

824 AFW98



SUD

Centre de  
recherche  
et de formation  
P.O. Box 184  
950  
84

SCIENCES & TECHNOLOGIES

N° 2  
Juillet 1998

## GESTION DES RESSOURCES EN EAU : le logiciel HYDRAM

### HYDROLOGIE : Variabilité des régimes pluviométriques et hydrologiques

### LE DIAGNOSTIC RAPIDE DES BAS - FONDS SOUDANO - SAHELIENS

- Protection de talus amont de barrages en matelas Reno
- A.E.P. des petits centres urbains africains : nouvelle approche et nouvelle alternative
- Habitat et confort thermique

Semestriel de l'Ecole inter-Etats d'ingénieurs de l'Équipement Rural

Etats membres

Bénin - Burkina - Cameroun - Centrafrique - Congo - Côte d'Ivoire - Gabon - Guinée - Mali - Mauritanie - Nig

824 - AFW98 - 18428

# S O M M A I R E

- 3 Editorial**  
*Amadou Hama MAIGA et Jean-Maurice DURAND*
- 4 BARRAGES**  
Protection en matelas Reno du parement amont  
du barrage d'Al Bassam de Niandouba (Sénégal)  
*Michel COURTAUD*
- 12 AMENAGEMENT**  
Le diagnostic rapide des bas-fonds soudano-sahéliens  
*Jean-Maurice DURAND et Jacques FOURNIER*
- 22 HABITAT**  
Climat et confort thermique  
*Yézouma COULIBALY, Godefroy THIOMBIANO, Yves TRAORE*
- 28 EAU POTABLE**  
Approvisionnement en eau des petits centres urbains africains  
*Amadou Hama MAIGA*
- 33 GESTION DES RESSOURCES EN EAU**  
Un outil d'aide à la planification et à la gestion intégrée des ressources  
en eau. Le modèle de simulation HYDRAM.  
*Alain DEZETTER*
- 44 HYDROLOGIE**  
Variabilité des régimes pluviométriques et hydrologiques en cette fin de  
siècle en Afrique de l'Ouest et Centrale non sahélienne  
*Jean-Emmanuel PATUREL, Eric SERVAT, Brou KOUAME, Michel TRAVAGLIO,  
Hélène LUBES, Bertrand MARIEU, Jean-Marie MASSON*
- 53 CONFERENCE OUEST-AFRICAINE SUR LA GESTION  
INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU**
- 54 LA VIE DE L'E.I.E.R.**
- 55 VOYAGE D'ETUDES**
- 57 GROS PLAN SUR...LA C.F.P.I.**
- 59 OBSERVATOIRE HYDROLOGIQUE REGIONAL DE L'AFRIQUE  
DE L'OUEST ET CENTRALE**
- 60 DANS VOS BIBLIOTHEQUES**
- 61 VERS UNE FEDERATION DES ASSOCIATIONS AFRICAINES DES  
PROFESSIONNELS DE L'EAU**

Photo de couverture .

La Comoé à Karfiguéla (Burkina Faso) : seuil pour la prise d'eau du canal d'aménée au périmètre sucrier de la SO.SU.CO. (Société Sucrière de la Comoé).

Photo : A. DEZETTER

# Gérer de manière intégrée les ressources en eau :

## N'est-il pas déjà tard pour certaines régions d'Afrique ?

**S**i la fin des années 1980 et les années 1990 ont été les "années environnement", le domaine particulier de la gestion des ressources en eau est incontestablement la grande préoccupation de la fin du millénaire. En témoignent les nombreuses rencontres au sommet et autres manifestations réalisées ou programmées tant au niveau des Etats qu'aux niveaux sous régional, régional ou international.

Mais on peut se demander si ce n'est pas déjà très tard pour ce qui concerne les ressources en eau en Afrique de l'Ouest au regard de l'ampleur des problèmes vécus (arrêt de la production d'hydro-électricité, pénurie d'eau potable pour ne citer que les faits fortement médiatisés).

Avec l'effet conjugué des changements climatiques, se manifestant par une baisse inquiétante des hauteurs de pluies en Afrique de l'Ouest, les effets de l'absence d'une gestion intégrée des ressources en eau vont s'accroître.

1. L'ensablement des grands cours d'eau, comme le Sénégal, le Niger ou leurs affluents va se poursuivre avec comme conséquence des quantités d'eau mobilisables de plus en plus faibles ;

2. L'épuisement des nappes souterraines s'accroîtra rendant de plus en plus difficile la satisfaction de la demande en eau domestique ;

3. Les risques de conflits entre usagers de l'eau peuvent s'aggraver tant au niveau local qu'au niveau régional ou international.

Depuis 20 à 30 ans, l'une des réponses au délicat problème

d'approvisionnement en eau a été l'édification de nombreux barrages plus ou moins importants en Afrique Occidentale et Centrale. Mais, dans le contexte économique difficile des pays concernés, se posent maintenant de gros problèmes d'entretien, de lutte contre l'envasement, etc.

Devant les difficultés de mobilisation des financements extérieurs, il est indispensable que chercheurs, décideurs et financiers s'investissent résolument dans une meilleure gestion des ressources en eau.

Ce thème englobera l'essentiel des articles de ce second numéro de notre revue :

- pour une meilleure prévision des quantités disponibles : étude de la variabilité des régimes pluviométriques et hydrologiques ;

- pour une meilleure gestion des ressources en eau : présentation du logiciel HYDRAM ;

- pour une nouvelle approche dans l'aménagement des bas-fonds : proposition d'une méthode de diagnostic rapide des bas-fonds soudano-sahéliens ;

- pour l'approvisionnement en eau des centres secondaires : une nouvelle alternative et une nouvelle approche.

Enfin, dans le souci de conserver à notre revue la diversité à laquelle nous tenons et qui a été appréciée dans le premier numéro, un article est proposé sur le confort thermique de l'habitat, autre domaine exploré à l'E.I.E.R. □

## EDITORIAL

*Amadou Hama MAIGA*

et

*Jean-Maurice DURAND*

LIBRARY IRC

PO BOX 2310, 2509 AC THE HAGUE

Tel: +31 70 30 689 80

Fax: +31 70 35 899 64

BARCODE: 18428

LO:

824 AFW98

## Résumé

Prévue initialement en enrochements déversés (rip-rap), la protection du talus amont du barrage de Niandouba (Casamance) a donné lieu à la proposition d'une variante innovante dans le contexte africain. Après vérification de la pertinence économique et technique de cette solution, à base de matelas Reno (gabions de faible épaisseur, mais de grande surface), le maître d'œuvre a décidé de la retenir. Le présent article s'attache donc à développer les raisons de ce choix en un premier temps et examine ensuite les questions liées à la stabilité et à la durabilité du dispositif.

Mots-clés : Barrages, gabions, matelas Reno, protection du talus amont.

## Abstract

Initially designed as a rip-rap the protection of the upstream slope of Niandouba dam (Casamance) gave rise to the proposal of an innovating variant in African context. After verification of the economic and technical relevance of this solution using reno mattresses (thin but large gabions), the project manager decided to accept it. First the present paper deals with clarifying the reasons of this choice and then looks into the questions of the stability and the long-lastingness of this solution.

Key-words : dams, gabions, Reno mattresses, protection of the upstream slope

# PROTECTION EN MATELAS RENO DU PAREMENT AMONT DU BARRAGE D'AL BASSAM DE NIANDOUBA (SENEGAL)

**Michel COURTAUD \***

Directeur Afrique de FRANCE GABIONS S.A.  
B.P. 10195 - 1457 rue n°5  
LOME - TOGO

## INTRODUCTION

Programmé dans le cadre des aménagements hydro-agricoles du fleuve ANAMBE en CASAMANCE, la construction du barrage d'AL BASSAM a été confiée au groupement d'entreprises FOUGEROLLE/CSE. L'une des originalités de ce chantier fut de choisir des Matelas Reno pour

assurer la protection du parement amont du barrage contre le battillage, ainsi que celle d'une partie du parement aval contre les agressions extérieures. Cet article se propose de développer les raisons et les règles qui ont présidé à ce choix en ce qui concerne le talus amont, car il s'agit d'une technique nouvelle dans le contexte africain.

## I. PRESENTATION DU CHANTIER

### INTERVENANTS

<b>Maître d'ouvrage</b>	:	SODAGRI-MINISTERE DE L'AGRICULTURE SENEGAL
<b>Financement</b>	:	FONDS SAOUDIEN DE DEVELOPPEMENT - ETAT DU SENEGAL
<b>Ingénieur-Conseil</b>	:	TECSULT INTERNATIONAL LIMITED, CANADA
<b>Entreprises</b>	:	GROUPEMENT FOUGEROLLE SENEGAL - CSE
<b>Fabricant de Gabions et Matelas-Reno</b>	:	FRANCE GABIONS SA FRANCE

## DIMENSIONS ET QUANTITES PRINCIPALES DE L'OUVRAGE

Hauteur de l'ouvrage	:	18,00 mètres
Longueur de l'ouvrage	:	1200 mètres
Largeur en crête	:	6,00 mètres
Pente talus amont	:	2,5/1
Pente talus aval	:	2/1
Déblais	:	236 000 m <sup>3</sup>
Remblais	:	209 000 m <sup>3</sup>
Béton	:	6 250 m <sup>3</sup>
Acier	:	206 tonnes
Gabions et Matelas-Reno	:	14 400 m <sup>3</sup> dont 24 000 m <sup>2</sup> de m: Reno)
Enrochements	:	11 000 m <sup>3</sup>
Sable grossier pour filtre	:	14 000 m <sup>3</sup>
Sable fin pour filtre	:	4 100 m <sup>3</sup>

## II.

### PRESENTATION DE LA VARIANTE

La protection initiale (figure 1) prévue en enrochements libres de 1,20 m d'épaisseur, disposés sur une couche de pose de 0,80 m d'épaisseur, a été, sur proposition de l'Entreprise et en accord avec le Maître d'Ouvrage et l'Ingénieur Conseil, remplacée par une protection réalisée en Matelas-Reno de 0,30 m d'épaisseur (figure 2).

Les Matelas Reno, prévus à cet effet, sont à maille hexagonale de type 60 x 80 mm en fils d'acier galvanisés classe C et revêtus de PVC, de diamètres  $\varnothing$  2,2/3,2 mm avec des doubles diaphragmes tous les mètres et des fils de renfort en lisière.

COUT ESTIMATIF DE L'OUVRAGE : 4 Milliards FCFA

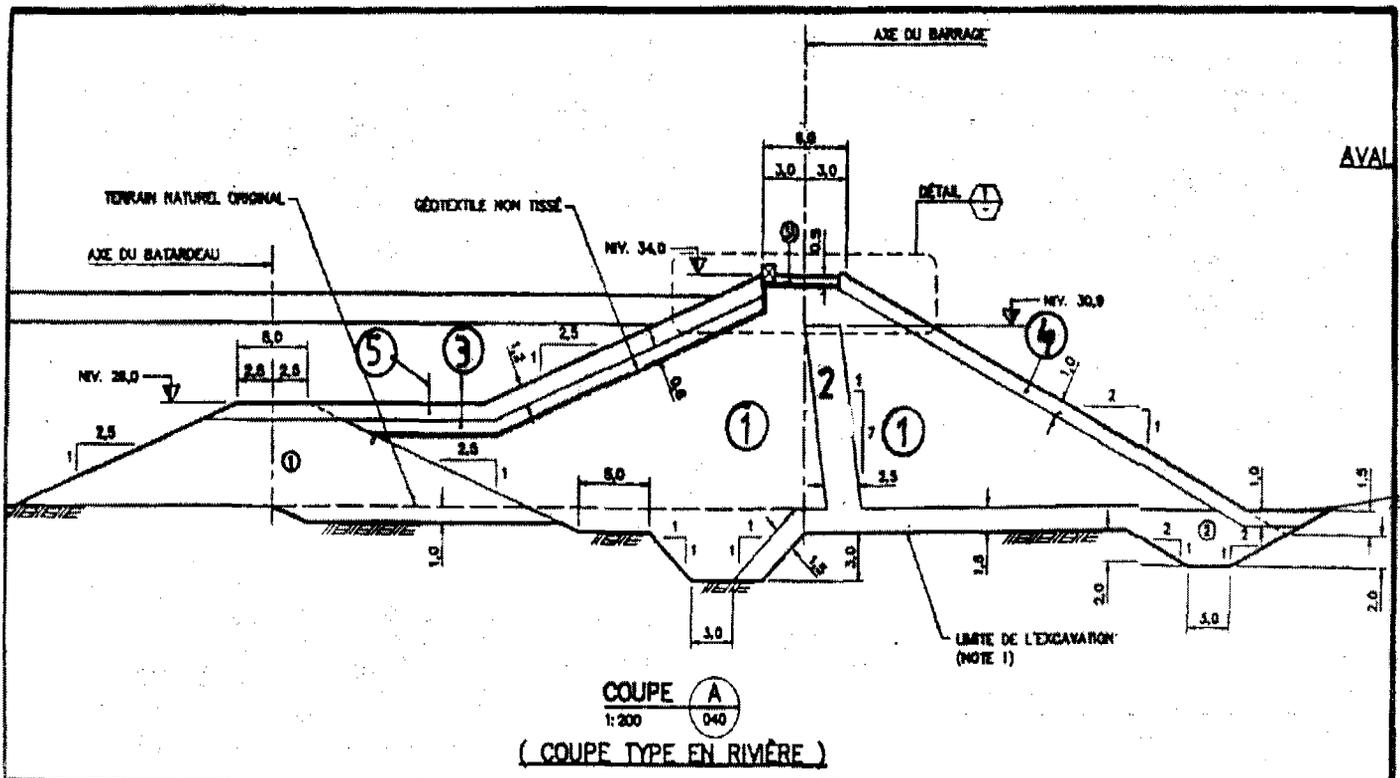


Figure 1 : Solution de base en enrochements (document Tecslut)

1 - Matériau alluvionnaire tout-venant ; 2 - sable ; 3 - sous-perré ; 4 - perré ; 5 - Perré

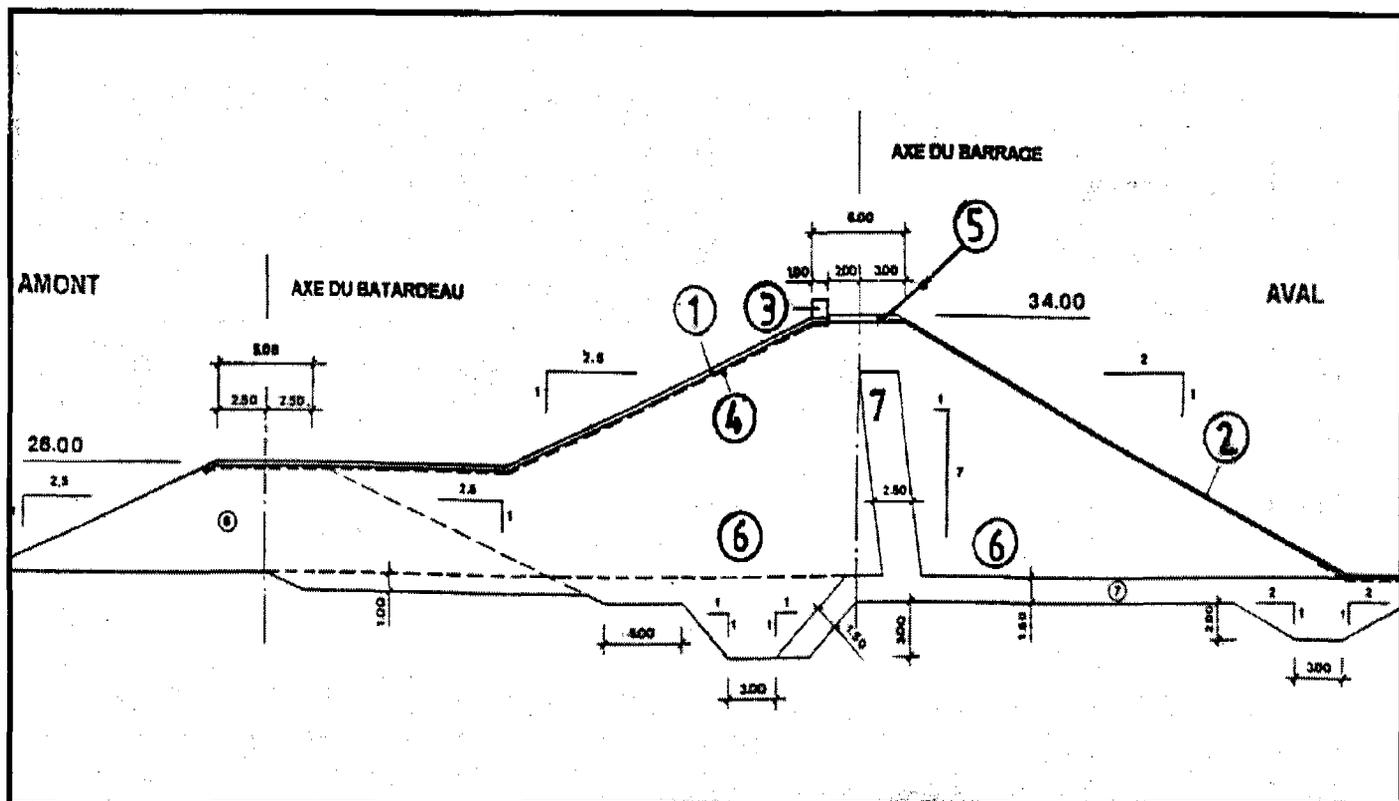


Figure 2 : Variante matelas Reno (document France Gabions)

1 - Matelas Reno 6,00x2,00 x 0,30 ; 2 - Matelas reno 6,00x2,00x0,17 ; 3- gabions 4,00x1,00x1,00 ; 4- géotextile non tissé 235 g/m<sup>2</sup>  
5 - corps de chaussée ; 6 - corps de remblai ; 7 - drain.

DIMENSIONS STANDARD	TOLERANCES
L = 3,00 m - 4,00 m - 5,00 m - 6,00 m	± 3 %
ℓ = 2,00 m	± 3 %
H = { Maille 50 x 70 : 0,15- 0,20- 0,25 m Maille 60 x 80 : 0,17- 0,23- 0,30 m	± 2,5 cm

La maille 60 x 80 est la plus utilisée

COMBINAISONS STANDARD MAILLES-FILS		
maille type	Φ fil mm galvanisé et PVC	Φ fil mm galvanisé
50 x 70	-	2,00
60 x 80	(2,00/3,00)- 2,20/3,20	(2,00) - 2,20

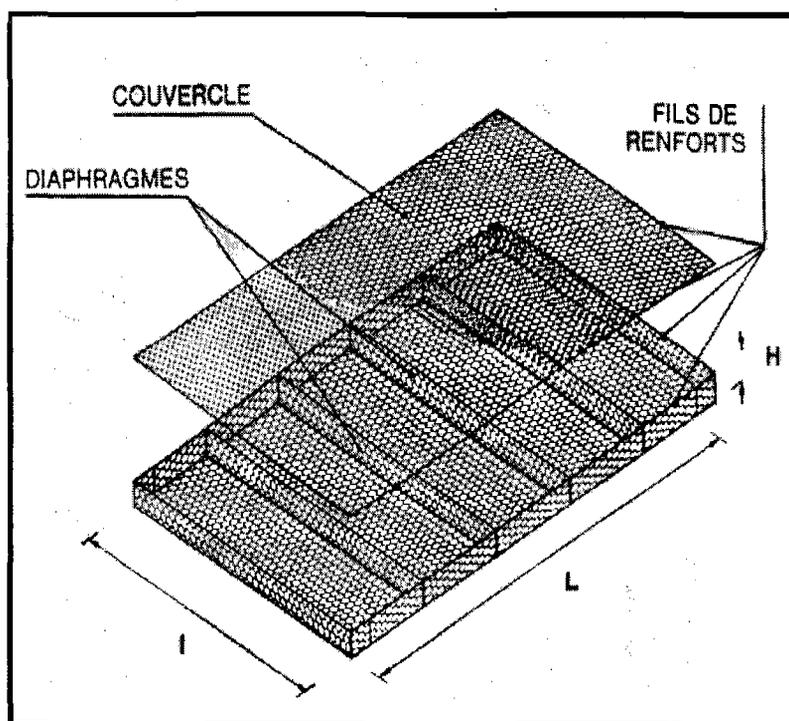


Figure 3 : Matelas Reno : spécifications techniques

Plusieurs critères ont imposé le choix de cette solution technique :

\* *Faible disponibilité des pierres à proximité du site du barrage*

La solution initiale impliquait la fourniture de 39 000 m<sup>3</sup> d'enrochements pour la réalisation du rip-rap amont et de sa couche de pose, la mise en oeuvre prévue des matelas-Reno de 0,30 m d'épaisseur ne nécessitera que l'approvisionnement de 5800 m<sup>3</sup> de moellons latéritiques.

\* *Souplesse et monolithisme de la protection*

A l'inverse des protections en enrochements libres qui peuvent s'affaïssir lors de la déstabilisation d'un élément due, soit à des tassements du corps de digue, soit à l'effritement dans le temps des arêtes des roches (cas général des enrochements de cuirasse latéritique), les structures en gabions et matelas Reno profitant de leurs caractéristiques peuvent résister et à la compression et à la traction. Ce qui assure dans tous les cas la pérennité des ouvrages.

\* *Travaux réalisés avec le concours des populations riveraines*

La mise en oeuvre des matelas-Reno nécessite une main d'oeuvre non spécialisée importante.

A la demande des Autorités locales, le Maître d'Ouvrage et les Bailleurs de Fonds ont privilégié cette solution technique qui permettra la création durant toute l'exécution des travaux de plus de 7000 journées/homme de travail.

\* *Diminution sensible des coûts de construction*

Le coût estimatif de la protection du parement amont d'un grand barrage représente toujours une part importante, 12 à 15 %, du montant total de l'ouvrage.

Du fait de la diminution des quantités d'enrochements prévus initialement, de l'extraction, du transport in-situ, de la mise en place sur le parement par des engins équipés spécialement pour cette opération, le coût global des travaux de protection du parement amont du barrage s'en est trouvé très sensiblement diminué à la satisfaction du Maître d'Ouvrage et des Bailleurs de Fonds.

Compte tenu de tous ces aspects techniques et financiers, le groupement d'Entreprise FOUGEROLLE/CSE a confié, à la société FRANCE GABIONS SA, la conception et les études des protections des parements amont et aval du barrage.

Les études spécifiques à la détermination des épaisseurs des protections en matelas Reno et leur stabilité sur des pentes de 2,5/1, ont été réalisés grâce aux méthodologies élaborées par FRANCE GABIONS, résultant de nombreux travaux et essais réalisés dans le monde.

Par ailleurs, la Société FRANCE GABIONS fut aussi sollicitée avec le concours de TECHSULT, de SOCOTEC, de SOGREAH et du BIEP bureau d'études du groupe FOUGEROLLE, pour dimensionner le déversoir et le coursier évacuateur de crue intégralement réalisé en gabions "JUMBO" (gabions à cellules multiples) et TERAME-SH SYSTEM (cf. photo n°4). Ceci pourra éventuellement faire l'objet d'une autre publication.

### III. DIMENSIONNEMENT DE L'ÉPAISSEUR DE LA PROTECTION DU PAREMENT AMONT PENTE 2,5/1

Les données de base du projet étaient les suivantes :

**v** : vitesses du vent

**HD** : Hauteur des vagues.

v=100 km/heure ⇨ HD : 0,96 m

v=120 km/heure ⇨ HD : 1,01 m

v=150 km/heure ⇨ HD : 1,08 m

L'épaisseur de la protection a été déterminée à partir de la formule, applicable à des déclivités inférieures à 3,5/1 :

$$t = \frac{H_D}{7 (1-V) (Sr-1) \cotg^{1/3} \theta}$$

t = Épaisseur du matelas Reno (m)

H<sub>D</sub> = Hauteur de la vague maximale du projet (m)

Sr = Densité du matelas Reno y compris les moellons de remplissage

θ = Pente de la berge par rapport au plan horizontal

V = Pourcentage des vides dans les moellons de remplissage.

Cette formule a été déterminée par des études effectuées par l'université de **NEW SOUTH WALES** en **Australie** et confirmée par les résultats des essais en **France** par **SOGREAH Ingénieurs Conseils** et en **Argentine** par la Société **INCYTH di EZIZA** qui ont permis d'établir le tableau suivant :

Tableau 1 : Limites de stabilité des revêtements en gabions et matelas Reno sollicités par le mouvement ondulatoire

Dimensions			Terrain perméable						Terrain imperméable					
Matelas Reno Gabions (m)	Pierraille		1:1,5		1:2		1:3		1:1,5		1:2		1:3	
	D (mm)	d <sub>50</sub> (m m)	H <sub>c</sub> (m)	H <sub>L</sub> (m)										
0,15-0,17	70-100	85	0,60	0,90	1,00	1,30	1,50	1,80	0,40	0,60	0,75	0,90	1,20	1,40
0,23-0,25	90-150	120	0,90	1,20	1,30	1,60	1,80	2,10	0,60	0,70	0,90	1,20	1,40	1,60
0,30	120-180	150	1,20	1,40	1,60	1,90	2,10	2,40	0,70	0,80	1,20	1,30	1,60	1,80
0,50	180-320	250	1,70	2,00	2,20	2,50	2,70	3,00	0,90	1,10	1,40	1,60	2,00	2,20

D = calibre de la pierraille    H<sub>L</sub> = hauteur limite (condition d'affaissement initial ou de glissement à 0,25 m)  
H<sub>c</sub> = hauteur critique (condition de déformation initiale ou de glissement supérieure à 0,05 m)  
d<sub>50</sub> = calibre moyen de la pierraille

Dans le cas présent :

H<sub>D</sub> = 1,08 m  
S<sub>r</sub> = 2,4  
f = 21,18°  
V = 30 %

d'où t = 0,116 m d'épaisseur de protection.

Un matelas Reno de 0,17 m d'épaisseur aurait été suffisant pour assurer la protection du parement amont du barrage contre le battillage.

Cependant, l'utilisation de moellons grossiers de cuirasse latéritique, seuls disponibles à proximité du site de l'ouvrage, a incité le Maître d'Ouvrage et l'Ingénieur Conseil à choisir des matelas Reno de 0,30 m d'épaisseur afin d'assurer une meilleure mise en place des moellons sur deux rangées à l'intérieur des cellules et de limiter au mieux le pourcentage des vides (cf. figure 4).

#### IV. STABILITE DE LA PROTECTION DU PAREMENT AMONT EN MATELAS RENO D'ÉPAISSEUR 0,30 m SUIVANT UNE PENDE DE 2,5/1

\* Caractéristiques géotechniques du terrain en place :

- Angle de frottement interne  $\phi$  : 27°
- Cohésion (C) : 10 kPa
- Poids spécifique ( $\gamma$ ) : 21,9 kN/m<sup>3</sup>

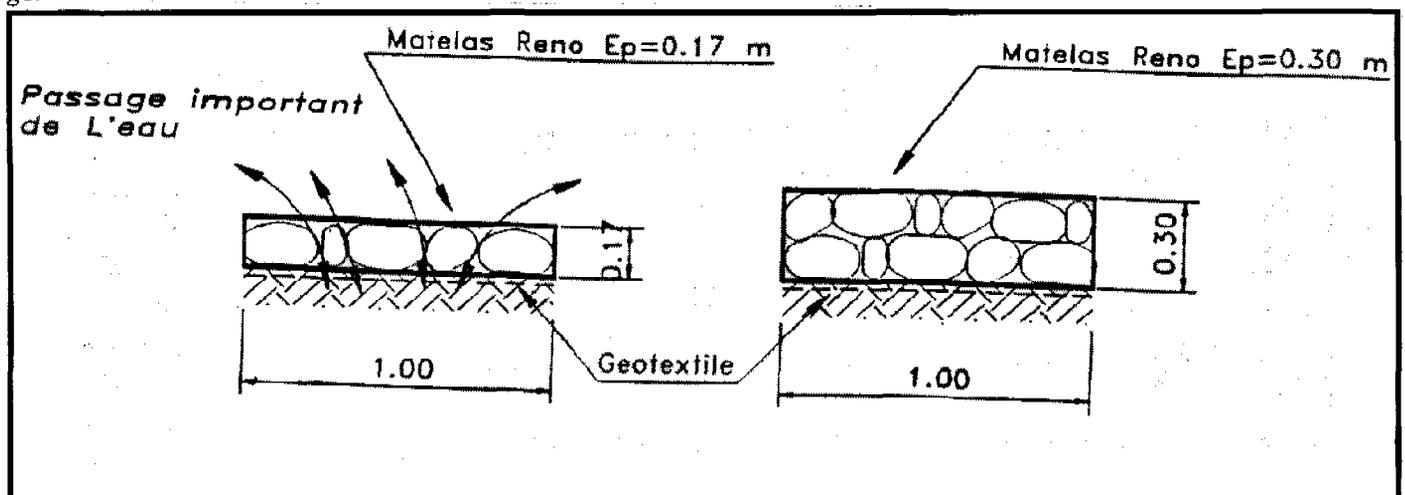


Figure 4 : Choix de l'épaisseur des matelas Reno

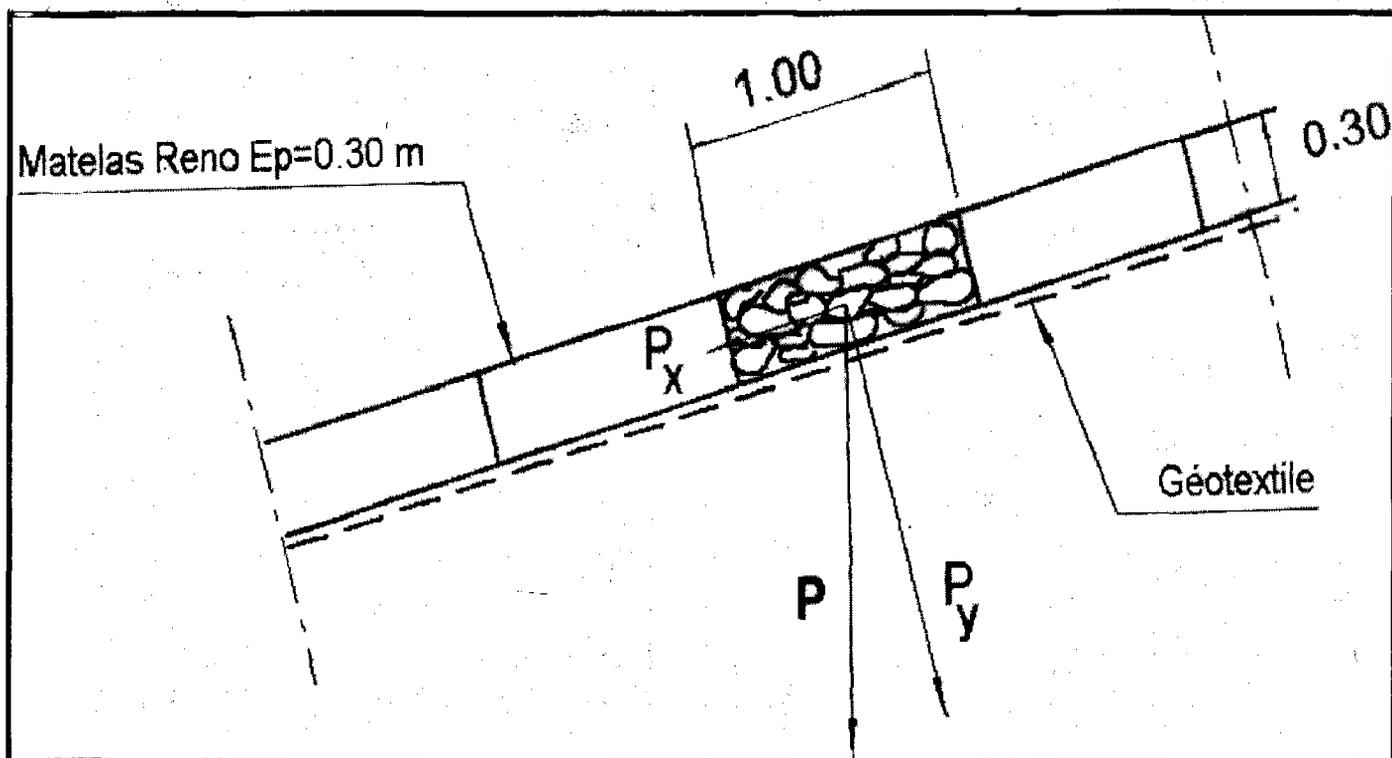


Figure 5 : schéma de principe pour le calcul de la stabilité

\* Pourcentage de diminution du frottement matelas Reno terrain du fait de la présence d'un géotextile : 10 %.

