantier vu de l'aval, avec l'atelier de mise en œuvre du B.C.R. et compactage. Au premier plan, la contre-digue aval en B.C.R. (source : CEMAGREF, groupement d'Aix-en-Provence).

(CNABRL) et le pilote du groupement d'entreprises (BEC) sous le contrôle du conducteur de l'opération (DDAF). A l'issue de cette mise au point, il est apparu que le barrage serait réalisable en dix-huit

V.1.3. Dispositions d'ensemble

Le profil du barrage est du type poids à parement amont vertical avec un parement aval d'un fruit de 0,75 et un couronnement de 5 m de

largeur. D'implantation rectiligne, sa longueur en crête est de 254 m pour une hauteur maximale au dessus de ses fondations de 36 m. (photo 3).

- agrégats calcaires :

14 - 63 mm
0 - 14 mm
0 - 2 mm

850 kg/m³
1110 kg/m³
220kg/m³

250 kg/m³ de Rolac de 2 à 3 cm d'épaisseur et de 3 m de largeur.

Le talus aval est compacté selon le rampant de façon à lui conférer un maximum de résistance aux intempéries (ruissellement, gel, dégel), à l'aide d'un dispositif monté sur pelle mécanique et spécialement conçu à cet effet. Le profil en partie déversante (figure 2) comporte, en partie supérieure, un seuil de profil type Craeger prolongé le long du parement aval par des marches de 60 cm de hauteur : le seuil et les marches sont en béton traditionnel dosé à 350 kg de ciment par m³.

Les marches, réalisées toutes les deux couches, sont ancrées au B.C.R. par un treillis soudé : cette disposition, outre sa simplicité d'exécution, présente l'avantage hydraulique de réduire de plus de 60 % l'énergie résiduelle à dissiper au pied aval du barrage pour la crue de projet.

L'ensemble du barrage est drainé tant dans sa masse qu'en fondation par un réseau de drains forcés. Ces drains débouchent dans une galerie de visite périmétrale.

Sa partie centrale est déversante. Elle constitue l'évacuateur de crues principal capable d'évacuer 290 m³/s (crue de période de retour 5000 ans après écrêtement).

Un pertuis de 22 m³/s de capacité, calé 3,50 m plus bas que le seuil d'évacuation principal et disposé en extrémité rive gauche de celui-ci, permet de marquer le niveau de la retenue normale. Un ouvrage de prise et de vidange d'un débit maximal de 11 m³/s complète l'équipement hydraulique.

L'ensemble des débits évacués est restitué dans le bassin de dissipation, délimité en aval par une contre-digue en B.C.R. de 4,5 m de hauteur qui a, en outre, servi de planche d'essai de mise en place du B.C.R. en début des travaux.

V.1.4. Conception du profil du barrage

La composition du B.C.R. a été étudiée pour atteindre une résistance à 90 jours de 12 Mpa en compression et de 1,5 Mpa en traction :

- liant «Rolac» de Lafarge : 130 kg/m³

- eau : 140 l/m³.

Avec cette composition et un compactage à 100 % de l'optimum Proctor modifié, la densité obtenue est égale à 2,4 et la perméabilité verticale de l'ordre de 10⁻⁹ m/s. L'étanchéité amont du massif (figure 1) est assurée par un béton de parement (0 - 63 mm) dosé à 250 kg de Rolac par m³ mis en place au fur et à mesure de la montée des couches de B.C.R., et par un mortier de liaison entre couches (0 - 14 mm) dosé à

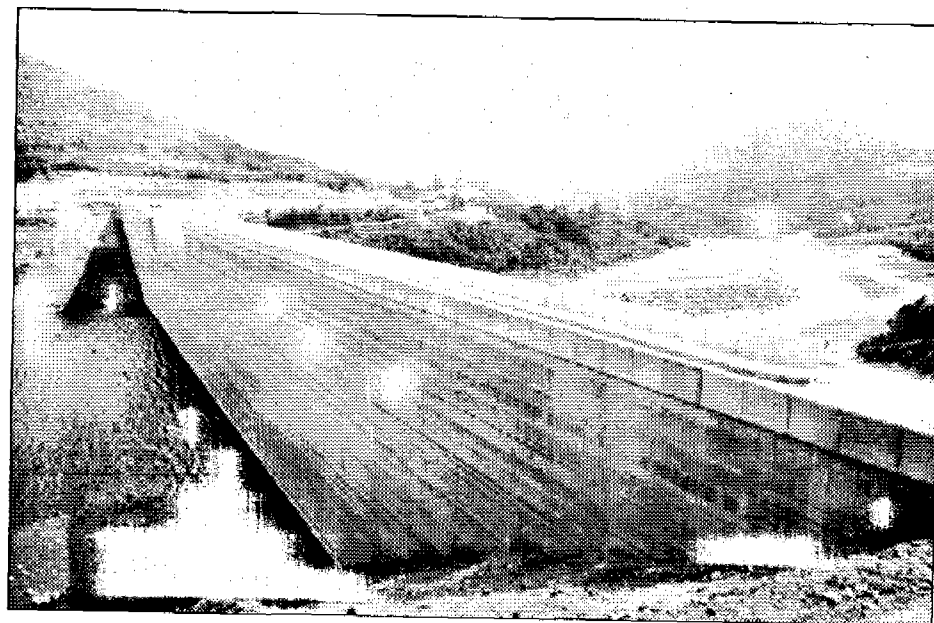


Photo 3 : Barrage des Olivettes : le parement amont (source : CEMAGREF, groupement d'Aix-en-Provence).