\* Poids spécifique des moellons latéritiques de remplissage : 24,0 kN/m<sup>3</sup>.

\* Pourcentage de vide dans la structure : 30 %.

Soit :

$$P_x = 24,0 \times (1-0,30) \times 0,3 \times \sin 21,80$$

$$P_x = 1,87 \text{ kPa.}$$

Et :

$$P_y = 24,0 \times (1-0,30) \times 0,3 \times \cos 21,80$$

$$P_y = 4,68 \text{ kPa.}$$

\* Coefficient de glissement =

$$\frac{4,68 \times \text{tg} [27 \times (1-0,10)]}{1,87} = 1,13$$

(Il est à noter que dans ce calcul, la cohésion n'a pas été utilisée, en conditions réelles, le matelas Reno n'en sera que plus stable).

## V.

### CONSIDERATIONS SUR LA DURABILITE DES STRUCTURES GRILLAGEES

Posés sur le talus amont, qui est la partie externe du barrage la plus sujette aux agressions extérieures (pluie, battillage, marnage), les matelas Reno doivent donner toute garantie de durabilité.

A ce propos, les structures grillagées doivent répondre aux normes internationales les plus strictes, qui ont d'ailleurs été stipulées aux cahiers des charges.

En matière de galvanisation est exigée la norme anglaise BS 443/82 qui prévoit 260 g/m<sup>2</sup> de zinc pour un fil d'acier de 2,70 mm de diamètre et 275 g/m<sup>2</sup> de zinc pour un diamètre de 3 mm (contre 80 g/m<sup>2</sup> de zinc pour les gabions utilisés il y a quinze ans par exemple).

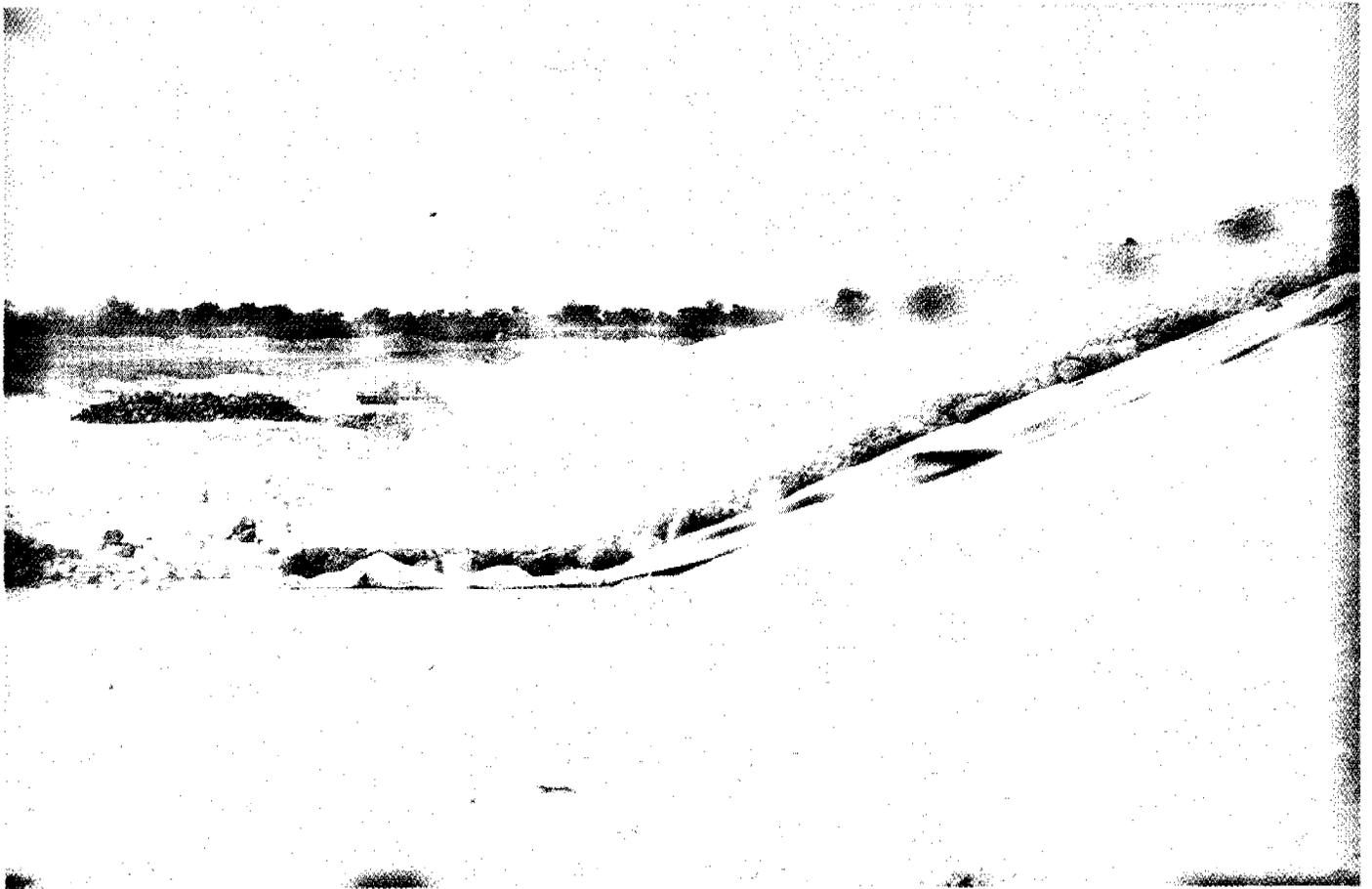
Cette augmentation en matière de qualité et de quantité de la protec-

tion de zinc permet d'avoir des structures tout à fait fiables dans le temps contrairement au passé.

De plus, pour des chantiers où les contraintes de durabilité sont très exigeantes eu égard à l'agressivité du milieu (mer, pollution ou zones de battillage et de marnage comme c'est le cas pour le talus amont du barrage), l'acier galvanisé suivant la norme BS 443/82 est revêtu de PVC (chlorure de polyvinyle) spécialement étudié. Ainsi, les essais de vieillissement accélérés en laboratoire ont démontré une tenue dans le temps de l'ordre de 100 à 120 ans face à certains agents agressifs extérieurs.

Tous les progrès techniques exposés permettent aujourd'hui aux structures grillagées conformes aux normes en cours de répondre aux exigences les plus restrictives demandées par les prescripteurs en matière de durabilité.





*Photo n°2 : Protection du parement amont en matelas Reno en cours de réalisation*



*Photo n°3 : Protection du pied du talus aval en matelas Reno*

# LE DIAGNOSTIC RAPIDE DES BAS-FONDS SOUDANO-SAHELIENS

## RESUME

Une méthode de diagnostic, à dominante hydraulique, des bas-fonds soudano-sahéliens a été finalisée au sein des écoles inter-états de l'équipement rural. D'abord élaborée à la demande de projets, cette approche a été développée sur le terrain, puis confrontée aux avis critiques des professionnels.

Une méthode de terrain destinée aux projets de développement rural a donc été progressivement mise au point : il s'agit d'un outil permettant d'appréhender les éléments clefs du fonctionnement hydraulique et de la dynamique de mise en valeur d'un bas-fond pris dans son "contexte terroir". Sa finalité est la proposition d'un schéma d'aménagement cohérent, hiérarchisant les priorités d'intervention et identifiant les ouvrages adaptés. Cette démarche est ou devrait être le premier acte conduisant in fine à l'aménagement du bas-fond. Elle permet de traduire au mieux la demande paysanne et de proposer aux bureaux d'études des termes de référence les plus précis possibles pour l'étude détaillée et l'aménagement du site. Elle est illustrée, dans le présent article, par une étude de cas, au BURKINA FASO.

Cette méthode de diagnostic s'attache à analyser le fonctionnement actuel du bas-fond, à travers sa dynamique hydraulique et sa dynamique de mise en valeur (occupation des sols, conflits fonciers...) à l'aide d'indices facilement observables. Elle a été progressivement élaborée avec et pour les différents acteurs intervenant à l'occasion de l'aménagement des bas-fonds : demandeurs, projets, O.N.G., bureaux d'études... Une série d'études de terrain conduite dans quatre pays de l'Afrique Soudano-Sahélienne a permis de la valider.

**Mots clés:** bas-fond - diagnostic - dynamique hydraulique - mode d'exploitation - validation de la demande - schéma d'aménagement.

## ABSTRACT

A diagnostic method with predominant hydraulic characteristics of sudano-sahelian inland valleys has been completed by the inter-state schools of rural equipment. This approach was first designed at the projects request, then developed in the field and confronted with professionals' critical opinions.

A field method intended for rural development projects has been progressively developed : it is tool which will permit to deal with key elements of the hydraulic system and the development of an inland valley in its "contextual land". Its final stage will be the proposal of a coherent development scheme presenting intervention priorities and identifying suitable works. This action is or should be the first operation leading to the inland valley development. It permits to better consider the farmers' demand and propose the most accurate terms of reference to study offices for detailed studies and site development.

The method is illustrated by a case study in BURKINA FASO. This diagnostic method is meant to analyze the present functioning of the inland valley through its hydraulic dynamics, its development dynamics (soil occupation, land tenure conflicts...) and through easily observable indications. It has been progressively designed for different operators intervening in the field of inland valleys developments : applicants, projects, NGOs, study offices... Several studies made in four Sudano-Sahelian countries permitted to validate it.

**Key words :** inland valley - diagnostic - hydraulic dynamics - development scheme - exploitation system.

## Jacques FOURNIER\*

Ingénieur d'Agronomie Tropicale  
ETSHER - Département Gestion des Eaux et des Sols  
01 B.P. 594 Ouagadougou 01 - Burkina Faso

## Jean-Maurice DURAND\*

Ingénieur des Techniques de l'Équipement Rural  
ENGEEES - Strasbourg  
E.I.E.R. - Département Génie Civil

## INTRODUCTION

Lorsque, en région soudano-sahélienne, on cherche à participer au développement d'un groupe de villages ou d'une petite région par la mise en valeur des bas-fonds, on se heurte d'emblée à un problème de maîtrise des écoulements, tant superficiels que souterrains : soit la sécheresse est telle que puits et mares tarissent, soit au contraire des crues catastrophiques détruisent cultures et habitations [3].

Gérer les eaux implique la plupart du temps la construction d'ouvrages. Cette opération souvent lourde et coûteuse ne pourra être menée à bien qu'après avoir conduit un dialogue précis et complet avec les villageois, futurs utilisateurs. En effet, leur optique pour résoudre ces problèmes n'apparaît pas nécessairement comme la plus avantageuse d'un point de vue technico-économique (par exemple, le choix a priori d'un barrage, souvent envisagé comme la solution par excellence). Il convient donc de définir les critères qui permettront de rechercher la solution technique qui soit la plus adaptée possible aux besoins essentiels des futurs bénéficiaires. Ce compromis doit tenir compte des données environnementales et socio-économiques de la zone à aménager [2].

Du point de vue pratique, même si l'on ne se préoccupe que d'un village, on a intérêt à raisonner à l'échelle d'un bassin versant ou tout au moins d'un sous-bassin. Et si, souvent, les aménagements proprement dits sont implantés dans des bas-fonds, l'étude doit également s'étendre aux versants dont la mise en valeur et la protection

(anti-érosive, notamment) sont essentielles à la réussite de l'ensemble. L'aménagement des bas-fonds est donc abordé ici comme un élément de gestion "rationnelle" des ressources naturelles, devant être intégré dans un cadre plus vaste de gestion du terroir.

Dans cette démarche d'aménagement, le diagnostic du bas-fond apparaît comme une étape primordiale, qui permet de comprendre, voir d'expliquer la dynamique en cours dans le bas-fond ; dynamique hydraulique, mais aussi dynamique de mise en valeur agricole (quelles spéculations ? à quel endroit ? avec quelle technicité ?...). Ce diagnostic permet également de proposer un schéma global d'aménagement, hiérarchisant les actions à conduire et présentant au maître d'ouvrage (paysans, projet) une ou des stratégies de mise en valeur du bas-fond.

L'aménagement d'un bas-fond résultera donc d'une négociation entre les paysans, principaux intéressés, le projet, porte-parole et soutien technique des paysans (mais aussi structure ayant une stratégie et des impératifs qui lui sont propres) et enfin les bureaux d'études et les maîtres d'oeuvre, réalisant tout ou partie des travaux. Ainsi, les aménagements réalisés répondront d'autant mieux aux préoccupations des paysans, que le diagnostic aura permis d'identifier contraintes et potentialités du bas-fond à aménager, au sens le plus large du terme.

### **LE DIAGNOSTIC DE BAS-FOND DANS UNE OPERATION D'AMENAGEMENT**

La phase diagnostic apparaît donc comme une véritable enquête agricole, sociale, hydraulique, pédologique, à laquelle il faut se livrer préalablement à toute prise de décision. Ce travail complété et prolongé par une étude sociologique et foncière aussi approfondie que nécessaire, permet d'établir un programme d'opération (ou termes de référence) complet.

Le programme d'opération dresse le bilan des besoins et des contraintes

du projet, et propose une enveloppe financière prévisionnelle.

C'est sur la base de ce programme que le concepteur peut lancer les études d'avant-projet sommaire et détaillé (A.P.S. et A.P.D.) qui elles, comporteront un estimatif détaillé des ouvrages.

### **Diagnostic des utilisations de l'eau**

Le diagnostic s'articule généralement autour de deux thèmes principaux qui englobent la plupart des préoccupations des futurs utilisateurs : l'eau d'abreuvement et les besoins en eau des cultures. Il s'agit de sécuriser, augmenter et diversifier la production agricole ; améliorer et sécuriser les productions animales ; assurer l'approvisionnement en eau de boisson de manière pérenne et en diminuant si possible les distances à parcourir et les risques sanitaires. A partir de ces différentes thématiques, on cherchera à évaluer les besoins : quelles sont les stratégies de production agricole actuelles et prévisibles pour l'avenir ? Comment tenir compte de la présence des éleveurs ? Les contraintes devront être connues : il faut en effet analyser les difficultés de tout ordre rencontrées par les villageois. La morphologie du terrain, le milieu géographique ou l'histoire du village interagissent avec les simples considérations d'ordre technique pour expliquer certains problèmes. Le diagnostic doit donc mettre en lumière tous ces aspects qui sont essentiels à la réussite d'un projet. De la même manière, l'étude doit dégager les règles qui régissent la gestion du milieu naturel autour du futur aménagement. Ainsi on peut faire apparaître un certain nombre de dysfonctionnements ayant des conséquences néfastes et en étudier les causes (orientation des études ultérieures).

### **Analyse de la trame foncière et agricole**

Deux principaux axes sont retenus. Il s'agit d'identifier le potentiel agricole existant et futur du bas-fond, ainsi que la place de ce der-

nier au sein du terroir (dans la situation actuelle et en cas d'aménagement). Au stade du diagnostic rapide, tel qu'il est pratiqué ici, cette analyse se résume à la réalisation d'une carte d'occupation du bas-fond sur la base d'une prise de vue aérienne. Cette cartographie est "renseignée" par une enquête auprès des usagers du bas-fond. Elle fait apparaître une zonation des sols (en particulier en fonction de leur texture) et de l'ensemble des activités spécifiques au bas-fond (agricoles, pastorales, religieuses, exploitation de carrières...). Un accent particulier est mis sur l'observation d'indices tels que la technicité des paysans cultivant le bas-fond, l'intensité de sa mise en valeur et les types de cultures pratiqués, ou encore l'existence de pâturages et de pistes à bétail. Le problème de la répartition foncière devra également être abordé (exploitation du bas-fond par plusieurs villages, plusieurs groupes ethniques, plusieurs groupes sociaux). L'absence d'une mise en valeur effective du bas-fond doit conduire le projet à s'interroger sur la validité de la demande reçue, ou la pertinence du projet d'aménagement.

L'ensemble des indices recueillis permettra d'élaborer des termes de références précis pour les études ultérieures et l'identification d'objectifs réalisables à plus ou moins long terme.

### **Étude du fonctionnement hydraulique du bas-fond**

Dès ce stade d'investigation, et sans préjuger des résultats de la future étude hydrologique du bassin versant, on peut déjà observer le bas-fond pour évaluer la fréquence et la durée des écoulements, l'importance des inondations, le comportement de l'infiltration, le comportement de la nappe phréatique (nappe d'inféro-flux). Ces observations, complétées par enquête auprès des paysans, s'effectuent préférentiellement aux intersaisons. Il sera bien entendu judicieux de programmer un suivi piézomé-

trique de la nappe phréatique sur une durée aussi longue que possible.

D'autre part, c'est essentiellement pendant le diagnostic que l'analyse de la dynamique hydraulique du bas-fond s'effectue. Il s'agit de définir des tronçons de comportement homogène (dynamique érosive, équilibre, comblement...); de rechercher des liens de causalité avec la dynamique de l'eau sur les versants, la pente générale du bas-fond, la géomorphologie locale, ou encore le mode d'exploitation du bas-fond. Un certain nombre de priorités et de contraintes d'ordre hydraulique sont identifiées pour le futur aménagement.

Cette approche permet donc d'avoir une vision d'ensemble de la zone susceptible d'être aménagée, en bon accord avec celle des paysans. Il est en particulier possible de distinguer les zones où l'eau gêne par excès, de celles où elle gêne par défaut. On a également une pre-

mière idée des sections où l'implantation d'un ouvrage présente un réel intérêt et sous quelles conditions (contraintes préalables à lever). Il est possible sur cette base, de discuter avec les utilisateurs de plusieurs schémas d'aménagement possibles, tout en gardant à l'esprit que ce n'est qu'une étude préliminaire. On peut ainsi les amener à réfléchir sur l'opportunité de construire un ouvrage aussi important qu'un barrage, alors que d'autres types d'aménagements peuvent être tout aussi intéressants économiquement et beaucoup moins contraignants pour le milieu. La première utilité de ce diagnostic est donc d'amener le concepteur et les futurs utilisateurs à dialoguer pour éclaircir et coucher sur le papier problèmes et contraintes, afin d'orienter la future étude technique vers des solutions qui, loin d'être trop ambitieuses, ne s'en adapteront que mieux au milieu et aux besoins des villageois.

### Proposition d'un schéma de démarche pour la conception d'un aménagement

Cette étape qui conduit à s'interroger sur toutes les composantes du milieu, permet de connaître la ou les contraintes en matière d'approvisionnement en eau et le degré de maîtrise des écoulements souhaité. Ceci conduira à la recherche systématique de plusieurs solutions, en fonction de critères d'ordre technique, financier, social, environnemental et politique. Bien entendu, le diagnostic ne permet d'envisager que sommairement les avantages et inconvénients des diverses solutions qui ne sont qu'esquissées à ce stade. La comparaison précise des schémas d'aménagement probables n'apparaît qu'au stade de l'avant-projet sommaire (A.P.S.).

La figure 1 indique la place du diagnostic dans la démarche générale d'une opération d'aménagement de bas-fond.

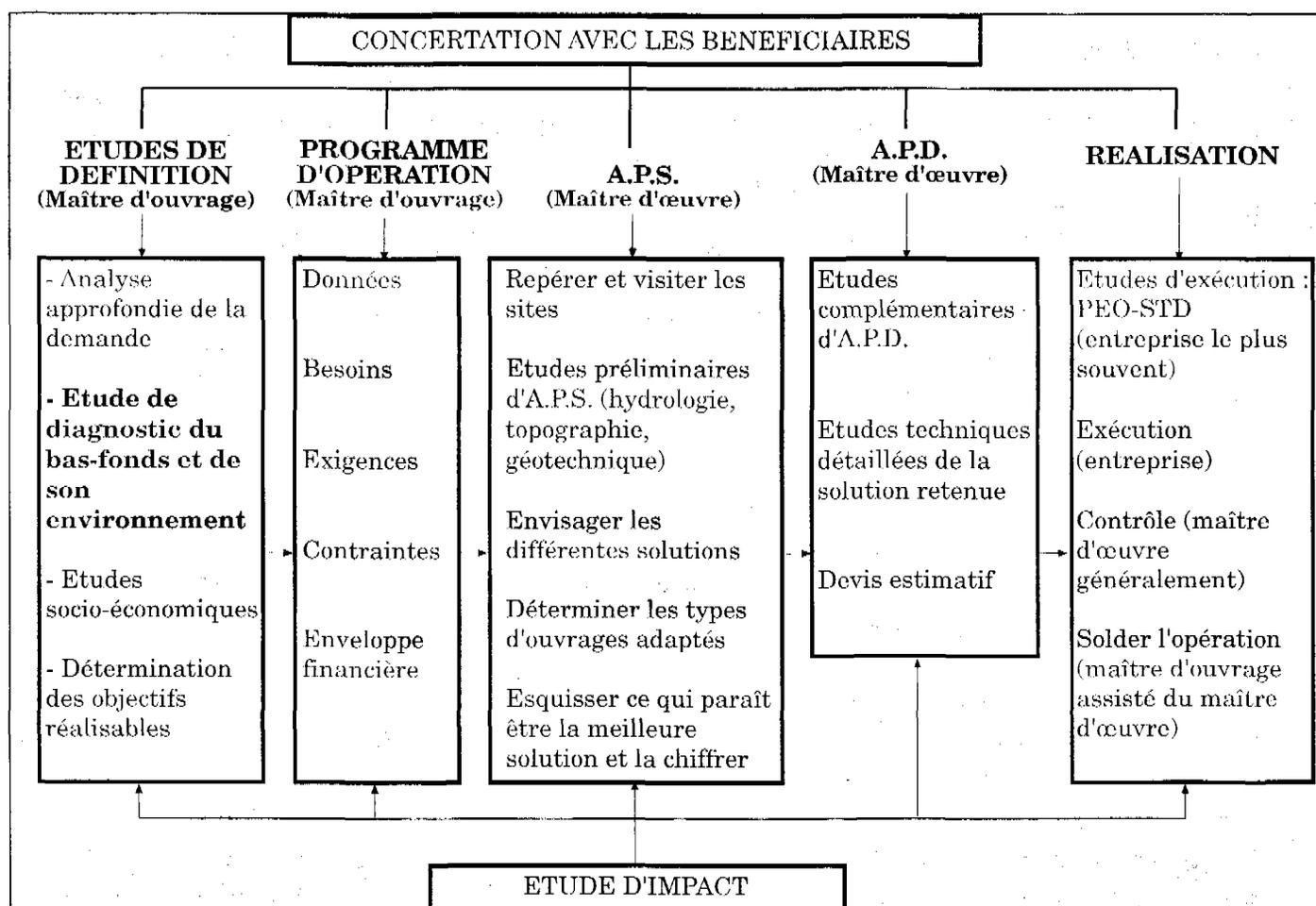


Figure 1: le diagnostic dans la démarche d'aménagement de bas-fond. La concertation avec les bénéficiaires est ou devrait être de tous les stades d'une opération d'aménagement. L'étude d'impact est rare dans le cas d'aménagements de faible envergure.

## LA METHODE DE DIAGNOSTIC APPLIQUEE A UN BAS-FOND SOUDANO-SAHELIEN

Les objectifs du diagnostic peuvent se résumer ainsi : comprendre le fonctionnement et le rôle du bas-fond au sein du bassin versant, tant du point de vue hydraulique, que social et agricole ; mettre en évidence les contraintes hydrauliques pour sa mise en valeur, identifier les espaces à aménager, avec leur contraintes d'exploitation. Dans l'étude de cas présentée, le diagnostic porte essentiellement sur le fonctionnement hydraulique du bas-fond et sur sa mise en valeur actuelle. Elle devra être complétée par une étude socio-économique fortement orientée par le présent diagnostic.

La méthode proposée ici ne se limite pas à l'examen des sites préalablement choisis par les villageois, mais vise à étudier le bas-fond qui traverse le terroir dans son ensemble, y compris loin en amont et en aval, sur les terroirs avoisinants. On s'attache également à observer les versants proches, de manière à dégager les liens de causalité existant entre la dynamique de l'eau sur les versants et la dynamique hydraulique du bas-fond (en particulier sur les petits bassins versants, de l'ordre de 10 à 20 km<sup>2</sup>).

Pratiquement, il s'agit de parcourir le bas-fond sur toute la longueur considérée, en effectuant un lever détaillé sur la base d'une photographie aérienne agrandie (1/10000 ou 1/5000). Après avoir délimité des tronçons de fonctionnement hydraulique homogène, on peut compléter leur description par la réalisation de transects recoupant les versants. Si nécessaire et en particulier sur les sites pré-sentis pour l'aménagement, ou sur des sites spécifiques d'un point de vue hydraulique, il est souhaitable de faire des descriptions plus détaillées : coupes hydrauliques, coupes représentatives d'une unité de sol ou d'une zone alluviale. Dans l'optique d'une meilleure implication des futurs exploitants du bas-fond dans l'élaboration d'un schéma d'aménagement, on s'efforcera d'utiliser le plus possible la terminologie locale, souvent très adaptée et généralement précise.

Le choix de la période de visite, quand il est possible, revêt également une grande importance. Les périodes de transition (fin de saison sèche et fin de saison des pluies) permettent l'observation de caractéristiques remarquables du bas-fond : zones " anormalement humides " en fin de saison sèche (piégeage de la nappe?), mares permanentes, zones " anormalement sèches " (drainage excessif?)...

### *Données générales sur le bas-fond de Zempassogo et son terroir*

Situé à une centaine de kilomètres à l'Est de Ouagadougou, le terroir de Zempassogo (province du Ganzourgou, Burkina Faso) se développe sur un relief pénéplané, typique du plateau Mossi [5]. Comme pour l'ensemble de la zone soudano-sahélienne étudiée, on note ici une baisse générale de la pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 200 mm, entre les périodes 1930-1971 et 1971-1983. Les données les plus récentes de la météorologie nationale indiquent une pluviométrie nettement inférieure à 700 mm/an.

Limité spatialement par d'importants inselbergs cuirassés et par le bas-fond en son centre, le terroir de Zempassogo est marqué par une évolution très nette de l'occupation de l'espace depuis une quarantaine d'années [1]. Depuis 1955, date des premières études conduites dans cette zone, on est passé d'une mise en valeur agricole essentiellement concentrée sur des champs de case à bon potentiel et exploités en continu, à une saturation de l'espace se traduisant par la défriche et l'exploitation de zones marginales. Depuis 1955 les surfaces cultivées ont triplé, pour atteindre une densité d'environ 2,7 habitants par hectare cultivé en 1985 (pour une densité moyenne de 50 à 100 hab. au km<sup>2</sup>).

L'évolution climatique récente qu'a connu cette zone, conjuguée à une saturation toujours croissante du terroir, induit une dégradation généralisée des versants ainsi qu'une accélération du cycle de l'eau dans le bassin versant (eaux de ruissellement, nappe phréatique).

Les observations faites récemment sur la zone (1996) font apparaître

une très forte dynamique de mise en valeur agricole du bas-fond (en amont du barrage), en l'absence de tout aménagement spécifique. Cette dynamique peut-être interprétée comme un indicateur supplémentaire du manque de terre " facilement " cultivables dans le terroir et du potentiel productif du bas-fond [4].

### *Parcours du bas-fond et analyse de son fonctionnement hydraulique*

Le parcours du bas-fond s'est effectué de l'amont vers l'aval sur 5 kilomètres environ, en juin 1995 (phase d'installation de la saison des pluies). Observations et dialogue avec les exploitants du bas-fond ont donné lieu à l'établissement de la présente étude. Une carte du bas-fond et des transects représentatifs ont également été établis (figure 2).

De façon générale le bas-fond est caractérisé, dans ses parties amont et médiane, par une reprise récente de sa dynamique érosive. Cette dynamique se traduit par d'importantes dégradations d'ordre hydraulique et par des problèmes d'envasement localisés à l'aval, dans la cuvette du barrage.

Quatre sections principales ont pu être distinguées. Une première section amont se situe de la naissance du bas-fond jusqu'à la première zone de dégradation notable (ravine active). Cette section se caractérise par une succession de petites plaines d'épandage qui s'arrête dans une zone dénudée fortement dégradée. Une seconde section, qui part de la ravine précédente et qui s'étend jusqu'à une confluence dégradée, donne naissance à un lit mineur marqué. Il s'agit d'une plaine d'épandage constituée par un lit majeur très large (pas de lit mineur dans cette section). Une troisième section, limitée à la confluence précédente, qui est le théâtre d'une dégradation très active. Une quatrième section s'étend jusqu'à la retenue ; elle est caractérisée par un lit mineur bien marqué, enchâssé dans un lit majeur étroit. La partie aval de cette section développe une série de méandres, avant de disparaître en amont de la retenue (comblement du lit mineur).

# DIAGNOSTIC DU BAS-FOND DE ZEMPASSOGO

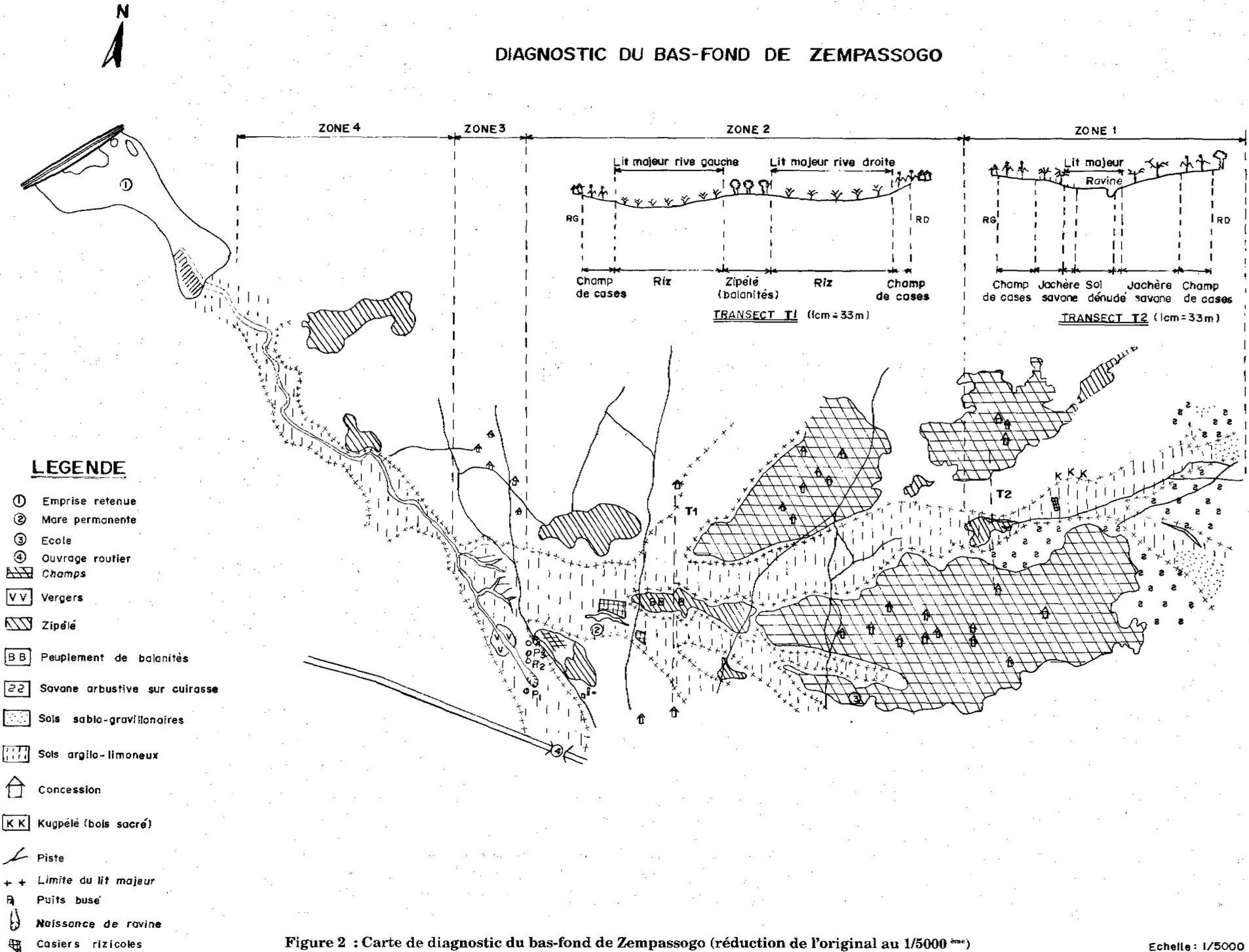


Figure 2 : Carte de diagnostic du bas-fond de Zempassogo (réduction de l'original au 1/5000<sup>ème</sup>)

Echelle : 1/5000

### Première section

La partie amont de la section I est caractéristique d'une " tête de bas-fond ". De nombreuses petites ravines et griffes prennent naissance sur la cuirasse dégradée et sont disposées en éventail. La couverture végétale de ces zones de cui-

intensive : riz de bas-fond (constitution de casiers) et " sorgho rouge ". La section se termine par la naissance d'une dynamique érosive intense, dans une zone d'épandage " dévégétalisée " (photo 1) : la ravine est très active (érosion régressive et sapement des berges) et profonde (2 mètres environ)

sants par sa nature limono-argileuse. Il s'agit d'une zone de convergence de trois bras de même type (seul le bras principal fait l'objet du diagnostic). Ces bras sont séparés par un certain nombre de " zipelés " (terme mooré désignant une zone dénudée et encroûtée) d'étendue notable et de lambeaux de cuirasse, le reste des versants étant occupé par des champs de cultures pluviales. Du point de vue hydraulique, cette zone est le lieu d'une submersion générale en saison des pluies. Elle fait l'objet d'une mise en valeur intense : casiers rizicoles (photo 2) et briqueterie.

Une fluctuation importante de la nappe superficielle est également constatée. Celle-ci ne va pas jusqu'au tarissement des puisards situés en rive droite (nappe à 5 ou 6 mètres de profondeur en décembre). Une démarche de recharge de nappe serait ici probablement couronnée de succès.

Il s'agit de la zone présentant le plus grand potentiel d'aménagement hydro-agricole : vocation rizicole à encourager et sécuriser ; possibilité de contre-saison maraîchère... Une activité pastorale est également signalée, mais son importance devra être précisée (existence



Photo 1 : ravine très active menaçant une zone de riziculture dans la section I (photo J. FOURNIER, déc. 1995)

rasses latéritiques est relativement homogène (de type savane arbustive) et peu dégradée. C'est à ce niveau que l'on observe les premières mobilisations de matériaux : gravillons issus de la cuirasse, sables et éléments fins (limons et argiles).

A la confluence des bras principaux apparaissent de petites plaines d'épandage, humides, de mise en valeur récente. La morphologie de cette zone indique un certain équilibre traduit par une dynamique de dépôt de fines argilo-limoneuses sur une épaisseur importante. Elle indique également la permanence d'une nappe superficielle qui pourrait s'expliquer par la présence d'un seuil, justifiant l'adoucissement de la pente à l'origine des dépôts. Dans le bras le plus au sud, un lit mineur est en cours de creusement, dans une zone où la pente est plus marquée (cf. transect n°2, figure 2).

Immédiatement après la confluence de ces bras, se développe une plaine d'épandage de petite dimension faisant l'objet d'une mise en valeur

Cette récente modification de la dynamique du bas-fond est à mettre en relation avec la dynamique de l'eau sur les versants cultivés, situés en amont de cette zone de convergence.



Photo 2 : l'intense activité rizicole qui est observée dans la section II ( en absence de tout aménagement), est un bon indice de la dynamique de mise en valeur du bas-fond et de la technicité des paysans. (photo J. FOURNIER, déc. 1995)

### Deuxième section

Cette plaine d'épandage est constituée d'un lit majeur large et peu encaissé, que l'on distingue des ver-

d'un couloir de passage, dans l'axe du bas-fond).

Immédiatement à l'aval de la piste principale nord-sud, on note la présence d'une mare semi-permanente

de forme très étirée (presque une ravine dans sa partie amont). Au nord de cette mare, des casiers rizicoles sont exploités par le Centre de Formation des Jeunes Agriculteurs (C.F.J.A.). Cette retenue naturelle permet une irrigation d'appoint par motopompasse. Au-delà de la mare, le lit majeur élargi par la confluence des trois bras signalés plus haut, se jette transversalement dans le lit mineur, donnant naissance aux phénomènes d'érosion régressive décrits dans la section III.

### Troisième section

C'est dans la section III que s'observent les zones de dégradation les plus actives du bas-fond. Deux groupes de ravines doivent faire l'objet d'une attention particulière. Le premier trouve son origine dans des conditions hydrauliques imposées par l'ouvrage de franchissement de la route Ouaga.-Niamey. Cet ouvrage concentre les débits de la partie sud du bassin versant en un écoulement de charge et de vitesse telles qu'il génère une érosion régressive intense (30 à 40 mètres de progression en 1994 ; cf. photo 3). Cette érosion s'est surtout développée en amont d'un verger qui a sans doute constitué un obstacle pendant un certain nombre d'années, obstacle que les pluies exceptionnelles de 1994 ont contribué à lever. L'ouvrage routier est

menacé à plus ou moins long terme par le recul de la tête de la ravine. L'élargissement déjà en cours du corps de la ravine dégrade les champs traversés et provoque l'effondrement de puits busés situés à proximité. La progression de cette ravine profonde accentue le drainage de la nappe superficielle de la plaine située en amont et a par conséquent des effets sur son rabattement excessif (section II).

Une deuxième zone de dégradation très étendue (150 à 200 mètres de large) doit aussi faire l'objet d'une attention particulière. Elle s'observe à l'endroit où le lit majeur est très large (cf. figure 2) et se jette transversalement dans un lit mineur encaissé, avec une dénivellée comprise entre 1,50 et 3,00 mètres. C'est précisément cette dénivellée importante, conjuguée au débit résultant de la confluence des trois lits majeurs, qui génère ce champ d'érosion régressive. La dynamique érosive de cette zone de dégradation semble faire l'objet d'un regain d'activité récent (influence de l'ouvrage routier? débits ruisselés plus importants, en relation avec la dégradation des versants?).

Ce champ de ravines se partage en deux groupes principaux plus ou moins interconnectés. Ce réseau ne peut que s'étendre et si un traitement approprié n'est pas réalisé, les champs et les éventuels aménagements de la section II se verront menacés.

En outre, un effet de drainage de la nappe superficielle du bas-fond est à craindre là encore, hypothéquant d'éventuelles tentatives de recharge de nappe et augmentant le risque pour la riziculture.

### Quatrième section

La section IV qui se caractérise par un lit mineur étroit, est une zone de transit des débits. Le fond du lit mineur est stabilisé (nombreux dépôts) et les sédiments sont progressivement transférés jusqu'à la retenue. On peut observer un certain nombre de méandres trouvant leur origine dans la recherche de la ligne de plus grande pente. Un ou deux méandres caractérisés par des changements brutaux de direction sont dus à la présence d'obstacles : verrous rocheux, bosquets denses...

A certains endroits du parcours, on a pu remarquer le double gabarit du lit mineur : cette configuration trouve certainement son origine dans l'augmentation, au cours des dernières décennies, du débit instantané du cours d'eau. Cette modification hydrologique est à relier à l'évolution récente des versants (augmentation des coefficients de ruissellement).

Tout au long de cette section, le lit mineur encaissé provoque un rabattement de la nappe superficielle n'autorisant que les cultures qui y sont déjà pratiquées (cultures pluviales extensives). En outre, on s'interdira tout aménagement hydraulique important dans cette section, afin de ne pas perturber le transit du débit destiné à alimenter la retenue aval. Cependant, il sera bon de traiter les ravines observées le long de cette portion du lit mineur. Notons en dernier lieu qu'à son extrémité aval, le lit mineur disparaît progressivement jusqu'à la retenue, suite à la remontée du niveau de base occasionnée par celle-ci.

### *Orientations pour les futurs aménagements (tableau 1)*

Avant d'envisager tout aménagement hydro-agricole, il est indispensable de traiter préalablement les zones d'érosion actives décrites



Photo 3 : dans la section III, une importante ravine liée à la présence d'un ouvrage routier menace l'activité agricole dans la section II (par drainage de la nappe et par érosion régressive) (photo J. FOURNIER, déc. 1995).

dans la section III ; sous peine de voir ces ravines progresser jusqu'aux zones aménageables. On aura soin ici d'esquisser un ordre de priorité pour les divers aménagements hydro-agricoles du bas-fond. Naturellement, l'aménagement et la gestion conservatoire des versants vont de pair avec la mise en valeur rationnelle du bas-fond (mais ce sont des objectifs à plus long terme).

investigations hydrologiques permettraient d'en préciser l'aptitude à la riziculture.

On se préoccupera également d'enrayer la dégradation hydraulique de la partie aval de cette section, par un traitement approprié de la ravine. Sans pour autant être prioritaire, ce traitement s'impose dans un délai assez bref, afin de protéger les champs en amont.

ou les positions des digues qui auraient une hauteur maximum de 80 centimètres.

Aux vues de l'étendue de la plaine principale, il est raisonnable d'envisager la construction de deux ou trois digues en cascade (réglage de la lame d'eau par batardeaux). La conception de la fondation de ces ouvrages devra éventuellement prendre en compte l'intérêt d'une

**Tableau 1 : récapitulatif des recommandations du diagnostic du bas-fond de Zempassogo. L'ensemble des opérations d'aménagement devrait s'accompagner de mesures de conservation des eaux et des sols, à programmer sur le long terme.**

section du bas-fond (par priorité d'intervention)	propositions d'aménagement	conditions préalables	études complémentaires avant prise de décision
section III	traitement des 2 groupes de ravines	intégrer cette opération de restauration dans le dossier d'aménagement du bas-fond	évaluation des débits à gérer
section II	(1) série de digues déversantes à batardeaux (avec ou sans tranchée d'étanchéité) ;  (2) surcreusement de la mare	(1) et (2) : traitement des ravines de la section II	(1) études socio-économique, hydrologique et géotechnique (*)  (2) étude géotechnique ; évaluation des besoins (maraîchage et activité pastorale)
section I	(1) traitement de la ravine (2) contrôle du déboisement de la tête du bas-fond	intégrer ces opérations de restauration dans le dossier d'aménagement du bas-fond	(1) évaluation des débits à gérer (2) évaluation des besoins et possibilités de reboisement
section IV	traitement des ravines naissantes	intégrer ces opérations de restauration dans le dossier d'aménagement du bas-fond	déterminer les causes de dégradation (érosion ; pistes à bétail...)

(\*): l'existence d'une riziculture généralisée avant aménagement permet de conclure à une bonne aptitude des sols du lit majeur (faible perméabilité).

La section I est une zone non prioritaire dans le schéma d'aménagement du bas-fond. Toutefois, il est souhaitable d'y encourager la mise en valeur agricole naissante.

L'équilibre actuel de la section I passe par le maintien du couvert végétal des versants amont cuirassés et par une bonne gestion des versants cultivés. Le bon potentiel agronomique de cette section du bas-fond fait l'objet d'une exploitation récente, mais cette dynamique reste limitée dans son développement par la faible superficie du lit majeur. A ce titre, un aménagement de cette partie du bas-fond ne peut-être prioritaire. Quelques

La section II constitue un zone d'intensification de la riziculture. Le surcreusement d'une mare pour le maraîchage en contre saison et/ou l'abreuvement du bétail peut également s'envisager.

Ce groupe de plaines d'épandage faisant déjà l'objet de riziculture, pourra accueillir des aménagements visant à sécuriser et développer cette activité. En ayant présent à l'esprit le fait qu'une partie seulement de l'écoulement doit être maîtrisée (nécessité d'alimenter le barrage existant), des digues rizicoles constitueront un aménagement indiqué. Les études topographiques ultérieures permettront de situer la

recharge de nappe dont on a senti la possibilité. Avant d'envisager tout aménagement, il est fondamental de préciser l'importance de l'exploitation pastorale du bas-fond, afin de prévenir d'éventuels conflits d'utilisation. Il en va de même pour les activités connexes non agricoles (briqueterie en particulier).

La mare permanente est un site privilégié pour la réalisation d'une mare surcreusée. En effet, l'intérêt de l'exploitation de la mare est déjà démontré par l'activité du Centre de Formation des Jeunes Agriculteurs (C.F.J.A.) sur les champs voisins. Le gain de volume obtenu par surcreusement permettrait d'envisager

sager un développement notable de ces activités. La question d'une utilisation pastorale reste à préciser (le diagnostic fait apparaître une exploitation pastorale du bas-fond).

D'une manière générale, la section II est la plus prometteuse en matière d'aménagement hydro-agricole. On s'y intéressera donc de façon prioritaire.

Le traitement des ravines de la section III est un préalable à la mise en oeuvre du schéma d'aménagement.

Le diagnostic a mis en exergue l'urgence du traitement de la section III. Concernant la ravine née de l'ouvrage routier, le problème est rendu complexe par le partage mal défini des responsabilités administratives. Il est à craindre que l'intervention des services concernés soit uniquement orientée dans le sens de la sécurité de l'ouvrage routier et tienne peu compte de la dégradation du terrain.

En outre, la dégradation des sols liée à la progression de la ravine ne concerne que quelques riverains. La seule manière d'espérer une prise en compte de cet aménagement par la collectivité villageoise est d'intégrer le traitement de cette ravine à la restauration générale de la section III, elle-même élément clef de l'aménagement du bas-fond (en termes plus précis, on a intérêt à constituer un seul dossier pour le traitement de la section III).

Le champ de ravines, quant à lui, est la priorité de la protection du bas-fond : le traitement de cette zone doit être considéré comme un

préalable à toute autre opération. Comme dit précédemment, il doit se concevoir comme une démarche globale de la restauration de la zone de confluence.

L'ampleur des travaux est relativement importante, car il faut prévoir des ouvrages de comblement des ravines, ainsi que des ouvrages de dissipation d'énergie à la jonction avec le lit mineur : très succinctement, il y aurait deux groupes d'ouvrages correspondant aux deux faisceaux de ravines décrits plus haut.

Le bénéfice attendu de ces traitements se traduira directement dans le bon fonctionnement des ouvrages prévus en amont.

La section IV ne fait pas l'objet d'un aménagement prioritaire. Le blocage de ravines naissantes doit être envisagé.

C'est la section du bas-fond offrant le moins de possibilités d'aménagement. Bien au contraire, il faudrait veiller à ne pas perturber sa fonction hydraulique de transit du débit. On aura soin de prévoir de bloquer le développement des ravines d'érosion localisées en rive droite, principalement au pied de " zipelés ", qui constituent des zones de naissance et de mise en vitesse du ruissellement.

## CONCLUSION

L'originalité de la méthode mise en oeuvre ici réside essentiellement dans la vision globale du bas-fond qu'elle propose. En effet, si les outils d'analyse présentés ne sont pas nouveaux, il n'en reste pas moins

que trop souvent encore le choix du mode d'aménagement se fait sur la base des seuls critères techniques (topographie et perméabilité du lit majeur, caractéristiques morphométriques du bassin versant). Ce type d'approche, qui ne tient pas compte de la place effective du bas-fond dans son terroir, aboutit généralement à la non utilisation, ou tout au moins à la sous-utilisation d'aménagements ne répondant que partiellement à la demande [2]. Ainsi, la phase de diagnostic s'attache-t-elle à analyser le fonctionnement actuel du bas-fond, à travers sa dynamique hydraulique, sa dynamique de mise en valeur et son mode d'exploitation. Elle conduit à l'élaboration concertée d'un ou plusieurs schémas d'aménagement qui résultent d'un choix multicritère.

Les éléments clés de la prise de décision sont multiples (figure 3). En premier lieu, il s'agit de valider la demande d'aménagement : le ou les villages concernés montrent-ils une réelle capacité à mettre en valeur le bas-fond? Il s'agit de capacité en terme de force de travail, de disponibilité (concurrence avec les activités de versants), de technicité, d'organisation et d'accès au foncier. Si la réponse est négative, il faut en chercher la cause.

Dans tout les cas, les points de blocage identifiés devront être levés avant d'engager la suite du processus.

La suite du diagnostic concerne une série de critères d'ordre technique et socio-économique qui permettent de définir des stratégies d'aménagement répondant autant que possible à la demande expri-

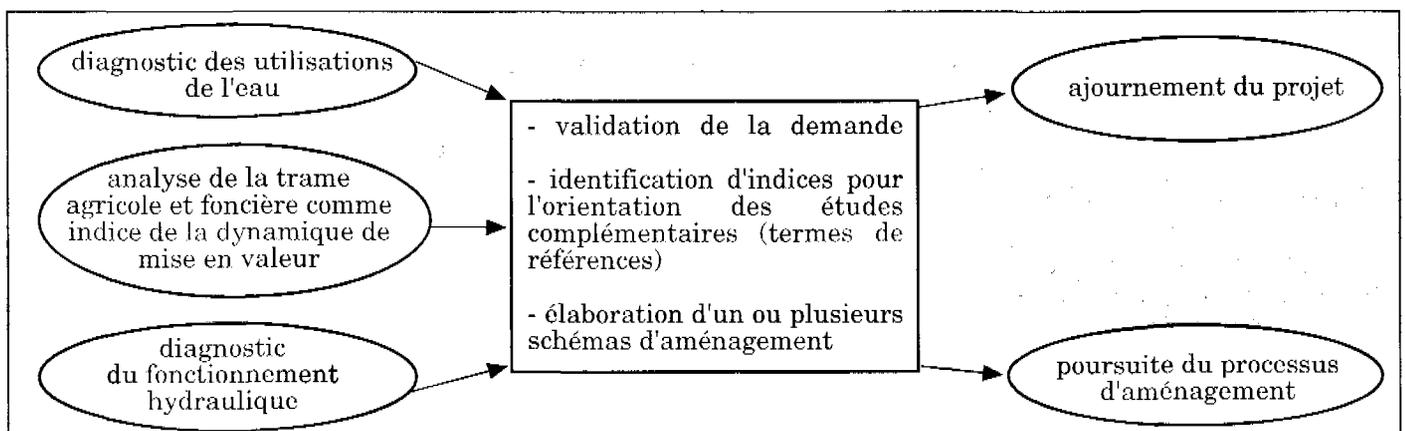


Figure 3 : schéma de synthèse du diagnostic rapide, outil d'aide à la prise de décision à partir d'indices facilement observables.

mée. A l'heure actuelle, ces critères sont plus ou moins bien formalisés suivant les régions, et un important travail de synthèse reste à faire.

Il faut noter qu'ici, l'aménagement du bas-fond se raisonne dans le cadre d'un schéma réalisable par étapes (plusieurs années en géné-

s'agit donc de donner les outils nécessaires à ces structures (en particulier par le biais de formations), pour qu'ils puissent pleinement jouer leur rôle. Une demande similaire existe au niveau des bureaux d'étude qui peuvent se voir confier la réalisation de l'étude diagnostic.

Sans prétendre être représentatif de la zone soudano-sahélienne, cet échantillonnage permet d'illustrer la méthode de diagnostic en abordant tout les types d'aménagements réalisables dans cette région. Il s'est également agit de tester la méthode et de l'adapter à la variabilité climatique (600 à

Tableau 2 : Caractéristiques des bas-fonds diagnostiqués dans la zone soudano-sahélienne

ZONE GEOGRAPHIQUE	VILLAGES ETUDIES	DENSITE PAR SURFACE CULTIVEE	TYPE DE MISE EN VALEUR	DEGRE DE MECANISATION
Plateau Mossi (Burkina Faso) ; Socle précambrien ; pluviométrie annuelle 700 mm	Zempassogo ; Zanrin ; Komiesé Kiéglissé ; Gouréba	33 à 40 ares/hab.	Intensive en saison des pluies ; généralisée	FAIBLE
	Pamnoguen	50 à 63 ares/hab.	Extensive ; généralisée	FAIBLE
Plateau de Fakara (Niger) ; continental terminal ; pluviométrie annuelle 570 mm	Irah ; Torombi ; Tchiankargui	100 à 170 ares/hab.	Extensive ; localisée	FAIBLE
Mali-Sud grès primaires ; pluviométrie annuelle 1050 mm	Ngorodougou ; Fininngasso Nyaradogo	28 à 30 ares/hab.	Intensive (2 à 3 cycles de culture) ; généralisée	MOYEN
Nord Togo grès fins tabulaires ; 1000 mm	Doré ; Moak ; Wark	62 à 83 ares/hab.	Extensive ; généralisée	FAIBLE
Nord Togo ; Socle précambrien ; pluviométrie annuelle 1000 mm	Kourienté ; Tchiégré	300 hab./km <sup>2</sup> et surf. cuirassées importantes	Intensives (2 à 3 cycles de culture) ; généralisée	ELEVE

ral). Le diagnostic permet de définir des objectifs à atteindre et des priorités en matière d'aménagement.

D'autre part, cette approche élaborée avec et pour les différents acteurs intervenant dans l'opération d'aménagement du bas-fond, répond à une redéfinition récente de leur rôle. En effet, en quelques années, on est passé d'une situation où le projet, l'O.N.G. ... étaient à la fois maître d'ouvrage et maître d'oeuvre (aménagement effectué en régie), à des situations où ces structures de développement représentent la population (maître d'ouvrage délégué) et confient à des prestataires de service les études et la réalisation de l'aménagement. Face à cette évolution, le contrôle effectif par le maître d'ouvrage des différentes étapes de l'aménagement du bas-fond (le maître d'ouvrage ayant lui-même défini les grandes orientations de l'aménagement), est la seule garantie de répondre réellement à la demande villageoise. Il

Dans une optique de diffusion de cette méthode de diagnostic du bas-fond, une démarche de validation est engagée par l'ETSIER et l'E.I.E.R. sur l'ensemble de la zone soudano-sahélienne. Pour cela, 7 zones d'application ont été retenues et 6 bas-fonds étudiés à ce jour (tableau 2).

1000 mm/an) et géomorphologique de la zone considérée. Cette étude sous-régionale sera capitalisée dans un manuel à l'intention des aménagistes (ingénieurs, techniciens supérieurs, agents de terrain). □

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] ATLAS JEUNE AFRIQUE (ouvrage collectif), 1993 : Atlas du Burkina Faso. Editions J.A. pp 14-16; 24-25 et 43.
- [2] BERTON S., 1988 : Maîtrise des crues dans les bas-fonds : petits et micro-barrages en Afrique de l'ouest. GRET, Min. de la Coopération française, A.C.C.T. 430 p.
- [3] ALBERGEL J., LAMACHERE J.M., LIDON B., MOKADEM A., VAN DRIEL W., 1993 : Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel: typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles. CORAF - R3S. 355p.
- [4] DURAND J.M., FOURNIER J. ; 1995 : Diagnostic du bas-fond de Zempassogo, province du Ganzourgou, Burkina - Rapport + carte, ETSIER - E.I.E.R. 12p.
- [5] VLAAR J. C. J., 1992 : les techniques de conservation des eaux et des sols dans les pays du Sahel. C.I.E.H., U.A.W. pp 1-12.
- [6] DURAND J.M., FOURNIER J. ; Le diagnostic rapide des bas-fonds soudano-sahéliens - Manuel à l'intention des aménagistes - A paraître.

## COULIBALY Yézouma

Maitre-Assistant à l'E.I.E.R

03 BP 7023 Ouagadougou 03 - Burkina Faso

## THIOMBIANO Godefroy

Chargé de recherche à l'I.R.S.A.T

03 BP 7047 Ouagadougou 03 - Burkina Faso

## TRAORE M. Yves

Chargé de recherche à l'I.R.S.A.T

03 BP 7047 Ouagadougou 03 - Burkina Faso

### Résumé

On analyse les conditions de confort thermique dans l'habitat en zone climatique sèche et humide à travers le cas de trois villes sub-sahariennes : Ouagadougou 12,5° de latitude nord, Bobo Dioulasso 11° de latitude nord et Dori 14° de latitude nord. L'analyse est faite à partir des données météorologiques reportées sur le diagramme bioclimatique de Givoni. A partir de ce diagramme, on préconise une typologie de l'habitat des zones considérées en recommandant certains effets bioclimatiques et en déconseillant d'autres.

### Mots clés :

confort thermique, bioclimatisme, habitat, climat, climatisation.