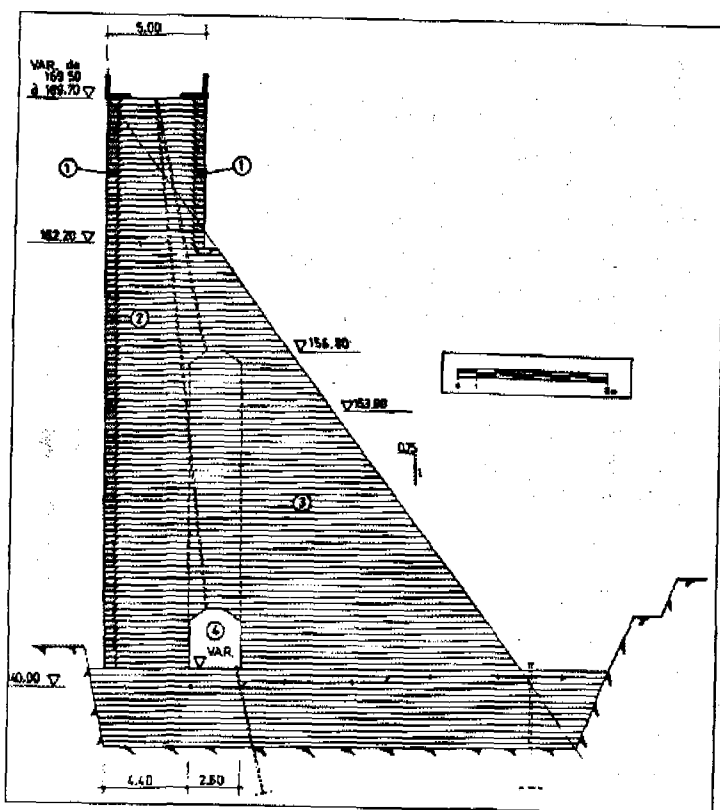


Figure 1 : section type : 1. Béton de parement ; 2. Mortier entre couches ; 3. B.C.R. (130 kg de liant par m³) ; 4. Galerie de contrôle.

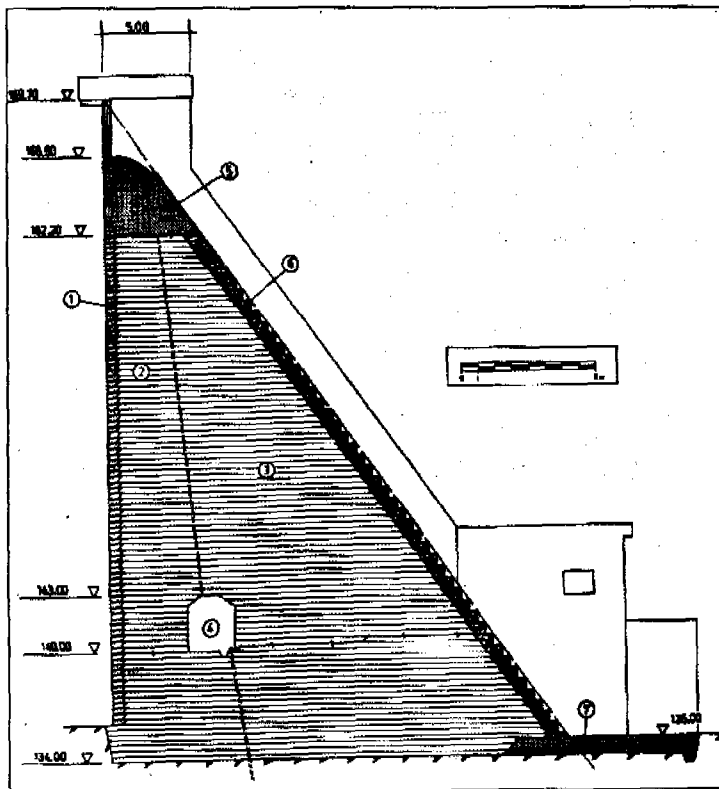


Figure 2 : Section deversante : 5. Seuil deversant ; 6. Marches (béton à 350 kg de ciment par m³) ; radier aval (béton à 350 kg de ciment par m³).

V.1.5. Méthodes de réalisation

Pour cette première réalisation d'importance (le barrage des Olivettes est le premier grand barrage français en B.C.R.), l'effort a porté sur une bonne maîtrise de certains paramètres retenus et sur la préparation du chantier :

- l'épaisseur des couches (30 cm) a été celle retenue pour la plupart des ouvrages d'autres pays ;

- la possibilité d'employer des agrégats de qualité médiocre n'a pas été utilisée ;

- la cadence de construction a été limitée à une couche par jour, pour permettre une bonne organisation de chantier et des travaux de qualité. Cette cadence a été acceptable en ce qui concerne la qualité des liaisons entre couches successives, grâce à l'emploi d'un liant hydraulique à début de prise retardé, le Rolac de Lafarge.