### abstract

thermal comfort conditions are analyzed for three sub-sahara african cities in habitat of humid and dry climatic zone : Ouagadougou in latitude 12,5° north, Bobo Dioulasso in latitude 11° north and Dori in latitude 14° north. The analysis is made from meteorological data plotted on Givoni bioclimatic diagram. By this diagram, we recommend a typology of these areas housing, by encouraging some bioclimatic effects and dissuading others.

### key words :

thermal comfort, passive solar cooling, habitat, climat, air conditioning

## I) INTRODUCTION

L'habitat traditionnel est réputé pour son adaptation aux climats locaux parce que résultant d'une expérience sur plusieurs siècles. Face à la poussée démographique un nouveau type d'habitat souvent moins adapté thermiquement se développe à partir des villes pour se propager ensuite dans les pays.

Pour des raisons économiques, parfois esthétiques, par ignorance ou souvent par habitude, on construit sans tenir compte du climat. Nous proposons à travers la présente étude une méthodologie pour la prise en compte des paramètres climatiques dans la conception de l'habitat en zone tropicale. Cette méthodologie aboutit à des recommandations pour l'amélioration du confort thermique dans l'habitat ou pour réduire la charge climatique des locaux qui bénéficient du conditionnement d'air.

## II) DIAGRAMME BIOCLIMATIQUE DE GIVONI

Le confort thermique est une notion subjective fonction de divers paramètres qui sont imposés par le milieu (température, humidité et vitesse de l'air, température radiante des corps environnants, ...) soit propres aux individus (le métabolisme, l'activité, l'âge, le sexe des individus, ...).

Une approche réaliste de l'étude du confort consiste à ne prendre en compte que quelques uns de ces paramètres parmi les plus importants.

Dans l'analyse qui suit nous

n'avons considéré que les effets combinés de la température sèche et de l'humidité.

L'effet de la ventilation vient en complément. La zone de confort est de ce fait définie par un polygone dans le diagramme psychrométrique [5].

Pour un individu acclimaté (sédentaire ou établi au moins depuis 7 ans dans la zone de mesure) elle est représentée par la figure 1.

Les auteurs ne font pas d'hypothèses sur les paramètres annexes tels que la vitesse du vent pour l'établissement de la zone de confort.

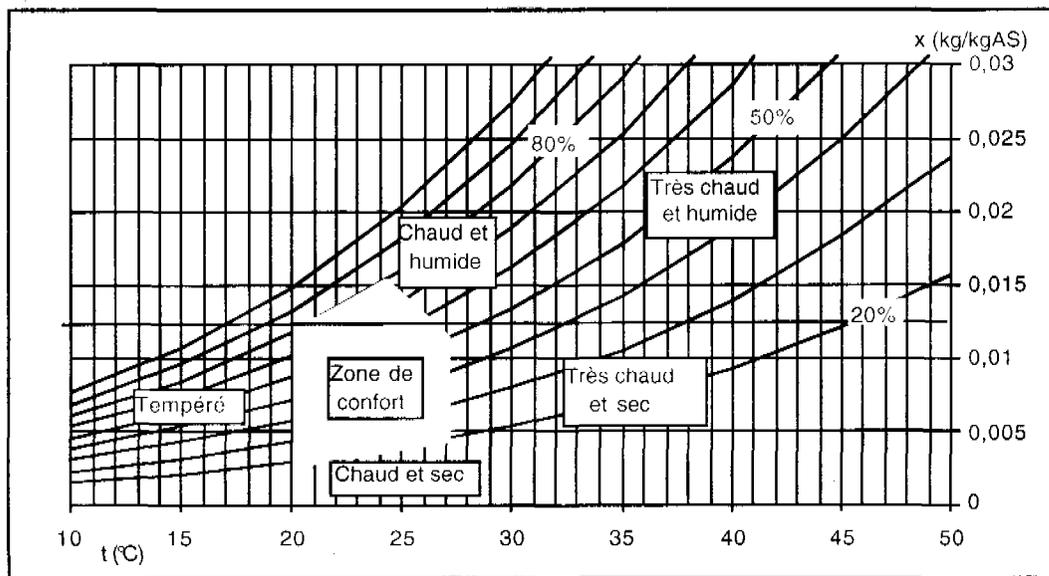


Figure 1: Zone de confort dans le diagramme psychrométrique :  
T est la température sèche et x l'humidité absolue

Lorsqu'un individu est hors de la zone de confort il éprouve une gêne et donc le besoin de se soustraire à cet inconfort. La solution la plus efficace mais aussi la plus coûteuse consiste à utiliser les moyens artificiels tels que le chauffage pour les climats tempérés ou froids, et la climatisation artificielle pour les climats chauds. Une autre approche est l'utilisation de concepts bioclimatiques pour créer des zones de microclimat confortables dans le cadre de vie. On étend ainsi la zone de confort à un espace plus important présenté par la figure 2 tirée des travaux de Givoni et Hilne [1]. Chacune des zones montre l'extension de la zone de confort du fait d'un effet bioclimatique particulier. La zone de ventilation permanente V correspond aux climats pour lesquels une bonne ventilation des

personnes et des locaux suffit à recréer le confort thermique. En se référant à la figure 1 on peut constater que ce type de solution intéresse surtout les zones climatiques chaudes et humides.

La zone I correspond aux climats pour lesquels une architecture à forte inertie thermique permet d'atteindre le confort par la création d'un microclimat interne. Dans certains cas de climats particulièrement rudes, l'inertie thermique doit être augmentée à l'extrême et accompagnée d'une bonne ventilation nocturne des locaux pour évacuer les chaleurs diurnes et redonner ainsi le confort thermique. C'est le cas de la zone INV. Lorsque l'air est relativement sec, on peut réaliser un refroidissement et une humidification par évaporation d'eau. L'air résultant est

ensuite distribué dans les locaux. Le confort thermique peut être ainsi obtenu pour la zone RE [3],[4].

Pour toute autre zone à l'exception des cinq citées il faut recourir aux moyens artificiels que sont :

- la climatisation artificielle (AC)
- la déshumidification (DH)
- le chauffage, soit naturel par effet de serre et autres capteurs solaires, soit artificiel (H).

### III) APPLICATION EN ZONE TROPICALE

Les réponses bioclimatiques de l'habitat pour un bon confort thermique dépendent à la fois du lieu géographique et de la période de l'année. A partir des données météorologiques de trois régions types du Burkina Faso nous faisons une analyse globale des conditions de confort thermique passif du pays et par extension des zones tropicales sèches ou moyennement humides (figure 3). Nous avons adopté la classification de G. Lippsmeier [1] pour la dénomination des trois régions en :

- zone tropicale humide ; cas de Bobo Dioulasso (11° nord, 4,5° ouest)
- zone tropicale sèche ; cas de Ouagadougou (12,5° nord, 1,5° ouest)
- zone semi-désertique ; cas de Dori (14° nord, 0°)

Pour chacune de ces trois zones, les données météorologiques sur 10 ans\* (période de 1983 à 1992) ont permis de calculer les valeurs moyennes mensuelles de températures maximales et minimales et d'en reporter les valeurs sur le diagramme bioclimatique. Les figures 4, 5 et 6 présentent ces valeurs par site pour chaque mois de l'année\*.

L'analyse de ces diagramme est donnée ci-après.

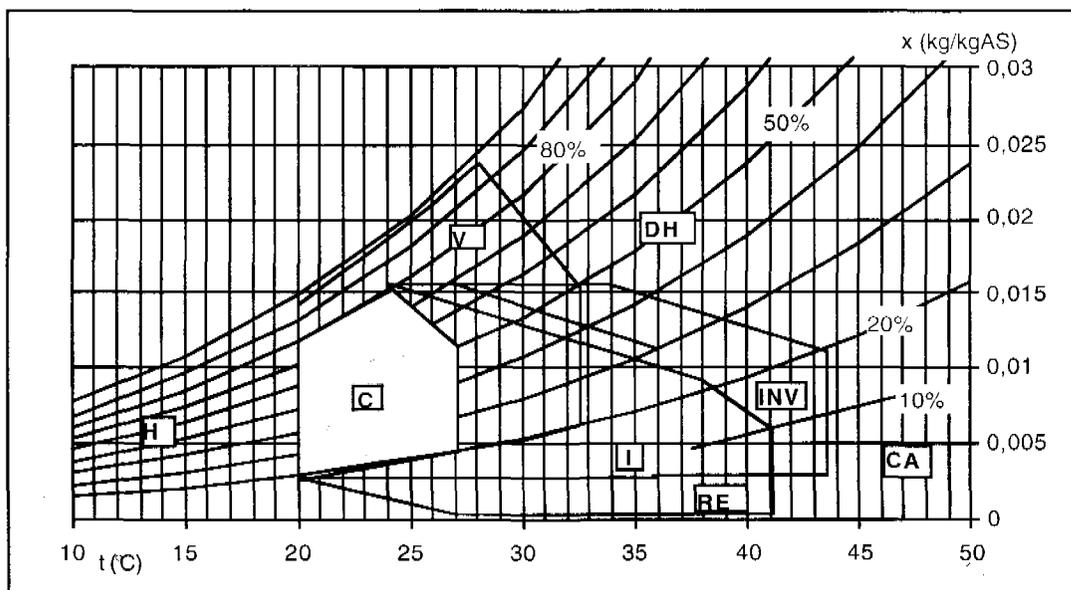


Figure 2 : Diagramme bioclimatique de Givoni : t est la température sèche, x l'humidité absolue

\* source des données : Météorologie Nationale du Burkina Faso

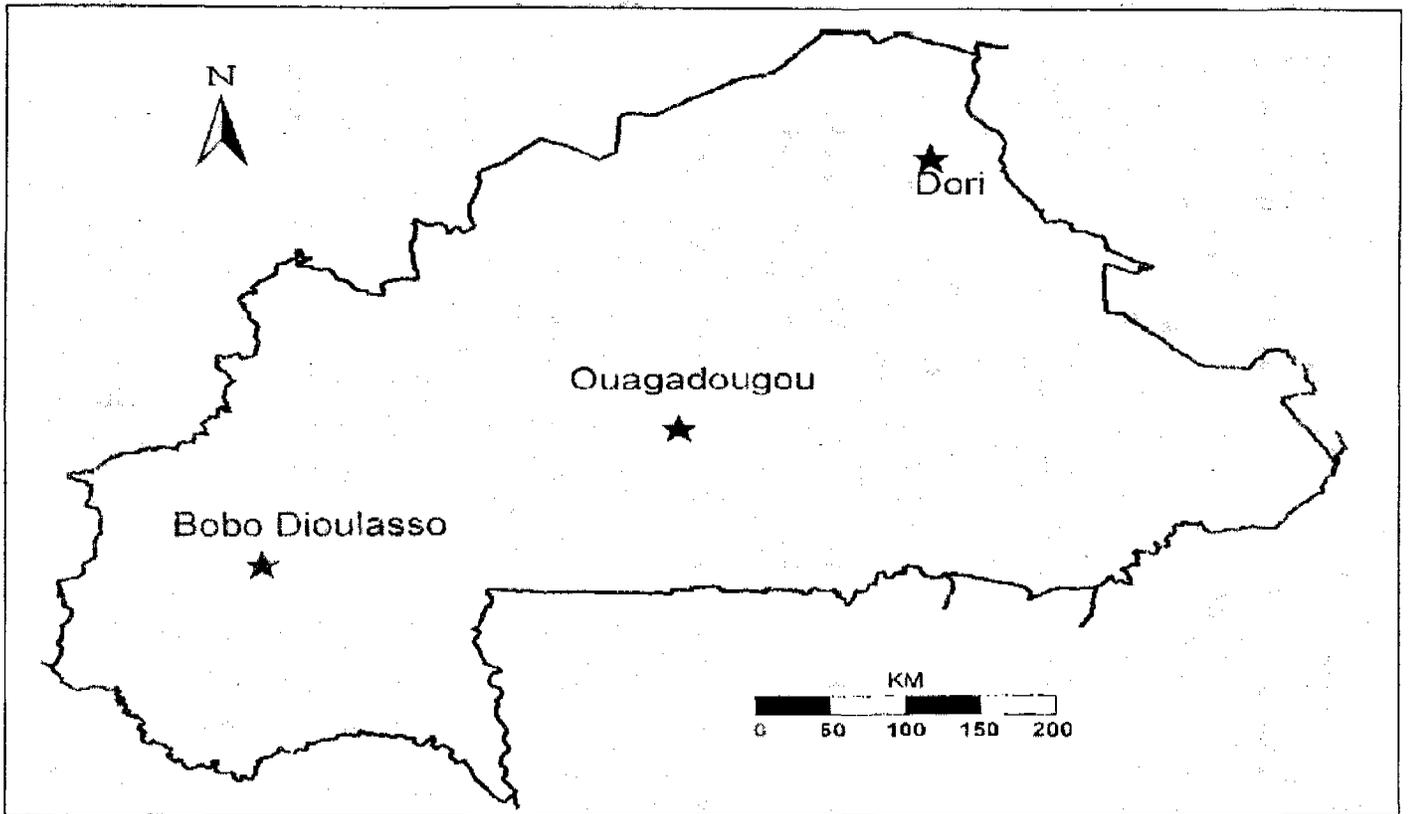


Figure 3 : Villes sites des relevés météorologiques utilisés

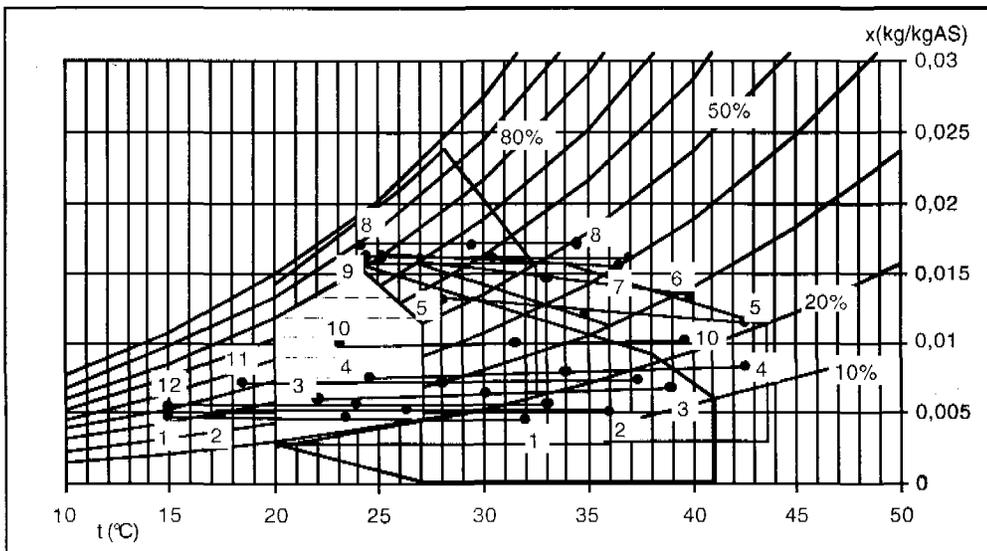


Figure 4 : site de Dori sur le diagramme bioclimatique

moments de la journée. Il demeure cependant possible pour une bonne partie de la journée, d'atteindre le confort par la ventilation permanente ainsi que le suggère la figure 4. Celle-ci peut être naturelle (réalisation d'ouvertures judicieusement placées) ou forcée.

Région de Ouagadougou

Le climat y est plus clément. On distingue assez nettement deux grandes périodes bioclimatiques (figure 5). La période allant de novembre à avril est qualitativement similaire à celle décrite par

Région de Dori La région de Dori présente les caractéristiques d'une zone de fortes amplitudes de température en particulier pour les mois allant de Novembre à Avril. Les réponses architecturales ou bioclimatiques sont de deux ordres. - La période d'Octobre à Avril se caractérise par un climat sec, froid la nuit et souvent chaud le jour. L'habitat conseillé est essentiellement celui à forte inertie thermique pour un stockage de la fraîcheur nocturne à condition de bien ventiler les locaux la nuit. Une telle disposition répond à la fois au

problème des surchauffes diurnes et des refroidissements nocturnes par un écrêtement des amplitudes de température interne. Dans les cas de constructions en banco, l'épaisseur des murs conseillée peut atteindre 30 voir 40 cm. La période de Mai à Septembre se caractérise par un climat relativement humide à faibles amplitudes de température. L'inertie thermique préconisée ci-dessus est inadaptée. Pour certains mois de l'année (Juin, Juillet et Août) il n'y a de solution autre que la climatisation artificielle à certains

la figure 4.

Le stress climatique est toutefois plus faible. L'inertie thermique de l'habitat peut par conséquent être réduit. Une inertie thermique conséquente et une ventilation continue à certaines périodes de l'année (Juillet, Août, Septembre) peuvent dans certaines conditions de protection solaire suffire pour un bon confort toute l'année.

Les périodes les plus difficiles sont les maxima d'Avril et Juin pour lesquels un appoint en climatisation artificielle est inévitable.

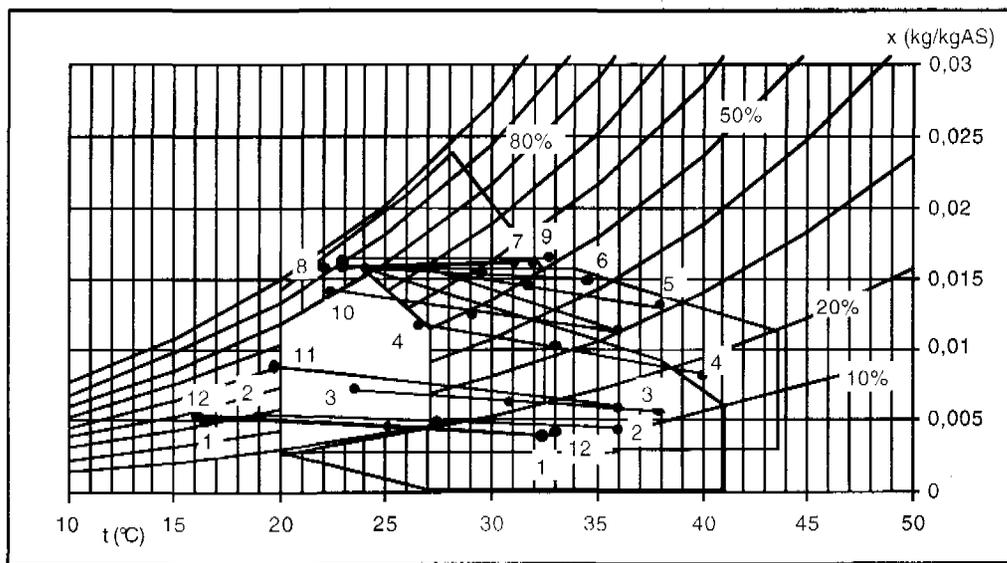


Figure 5 : site de Ouagadougou sur le diagramme bioclimatique

**Région de Bobo Dioulasso**

C'est la zone la plus clémente. Une architecture bien conçue doit permettre dans cette zone de s'affranchir de tout moyen de climatisation artificielle. Ce n'est pas toujours facile ni même possible dans la pra-

à vivre de préférence à l'intérieur des maisons dans la journée et à l'extérieur la nuit (sur les terrasses, les balcons, les toits en terrasse ou tout autre espace ventilé) est la méthode de règle dans cette région.

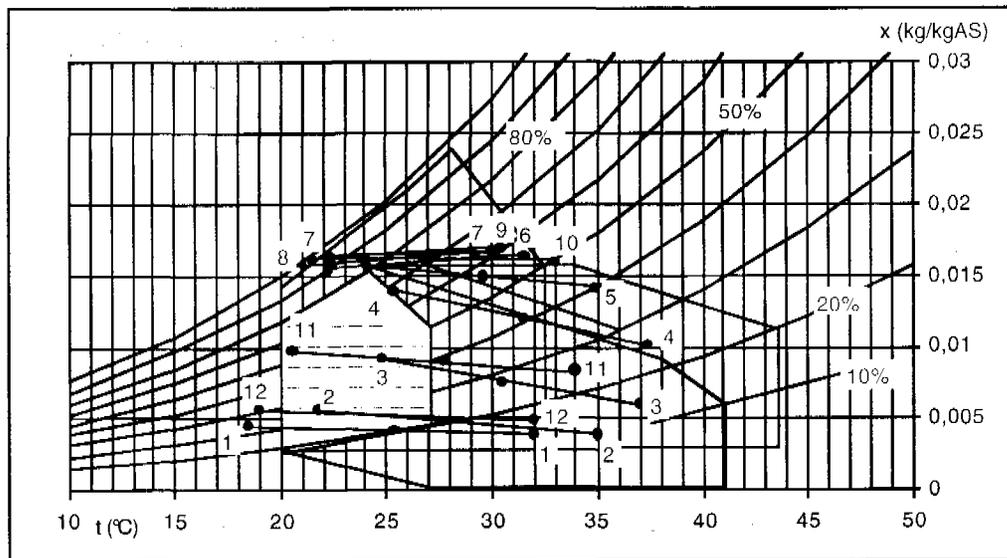


Figure 6 : site de Bobo-Dioulasso sur le diagramme bioclimatique

tique. On remarque (figure 6) qu'une bonne ventilation lors des périodes humides de Mai à Novembre permet de couvrir pratiquement tous les besoins de climatisation à tout moment de la journée. A tout autre moment de l'année, le nomadisme qui consiste

**V) RECOMMANDATIONS POUR LES TROIS SITES**

Malgré les différences relevées, les trois régions analysées restent somme toute semblables par leurs réponses bioclimatiques et architecturales ainsi que le montrent les

figures 3, 4 et 5. L'une de ces réponses, à laquelle nous n'avons pas encore fait allusion est la protection contre le rayonnement solaire. Le tableau ci-dessous présente l'irradiation moyenne mensuelle sur un plan horizontal de chaque site.

Les fortes valeurs d'irradiations indiquées par ce tableau principalement pour la région de Dori, montrent l'importance de cette protection dans les pays tropicaux : maisons de teinte claire réfléchissante, tôle en aluminium et double dalle avec lame d'air, masques divers tels que les haies vives, les

auvents, avancées de toiture et rebords de fenêtre etc. Pour limiter les apports solaires il faut également penser à réduire la surface et le nombre des ouvertures en évitant de réaliser de véritables serres

par excès de vitrage. Une surface d'ouverture de 15 à 25 % de la surface totale des murs externes est un bon ratio dans les zones très ensoleillées et sèches. Dans les cas de climat chaud et humide un compromis est à trouver entre cette règle de protection solaire et la ventilation des locaux qui demande une surface d'ouvertures plus grande.

On se rend bien compte, dans la pratique, à quel point la ventilation des locaux et des personnes est importante pour le confort thermique.

C'est pour cette raison que les maisons et leurs ouvertures doivent être orientées de manière à bénéficier des vents dominants. Au Burkina Faso ces vents sont d'une part l'harmattan qui souffle du nord-est de Novembre à Avril, d'autre part la mousson qui souffle du sud-ouest de Mai à Octobre.

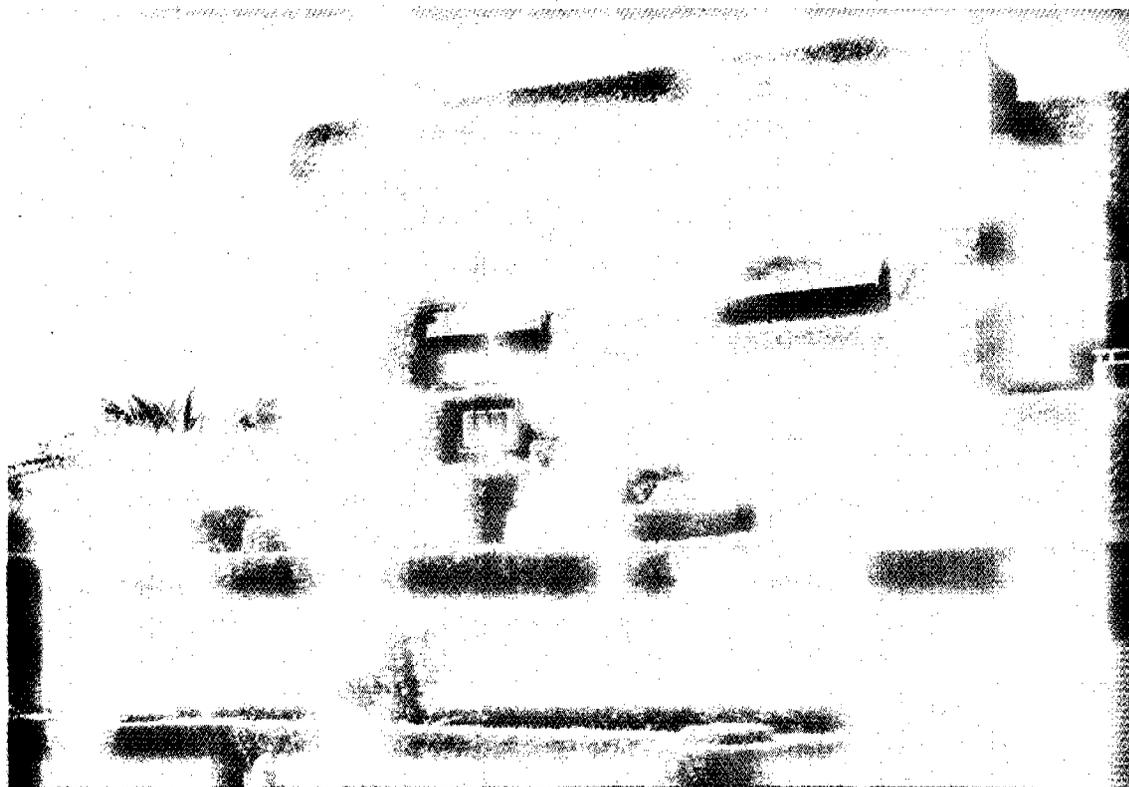
	Janv	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Dori	4,96	5,61	5,9	5,86	6,2	5,59	5,41	5,33	5,58	5,44	5,13	4,76
Ouagadougou	4,25	4,89	4,98	5,03	5,03	4,78	4,54	4,4	4,77	4,79	4,39	4,09
Bobo-Dioulasso	4,42	4,89	4,9	4,88	4,92	4,78	4,29	4,18	4,44	4,63	4,21	4,01

Tableau : Irradiation moyenne journalière en kWh/m<sup>2</sup>

\* source des données : Météorologie Nationale du Burkina Faso



*Figure 7 a*  
*Exemple de protection*  
*de façade ouest*  
*par la végétation*



*Figure 7 b :*  
*Protection de façade*  
*est par rebords de*  
*fenêtre et végétation*

Ici encore un compromis doit en général être trouvé avec l'une des règles de la protection solaire qui veut que les plus grandes façades soient face au nord ou au sud. Inertie thermique, protection solaire et ventilation, lorsqu'elles sont bien pensées, suffisent dans bien

des cas pour avoir un confort acceptable. Le refroidissement par évaporation, s'il était utilisé serait un bon complément pour se passer de climatisation active dans bien des maisons pour toute l'année. Cette technique, connue et utilisée depuis fort longtemps dans la climatisa-

tion des locaux est malheureusement ignorée en Afrique sub-saharienne.

Elle est tout juste utilisée dans les villages pour refroidir l'eau de boisson dans les jarres neuves et les bidons recouverts de tissus mouillés. Les tentatives d'adaptation et de

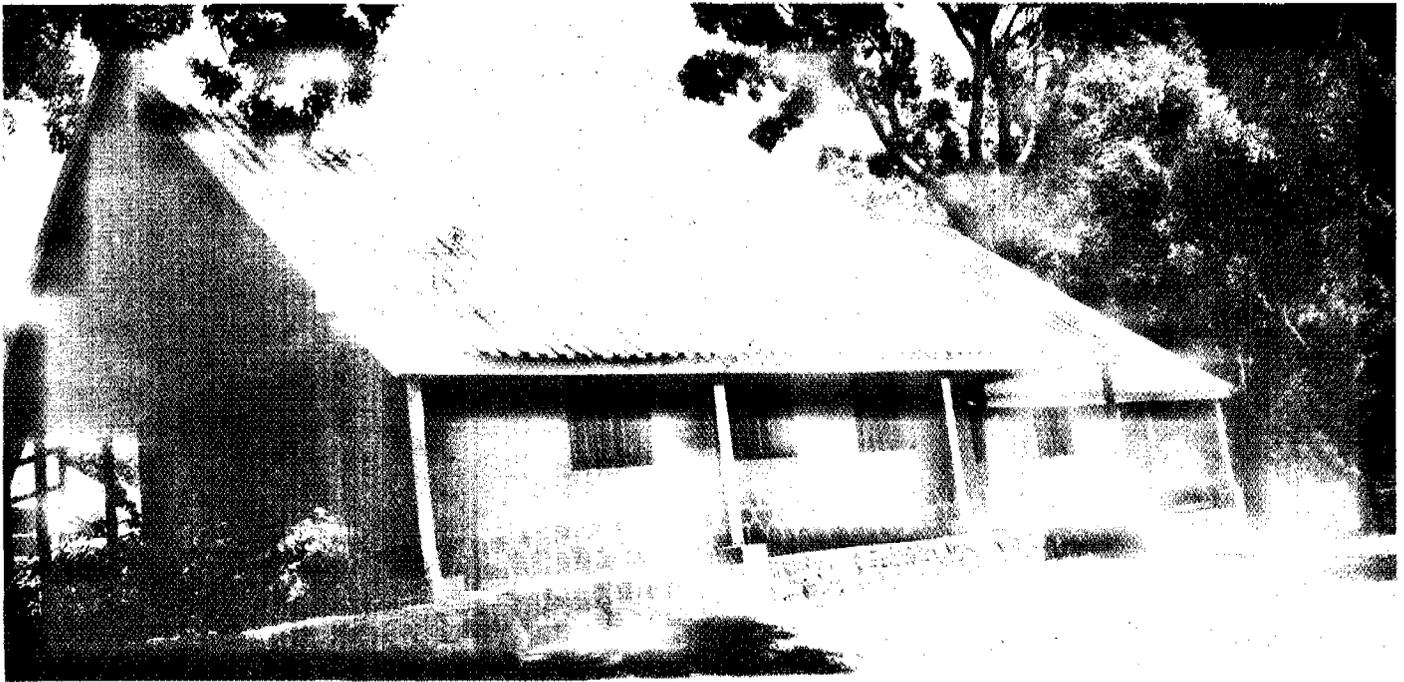


Figure 7 c : Protection des façades par avancée de toiture et végétation

promotion du procédé par l'E.I.E.R. et par l'IRSAT ont permis d'introduire deux prototypes de refroidisseur par évaporation sur le marché[4]. Quelques modèles d'importation sont également commercialisés.

Cependant les réalisations pratiques restent limitées. Une information à large échelle devrait permettre à terme d'introduire assez facilement cette technologie dans les habitudes de climatisation des locaux des zones tropicales sèches.

## VI CONCLUSION

Le travail présenté ici a permis de montrer l'incidence prépondérante de certains paramètres climatiques sur le confort thermique. L'utilisation du diagramme de Givoni fait ressortir clairement les possibilités, les zones et les modes d'intervention bioclimatiques pour atteindre le confort thermique. On en déduit les recommandations fondamentales telles que la protection contre le rayonnement solaire (arbres, auvents, rideaux, masques divers) et la forte inertie thermique des locaux pour les pays chauds et secs. Pour cette dernière recommandation on sait que les bâtiments de structure lourde sont nécessaires pour l'amortissement et le déphasage de l'onde thermique pendant

les périodes chaudes et sèches. Cependant, très souvent un compromis doit être trouvé avec la nécessité d'avoir une structure légère bien ventilée en saison des pluies. C'est l'un des paradoxes du bioclimatisme des climats chauds. Dans tous les cas de figure on réduira l'inconfort des saisons les plus torrides au détriment de celui des saisons clémentes.

Cette méthode d'analyse (diagramme de Givoni) appliquée à trois régions climatiques types du Burkina Faso fait ressortir avec acuité

les insuffisances et les forces de l'habitat de ces régions. Le refroidissement par évaporation est identifié comme pouvant être d'un recours bénéfique sinon déterminant pour se passer de climatisation artificielle à toute période de l'année. Dans un environnement si souvent torride où la tendance devrait être aux économies d'énergie le bioclimatisme est sans conteste incontournable.

L'idée de base qu'il sous-entend étant : "avant de climatiser, il faut éviter de chauffer". □

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] MINISTERE DE LA COOPERATION FRANÇAISE, GRET, Programme rexcoop. 1986 - Bioclimatisme en zone tropicale, Paris : la documentation française, 172 p..
- [2] MESTER de PARAJD L. 1991.- Architecture climatique en Afrique. - Séminaire architecture (Bio) climatique. - Sophia-Antipolis : AFME, p. 267-277
- [3] JANNOT, Y.1994.- L'amélioration du confort thermique en zone tropicale sèche.- In : "Revue Internationale du Froid", Vol 17 N° 3.
- [4] JANNOT Y., DJIAKO, T. 1994. - Economie d'énergie et confort thermique dans l'habitat en zone tropicale. - In : "Revue Internationale du Froid", Vol 17 N° 3.
- [5] UNITED NATIONS CENTRE FOR HUMAN SETTLEMENTS (HABITAT). 1990. - National design handbook prototype on passive solar heating and natural cooling of buildings. - Nairobi : United Nations, 162 p.
- [6] CHAULIAGUET, Ch., BARATÇABAL, P., BATELLIER, J.P. 1979. - L'Énergie Solaire dans le bâtiment. - Paris : Eyrolles, 202 p.
- [7] BLANC, M. 1949. - Essai sur l'habitation tropicale.- Paris : Service de l'habitat du BCEOM, 70 p.

# APPROVISIONNEMENT EN EAU DES PETITS CENTRES URBAINS AFRICAINS

Une nouvelle approche : le modèle itératif et participatif

Une nouvelle alternative : des postes de distribution collective

**Amadou Hama MAIGA \***

Ingénieur Génie sanitaire/Environnement,  
Docteur ès Sciences Techniques de l'EPFL  
Directeur de la Recherche et de l'Ingénierie  
E.I.E.R. 03 BP 7023 Ouagadougou 03

## Résumé

Malgré d'importants efforts consentis pour l'approvisionnement en eau des villes et villages d'Afrique, plus de la moitié des petits centres urbains restent encore sans système d'AEP viable. L'accès au service de l'eau potable lorsqu'il existe reste encore très faible pour les ménages à faibles revenus.

Nous proposons pour la réalisation des nouveaux projets d'AEP dans les petits centres urbains une approche itérative et participative impliquant tous les acteurs en vue de choisir la plus adaptée parmi toutes les alternatives possibles y compris le système avec forage ou puits équipé de pompe manuelle. Outre les systèmes d'approvisionnement en eau traditionnels nous proposons une nouvelle alternative : les postes de distribution collective (PDC) en lieu et place des bornes fontaines (BF) et des branchements privés (BP). Ce système de distribution d'eau nécessitera moins d'investissements que les réseaux avec BP et offre un niveau de service meilleur à celui des BF. Il nous paraît également adapté pour les quartiers périurbains des grandes villes.

## Abstract

Despite the considerable effort made for water supply in African towns and villages over half of small urban centers still function without any viable drinking water supply system (DWS). Access to safe water when available is still very low for low income households. To implement new DWS projects in small urban centers we propose

## L'approche traditionnelle dans les projets d'approvisionnement en eau (AEP) en Afrique : le modèle linéaire

**B**ien que dans le cadre de quelques projets d'hydraulique villageoise, on cherche de plus en plus l'engagement des " bénéficiaires " tant au niveau humain que matériel, les populations et les municipalités restent peu ou pas impliquées dans le processus de mise en place et dans l'exploitation-gestion des systèmes d'approvisionnement en eau " réalisés pour elles " dans les pays francophones d'Afrique, notamment dans les centres urbains.

Les décideurs sont l'Etat, maître d'ouvrage et propriétaire du patrimoine, qui énonce son souhait généralement par ses services chargés de l'hydraulique, le bureau

an iterative and participative approach which will involve all actors in order to choose the most suitable among all possible alternatives including the system with boreholes or wells equipped with manual pumps. In addition to traditional water supply system we propose a new alternative : collective distribution posts (CDP) instead of public standposts (PS) and house connection (IIC).

This water supply system will require less investments than pipes network for HC and offers better service than PS system. We also find CDP system more suitable in periurban areas.

d'étude qui propose le système, le bailleur de fonds qui décide du financement et la Société (nationale) chargée de l'exploitation-gestion.

Les " bénéficiaires " ne sont donc que des usagers [Maïga, 1996].

## Les alternatives traditionnelles pour l'approvisionnement en eau en Afrique

De manière traditionnelle, on propose pour l'approvisionnement en eau en Afrique les systèmes suivants :

• Le système d'approvisionnement en eau de type urbain pour les localités considérées comme urbaines, avec la possibilité pour l'utilisateur d'avoir un branchement privé (BP) ou de se ravitailler en eau aux fontaines publiques ou bornes fontaines (BF). Le réseau de conduites de distribution doit alors être suffisamment densifié pour permettre à tout usager le désirant de pouvoir avoir le branchement. La gestion du système est assurée par une Société (nationale) d'exploitation-gestion. Le niveau du service d'un tel système est élevé mais les coûts d'investissement et les charges d'exploitation le sont également.

• Le système d'hydraulique villageoise pour les localités considérées comme rurales, c'est-à-dire un forage ou un puits équipé ou non de pompe manuelle. Encore appelé " Point d'Eau ", la gestion d'un tel système est généralement laissée aux usagers, avec éventuellement

un appui technique des services nationaux d'hydraulique. Le niveau du service offert par ce type d'approvisionnement en eau est bas mais les coûts d'investissement et les charges d'exploitation le sont également.

- De plus en plus, des systèmes intermédiaires appelés " hydraulique villageoise améliorée " ou " mini-adduction d'eau " sont développés dans certains pays. Il s'agit d'un réseau de conduites sommaire avec service par BF. La gestion est généralement assurée par un comité villageois avec un appui des services nationaux d'hydraulique.

### La situation des systèmes d'AEP des petits centres urbains africains

Nous avons montré dans un article précédent publié dans le n°1 de " Sud Sciences et Technologie " et portant sur " l'évaluation multicritère des systèmes d'approvisionnement en eau des petits centres urbains africains ", que le système d'AEP de type urbain nécessite des investissements trop importants et difficiles à mobiliser pour des populations à faibles revenus comme c'est le cas dans les petits centres urbains en Afrique. Ainsi, plusieurs agglomérations urbaines attendent encore de bénéficier d'un système d'approvisionnement en eau potable.

Par ailleurs, dans les localités pourvues d'un système d'AEP urbain, le réseau de conduites ne couvre généralement pas tout le périmètre urbain. Les tarifs appliqués à la vente de l'eau, bien que généralement plus bas que le prix de revient, restent encore trop élevés pour la capacité de payer des ménages [Maïga 1996].

Ainsi les coûts engagés dans ces systèmes d'AEP ne sont pas couverts par la vente de l'eau, pendant qu'environ 1/3 des ménages de ces localités continuent encore d'avoir recours aux points d'eau insalubres comme les puits non protégés ou les eaux de surface pour leurs besoins domestiques.

### Une nouvelle approche dans les projets d'AEP : le modèle itératif et participatif

Au moment où plusieurs Etats africains se lancent dans des programmes de décentralisation qui conduiront très probablement à plus de responsabilisation des communes dans leur approvisionnement en eau comme c'est de plus en plus le cas pour la gestion des déchets solides, il y a lieu de revenir sur les approches traditionnelles qui ont fait leur preuve d'insuffisances notoires.

Nous proposons pour les futurs projets d'AEP dans les petits centres urbains une approche itérative et participative illustrée par le modèle de la figure 1. Cette approche consiste à identifier avec tous les acteurs concernés, en particulier les futurs bénéficiaires la problématique de l'AEP et les différentes alternatives (ou variantes) possibles, puis à effectuer avec eux une analyse multicritère de comparaison de ces alternatives en vue d'effectuer le meilleur choix. Aucune variante n'est dans cette approche exclue a priori notamment l'hydraulique villageoise. Les critères comme les variantes sont définis avec tous les acteurs en particulier avec les futurs bénéficiaires. La variante qui se présente comme le meilleur choix peut être rejetée et l'analyse reprise par la redéfinition des critères et leur réévaluation jusqu'à ce qu'un consensus soit trouvé.

Le processus peut se réaliser en 7 étapes comme illustrées à la figure 1 et présentées ci-après :

- Etape 1 : Initiation du projet et définition de la problématique de l'AEP du petit centre urbain avec la population représentée par les autorités municipales et par d'autres représentants issus de l'organisation sociale de la localité (groupe de sages, représentants des femmes ou des jeunes etc.), et avec les autres acteurs reconnus par le cadre institutionnel (Ministère de l'hydraulique et Société nationale d'exploitation)
- Etape 2 : Identification avec tous les acteurs de toutes les variantes

possibles en commençant par une simple amélioration du mode d'approvisionnement en eau existant.

- Etape 3 : identification des contraintes techniques, sociales et financières ; définition avec tous les acteurs, des critères de comparaison des variantes, et sélection de jeux de poids à affecter aux critères en fonction des préférences et des contraintes [Vinké 1989].

- Etape 4 : Analyse multicritère de comparaison des variantes  
Dans cette étape le bureau d'étude devra élaborer les avant-projets sommaires de chaque variante. L'évaluation des différentes variantes pour chaque critère, de manière à pouvoir construire la matrice des évaluations ainsi que l'analyse multicritère de comparaison peuvent être confiées à un autre bureau d'étude ou un consultant spécialisé.

- Etape 5 : Présentation et discussion avec tous les acteurs des résultats d'analyse

- Etape 6 : Choix de la variante pour laquelle un consensus se dégage ou retour à l'étape 2 ou à l'étape 3

- Etape 7 : Etude d'avant projet détaillé de la variante retenue.

Compte tenu du contexte institutionnel actuel dans les pays d'Afrique francophone la méthode prévoit que la responsabilité des différentes étapes du processus sera assumée par les services nationaux chargés de l'hydraulique, maître d'ouvrage pour les projets d'alimentation en eau des populations. Ce rôle peut être dévolu à la municipalité à la faveur des programmes de décentralisation et de cession de compétences aux communes en cours dans les pays d'Afrique.

On peut recourir aux services d'un facilitateur (neutre) pour animer les étapes 2, 3, 5 et 6.

Dans cette approche, le processus dirigiste et linéaire habituel laisse la place à un processus participatif et itératif. Les études pourraient s'avérer un peu plus longues mais pas nécessairement plus chères.

ETAPES	ACTIVITES	ACTEUR ANIMATEUR	ACTEURS PARTICIPANTS
N°1	Initiation du projet Définition de la problématique	Ministère de l'hydraulique	Représentants du PCU
N°2	Identification des variantes possibles	Ministère de l'hydraulique	Représentants du PCU Société d'exploitation Bailleur de fonds* Bureau d'étude (consultant)
N°3	Identification des contraintes Choix des critères Affectation de poids aux critères	Ministère de l'hydraulique	Représentants du PCU Société d'exploitation Bureau d'étude (consultant)
N°4	Analyse multicritère (comparaison des variantes)	Ministère de l'hydraulique	Bureau d'étude (consultant)
N°5	Présentation et discussion du résultat de comparaison	Ministère de l'hydraulique	Bureau d'étude (consultant) Représentants du PCU Société d'exploitation Bailleur de fonds*
N°6	Choix de la variante (ou retour à l'étape 3)	Ministère de l'Hydraulique	Représentants du PCU Société d'exploitation Bailleur de fonds*
N°7	Etude d'avant-projet détaillé	Ministère de l'Hydraulique	Bureau d'étude (consultant) Société d'exploitation

\* la participation du bailleur de fonds est facultative

Figure 1 : Modèle itératif et participatif pour la conduite d'un projet d'AEP dans un petit centre urbain en Afrique

Par contre, le résultat sera plus conforme aux besoins et aux données socio-économiques, et les futurs bénéficiaires se sentiront plus concernés et engagés.

Des outils d'aide à la décision multicritère comme les méthodes de surclassement peuvent être appliqués pour départager les alternatives (étape n°4 de la démarche proposée).

Nous proposerons dans le prochain numéro de " Sud Sciences et Technologie " un article sur l'application des méthodes de surclassement ELECTRE dans le choix d'un système d'approvisionnement en eau [Maystre et al. 94]. Le choix peut se porter entre les alternatives suivantes citées dans l'ordre croissant du niveau de service correspondant :

- puits ou forages équipés de pompes manuelles (hydraulique villageoise) ;
- réseau de conduites de distribution avec service par bornes fontaines ;
- réseau de conduites de distribution avec service par postes de distribution collective (voir section suivante et fig. 3) ;
- réseau de conduites de distribution avec service par branchements privés et par bornes fontaines ;
- réseau de conduites de distribution avec service par branchements privés et par des postes de distribution collective ;
- réseau de conduites avec service par branchements privés.

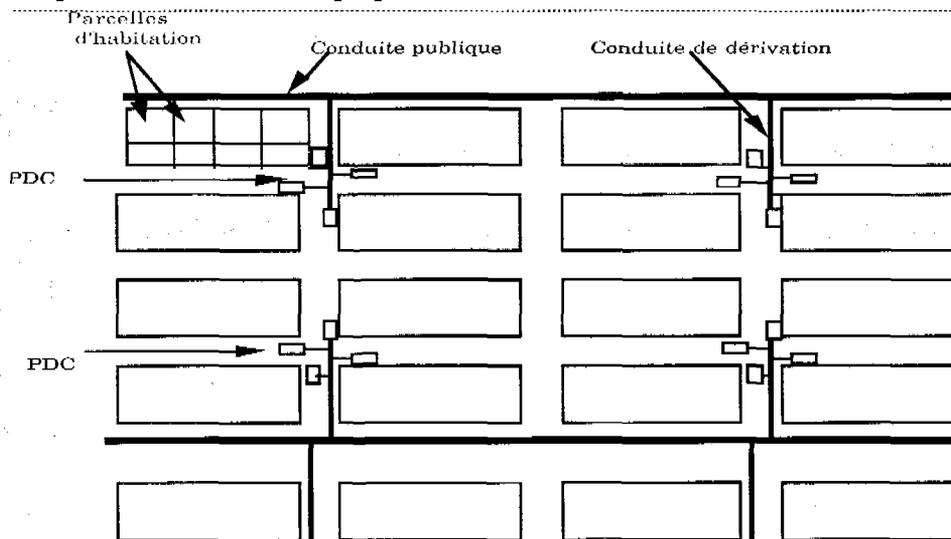


Figure 2 : Schéma de position des postes de distribution collective dans un lotissement carré.

### Une nouvelle alternative : les postes de distribution collective (PDC)

Il s'agit d'un réseau de conduites de distribution sommaire de type " hydraulique villageoise améliorée " pour lequel le ravitaillement en eau des ménages se fait au niveau



de postes de distribution collective. Les postes de distribution collective (PDC) sont des espaces aménagés dans des places publiques en lieu et place des bornes fontaines classiques, où sont installés les robinets de prise d'eau pour les ménages environnants (fig.2).

A chaque ménage est affecté un robinet de prise qu'il fermera au cadenas à sa guise (fig.3).

Les PDC se justifient particulièrement dans les petits centres urbains africains dans la mesure où les branchements privés de domicile se résument généralement à un robinet de prise à l'entrée de la concession et que la fermeture de la tête de robinet au cadenas certaines heures de la journée est une pratique courante dans les ménages en Afrique pour contrôler la consommation d'eau.

Les PDC constituent ainsi un compromis entre le service par BP à domicile qui demande un réseau de conduites dense et le service par BF. Parmi les avantages attendus d'un système d'AEP avec PDC on peut citer :

- un réseau de conduites faiblement densifié par rapport au système avec BP ;
- des frais d'abonnement des ménages limités à la location du compteur et le robinet de prise mis à leur disposition ;

- l'eau revient moins chère au ménage par rapport au ravitaillement à la BF car le gérant de la BF est éliminé du circuit

- l'accès à l'eau est possible à tout moment pour les ménages contrairement au cas du service par BF dont le gérant observe des heures de repos

- des besoins en personnel de relevé de consommations limités car les compteurs sont regroupés.

Les PDC constituent une alternative aussi bien pour les petits centres urbains que pour les quartiers périurbains des grandes villes africaines où l'extension et la densification du réseau d'eau sont difficiles à réaliser.

### Conclusion

Nous avons présenté dans cet article deux innovations constituant à notre avis une contribution de taille pour relever le défi de l'approvisionnement en eau dans les centres secondaires, les grands centres ruraux et les quartiers périurbains des grandes villes d'Afrique.

La démarche itérative et participative basée sur une analyse multicritère où tous les acteurs seront au même niveau et feront valoir leurs préférences et leurs contraintes permettra à n'en pas

douter de porter le choix sur un système d'AEP techniquement efficace, financièrement viable et au service de toutes les couches sociales.

L'approvisionnement en eau à partir de postes de distribution collective correspond à un niveau de service d'eau situé entre la borne fontaine et le branchement privé de domicile, tout à fait acceptable pour le niveau de service des populations dans les petits centres urbains et dans les quartiers périurbains en Afrique. Ce système d'AEP nécessite par ailleurs un niveau d'investissement plus facile à mobiliser que les systèmes classiques de service par branchement privé. □

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

**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 (E.P.F.L.), Lausanne 1996

**MAYSTRE L Y, PICTET J, SIMOS J** [1994], Méthodes multicritères ELECTRE : description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale, Presses Polytechnique Romandes Lausanne 1994

**ONUDI** [1979], Guide pratique pour l'examen des projets : Analyse de coût-utilité du point de vue de la collectivité dans les pays en développement, Série : Formulation et évaluation des projets N°3, Nations Unies New York 1979

**SCHARLIG A.** [1989], Décider sur plusieurs critères : Panorama de l'aide à la décision multicritère, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes Lausanne 1989

**VINCKE Ph** [1989], L'aide multicritère à la décision, Editions de l'Université de Bruxelles et Editions Ellipses, Collection " Statistiques et mathématiques appliquées ", Bruxelles, Paris

# UN OUTIL D'AIDE A LA PLANIFICATION ET A LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU. LE MODELE DE SIMULATION HYDRAM.

Alain DEZETTER \*

ORSTOM, 01 BP 182 OUAGADOUGOU 01,  
BURKINA FASO

## Résumé

La gestion et la planification des ressources en eau est un des enjeux fondamentaux du problème mondial de l'eau. Devant la complexité croissante des systèmes de mobilisation et d'utilisation des ressources en eau, la tâche des ingénieurs et des décideurs est de plus en plus ardue. Le modèle de simulation HYDRAM a pour but d'apporter une aide dans toutes les étapes de planification et de gestion de ces systèmes complexes. Nous présentons tout d'abord les principes retenus pour la description et la modélisation de ces systèmes à l'aide du modèle HYDRAM ainsi que son fonctionnement. Deux exemples d'utilisation de ce modèle sont ensuite présentés afin de bien cerner le cadre d'utilisation de cet outil.

## ABSTRACT

Water resources planning and management is one of the main challenge of world water problem. Due to increasing complexity of the systems of mobilization and use of water resources, the task of specialists and policy makers becomes more and more difficult. The objective of the HYDRAM simulation model is to help all stages of planning and management of these complex systems. First of all, we will present the principles retained for the description and model formation of these systems within the HYDRAM model as well as his modes of functioning. Two case studies of this model will be exposed in order to better delimit the use of this tool.

## INTRODUCTION

**L**es travaux de la conférence internationale sur l'Eau et l'Environnement (ICWE, Dublin, Janvier 1992) ont permis d'attirer l'attention sur la question sensible des réserves en eau douce et la manière d'en optimiser l'utilisation à l'avenir. On peut rappeler ici certains extraits de la Déclaration de Dublin sur l'Eau dans la Perspective d'un Développement Durable :

"La rareté de l'eau douce et son emploi inconsidéré compromettent de plus en plus gravement la possibilité d'un développement écologiquement rationnel et durable. Santé et bien-être de l'homme, sécurité alimentaire et industrialisation sont autant de domaines menacés, de même que les écosystèmes dont ils dépendent, sauf à opter dans la présente décennie et au-delà, pour une gestion plus efficace de l'eau et des sols".

"Les problèmes n'ont pas un caractère théorique et ce n'est pas dans un avenir lointain qu'ils affecteront notre planète : ils sont bien réels et nous en ressentons les effets aujourd'hui. Il y va de la survie de millions d'êtres humains et une action efficace s'impose dans l'immédiat".

"Les participants à la Conférence demandent que l'on aborde l'évaluation, la mise en valeur et la gestion des ressources en eau dans une perspective radicalement nouvelle, ce qui ne sera possible que par l'engagement de tous les responsables politiques, des plus hautes instances de l'Etat aux plus

petites collectivités. Cet engagement doit s'appuyer sur des investissements importants, sur des campagnes de sensibilisation, sur des changements législatifs et institutionnels et sur un renforcement des capacités. Pour ce faire, il faut d'abord reconnaître pleinement l'interdépendance de tous les peuples et leur place dans le monde naturel".

D'autres conférences consacrées à l'Environnement ont également abordé ces problèmes liés à l'exploitation et la gestion des ressources en eau, mettant en avant la nécessité de traiter avec efficacité les quatre grandes questions suivantes :

- conséquences écologiques et sociales. Ce sont les effets des grands projets d'aménagement hydraulique sur le milieu naturel et sur le bien-être social des populations.
- liaisons terre - eau. Cette question implique que la gestion efficace des bassins qui a pour objet la lutte contre l'érosion et la sédimentation ainsi que la conservation de l'eau soit intégrée dans les projets d'exploitation.
- répartition de l'eau entre des intérêts vitaux. Cette question qui a trait à tous les conflits d'usages de l'eau, voit son importance croître au fur et à mesure que s'intensifient les pressions de la population et de l'activité économique.
- mise en oeuvre efficace. Les procédures de suivi pour la gestion des impacts sociaux et environnementaux des projets sont souvent demeurées inappliquées. Ce qui accroît considérablement le risque

de voir se creuser le fossé entre objectifs prévus et résultats obtenus.

La gestion des ressources en eau doit s'entendre comme un ensemble de mesures destinées à exploiter et maîtriser les apports naturels dans une optique qui soit utile à la société. La démarche du gestionnaire doit alors s'appuyer sur un grand nombre de relations et d'interactions physiques, économiques et sociales :

- les liens physiques quantitatifs et qualitatifs entre les eaux de surface et les eaux souterraines, i.e. une planification et une exploitation conjointes de ces masses d'eau ;
- les interactions complexes entre les écosystèmes terrestres et les écosystèmes aquatiques ;
- les activités humaines en cours et projetées influant sur les ressources en eau ;
- l'environnement politique, social et économique dans lequel doit s'inscrire la gestion des ressources en eau.

Face à ces constatations et sur la base d'un cas concret d'étude, l'ORSTOM a proposé la mise au point et la réalisation d'un logiciel de simulation des systèmes d'eau; le modèle HYDRAM.

Cet outil permet de connaître et de présenter de manière simple et précise les conséquences prévisibles de scénarios de développement, d'alternatives de gestion, sur les ressources en eau. La mise à disposition de telles informations constitue une importante aide à la décision dans les choix politiques de développement auxquels sont confrontés les pays en développement.

### LE MODÈLE DE SIMULATION HYDRAM

L'utilisation du modèle de simulation HYDRAM (Pouget, Dezetter, 1993) passe par trois étapes : la conception (représentation du système par le modèle), la simulation (simulation du fonctionnement), et l'analyse (analyse des simulations en termes de performances du système).

### Construire des hydro-aménagements

Ensemble de composants physiques, avec des modalités de fonctionnement et de gestion, un hydro-aménagement constitue un système hiérarchisé destiné à atteindre un certain nombre d'objectifs (Votruba, 1989). L'étude du système consiste en la confrontation de besoins et de ressources sous la contrainte des moyens mis en oeuvre pour solliciter ces dernières. De grandes classes de composants sont donc identifiables : demande en eau, ressource, organe de transfert.

Les composants disponibles dans le modèle fournissent des spécifications plus ou moins complexes des caractéristiques de ces classes, indispensables pour en assurer le fonctionnement : volume disponible, volume nécessaire, débit maximum de transit, etc.

Au niveau le plus abstrait, un système d'eau peut ainsi être considéré comme un réseau constitué de noeuds et de liens. Construire un hydro-aménagement consiste donc à ajouter, modifier, supprimer des composants dans ce réseau.

Le modèle HYDRAM est basé sur

compte de plusieurs facteurs dont la réserve en eau du sol. De nombreux types peuvent être identifiés : demande en eau potable, station de traitement, etc.. Dans tous ces composants, on distingue des caractéristiques fixes (nom, localisation, etc.) et des caractéristiques propres à une simulation (règles de gestion).

La possibilité de reproduire une politique de distribution est essentielle. On utilise la notion de disponibilité globale du système, définie par le rapport entre la somme des volumes disponibles au niveau des ressources et la somme des volumes des demandes à satisfaire, sur une période donnée. Cet état varie donc en fonction du temps. Il y a pénurie lorsque l'état de disponibilité globale est inférieur à 1. En cas de déficit, deux solutions sont possibles :

- tous les besoins sont également prioritaires : donc théoriquement tous les besoins seront desservis avec un même coefficient de réduction, égal au coefficient de disponibilité globale ;
- il existe une hiérarchie dans les besoins : le pourcentage de satis-

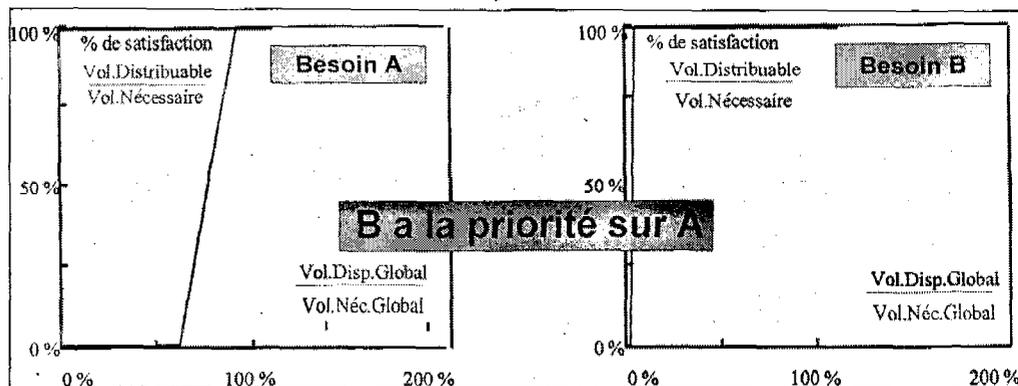


Figure 1 : Définition de la satisfaction attendue

une confrontation " ressources - besoins " sur chaque pas de temps. Les pas de temps disponibles pour les simulations vont du journalier au mensuel.

**Les besoins :** La spécification de la demande en eau est plus ou moins complexe suivant les besoins. Une prise de débit dérivé est le type de composant le plus simple : le besoin est exprimé par la variation saisonnière de demande de débit. Les périmètres d'irrigation sont les plus complexes, le calcul de leur besoin devant notamment tenir

compte de plusieurs facteurs dont la réserve en eau du sol. De nombreux types peuvent être identifiés : demande en eau potable, station de traitement, etc.. Dans tous ces composants, on distingue des caractéristiques fixes (nom, localisation, etc.) et des caractéristiques propres à une simulation (règles de gestion).