Une planche d'essai a permis de définir l'intensité du compactage, la dimension optimale des granulats, le dosage en liant et le traitement des reprises.

La définition des essais de contrôle est particulièrement délicate dans le cas du B.C.R. : ce matériau, mis en œuvre comme un remblai, est, après prise, très semblable à un béton. La montée de l'ouvrage est donc très rapide et les délais de réaction très courts. Le processus adopté a été le suivant :

- contrôle systématique des matériaux avant mise en œuvre, tout au long de la chaîne de fabrication, depuis l'extraction en carrière jusqu'à la centrale à béton (formalisation dans un Plan d'Assurance Qualité) ;
- contrôle de réception des couches par mesure des densités et teneurs

V.1.6. Organisation du chantier

Les bétons du chantier ont été fabriqués dans deux centrales :

- une centrale à malaxage continu, d'une capacité de 400 t/h, pour le béton à compacter ;

- une centrale à malaxage discontinu, d'une capacité de 50 m³/h, pour les mortiers et bétons classiques. Le B.C.R. a été mis en place au moyen de camions, de bouteurs, de niveleuses et de compacteurs vibrants de type V4, l'épaisseur des couches (30 cm) étant obtenue avec précision à l'aide d'un système laser. L'atelier de terrassement était précédé par un atelier de nettoyage de la surface et, dans la partie amont, par un atelier d'épandage de mortier. Une fois le compactage de la levée terminé, la cure du béton était assurée par l'arroseuse du chantier. La galerie de drainage a été réalisée simultanément à la mise en œuvre du B.C.R., de la façon suivante :

- mise en place de gravier au lieu de B.C.R., sur la trace de la galerie ;
- formation du toit de la galerie en B.C.R. armé horizontalement ;
- déblaiement de la galerie par un petit chargeur minier (photo 4).



Photo 4 : Barrage des Olivettes : la galerie (source : CEMAGREF, groupement d'Aix-en-Provence).

en eau à l'aide d'un gammadensimètre ;

- contrôle statistique par mesure des perméabilités et résistances sur éprouvettes.

Les ouvrages de génie civil de la vidange de fond, en particulier la tête amont, ont été construits pendant un arrêt de mise en place du B.C.R., la galerie de vidange elle-

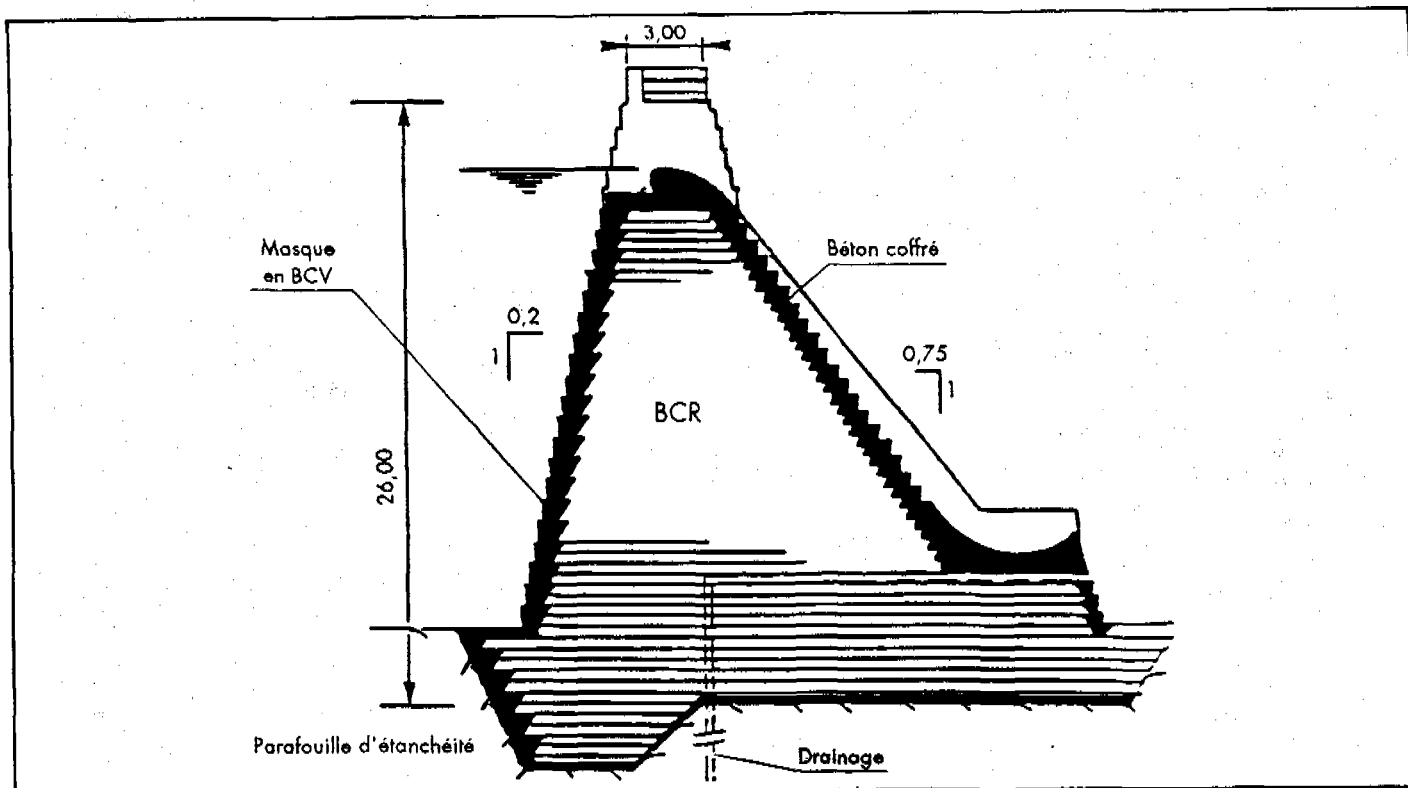


Figure 3 : Coupe type du barrage d'El Koreima [2].