La satisfaction attendue se définit pour un besoin et pour un état de disponibilité globale donnés, comme le rapport du volume distribuable (consenti compte tenu des priorités) au volume de la demande. La politique de distribution est introduite en définissant les satisfactions attendues pour 0 % et 100 % de disponibilité globale. Ces coefficients induisent bien une hiérarchie dans

les besoins : les besoins assurés à 100 % pour l'état de disponibilité le plus faible étant les plus prioritaires (Fig. 1).

**Les ressources :** L'expression du volume mobilisable constitue la caractéristique de base d'une ressource en eau. Ce volume est simple à exprimer pour le composant captage d'eau. Par contre, pour une prise en rivière, les volumes disponibles sont obtenus à partir de chroniques de débits. Ces chroniques dépendent bien sûr du pas de temps de simulation choisi (mensuel, décadaire ou journalier). La formulation d'une limite de prélèvement et d'un débit aval objectif permet de cerner le volume mobilisable.

La politique de gestion des ressources est reproduite grâce à l'introduction de coefficients de sollicitation attendue. C'est la définition, en fonction d'un état de disponibilité globale, du pourcentage de sollicitation, exprimé ici par le rapport de la ressource sollicitée à la ressource disponible. Ces coefficients induisent une hiérarchie dans les ressources.

**Cas particulier des retenues :** le composant réservoir est un des éléments du système les plus complexes à spécifier de manière externe (Sigvaldason, 1976). En effet la notion de volume disponible est difficile à cerner dans un système où les réservoirs doivent permettre d'échelonner les déficits d'eau : une politique de gestion doit introduire des restrictions d'eau avant que tout le volume de stockage des retenues ait été consommé. Il faut noter que dans le cas des réservoirs avec apport artificiel, cette définition de coefficients de sollicitation permet de traiter le caractère ambivalent de ces composants à la fois ressource et demande.

**Les liens :** Le propre d'un lien est d'assurer le transfert d'eau d'un point à un autre. Dans les aménagements, un organe de transfert est caractérisé par le débit maximal à faire transiter. Les canaux peuvent ainsi être spécifiés, avec la précision éventuelle d'une efficacité de transport. Au niveau des conduites, la donnée de la longueur et du diamètre sont nécessaires pour le calcul des pertes de charge.

## Simuler la desserte en eau

La simulation doit offrir un moyen de discerner entre les défaillances du système dues à des limites de l'aménagement (limites structurales) et celles qui résultent des règles de gestion adoptées, notamment au niveau des réservoirs. Il a donc été introduit la notion d'horizon prévisionnel. C'est la période prise en compte à partir du pas de temps courant à simuler pour décider du plan de gestion à adopter pour la satisfaction des besoins et la sollicitation des ressources.

La simulation du fonctionnement sur un pas de temps consiste donc schématiquement à :

- calculer les états de disponibilité sur l'horizon prévisionnel et sur le pas de temps courant et en déduire l'état de disponibilité global à considérer.
- appliquer la politique de distribution définie par les coefficients de satisfaction attendue et en déduire la "pression" de la demande sur les ressources ainsi que la mobilisation effective de celles-ci déterminée par les coefficients de sollicitation attendue. Les transferts d'eau sont ajustés, suivant les priorités définies au niveau des demandes, pour respecter les débits maximaux à faire transiter dans les liens.
- simuler le fonctionnement hydraulique du réseau. Ceci permet d'avoir une image de la répartition des charges hydrauliques moyennes dans le système, indispensable pour le calcul de production électrique ou l'étude des organes de surpression.

## Evaluer les performances

Les résultats globaux du fonctionnement d'un système sont essentiellement basés sur la confrontation entre les quantités d'eau demandées et réellement fournies. On étudie la fiabilité par le nombre et la répartition saisonnière des défaillances obtenues, à savoir les pas de temps pendant lesquels la demande n'est pas satisfaite. La vulnérabilité est mesurée par l'ampleur des déficits, qui définit le taux de pénurie.

Une fonction "expertise" offre une analyse interprétée des résultats

de simulation présentée sous forme de textes établis grâce aux liens entre le quantitatif et le qualitatif, en utilisant des notions telles que faible, moyenne, forte. Ces notions sont employées pour la classification de la pénurie et la hiérarchisation des besoins.

Pour une analyse plus détaillée, on peut consulter des résultats caractéristiques au niveau de chacun des composants, fournis sous forme de tableaux multicritères. Comme pour toutes les fonctions du modèle, des outils à plusieurs niveaux de spécification permettent des approches plus ou moins poussées suivant les buts recherchés ou la connaissance requise.

## EXEMPLES D'UTILISATION

Deux exemples seront traités ici. Le premier concerne le cas d'étude qui a été à l'origine de la création du modèle HYDRAM, la Guadeloupe, le second concerne un système en cours d'étude, le système d'eau de la Comoé supérieure au Burkina Faso.

Le modèle de simulation HYDRAM a été utilisé en collaboration avec la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (D.D.A.F.) pour l'élaboration du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de la Guadeloupe conformément aux lois françaises sur l'eau de 1992.

Trois scénarios principaux ont été envisagés : horizon 1995, horizon 2000 et horizon 2010. Après l'étude de la projection des besoins, la simulation des différents systèmes envisagés a été effectuée permettant de mettre en relief les avantages et inconvénients des différentes solutions techniques préconisées.

### Le Cas de la Guadeloupe

#### Le système d'eau de la Guadeloupe

Les milieux insulaires, de par leurs limites finies, sont une illustration de la nécessaire adéquation entre des besoins et des ressources, tout particulièrement dans le domaine de l'eau. Ils constituent donc un terrain privilégié d'études et de

recherches sur la gestion globale des systèmes.

Les Petites Antilles, où se situe l'archipel Guadeloupéen, forment la limite orientale de la mer des Caraïbes, qu'elles séparent de l'Océan Atlantique (Figure 2). La Guadeloupe est constituée des deux plus grandes îles de cet archipel : la Grande-Terre, à prédominance calcaire et de relief faible, avec une

qui sont actuellement difficilement satisfaits par de simples prélèvements au fil de l'eau opérés en Basse-Terre, véritable château d'eau de la Guadeloupe. Pour alimenter en eau les régions défavorisées de la Grande-Terre voire les petites îles proches, la sollicitation de nouvelles ressources et l'équipement de sites de stockage s'imposent.

inchangés. Seule la capacité de production de chacune d'elles varie d'un horizon au suivant, afin de s'adapter à la demande croissante en eau potable des régions qu'elles desservent.

On compte ainsi 8 stations de traitement d'eau potable. Deux cas de figure sont envisagés pour l'ensemble des horizons : le cas où le

rendement du réseau est estimé à 50 % et le cas où le rendement est estimé à 65 %.

En outre, les besoins journaliers en eau potable ne sont pas constants sur l'année. Afin de modéliser cette variation, la D.D.A.F. préconise la prise en compte de deux valeurs de la demande journalière sur l'année :

une valeur dite de pointe, applicable durant la période du carême qui s'étend du 1er Février au 30 Avril, et une valeur dite moyenne, valable tout le reste de l'année. Le tableau 1 présente l'évolution des besoins en eau potable pour les différents horizons et les deux rendements à considérer.

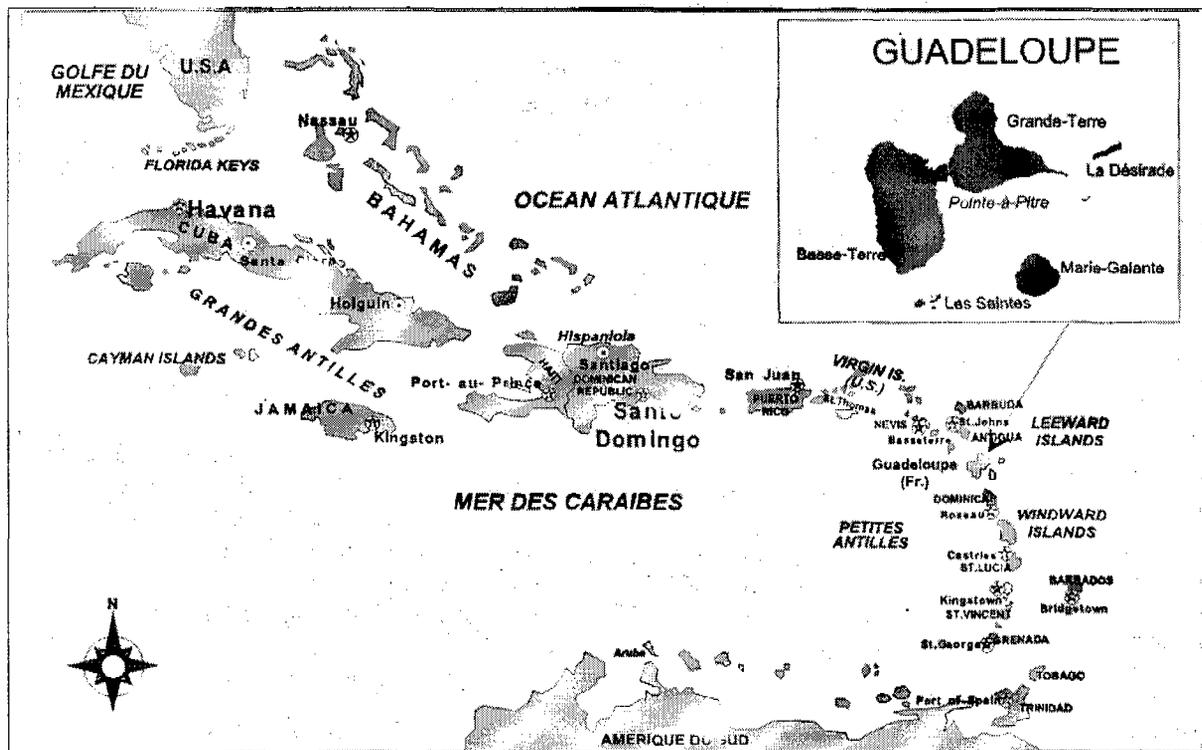


Figure 2 : Carte de situation de la Guadeloupe

superficie de 570 km<sup>2</sup>, et la Basse-Terre, à prédominance volcanique avec de hauts reliefs, dont la superficie est de 950 km<sup>2</sup>. L'exposition de ces îles aux vents d'Est dominants (Alizés) et le rôle joué par le relief expliquent les différences climatiques très sensibles qu'on y observe. La Grande-Terre, peu élevée, présente une pluviométrie comprise entre 1000 et 1700 mm par an. La Basse-Terre, dont l'altitude atteint 1467 m au sommet du volcan de la Soufrière, a son versant "au vent" très arrosé avec une pluviométrie annuelle comprise entre 2000 et 12000 mm par an, et un versant "sous le vent" où la pluviométrie s'abaisse jusqu'à 1000 mm au niveau de la mer.

L'évolution démographique ainsi que le développement économique et touristique de l'archipel impliquent des besoins en eau croissants

### Projection des besoins

L'évolution prévue des besoins aux différents horizons a été mise au point en collaboration avec les services techniques de la D.D.A.F. et peut être séparée en deux volets : la demande en eau potable et l'irrigation.

Horizon	Débit hors carême (m <sup>3</sup> /j)	Débit de pointe de carême (m <sup>3</sup> /j)
1995 (r = 50 %)	91 500	110 000
1995 (r = 65 %)	83 500	100 000
2000 (r = 50 %)	111 500	135 000
2000 (r = 65 %)	87 500	105 000
2010 (r = 50 %)	153 500	173 500
2010 (r = 65 %)	87 500	115 000

Tableau 1 : Evolution des besoins en eau potable

### La demande en eau potable

Pour l'ensemble des horizons considérés, le nombre et l'implantation des stations de traitement restent

### Les surfaces irriguées

Les besoins en eau de l'irrigation dépendent de plusieurs facteurs : la surface irriguée, sa localisation,

le type de culture, la pluie et l'évaporation sur la zone étudiée. Dans notre cas, on distingue quatre types de cultures : le maraîchage, le fourrage, la canne à sucre et la banane. Le tableau 2 indique l'évolution prévue des surfaces irriguées aux différents horizons.

Chacun des types de besoins suivant une progression entre les horizons 1995 à 2010, le besoin global suit la même évolution.

Ainsi, on observe entre 1995 et 2000 une majoration de 39% de la demande annuelle moyenne globale, et une augmentation de 29%

Horizon	Maraîchage (ha)	Fourrage (ha)	Canne (ha)	Banane (ha)	Total (ha)
1995	1487	299	3642	0	5428
2000	1937	419	5272	2000	9628
2010	1937	419	5272	3800	11428

Tableau 2 : Evolution des besoins d'irrigation

A l'aide de ces superficies prévues et en tenant compte des données culturales de chaque type de culture (RU, RFU, Kc,...) on aboutit aux figures 3 et 4 présentant respectivement l'évolution des besoins moyens mensuels de l'irrigation et de l'ensemble du système en considérant un rendement de l'AEP de 50 %.

entre 2000 et 2010, ce qui conduit à une majoration de 80% entre 1995 et 2010.

Compte tenu de cette forte croissance des besoins et des ressources limitées, une politique de distribution doit être choisie et appliquée lors de toutes les simulations.

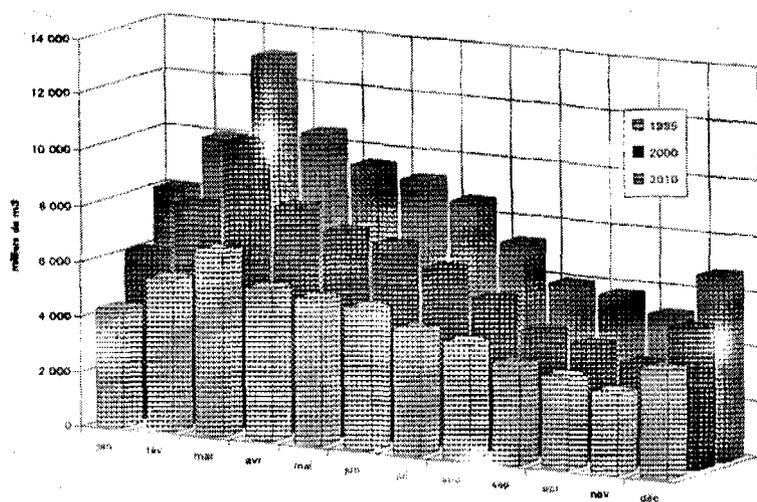


Figure 3 : Evolution des besoins mensuels moyens de l'irrigation de 1995 à 2010

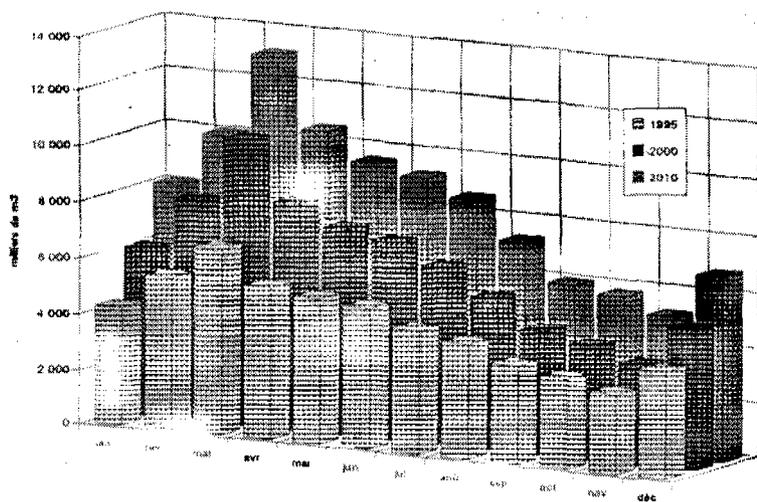


Figure 4 : Evolution des besoins mensuels moyens globaux (AEP 50%)

Les besoins ont donc été classés par ordre de priorité décroissante comme suit :

Type de besoin	Priorité
Station d'eau potable	1
Banane	2
Maraîchage, golf	3
Fourrage	4
Canne	5

Tableau 3 : ordre de priorité choisi

Pour les cultures irriguées, l'ordre de priorité suit l'ordre croissant des RFU. En effet une culture à RFU élevée est plus résistante à la sécheresse qu'une autre.

### Simulations

L'ensemble des simulations ont été réalisées grâce à une banque de données mise à jour et complétée allant de 1962 à 1990. Cette banque de données comporte 79 postes pluviométriques au pas de temps journalier ainsi que 11 stations hydrométriques correspondant aux débits naturels reconstitués des cours d'eau aux points de prélèvements (prises en rivière).

Pour l'ensemble des simulations le pas de temps utilisé est le pas de temps décadaire. Couramment utilisé en agronomie, il est de plus le meilleur compromis entre précision des résultats, banques de données disponibles, et lourdeur des manipulations.

### L'aménagement 1995

L'aménagement projeté pour l'horizon 1995 est présenté sur la figure 5. Les principaux éléments de l'aménagement sont les trois prises en rivière de Traversée, Bras-David, et Vernou, ainsi que les retenues de Gachet et Letaye.

Notons d'ores et déjà que la prise de Vernou n'est mobilisable que par la station de production d'eau potable du même nom, et n'a donc d'influence sur le reste du système que par son prélèvement sur la Grande Rivière à Goyaves à l'amont de la prise de Traversée. Les retenues de Letaye et Gachet ont des capacités respectives de 535 000 m<sup>3</sup> et 2 800 000 m<sup>3</sup>.

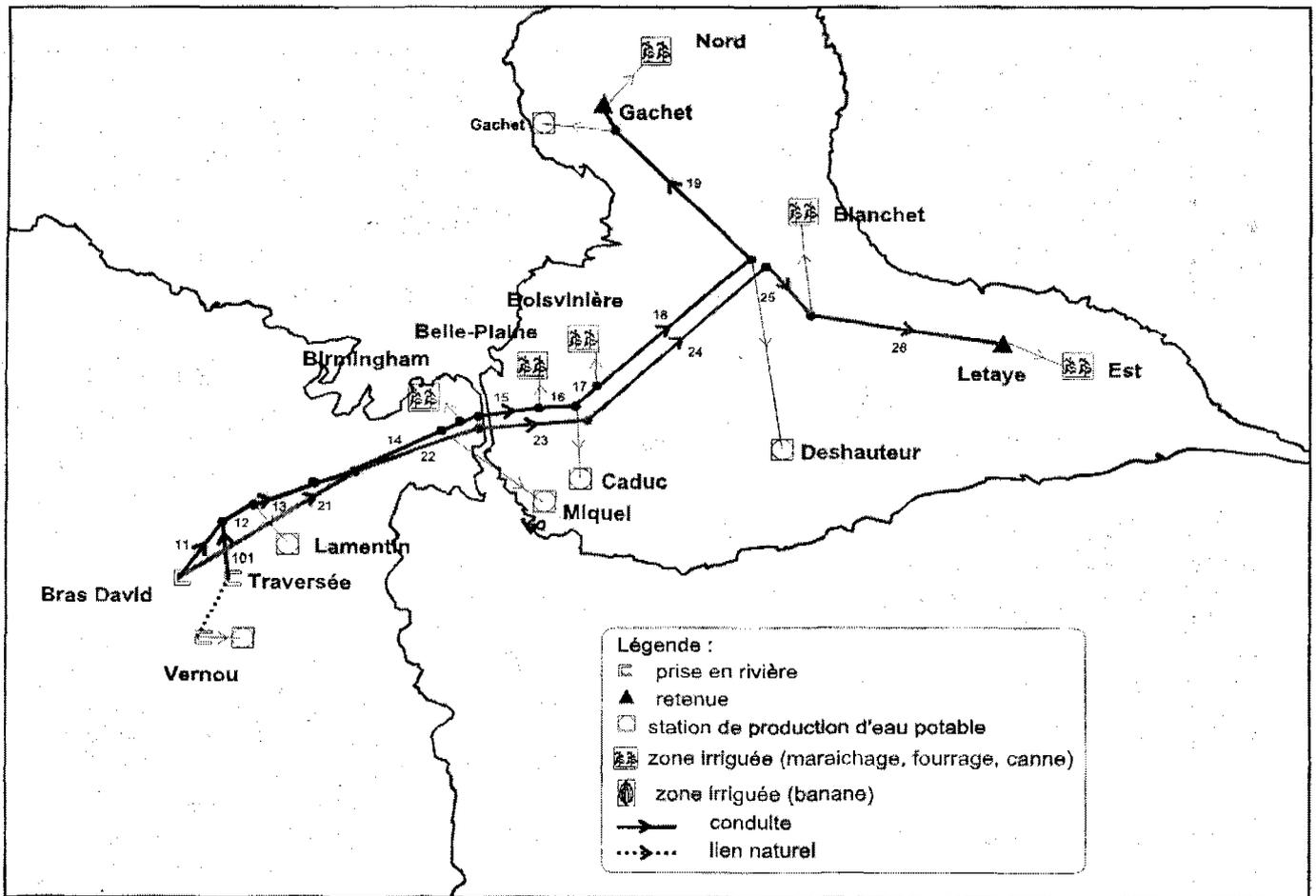


Figure 5 : Plan schématique de l'aménagement 1995

La simulation de cet aménagement sur la période 1962 à 1990 conduit au résultat suivant :

Dans le cas d'un rendement  $r = 50\%$  du réseau AEP on compte, en 29 années de gestion simulée :

- 1 année sans pénurie (1967) ;
- 13 années à faible pénurie inférieure à 5% ;
- 15 années à pénurie moyenne ;
- aucune année à forte pénurie supérieure à 20%.

Statistiquement, la fréquence des années à pénurie supérieure à 5% s'élève donc à 1 sur 2. Une analyse plus détaillée des résultats permet de conclure à une insuffisance des ressources mobilisables au regard des demandes exprimées. Deux solutions complémentaires, consistant en la sollicitation d'une prise en rivière supplémentaire ont été ensuite étudiées.

Au terme de ces simulations, une des deux solutions a pu être conseillée bien qu'apportant une amélioration limitée et présentant des difficultés d'exploitation. On remarque que l'essentiel des fortes

pénuries sont observées durant le carême, au cours duquel les ressources en rivière sont faibles, et les seuls aménagements efficaces sont alors des retenues de stockage, dont la réalisation n'est projetée qu'à partir de l'an 2000.

### L'aménagement 2000

Nous avons vu, dans la partie projection des besoins, que l'essentiel de l'évolution de la demande à l'horizon 2000 réside dans la mise en place de périmètres irrigués sur la Côte-au-vent qui regroupent 2000 ha de bananeraies.

Au niveau des ressources sollicitées et des aménagements mis en place pour cet horizon, on trouve deux nouvelles prises en rivières et trois nouvelles retenues (figure 6).

Les deux nouvelles prises en rivière sont La Rose et La Lézarde. Une retenue est implantée au niveau de la prise d'eau de Bras-David, les deux autres nouvelles retenues étant respectivement Dumanoir et Moreau.

La retenue de Bras-David a une capacité de 1 800 000 m<sup>3</sup>, celle de Dumanoir a une capacité de 1 180 000 m<sup>3</sup> tandis que celle de Moreau représente 650 000 m<sup>3</sup>.

Au terme de la simulation, dans le cas d'un rendement de 50% des réseaux aval des stations de production d'eau potable, on compte en 29 années de gestion simulée :

- 12 années sans pénurie ;
- 15 années à faible pénurie inférieure à 5% ;
- 2 années à pénurie moyenne ;
- aucune année à forte pénurie supérieure à 20% .

Statistiquement, la fréquence des années à pénurie supérieure à 5% s'élève donc à 1 sur 15, ce qui constitue un résultat très satisfaisant. En outre il faut noter que les deux plus fortes pénuries annuelles observées ne dépassent pas 5.2% et 7.5% respectivement en 1965 et 1987, années réputées pour leur étiage particulièrement sévère.

L'aménagement proposé à l'horizon 2000 est, en vertu des résultats observés au cours des diverses simulations réalisés durant l'étu-

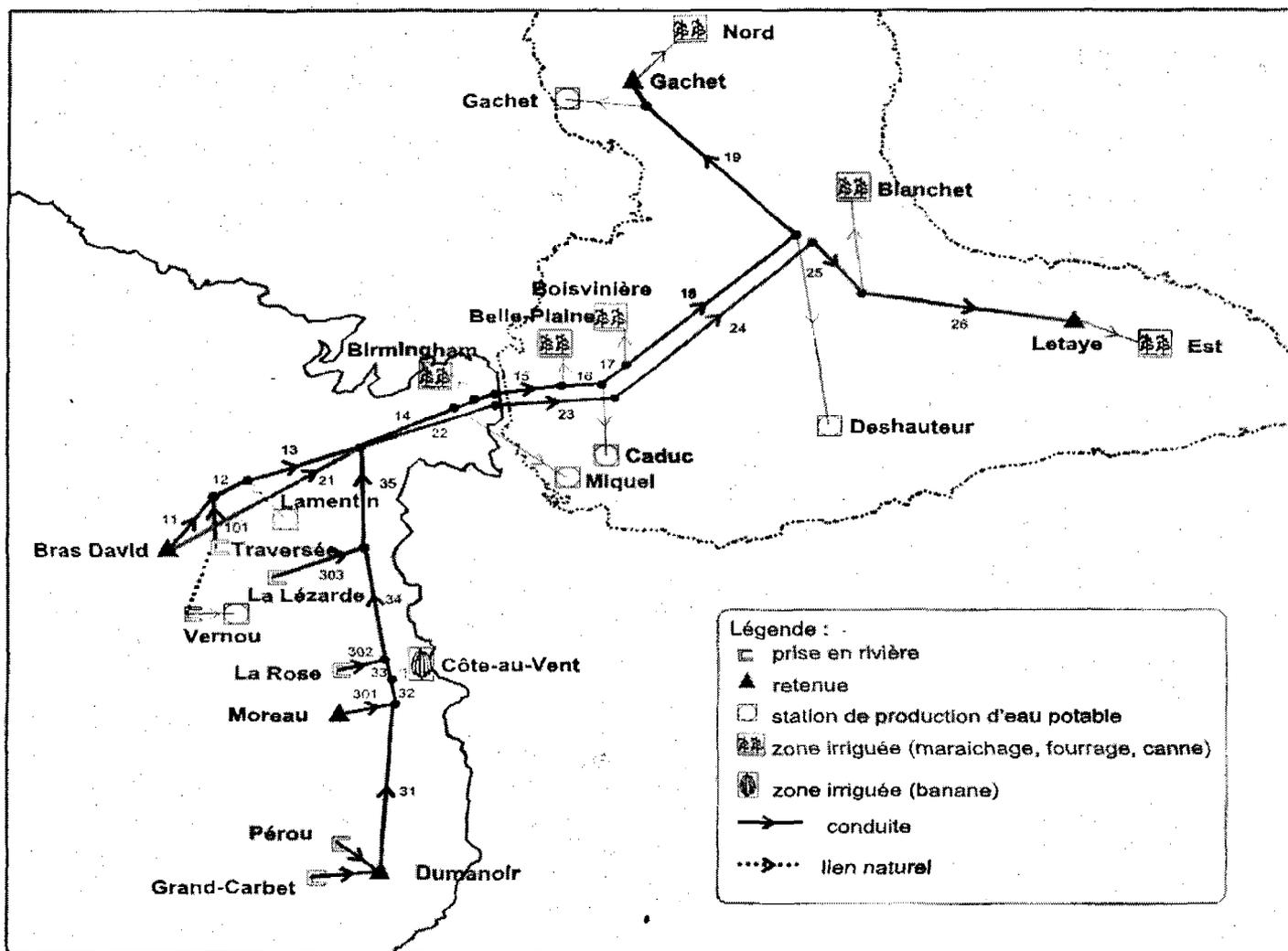


Figure 6 : Plan schématique de l'aménagement 2000

de, tout à fait satisfaisant. Les ressources mobilisables suffisent à faire face à l'ensemble des demandes en eau de manière très convenable, malgré l'augmentation de 70% des besoins de l'irrigation entre les horizons 1995 et 2000.

### L'aménagement 2010

La demande en eau globale que l'on se propose de satisfaire à l'horizon 2010 est en augmentation de 29% par rapport aux besoins considérés à l'horizon 2000. L'essentiel de cette évolution est dû à la croissance des besoins liés à la production d'eau potable, majorés de 35% entre 2000 et 2010, pour faire face à l'augmentation de la population Guadeloupéenne. En ce qui concerne l'irrigation, aucune modification de la demande n'est envisagée en Grande-Terre, mais on se propose de porter à 3800 ha la surface de bananeraies irriguées sur la Côte-au-vent (contre 2000 ha à l'horizon 2000).

Afin de s'adapter à l'augmentation de la demande, le développement du système d'eau se poursuit à l'horizon 2010, avec la réalisation projetée d'une retenue supplémentaire de 1 300 000 m<sup>3</sup> à l'emplacement de la prise en rivière de Traversée, déjà exploitée aux horizons 1995 et 2000. Le reste de l'aménagement est inchangé par rapport à l'aménagement 2000.

Au terme de la simulation, pour la période 1962 à 1990 on obtient, en 29 années de gestion simulée :

- 8 années sans pénurie ;
- 12 années à faible pénurie inférieure à 5% ;
- 9 années à pénurie moyenne ;
- aucune année à forte pénurie supérieure à 20% .

La fréquence des années accusant une pénurie supérieure à 5% est donc statistiquement de l'ordre de 1 sur 3, alors que le système est en déficit plus de 2 années sur 3.

Une analyse plus détaillée met en

évidence des disparités de fonctionnement au sein du système, et la zone Côte-au-vent est la plus mal desservie avec un taux interannuel de pénurie pour le mois d'avril de l'ordre de 18 %.