même étant réalisée comme la galerie de drainage.

V.1.7. Une application du B.C.R. concluante

Le barrage des Olivettes a été réalisé dans le délai prévu et avec une économie estimée à 14 % par rapport à la solution de base en encochements. Il donne entière satisfaction, malgré l'apparition de trois fissures verticales traversantes. Ces fissures étaient prévisibles, le corps du barrage ne comportant pas de joints transversaux, par souci d'optimisation économique. Elles ont été aisément réparées par un produit à base d'élastomère de polyuréthane.

V.2. Le barrage d'El Koreima (Maroc) [2]

Le barrage d'El Koreima a été réalisé en 1989 près de Rabat. D'une hauteur de 26 m, il est constitué d'un volume de 25 000 m³. C'est un exemple intéressant dans le cadre de cet article car le projet a été délibérément abordé dans une optique de petit barrage.

L'approche utilisée (moyens réduits

en matériel, main d'œuvre abondante) s'apparente en effet aux méthodes de construction des barrages en maçonnerie, telles qu'on peut les pratiquer par exemple dans les Monts Mandara au Nord Cameroun.

Une coupe type de ce barrage est représentée sur la figure 3. Le profil est à double pente avec un fruit amont de 0,2H / 1V et un fruit aval de 0,75H / 1V pour la partie non déversante et 0,6H / 1V pour la zone déversante. Le fruit amont a été prévu pour faciliter le coffrage du parement.

L'étanchéité est assurée par la présence d'un masque amont en béton armé, prolongé en fondation par une tranchée parafouille. On peut également constater sur la coupe qu'il n'a pas été prévu de galerie de drainage (la hauteur du barrage n'est pas trop importante).

Mais le drainage du corps de l'ouvrage et de la fondation est réalisé par des drains horizontaux et verticaux débouchant au pied aval. Notons enfin que les comparaisons

de coûts effectués par les services de l'hydraulique marocains ont démontré que la solution B.C.R. pouvait conduire à des économies d'environ 40 % par rapport à des ouvrages classiques en maçonnerie. □

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] L'utilisation de la technique du béton compacté au rouleau (B.C.R.) pour les barrages - G. DEGOUTTE ; P. ROYET ; M. JENSEN - Informations techniques du CEMAGREF n° 74, note 1 - juin 1989.
- [2] Petits barrages - Recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi - Sous la coordination de G. DEGOUTTE - CEMAGREF Editions - 1997.
- [3] Le béton compacté au rouleau - les barrages en B.C.R. - Projet National BaCaRa 1988-1996 - Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées - 1996.

LA VIE DE L'E.I.E.R.

Arrivée et départ d'enseignants et cadres :

- A la fin de l'année scolaire 1996-97,
l'E.I.E.R. a constaté les départs suivants :
- * **M. TRAN MINH Duc**,
Directeur de la Recherche et de l'Ingénierie,
- * **M. LIVOLANT Pierre Yves**,
Chef des Services Techniques,
- * **MM. NIGG Urs**,
Enseignant en Hydrologie et
Daniel ROMAIN,
Enseignant en Electrotechnique,
- * **Mme Eva GORANSDOTTER JANSON**,
Sociologue mis à la disposition de l'E.I.E.R.
par la Coopération Danoise.
- A la rentrée 1997-98,
les arrivées suivantes ont été enregistrées :
- * **M. Claude HENNION**,
Chef des Services Techniques,
- * **M. Hama YACOUBA**,
Enseignant en Agronomie Appliquée,
- * **M. Philippe GINESTE**,
Enseignant en Hydrologie et Hydraulique
Appliquée,
- * **M. Marcel DUBOIS**,
Enseignant en Electrotechnique.

Participation à des réunions, conférences et colloques

1. **DIENG Babacar**, Directeur des Etudes :
21-22 Novembre 1998 à Montpellier Réunion du
programme NECTAR/WATER.
2. **COULIBALY Yézouma**, Chef du Département EDR
21-29 Novembre 1997 à Yaoundé - Séminaire sur
le séchage solaire.
3. **CISSE Guéladio**, Chef de département Génie
Sanitaire :
21 Novembre au 07 Décembre 1997 Bâle et Zurich
(Suisse) - Réunion du Groupe des Projets du Fond
National de Recherche en Suisse "
Environnement Urbain ".
4. **DIENG Babacar** et **BENGELOUNE Azzedine**,
Responsable de la Spécialisation Informatique
Appliquée aux Sciences de l'Eau 01-05 Décembre
1997 à Lomé Colloque sur Equivalence des
Diplômes.