Il semble donc souhaitable de rechercher des solutions complémentaires afin d'améliorer la desserte de l'ensemble des besoins que l'on se propose de satisfaire à l'horizon 2010. La concentration des pénuries au niveau de l'ensemble des besoins au cours du carême, période d'étiage des rivières de la Basse-Terre impose une solution faisant intervenir une retenue de stockage de grand volume permettant d'en atténuer l'amplitude.

Deux solutions complémentaires ont été étudiées, l'une appelée solution Grands-Fonds fait intervenir une retenue supplémentaire de 10 000 000 m<sup>3</sup> située en Grande Terre entre Caduc et Deshauteur (fig. 6) l'autre fait intervenir une retenue supplémentaire en Basse

Terre, au niveau de la Côte sous le vent, à Vieux-Habitants, d'une capacité de 5 400 000 m<sup>3</sup> venant se brancher dans le système entre les stations La Rose et Moreau.

Les simulations effectuées montrent une très nette amélioration de la desserte pour les deux variantes. En effet la fréquence des années accusant une pénurie supérieure à 5% passe de 1 sur 3 à 1 sur 10 pour la solution Grands-Fonds et à 1 sur 15 pour la solution Vieux-Habitants.

La seconde solution convient mieux car elle met en œuvre de nouvelles ressources, ce qui n'est pas le cas de la première. Cependant, devant les difficultés techniques présentées par la solution Vieux-Habitants (franchissement de relief, traversée du parc national) c'est la solution Grands-Fonds qui doit être préconisée.

### *Le Cas du bassin supérieur de la Comoé*

#### **Le système d'eau de la Comoé**

La Comoé est un des grands fleuves d'Afrique Occidentale. La superficie de son bassin versant est de 76510 km<sup>2</sup> et s'étend sur le Mali (5110 km<sup>2</sup>), le Burkina Faso (17496 km<sup>2</sup>) et la Côte d'Ivoire (53904 km<sup>2</sup>) où il rejoint le Golfe de Guinée. Le système d'eau étudié ici est situé dans le haut bassin de la Comoé, au Burkina Faso, dans la région de Banfora, au sud de Bobo Dioulasso, deuxième ville du pays.

Cette zone sud-ouest du Burkina Faso est la zone la plus arrosée du pays, avec une pluviométrie moyenne annuelle autour de 1000 mm. Contrairement au reste du territoire, certains cours d'eau y sont pérennes et la zone subit donc de fortes pressions anthropiques dues aux migrations nationales en provenance de zones purement sahélicennes défavorisées.

Les bonnes potentialités en eau et en sols du bassin, couramment appelé " région du paysan Noir " (Traore S., 1996), lui offrent des possibilités de développement intéressantes.

### **Les ressources**

Dans le cadre de cet hydro-aménagement les ressources mobilisées sont essentiellement constituées de trois retenues :

- Le barrage de la Lobi à Bodadiougou, d'une capacité de 6 millions de m<sup>3</sup>, construit en 1977 ;

- le barrage de Yannon à Toussiana, d'une capacité de 6,1 millions de m<sup>3</sup>, construit en 1982 ;

- et le barrage de la Comoé à Mousodougou, d'une capacité de 38,5 millions de m<sup>3</sup>, construit en 1991.

A ces ressources, viennent s'ajouter deux lacs, qui peuvent occasionnellement servir de ressource d'appoint : le lac de Karfiguèla (800 000 m<sup>3</sup>) et le lac de Lémouroudougou (400 000 m<sup>3</sup>).

L'ensemble de ces infrastructures de stockage est géré par la SO.SU.CO. (Société Sucrière de la Comoé) principal consommateur d'eau du système pour l'irrigation de la canne à sucre.

### **Les besoins**

Les demandes identifiées sont de trois types : les demandes agricoles, les demandes industrielles et les demandes en eau potable.

S'agissant des demandes agricoles, la SO.SU.CO. est le principal utilisateur avec près de 4000 ha de canne à sucre. On compte également un périmètre rizicole de 350 ha ainsi que des demandes en eau pour des périmètres maraîchers représentant un total d'environ 100 ha.

Pour les demandes industrielles, deux unités sont présentes : il s'agit de l'usine de production de sucre (SO.SU.CO.) et d'une usine de production d'alcool (SOPAL).

Les demandes en eau potable sont quant à elles constituées de la ville de Banfora et des cités ouvrières de la SO.SU.CO. au nombre de cinq.

Les volumes moyens annuels de demande de ces trois catégories sont respectivement de 49 millions de m<sup>3</sup> pour l'eau agricole, 3,8 millions de m<sup>3</sup> pour l'eau industrielle et 1,1 millions de m<sup>3</sup> pour l'eau potable, soit un total de 53,9 millions de m<sup>3</sup>.

On note d'ores et déjà que le volume des demandes est supérieur au

volume stocké par les retenues (50,6 millions de m<sup>3</sup>). Cette remarque est à nuancer par le fait qu'une partie de l'eau demandée pour l'irrigation est apportée par la pluie, mais ces apports sont irréguliers et concentrés sur la saison des pluies d'une durée de 3 à 4 mois.

### **Les organes de transfert**

Le système peut être subdivisé en deux sous-ensembles : un sous-ensemble Ouest avec les deux retenues " Comoé " et " Lobi " et un sous-ensemble Est avec la retenue " Toussiana ". Ces deux sous-ensembles sont interconnectés par le maillage du réseau d'irrigation de la canne à sucre.

On trouvera sur la figure 7 le plan schématique de l'aménagement du haut bassin de la Comoé.

Pour la partie Ouest, les lâchures des barrages Comoé et Lobi suivent le lit naturel du cours d'eau et se rejoignent avant la prise en rivière de Karfiguèla. Cette prise en rivière alimente un canal qui amène l'eau jusqu'à un bassin de mise en charge de deux conduites de diamètre 1000 et 1200 mm. L'eau résiduelle continue le cours naturel pour alimenter le périmètre rizicole de Karfiguèla. Les deux conduites alimentent le périmètre de canne à sucre de la SO.SU.CO. ainsi que les usines et toutes les demandes en eau potable.

Pour la partie Est, les lâchures de Toussiana suivent le cours naturel où des prélèvements pour le maraîchage sont effectués avant la mise en charge d'une conduite de diamètre 700 mm qui rejoint la partie ouest par maillage au niveau du périmètre irrigué de canne à sucre. Hormis quelques stations de surpression utilisées occasionnellement, l'ensemble du transport se fait par gravité.

### **Fonctionnement du système**

La SO.SU.CO., en tant que principal utilisateur, et propriétaire des ouvrages, a la maîtrise opérationnelle du système. Les ressources mobilisées étant limitées et les demandes croissant au fil des ans, des pénuries et des conflits

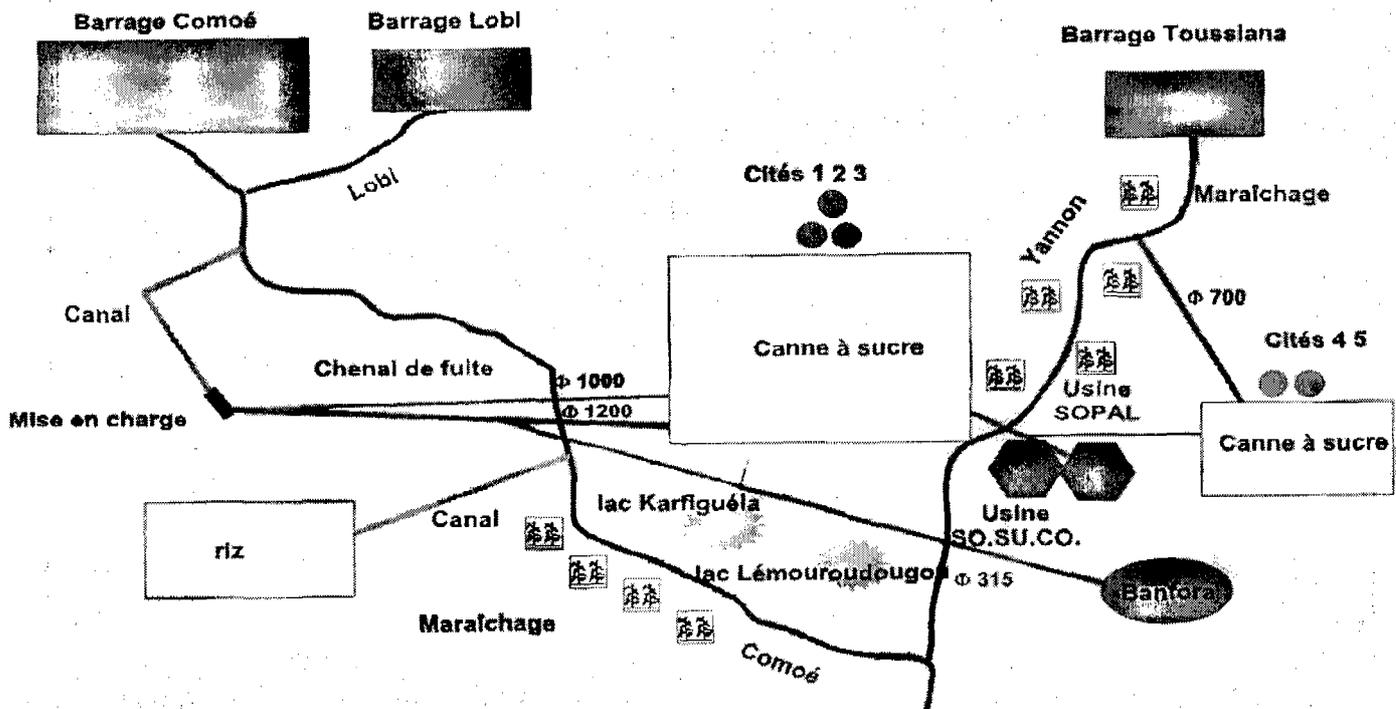


Figure 7 : Plan schématique de l'hydro-aménagement de la Comoé

d'usages apparaissent régulièrement. Ainsi, actuellement, sur les 350 ha aménagés du périmètre rizicole de Karfiguélé, seuls 120 ha sont exploités. Les maraîchers de Toussiana demandent la déconnexion du barrage de Toussiana du système et de nouveaux maraîchers s'installent. Pendant ce temps, la SO.SU.CO. souhaite augmenter de 1000 ha la superficie de la canne à sucre.

Face à cette situation, un comité de gestion des eaux des affluents régularisés de la Comoé a été créé en 1992. Il est chargé d'organiser l'exploitation de la ressource par la définition, chaque année, d'un programme de lâchures, d'arbitrer les conflits entre les utilisateurs, de veiller à la préservation de la ressource et à l'entretien des infrastructures mises en place.

### Scénarios et simulations

Dans le cas du bassin aménagé de la Comoé, les différents scénarios à tester ont été mis au point en collaboration avec la Direction Régionale de l'Hydraulique des Hauts Bassins de Bobo Dioulasso. Cette Direction a en charge la gestion et la planification de l'eau dans la région sud-ouest du Burkina Faso. Elle mène actuellement un programme dénommé R.E.SO. (valorisation des Ressources en Eau du

Sud-Ouest) qui comporte un volet "Schéma Directeur et Planification". Plusieurs scénarios d'évolution ont été envisagés, en considérant l'évolution de la population de Banfora, l'augmentation des surfaces irriguées, etc..

Parmi ces scénarios nous en présenterons deux, les autres étant encore en cours d'analyse.

Le premier concerne la simulation de l'état actuel du système, en tenant compte de l'ensemble des demandes à satisfaire (350 ha de riz notamment). Le second envisage la déconnexion du barrage de Toussiana de l'ensemble du système pour le réserver au maraîchage. Pour l'ensemble des simulations, la période choisie pour la base de données va de 1960 à 1995. Dans l'état actuel d'avancement, seule la base de données mensuelles a été complétée. Les simulations ont donc été effectuées au pas de temps mensuel.

Pour la base de données pluviométriques, 18 stations situées sur le bassin ou aux abords du bassin ont été utilisées. Les données manquantes ont pu être reconstituées par corrélation avec les stations les plus proches. La station de mesure servant au calcul de l'ETP est celle de Bérégadougou située au cœur du périmètre sucrier et disposant de plus de 22 ans de données. Concer-

nant la base de données hydrométriques, on dispose de trois stations fournissant les apports des trois retenues. Les débits naturels ont été reconstitués et étendus à l'aide des stations hydrométriques de longue durée observées sur la Comoé et des apports issus des bilans hydrologiques des trois retenues effectués pour les années observées.

Pour les deux scénarios simulés, les principes suivants ont été retenus :

- l'ordre de priorité des besoins a été fixé de la façon suivante, du plus prioritaire au moins prioritaire : Eau potable ; demandes industrielles, maraîchage et riz ; canne à sucre ;
- l'efficacité d'irrigation a été fixée à 65 %, ce qui correspond aux techniques par aspersion utilisées, les résultats globaux de simulation des deux scénarios sont présentés dans les tableaux 4 et 5.

### Discussion

Pour le premier scénario, on a un système déficitaire puisque 58 % des années simulées sont déficitaires, de manière plus ou moins marquée. En analyse mensuelle globale, 11 % des pas de temps sont déficitaires. Compte tenu des priorités fixées, les besoins en eau potable sont assurés correctement,

Comoé - système d'eau - simulation 1 de Comoé - résultats globaux

fourniture	2523778.3	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
déficits	162388.6	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
défaillances	48	
prélèvements	2703993.6	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Evénements extrêmes - distribution des besoins		
pénurie max.	100.0 %	- avr-83
durée max. de pénurie	5 mois	de fev-94 à jui-94 avec une pénurie de 22.8 %
Pertes		
pertes totales	666972.4	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
pertes par liens	0.0	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
aval en sus	245578.5	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
analyse des résultats	En 36 ans de gestion simulée on compte 15 ans sans pénurie, 12 ans à faible pénurie inférieure à 10.0 %, 7 ans à pénurie moyenne, 2 ans à forte pénurie supérieure à 25.0 %, dont l'année 1984 (29.4 %).	
Les défaillances sont survenues pour les mois de, février avec un taux de pénurie de 4.3 %, mars avec un taux de pénurie de 11.3 %, avril avec un taux de pénurie de 27.5 %, mai avec un taux de pénurie de 7.4 %, juin avec un taux de pénurie de 0.3 %.		
Sur les 18 besoins de l'aménagement, il est survenu au moins une défaillance sur :		
- 18 besoins de priorité moyenne (18 au total) - le besoin le moins prioritaire, perim7 de type périmètre d'irrigation, a connu une pénurie de 6.5 % - Cite A de type demande en Eau Potable est le besoin le plus prioritaire à avoir connu une pénurie de 0.9 % -		

Tableau 4 : Texte fourni par le modèle HYDRAM - résultats de simulation du scénario 1

sys\_CL96 - système d'eau - simulation 2 de sys\_CL96 - résultats globaux

fourniture	2389532.0	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
déficits	65830.9	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
défaillances	139	
prélèvements	2502858.3	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
Evénements extrêmes - distribution des besoins		
pénurie max.	58.7 %	- mar-84
durée max. de pénurie	6 mois	de jan-94 à jui-94 avec une pénurie de 10.9 %
Pertes		
pertes totales	462563.5	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
pertes par liens	0.0	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
aval en sus	162449.0	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>
analyse des résultats	En 36 ans de gestion simulée on compte 0 an sans pénurie, 33 ans à faible pénurie inférieure à 10.0 %, 3 ans à pénurie moyenne.	
Les défaillances sont survenues pour les mois de janvier avec un taux de pénurie de 1.5 %, février avec un taux de pénurie de 2.1 %, mars avec un taux de pénurie de 6.3 %, avril avec un taux de pénurie de 8.3 %, mai avec un taux de pénurie de 2.9 %.		
Sur les 17 besoins de l'aménagement, il est survenu au moins une défaillance sur :		
- 9 besoins de priorité moyenne (17 au total) - le besoin le moins prioritaire, perim4 de type périmètre d'irrigation, a connu une pénurie de 17.0 % -		

Tableau 5 : Texte fourni par le modèle HYDRAM - résultats de simulation du scénario 2

seuls les périmètres irrigués connaissent des déficits. La pénurie maximale observée de 100 % en avril 1983 survient lors d'une année exceptionnellement sèche pour la région ; les ressources sont alors plus faibles et les demandes très fortes. Il faut noter qu'en réduisant la superficie de riz de

350 à 120 ha le système devient alors presque suffisant, avec 80 % des années non déficitaires et moins de 3 % des mois en déficit.

Pour le second scénario, 32 % des mois sont déficitaires et on observe aucune année sans pénurie. Il faut néanmoins noter que les déficits,

s'ils surviennent plus souvent, sont moins sévères. Cette particularité peut être expliquée par la conformation du réseau et l'occurrence de saturations de certaines conduites. Les mois d'avril connaissent une pénurie globale de 8,3 % contre 27,5 % pour le scénario précédent. Là encore, si l'on réduit la superfi-

cie du périmètre rizicole de 350 à 120 ha, on obtient une amélioration notable, avec un taux maximum de pénurie qui passe de 58,7 % à 19,8 % et toutes les années sont alors avec une pénurie inférieure à 10 %.

En conclusion, le système aménagé de la Comoé atteint ses limites d'extension par le manque de ressources en eau. Les ressources mobilisables supplémentaires sont rares et leur mobilisation doit faire l'objet d'attentions particulières au regard des conséquences environnementales possibles. Les limitations d'exploitation du périmètre rizicole de Karfiguéla sont compréhensibles au vu des résultats de simulation. L'utilisation du modèle de simulation HYDRAM doit per-

mettre d'envisager d'autres scénarios de développement en collaboration avec tous les acteurs et utilisateurs du système.

### CONCLUSION

Avec le modèle de simulation HYDRAM, on dispose d'un outil adapté à la modélisation du fonctionnement des systèmes d'eau complexes. Une fois la banque de données mise au point, un grand nombre de scénarios peuvent être simulés rapidement et les conséquences prévisibles de ces scénarios aisément déduites. Le dialogue entre techniciens, politiques, acteurs et décideurs peut alors être plus facilement instauré et les modifications issues de ce dialogue

peuvent également être envisagées facilement. La résolution des conflits et la mise au point de la politique de distribution s'en trouve alors facilitée. □

### REMERCIEMENTS

L'auteur souhaite remercier :

• le Conseil Général de la Guadeloupe ; les travaux d'élaboration du modèle HYDRAM ont été menés au sein du centre ORSTOM de Pointe-à-Pitre et cofinancés par le Conseil Général de la Guadeloupe et l'ORSTOM.

• La Direction Régionale de l'Hydraulique des Hauts-Bassins de Bobo Dioulasso, pour la collaboration et la mise à disposition des données.

### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Pouget, J.C., Dezetter, A., 1993, Water resources management in a tropical island environment. The case of Guadeloupe. 4e Symposium de l'AIISH, "Hydrology of Warm Humid Regions", Symposium H3, Yokohama, Japon.

Sigvaldason, O.T., 1976, 'A Simulation Model for Operating a Multipurpose Multireservoir System', Wat.Resour.Res., apr. 1976, Vol. 12, NO. 2, p 263-278

Traore, S., 1996, Le bassin versant de la Comoé et ses hydrosystèmes, Direction Régionale de l'Hydraulique des Hauts-Bassins, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, document interne.

Votruba, L., Kos, Z., Nachazel, K., Ptera, A., Zeman, V., 'Analysis of Water Resource Systems', Elsevier, Developments in Water Science, NO. 32, 1989, 454 p.



**SUD  
SCIENCES & TECHNOLOGIES**

La Revue Sud Sciences et Technologies est accessible sur le WEB à l'adresse suivante :

<http://ohraoc.orstom.bf/HTMLF/ORGINT/EIER/SST/INDEX.HTM>

(attention à la distinction minuscules/majuscules - le serveur fait la différence)

Vous y trouverez :

Les photos des couvertures du numéro 1, l'éditorial, l'avant-propos, le sommaire, les titres et les résumés des articles ainsi qu'un bulletin d'abonnement.

## Résumé

L'étude présentée s'appuie sur des mesures de précipitation et d'écoulement enregistrées dans les régions non sahéliennes d'Afrique de l'Ouest et Centrale (du Sénégal à la Centrafrique) au cours du XX<sup>ème</sup> siècle. Elle repose sur un ensemble de méthodes d'interpolation et de représentation cartographique, ainsi que sur des méthodes statistiques de détection de ruptures au sein des séries chronologiques.

Les séries pluviométriques annuelles enregistrées sur de longues durées ont permis d'étudier l'évolution spatio-temporelle de la pluviométrie dans ces régions. Les résultats soulignent l'existence d'une alternance de périodes sèches et humides depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle. Ils mettent également en évidence une diminution nette de la pluviométrie dans ces régions d'Afrique, dites humides, depuis la fin des années 1960 et le début des années 1970.

La sécheresse actuelle ne semble pas avoir connu d'équivalent, ni en durée, ni en intensité, sur l'ensemble de la période étudiée. Une étude statistique, confirmée par des représentations cartographiques de ces différentes périodes, met en évidence le caractère fortement hétérogène du phénomène dans l'espace.

Cette diminution de la pluviométrie a de sérieuses conséquences sur les régimes d'écoulement des cours d'eau de ces régions. Cette étude a permis de caractériser ces modifications et d'apporter une dimension régionale à leur interprétation tout en soulignant la diminution importante des volumes écoulés ce qui n'est pas sans conséquences tant au niveau économique qu'environnemental.

## MOTS-CLES :

Afrique de l'Ouest et Centrale - Afrique non sahélienne - Régimes pluviométriques - Régimes hydrologiques - Test de Pettitt - Variabilité climatique - Longues séries chronologiques - Ruptures.

# VARIABILITE DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES ET HYDROLOGIQUES EN CETTE FIN DE SIECLE EN AFRIQUE DE L'OUEST ET CENTRALE NON SAHELLENNE

**Jean-Emmanuel  
PATUREL\***,  
**Eric SERVAT**,  
**Brou KOUAME**,  
**Michel TRAVAGLIO**,

ORSTOM, Programme FRIEND AOC, 06 BP 1203,  
Cidex 1, Abidjan 06, Côte d'Ivoire.

**Hélène LUBES**,  
**Bertrand MARIEU**,

ORSTOM, Programme FRIEND AOC, BP 5045,  
34032 Montpellier Cedex 1, France.

**Jean Marie MASSON**,

Laboratoire Géofluides-Bassins-Eau, URA-CNRS  
1765, Université Montpellier II,  
Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier Cedex,  
France.

## Abstract

This study deals with rainfall and runoff time series registered over long duration for a set of gauges and stations all over non sahelian Western and Central Africa (from Senegal to Centrafrique). The study is based on a set of methods concerning interpolation and cartographic representation as well as on statistical methods for detection of breaks in time series.

Annual rainfall data have allowed to study spatial and temporal rainfall evolution in this region. Results underline the existence of an alternation of dry and wet periods since the beginning of the 20th century. It seems that the current drought has no equivalent neither regarding duration nor intensity, all over the studied period. A set of maps and a statistical study show the very heterogeneous feature of the phenomenon regarding its spatial distribution.

This reduction of rainfall has serious consequences on flow regimes within this region. This study has allowed to characterize these modifications and to supply a regional level to their interpretation. It has also allowed to emphasize the very important decrease of the volumes flowed out by the rivers which has economical and environmental results.

## KEY-WORDS :

West and Central Africa - Non-Sahelian Africa - Pluviometric regimes - Flow regimes - Pettitt's test - Climatic variability - Long time series - Breaks.

## INTRODUCTION

Depuis plus de vingt ans maintenant, les pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest et Centrale (AOC) sont soumis à une sévère sécheresse (Hubert et al, 1989, Demarrée, 1990). Elle se traduit par des déficits pluviométriques dont les conséquences sont souvent graves. Certaines études ont permis de situer l'apparition du phénomène à la fin des années 1960 et au début des années 1970. Plus au Sud, dans des régions d'Afrique aux climats plus humides, la sécheresse - au sens d'une insuffisance pluviométrique - se fait également sentir (Nicholson et al, 1988; Mahé et Olivry, 1991).

Il est intéressant de pouvoir caractériser et situer cette période de pluviométrie déficitaire dans une perspective historique. A cette fin, seule l'étude des longues séries observées peut nous permettre d'évaluer au mieux l'importance réelle de cette évolution climatique récente. Si la plupart de ces séries de référence ne remontent qu'au début du siècle, voire aux années 1920, l'antériorité de cette information permet cependant d'appré-

cier l'alternance des périodes sèches et humides et donc de mieux caractériser le déficit actuel, y compris dans un contexte régional.

Cette baisse de la pluviométrie a des conséquences sur les régimes d'écoulement des cours d'eaux d'Afrique de l'ouest et centrale. Même si ces répercussions sont généralement moins sévères sur l'ensemble des régions dites "humides" d'Afrique de l'ouest et centrale, la ressource en eau restant relativement abondante. Néanmoins, la maîtrise de cette ressource y demeure un préalable indispensable à toute activité économique.

Les résultats de cette étude (programme ICCARE de l'ORSTOM), menée dans le cadre du projet FRIEND AOC du PHI de l'UNESCO, permettent de tirer des enseignements à valeur régionale quant aux modifications subies par les régimes pluviométriques et hydrologiques.

## DONNEES ET METHODES

### Données pluviométriques

Les postes pluviométriques sélectionnés dans le cadre de cette étude l'ont été sur la base de critères de durée de l'information disponible et de qualité des données. Le choix des postes s'est également effectué de manière à permettre une couverture optimale de la région étudiée. Une centaine d'entre eux a ainsi été retenue qui présentent des séries chronologiques de hauteurs précipitées annuelles de plus de 60 ans. Les séries les plus longues proviennent des pays anglophones et remontent parfois, mais rarement, à la fin du siècle dernier.

### Données hydrologiques

Sur l'ensemble de la région étudiée, 103 bassins versants ont été sélectionnés pour la qualité et la continuité de leurs données dont les plus anciennes remontent généralement au début des années 1950. Les séries chronologiques disponibles ont été traitées sur la base de regroupements effectués non par pays mais par grands bassins

hydrographiques. Ils constituent, de fait, quatre grands ensembles : (a) un premier groupe de bassins versants centré sur le bassin du Sénégal à l'ouest de la zone étudiée, (b) un second groupe comprenant les Volta, les bassins versants des fleuves ivoiriens, togolais et béninois donc plus proches des côtes du Golfe de Guinée, (c) un groupe situé en Afrique centrale et comprenant les bassins du Chari-Logone, de l'Oubangui et de plusieurs cours d'eau camerounais, et (d) un dernier groupe que constitue le bassin du Niger.

A partir des données de débits journaliers, des variables concernant les débits moyens annuels et certaines caractéristiques des hautes eaux et des basses eaux ont pu être élaborées.

## Méthodes

Un ensemble de représentations graphiques et cartographiques a été utilisé pour visualiser les différents résultats obtenus.

Des représentations graphiques d'indices pluviométriques ont permis de visualiser l'alternance des périodes sèches et humides dans un contexte régional. Cet indice s'exprime par (Lamb, 1982) :

$$(x_i - \bar{x}) / s$$

avec :  $x_i$  : hauteur annuelle précipitée l'année  $i$  au poste considéré,  $\bar{x}$  : hauteur moyenne annuelle précipitée sur la période de référence au poste considéré,  $s$  : écart-type des hauteurs annuelles précipitées sur la période de référence au poste considéré.

Des cartes d'isovaleurs de ces mêmes indices pluviométriques annuels ont été établies.

Les séries chronologiques des différentes variables traitées ont pu être analysées à l'aide de deux méthodes préalablement sélectionnées (Lubès-Niel et al, 1997) : (a) le test de corrélation sur le rang et (b) le test de Pettitt (Pettitt, 1979). L'utilisation du test de corrélation sur le rang avait pour objectif de mettre en évidence l'existence d'une tendance et donc d'un caractère non aléatoire au sein des séries chronologiques. Celles-ci ont également été analysées à l'aide du test de Pettitt qui a pour objet de

détecter une éventuelle rupture en moyenne dans les séries chronologiques.

## VARIABILITE DES REGIMES PLUVIOMETRIQUES

### Analyse cartographique

La période qui va de 1925 (+/- 5 ans) à 1990 a été retenue comme période de référence car commune à tous les postes étudiés et présentant une forte densité d'information. Sur l'ensemble de cette période et pour chacun des postes étudiés, l'indice pluviométrique précédemment défini a été calculé. Cet indice traduit ainsi un excédent ou un déficit pluviométrique pour l'année considérée par rapport à la période de référence choisie.

Les résultats ont été reportés en figure 1, en rangeant les postes pluviométriques par longitude croissante. On y observe une succession de périodes déficitaires et excédentaires qui ne sont pas toujours intervenues simultanément sur l'ensemble de la zone d'étude. On peut cependant en déduire les conclusions suivantes :

- la période 1936-1950 est déficitaire. Ce caractère est plus marqué entre 0° et 4° de longitude Est (soit à la hauteur du Togo et du Bénin) et il s'estompe de part et d'autre, en particulier à l'ouest,
- la période 1951-1968 est excédentaire. Ce caractère est légèrement plus marqué à l'ouest de la zone d'étude (soit à l'ouest de la Côte d'Ivoire),
- la période 1969-aujourd'hui est très nettement déficitaire. Ce caractère s'observe sur l'ensemble de la zone, mais plus encore à l'ouest.