5. **MARTIN Michel**, Chef de Département Génie Civil
12-17 Janvier - Montréal Festival du film
technique.
6. **MAIGA Hama Amadou**, Directeur de la Recherche
et de l'Ingénierie :
10-22 Février à Casablanca - Congrès de l'UADE.

Recrutement d'enseignants (ressortissants d'un des Etats membres)

- **Enseignant en adduction d'eau potable**
(date limite de dépôt des dossiers : 31 Janvier 1998).
- **Enseignant en environnement** : 2ème
appel de candidature avec date limite de dépôt des
dossiers : 28 Février 1998.

Pour toutes informations complémentaires, s'adresser
à la Direction de l'Ecole ou aux Représentants de
l'Ecole dans les Etats membres.

Recrutement d'élèves et stagiaires pour les formations de l'E.I.E.R.

- Formation Initiale d'Ingénieurs de l'Equipe-
ment Rural : pour les candidats de niveau DEUG2 en
sciences (concours direct) et techniciens supérieurs
(concours professionnel).

Date concours : **21 au 24 Avril 1998.**

Date limite pour dépôt des dossiers: **06 Avril 1998.**

- Formations Post-Universitaires de Spécialisa-
tion : dans les domaines suivants :

1. Génie Sanitaire,
2. Hydraulique Agricole,
3. Mobilisation des Ressources en Eau,
4. Informatique Appliquée aux Sciences de l'Eau.

Pour des candidats titulaires d'un diplôme d'ingénieur
ou d'une maîtrise en Sciences et Techniques.

Date du test de niveau : **12 Mars 1998.**

Date limite de dépôt des dossiers : **02 Mars 1998.**

- Cycle Post-Grade sur le Développement :
l'E.I.E.R. en collaboration avec l'Ecole Polytechnique
Fédérale de Lausanne (Suisse) organise à Ouagadougou
de mi-October à fin Février 1999, le Cycle Post-
Grade sur le Développement. Ce cycle accueillera des
stagiaires professionnels de profils variés et venant
d'horizons divers : Europe, Afrique, Asie... Cette for-
mation est sanctionnée par un diplôme conjoint
E.I.E.R./E.P.F.L.

GROS PLAN SUR...

Le CEFOC : Un centre de formation continue commun à l'E.I.E.R. et à l'ETSHER

Les Ecoles Inter Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural et des Techniciens Supérieurs de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural réalisent des actions de formation professionnelle continue depuis 1984. Le volume d'activité dans chacune des institutions a régulièrement augmenté et a entraîné, dès 1987, la création d'un service de formation continue dans chacune des deux Ecoles.

Vers la fin des années 80, les bouleversements sur le plan économique dans les états membres du Conseil d'Administration des deux écoles entraînent une diminution et une requalification des agents de la fonction publique et, dans le même temps un développement du secteur privé qui crée de nouveaux emplois et de nouvelles compétences. Cette évolution, n'est bien sûr pas sans conséquence sur les politiques de formation et les deux Ecoles se devaient de l'accompagner.

Les conséquences pour l'activité Formation Continue peuvent se résumer en quatre points :

- développer une capacité d'analyser en permanence les évolutions du milieu socioprofessionnel ;
- intégrer dans les formations des aspects liés au management, à la communication, à la gestion et à la socio-économie ;
- concevoir des formations qui s'intègrent dans la politique de gestion des ressources humaines des entreprises ;
- offrir de nouveaux services aux employeurs parmi lesquels l'analyse des besoins et la construction de réponses en formation adaptées.

Pour pouvoir mener à bien ces activités, il était nécessaire de développer au sein des deux Ecoles des capacités d'analyse de la demande en formation ainsi que des

capacités de conception de formations adaptées à cette demande. Il apparaît clairement que la phase d'analyse des besoins peut et doit être réalisée sur l'ensemble des secteurs d'activités professionnelles couverts par les deux Ecoles Inter Etats.

Une mise en commun des moyens s'est donc imposée au sein des deux équipes et a abouti à la création, le 1er janvier 1997, du Centre de Formation Continue EIER/ETSHER, sigle CEFOC.

Aujourd'hui, après six mois d'exercice, le CEFOC propose les prestations suivantes :

♦ des actions de formation programmées selon le calendrier ci-joint. Les stages proposés sont de deux types :

- stages "Inter Etats" de courte durée destinés à des cadres et techniciens des Etats membres : 20 stages programmés en 1997-1998,

- stages "In situ" destinés à répondre à des besoins nationaux identifiés, la formation est conçue à Ouagadougou et est diffusée dans les pays intéressés diminuant aussi les coûts : 3 stages prévus en 1997-1998.

♦ des missions d'ingénierie de la formation comprenant :

- l'analyse des besoins auprès des structures employeuses qui en font la demande,

- la conception de formations adaptées à cette demande.

♦ des actions de formation à la carte en réponse à des demandes de structures nationales ou internationales, publiques ou privées.

Durant le premier semestre 1997, nous avons réalisé des marchés de mission d'ingénierie de la formation et des stages à la carte pour :

- l'Office du Niger (Mali),
- la Direction Nationale du Génie Rural (Guinée),
- le Service National d'Aménagement des Points d'Eau (Guinée),
- et le Centre pour l'Environnement et le Développement en Afrique (CEDA/Bénin).

Nous programmons pour cette année 1997-1998, des activités de ce type avec :

- le Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche au Togo,
- la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Énergie au Mali,
- la Société du Développement du Lac au Tchad à N'Djamena,
- le Programme de Développement Municipal au Bénin.

♦ un autre type d'action à la carte a également été réalisé dans le domaine de la micro informatique appliquée aux domaines de l'Équipement Rural et de l'Hydraulique. Il répond à des demandes émanant principalement des bureaux d'études privés. Dans cet esprit, un stage " Conception routière à l'aide du logiciel PISTE PLUS " a déjà été diffusé trois fois (une édition à Ouagadougou et deux éditions à Bamako). Il offrait la possibilité, aux participants d'acheter le logiciel. Une ou plusieurs éditions de cette formation sont prévues pendant cette année 1997-1998, au Burkina Faso et au Bénin.

Pour toutes informations sur les prestations proposées par le CEFOC, nous vous invitons à prendre contact aux coordonnées ci-dessous.

**Centre de Formation Continue
E.I.E.R./ETSHER (CEFOC)**

**01 BP 594 OUAGADOUGOU 01
BURKINA FASO**

Tél. (226) 31 92 25/18

Fax (226) 31 92 26

E.mail : chochon@fasonet.bf



**CENTRE DE FORMATION
CONTINUE EIER/ETSHER**

CEFOC

01 BP 594 OUAGADOUGOU 01

Tél. (226) 31.92.25/18/03/04

Fax (226) 31.92.26

E.mail : chochon@fasonet.bf



**PROGRAMME DE FORMATION CONTINUE
1997/1998**

Photo-interprétation au Service du Développement Rural	27-oct-97	07-nov-97
Base de données : Conception et Mise en Oeuvre	03-nov-97	21-nov-97
Profession : Chef de Chantier (SENEGAL)	03-nov-97	21-nov-97
Etude d'Impact sur l'Environnement	24-nov-97	12-déc-97
Diagnostic et Aménagement des Bas-Fonds en Zone Soudano-Sahélienne	01-déc-97	12-déc-97
Blocs de Terre Comprimée : Production et Mise en Oeuvre (module 1) (MALI)	12-jan-98	23-jan-98
Audit Energétique Industriel	19-jan-98	30-jan-98
Elaboration de Projets de Développement Rural (CÔTE D'IVOIRE)	02-fév-98	27-fév-98
Logiciels pour la Conception des Petits Barrages	09-fév-98	13-fév-98
Blocs de Terre Comprimée : Production et Mise en Oeuvre (module 2) (MALI)	09-fév-98	20-fév-98
Pratique des SIG pour l'Environnement, la Gestion des Ressources Naturelles et la Gestion Urbaine	02-mar-98	20-mar-98
Gestion de la Maintenance pour l'Eau et l'Assainissement en Milieu Rural	09-mar-98	27-mar-98
Conception et Maintenance des Installations Photovoltaïques	23-mar-98	03-avr-98
Les Outils de Gestion Financière d'une Entreprise	30-mar-98	10-avr-98
Les Toitures en Tuiles de Mortier Vibré : Production et Mise en Oeuvre (module 1) (BENIN)	30-mar-98	10-avr-98
Ingénierie Participative du Développement	14-avr-98	24-avr-98
Gestion de Parc Matériel et des Stocks de Pièces Détachées	20-avr-98	08-mai-98
Les Toitures en Tuiles de Mortier Vibré : Production et Mise en Oeuvre (module 2) (BENIN)	04-mai-98	15-mai-98
Gestion Communautaire des Mini-Réseaux d'Alimentation en Eau en Zones Rurale et Périurbaine	04-mai-98	22-mai-98
Normalisation, Démarche Qualité et Garantie des Constructions	25-mai-98	29-mai-98
Gestion et Maintenance des Stations de Pompage	01-jun-98	12-jun-98
Direction et Contrôle des Travaux	26-oct-98	06-nov-98
Base de Données : Conception et Mise en Oeuvre	02-nov-98	20-nov-98
Prototypes d'Habitats Economiques	23-nov-98	11-déc-98
Aménagement et Mise en Valeur des Bas-Fonds des Zones Humides	30-nov-98	11-déc-98

Crués et apports

Manuel pour l'estimation des crués décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche

Bulletin FAO d'irrigation et de drainage No. 54, 1996, 262 p.

Ce document est le résultat d'un programme financé par la FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture) qui a été exécuté conjointement par le Comité inter-africain d'études hydrauliques (C.I.E.H.), l'ORSTOM (Institut français de recherche scientifique et technique pour le développement en coopération) et le Laboratoire commun de télédétection CEMAGREF / ENGREF (L.C.T.).

Il traite des deux objets principaux de l'hydrologie appliquée en Afrique subsaharienne : la prédétermination des crués et des apports. La présentation générale du document est exemplaire et il fournit les résultats d'une trentaine d'années de recherche qui aident les ingénieurs hydrologues à déterminer les facteurs indispensables pour le dimensionnement des ouvrages de maîtrise de l'eau. Le manuel contient les paragraphes suivants :

- la définition des termes hydrologiques et la détermination des principaux paramètres intervenant dans le calcul des crués et apports.
- les méthodes de prédétermination des crués décennales :
 - la méthode ORSTOM ;
 - la méthode C.I.E.H. ;
 - les formules d'écoulement.
- les méthodes d'évaluation de l'écoulement annuel :
 - la méthode Rodier ;
 - le modèle Girard ;
 - la méthode Dubreuil-Vuillaume ;
 - la méthode du bilan d'eau des réseaux.
- une description de l'apport que peuvent fournir la télédétection et les systèmes d'information géographiques pour l'estimation des caractéristiques hydrologiques des petits bassins versants ;

- la liste des bassins versants répertoriés.

Ce manuel est d'un grand intérêt, aussi bien pour les débutants que pour les initiés en la matière. Ses atouts majeurs sont les suivants :

⇒ la liste des symboles et abréviations utilisées, la définition des termes hydrologiques et le guide pour la détermination des principaux paramètres intervenant dans le calcul des crués et des apports.

Ces informations correspondent en soi déjà à un excellent document de base pour les ingénieurs.

⇒ la présentation des principes, des limites, des pré-



cisions des résultats, des étapes à suivre.

Chaque méthode est décrite en détail, la validité est discutée et son utilisation est démontrée par des exemples d'application.

⇒ la check-list.

Elle permet d'affiner les résultats des méthodes de prédétermination

des crués par un ajustement des paramètres pour prendre en compte certaines particularités spécifiques du bassin.

⇒ la mise à jour des méthodes de prédétermination des crués. Une révision de la méthode ORSTOM, basé sur une méthodologie rigoureuse et homogène et l'extension de l'analyse sur 250 bassins représentatifs, a été réalisée par Ribstein et Rodier. La méthode C.I.E.H. a été révisée par Christian Puech avec les mêmes objectifs en utilisant les données de 414 bassins.

⇒ la proposition d'un garde-fou pour les résultats. Il s'agit d'utiliser des formules d'écoulement permettant de confronter les débits estimés aux capacités réelles de transit des cours d'eau étudiés.

⇒ des astuces pour rendre plus performantes certaines applications. Il existe un logiciel (SAHEL) qui peut être commandé auprès de l'ORSTOM. Il permet l'informatisation des calculs de prédétermination des crués. La méthode CIEH contient un tableau des coefficients d'équation qui peut facilement être exploité par un fichier EXCEL.

Dans la méthode Rodier pour l'évaluation des écoulements annuels, les tableaux de "clés pour les différentes régions climatiques" qui indiquent le cheminement méthodique facilitent notablement les applications. Pour utiliser efficacement l'approche de la télédétection, il existe un tableau de correspondance des lames ruisselées et des classes d'infiltrabilité ainsi que des propositions de coefficients de calage entre des lames ruisselées simulées et observées.

Le document peut être commandé auprès des représentations locales de la FAO ou directement au Service de Publication de la FAO à Rome. Le prix s'élève à environ 12 000 FCFA. □

L'Association Africaine des Professionnels de l'Hygiène et de l'Environnement (APHEN)

Du 04 au 05 juin 1997, a eu lieu à Ouagadougou au Burkina Faso, l'Assemblée Générale Constitutive de l'Association Africaine des professionnels de l'Hygiène et de l'Environnement (APHEN).

43 participants venus de 8 pays d'Afrique francophone ont pris part à cette réunion.

L'Afrique francophone est certainement l'une des dernières régions au monde où les professionnels du secteur n'étaient pas encore organisés dans une association.

L'APHEN est créée pour servir de cadre de concertation, de formation et d'échange entre les professionnels africains de l'hygiène et de l'environnement d'une part et entre ces professionnels et leurs partenaires d'ailleurs d'autre part. C'est aussi un cadre de promotion de l'expertise africaine.

L'APHEN se présente comme un partenaire idéal dans l'élaboration de nouvelles approches et de nouvelles directives pour l'Afrique face aux résultats mitigés de la DIEPA sur le continent et peu de progrès réalisés dans le domaine de l'eau et de l'hygiène durant la première moitié des années 1990. L'APHEN est ouverte à toute personne physique ou morale engagée dans la promotion de l'approvisionnement en eau, l'assainissement, l'hygiène et la gestion intégrée de l'environnement en Afrique.

Chers professionnels du secteur, vous êtes invités à adhérer à l'APHEN pour qu'ensemble, nous soyons les véritables acteurs de développement du secteur en Afrique au 21^{ème} siècle.

APHEN

**03 B.P 7023 Ouagadougou 03
Burkina Faso**

INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

La revue "SUD SCIENCES ET TECHNOLOGIES", éditée par l'E.I.E.R, invite les auteurs à lui soumettre des articles dans les domaines de compétence des enseignements dispensés à l'E.I.E.R, soit :

- hydrogéologie,
- hydrologie,
- conservation des eaux et des sols,
- hydraulique villageoise,
- hydraulique agricole et ouvrages associés (barrages)
- hydraulique urbaine et assainissement,
- potabilité et distribution de l'eau,
- génie sanitaire
- énergie ,
- météorologie,
- télédétection et photo interprétation ,
- environnement et

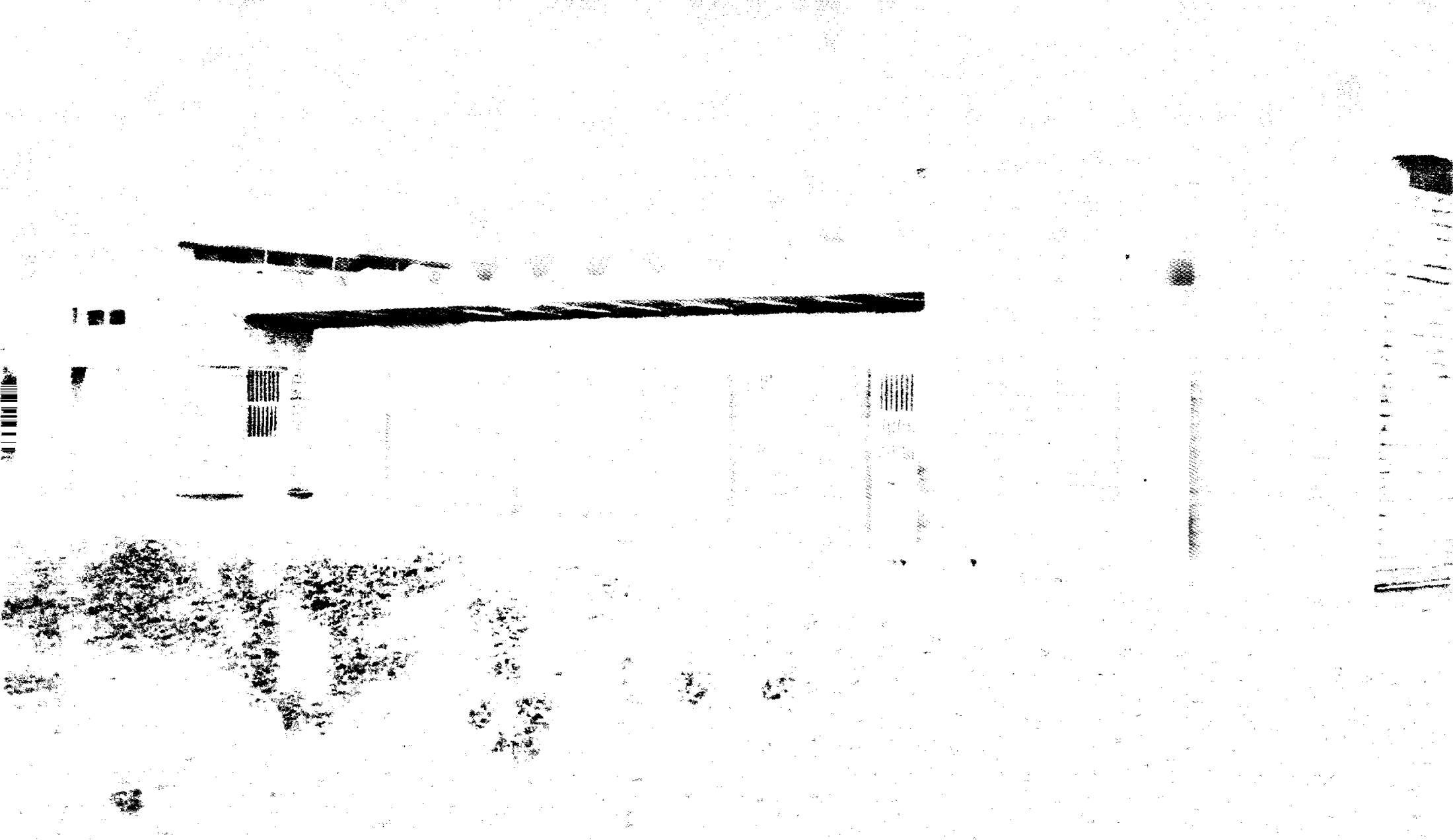
- sciences de la nature, informatique (au sens large : internet, etc.),
- construction, habitat, architecture, génie civil,
- sociologie, sciences économiques et humaines.

Les articles doivent aborder ces domaines dans un but d'information scientifique et technique appliquée au développement. Tous les manuscrits seront préparés conformément aux instructions qui suivent et seront envoyés en trois exemplaires à l'adresse suivante :

**Revue "SUD SCIENCES
ET TECHNOLOGIES "**
**Ecole Inter Etats
d'Ingénieurs de
l'Équipement Rural
(E.I.E.R)**
**03 BP 7023
OUAGADOUGOU 03
BURKINA FASO**

Préparation du manuscrit
les textes originaux devront être présentés comme suit :

- titre significatif, noms et prénoms des auteurs, adresse postale complète Un astérisque devra être accolé au nom de l'auteur à qui doit être adressée la correspondance,
- résumé (250 mots) et mots clés, en français et en anglais,
- texte de l'article ,
- remerciements, références bi-bibliographiques.
- Chaque page du manuscrit doit être numérotée et la longueur de l'article située entre deux et quinze pages.
- Fournir une disquette du manuscrit au format word ou compatible.



Hotellerie des Vacataires de l'E.I.E.R. construite en adobeton

Les blocs de banco ont été connectés avec terre - en air - vois - air