Les résultats ont ensuite été reportés en figure 2 en rangeant les stations par latitude croissante. On y observe la même succession de périodes déficitaires et excédentaires que précédemment :

- la période 1936-1950 est déficitaire, et principalement dans les régions les plus proches du Golfe de Guinée ;
- la période 1951-1968 est nettement excédentaire ;
- la période 1969-aujourd'hui est

**Périodes déficitaires et excédentaires**  
Classement par longitude croissante

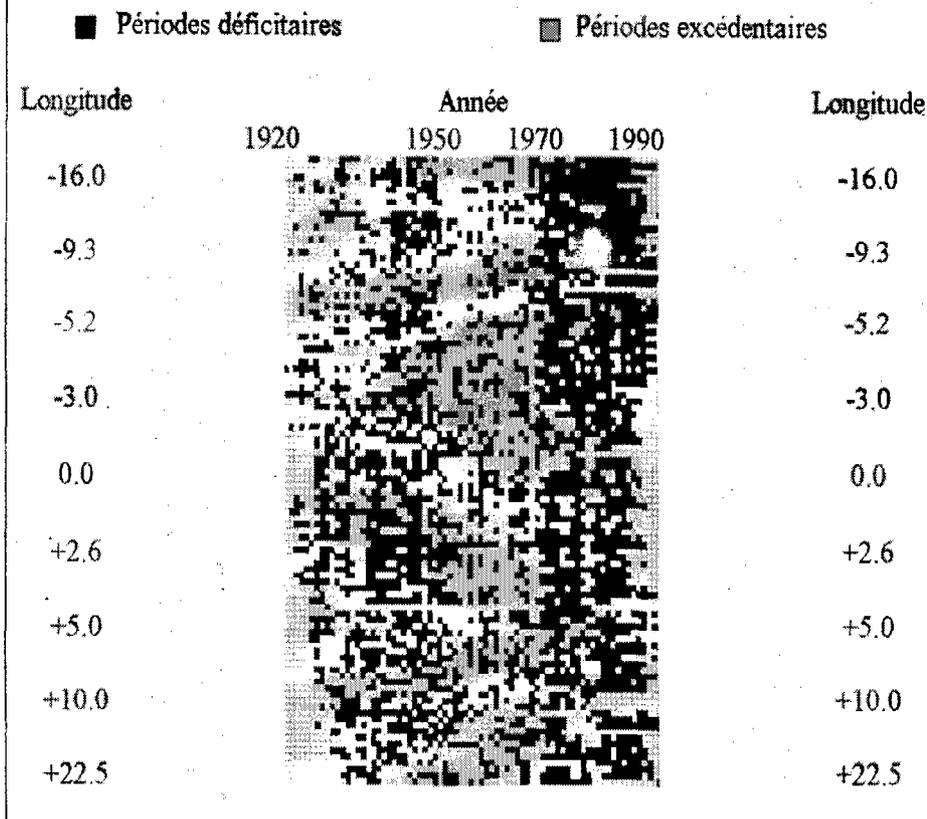


Figure 1 : Visualisation des périodes déficitaires et excédentaires en fonction de la longitude du poste de mesure.

**Périodes déficitaires et excédentaires**  
Classement par latitude décroissante

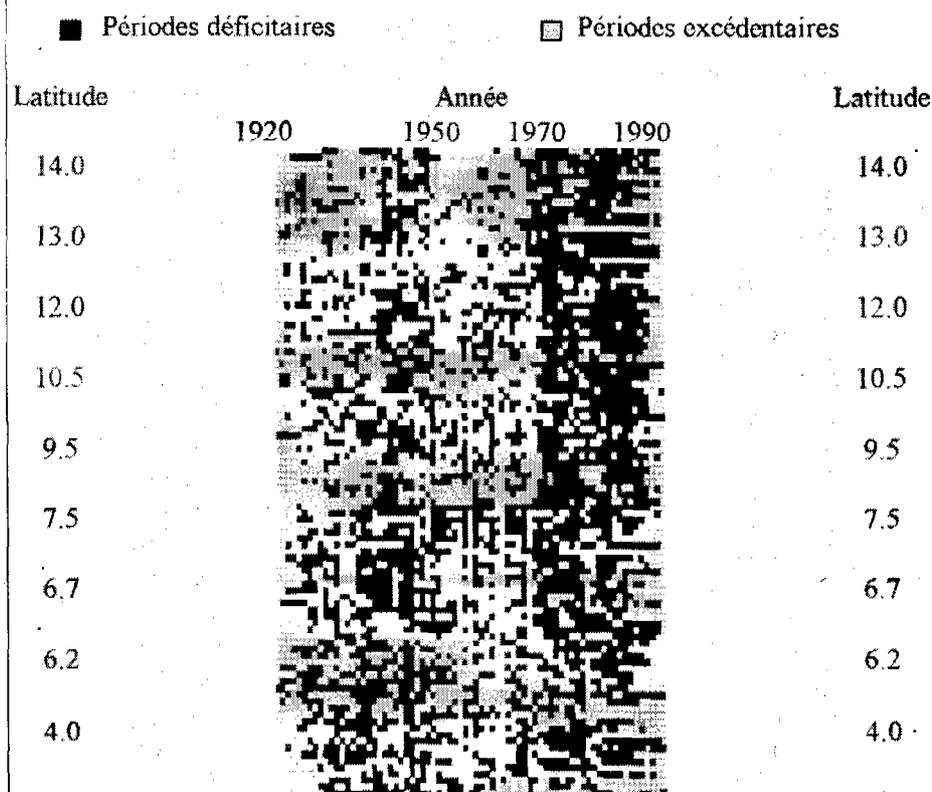


Figure 2 : Visualisation des périodes déficitaires et excédentaires en fonction de la latitude du poste de mesure

déficitaire. Ce caractère est très marqué au nord du 8ème parallèle. La figure 3 présente une cartographie régionale de la moyenne par décennie des indices pluviométriques. On observe alors :

- des zones ponctuellement déficitaires durant les décennies 1930 et 1940 (en particulier cette dernière); les valeurs des indices sont, cependant, faibles en valeur absolue,
- des zones excédentaires durant les décennies 1950 et 1960 ; ce caractère s'observe d'abord dans le nord puis se généralise à l'ensemble de la région au cours de la décennie 1960,
- des zones déficitaires durant les décennies 1970 et 1980 ; ce caractère s'accroît au cours de la décennie 1980 et apparaît très marqué au delà de 10°N et de 5°W. Les valeurs des indices y sont élevées en valeur absolue.

L'examen des données antérieures à la période de référence, disponibles pour quelques postes uniquement, révèle un épisode déficitaire entre 1910 et 1922 et un autre, excédentaire, entre 1922 et 1936. Les différentes représentations utilisées soulignent donc l'existence d'une alternance de périodes sèches et humides depuis le début du siècle, sans, pour autant, que l'on puisse parler de cycle compte tenu de la forte irrégularité de la durée des épisodes qui se succèdent.

**Analyse statistique**

Le test de Pettitt a été appliqué à chacune des séries chronologiques étudiées. Les résultats montrent qu'une rupture (c'est-à-dire, ici, une diminution de la pluviométrie annuelle) y est détectée majoritairement entre 1960 et 1979 avec un niveau de signification qui varie d'un poste à un autre. Le niveau de signification traduit ici l'importance réelle ou non d'un changement de la moyenne au sein de la série pluviométrique. Le tableau 1 présente la probabilité associée à la statistique du test calculé pour chacun des postes et le classement qualitatif qui en découle. Celles-ci ont été reportées sur une carte de la région étudiée (figure 4).

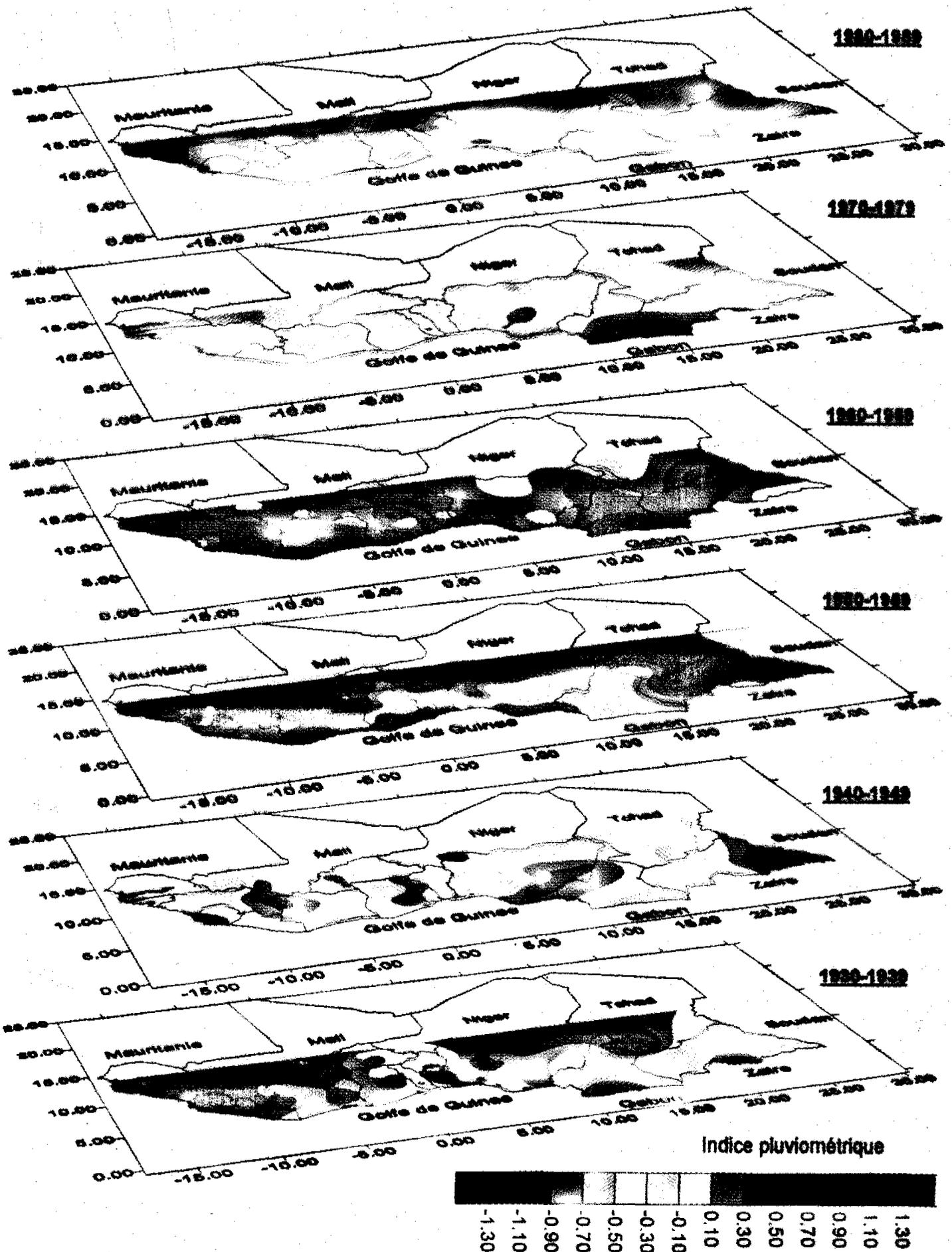


Figure 3 : Evolution des indices pluviométriques de la décennie 1930 à la décennie 1980

Probabilité associée	Classe	Dénombrement
< 1%	rupture très significative	32
entre 1 et 5%	rupture significative	10
entre 5 et 20%	rupture peu significative	11
> 20%	série homogène	32
< 5%	excédent pluviométrique	6
< 1%	rupture très significative en dehors de la période 1960-1979	5

Tableau 1 : Probabilité associée au test de Pettitt. Rupture entre 1960 et 1979

Les niveaux de signification les plus élevés se situent à l'ouest de 5° de longitude Ouest et au nord de 8 à 10° de latitude Nord. Dans 5 cas uniquement, la rupture n'a pas été signalée durant la période 1960 - 1979, mais autour des années 1940. Les 6 postes pour lesquels le test révèle une augmentation de la pluviométrie annuelle sont isolés les uns des autres et leurs résultats ne traduisent probablement en rien un comportement régional.

Par définition, le test de Pettitt ne peut détecter qu'une seule rupture. Pour la région étudiée, il semble privilégier très nettement celle survenue autour de l'année 1970, soulignant ainsi l'importance de cette dernière variabilité au regard des séries chronologiques historiques

disponibles et de l'alternance de périodes sèches et humides que l'on y observe.

#### Nouvelle représentation spatiale de la pluviométrie annuelle régionale

Les observations précédentes montrent qu'une nouvelle représentation spatiale de la pluviométrie annuelle régionale doit être dressée. La figure 5 permet de comparer l'évolution des tracés des isohyètes au cours des 4 dernières décennies, 1950 à 1980. Près de 200 postes pluviométriques ont permis l'obtention de ces cartes.

D'un point de vue général, on observe que c'est le long des côtes que la pluviométrie annuelle est la

plus importante. Entre la Côte d'Ivoire et le Bénin, cependant, le tracé des isohyètes est très irrégulier et les précipitations plus faibles. L'irrégularité constatée des isohyètes est communément reliée à la présence des Monts Togo prolongés, au Bénin, par la chaîne de l'Atakora, ainsi qu'à l'orientation de la côte (Eldin, 1971). Ailleurs, le gradient pluviométrique est pratiquement Nord-Sud car, plus à l'intérieur des terres, la distance à l'Océan Atlantique constitue un important facteur d'homogénéisation des régimes des précipitations. Au cours des quatre décennies plus particulièrement étudiées, 1950 à 1980, on note une diminution généralisée de la pluviométrie. Ce phénomène s'observe pendant la décennie 1970 et s'amplifie pendant les années 1980. Les secteurs à très forte pluviométrie (>2400 mm/an) disparaissent en certains endroits. A l'inverse, la zone à faible pluviométrie (800 à 1200 mm/an) s'est considérablement étendue, entraînant en de nombreux endroits un passage d'un régime climatique guinéen à soudanais.

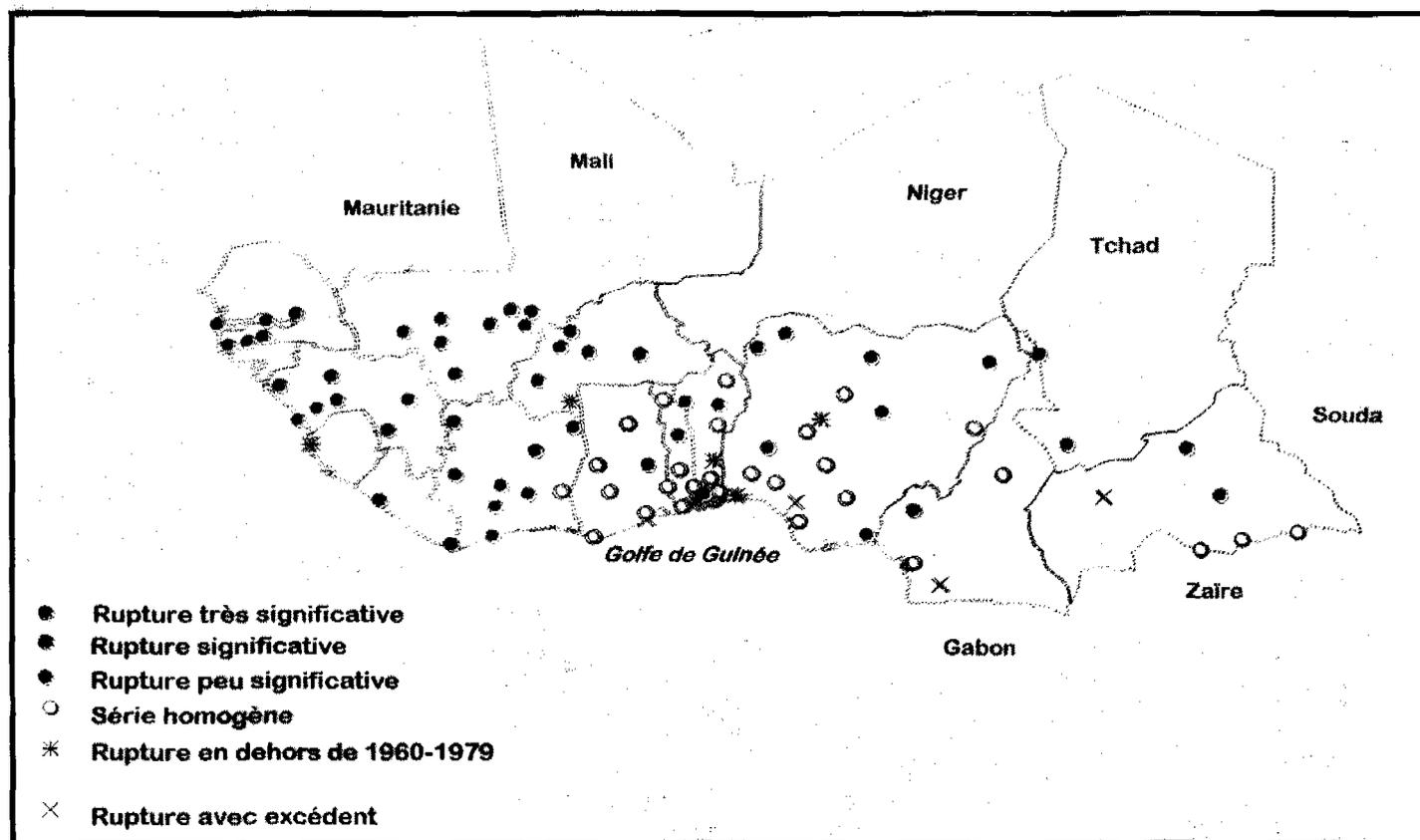
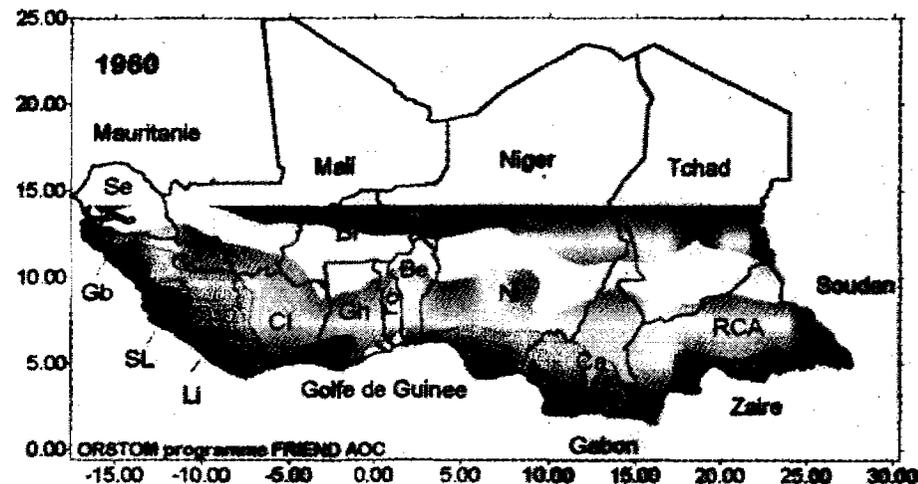
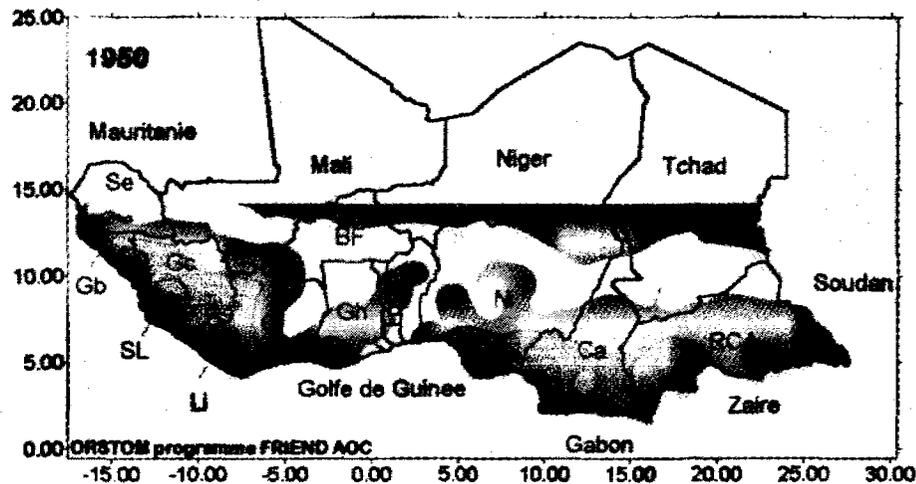


Figure 4 : Niveaux de signification des résultats du test de Pettitt



- |                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| Be : Bénin         | BF : Burkina Faso   |
| Ca : Cameroun      | CI : Côte d'Ivoire  |
| Gb : Guinée Bissau | Gc : Guinée Conakry |
| Gh : Ghana         | Li : Liberia        |
| Ni : Nigeria       | RCA : Centrafrique  |
| Se : Sénégal       | SL : Sierra Leone   |
| To : Togo          |                     |

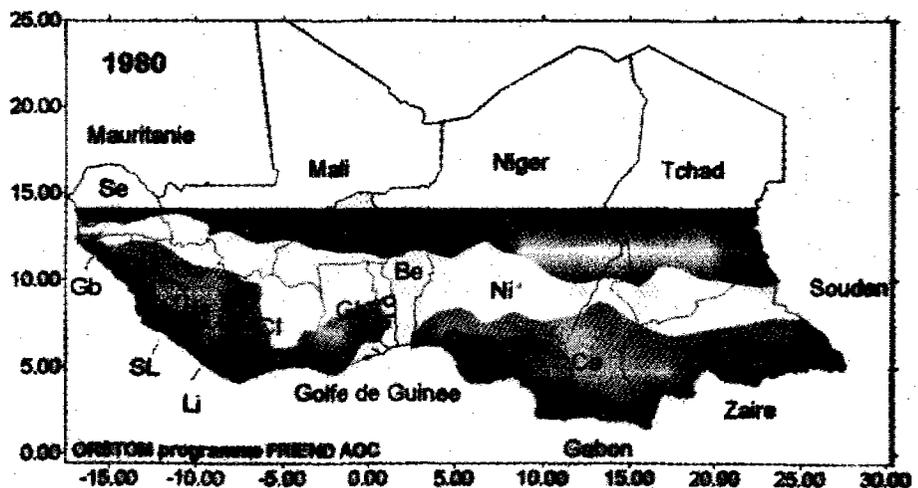
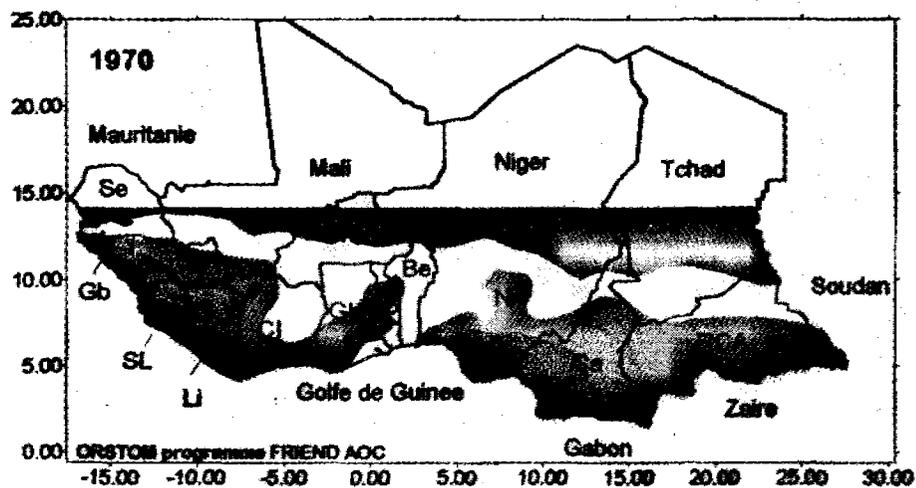
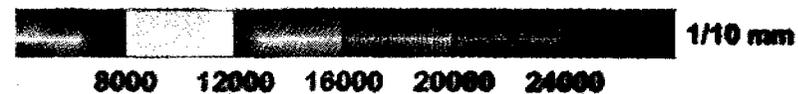


Figure 5 : Pluviométrie moyenne annuelle durant les décennies 1950 à 1980

Nom Poste	Bassin principal	Bassin	Rivière	A/NA	Rupture	Déficit
Mbasso	Comoe	Comoe	Comoe	NA	1971	-50%
Aniassue Pont	Comoe	Comoe	Comoe	NA	1971	-56%
Ndjamena	Lac Tchad	Chari	Chari	NA	1971	-51%
Lai	Lac Tchad	Logone	Logone	NA	1970	-39%
Malanville	Niger	Niger	Niger	NA	1970	-43%
Niamey	Niger	Niger	Niger	NA	1970	-34%
Douna	Niger	Niger	Bani	NA	1971	-70%
Kankan	Niger	Niger	Milo	NA	1979	-36%
Escka	Nyong	Nyong	Nyong	A	1971	-18%
M'Balmayo	Nyong	Nyong	Nyong	A	Rien	Rien
Sagon	Oueme	Oueme	Oueme	NA	1967	-42%
Logozohc-Pont	Oueme	Oueme	Klou	A	Rien	Rien
Semien	Sassandra	Sassandra	Sassandra	NA	1970	-36%
Bakel	Sénégal	Sénégal	Sénégal	NA	1967	-50%
Oualia	Sénégal	Sénégal	Bakoye	NA	1971	-66%
Dapola	Volta	Volta	Volta Noire	NA	1971	-41%
Boromo	Volta	Volta	Volta Noire	NA	1971	-46%
Bangui	Zaïre	Oubangui	Oubangui	NA	1970	-30%
Salo	Zaïre	Sangha	Sangha	NA	1975	-22%
Doume	Zaïre	Sangha	Doume	NA	Rien	Rien

Tableau 2 : Valeurs de déficits des débits moyens annuels calculés à certaines stations hydrométriques de part et d'autre de la date de rupture.

En outre, si, jusqu'à la fin des années 1960, l'isohyète 1600 mm apparaissait comme caractéristique d'une pluviométrie moyenne en zone forestière, elle ne l'est plus dès les années 1970. Ce déficit pluviométrique affecte, donc, aussi bien les régions sub-sahéliennes que les régions forestières et côtières à pluviométrie plus élevée.

## VARIABILITE DES REGIMES HYDROLOGIQUES

### Débits moyens annuels

La tableau 2 (colonne 5) présente les résultats obtenus pour certains bassins et montre, à l'évidence, le caractère non aléatoire de l'immense majorité des séries de modules annuels (75%, ramené à l'ensemble des bassins), traduisant en cela l'existence d'une tendance. Seuls certains bassins d'Afrique centrale, principalement au Cameroun, et de l'ensemble Togo - Bénin présentent un caractère aléatoire.

L'utilisation du test de Pettitt montre que 76 bassins sur les 103 étudiés, soit près de 74%, présentent une rupture dans les séries chronologiques de modules annuels. Ce résultat, qui correspond à une diminution des débits moyens annuels, souligne l'import-

tance du phénomène dans toute la sous-région. Il est intéressant de noter la très faible dispersion des dates d'occurrence de cette rupture (tableau 2, colonne 6). Sur les 76 bassins concernés, 10,5% présentent une rupture entre 1965 et 1968, 75% entre 1969 et 1971, 5% entre 1972 et 1975 et 8% après 1975. D'un point de vue spatial, on constate que l'essentiel des ruptures enregistrées avant 1969 le sont sur le bassin versant du Sénégal, soit dans les régions les plus occidentales et les plus septentrionales de la zone étudiée. Ceci est parfaitement conforme aux résultats d'une étude pluviométrique menée précédemment (Servat et al, 1996) et qui avait révélé que les régions touchées le plus tôt par cette réduction des précipitations annuelles se situait au nord-ouest de la zone étudiée. Les autres groupes de bassins versants ont généralement subi cette modification entre 1969 et 1971.

Les régions à faible variabilité, et donc à déficit pluviométrique réduit, ne présentent généralement pas de rupture. C'est, en particulier, le cas des bassins du Mono et de l'Oueme au Togo et au Bénin. On se trouve cependant, là, dans la zone de limite de validité des tests utilisés (Lubès-Niel et al, 1997), ce

qui ne permet pas d'en tirer pour autant des conclusions définitives quant à la relation pluie-débit.

On constate donc que les ruptures dans les séries de débits moyens annuels sont moins dispersées dans le temps qu'elles ne le sont pour les précipitations annuelles. Les différences qui apparaissent au niveau des cours d'eau, intégrateurs de nombreux paramètres influencés par la variabilité climatique (développement de la végétation, ruissellement, infiltration, recharge des nappes, évaporation, etc.), sont donc plus sensibles et détectables plus rapidement.

La figure 6 présente les déficits calculés pour les débits moyens annuels depuis la date de rupture estimée par le test de Pettitt. Ces déficits sont souvent extrêmement importants puisque sur les 75 bassins concernés, 62 (soit 84%) présentent un déficit supérieur ou égal à 30%, et 28 (soit 37%) un déficit supérieur ou égal à 50%. Ces chiffres soulignent combien les effets de la variabilité climatique mesurée sur la pluviométrie sont amplifiés au niveau des cours d'eau dont on a rappelé ci-dessus le rôle intégrateur. Du point de vue spatial, on notera que les déficits les plus importants sont enregistrés sur le bassin du Sénégal, sur les bassins des fleuves ivoiriens et sur le bassin du Chari-Logone en Afrique centrale.

Le tableau 2 (colonne 7) présente également quelques résultats parmi les plus significatifs en matière de déficits des débits moyens annuels. Il fait, encore une fois, ressortir l'importance des déficits d'écoulements enregistrés dans ces cours d'eau des régions de l'Afrique tropicale. Ces résultats renforcent les conclusions tirées des études sur la pluviométrie et confirment la réduction significative des précipitations et plus encore des écoulements annuels subie par l'Afrique de l'ouest et centrale.

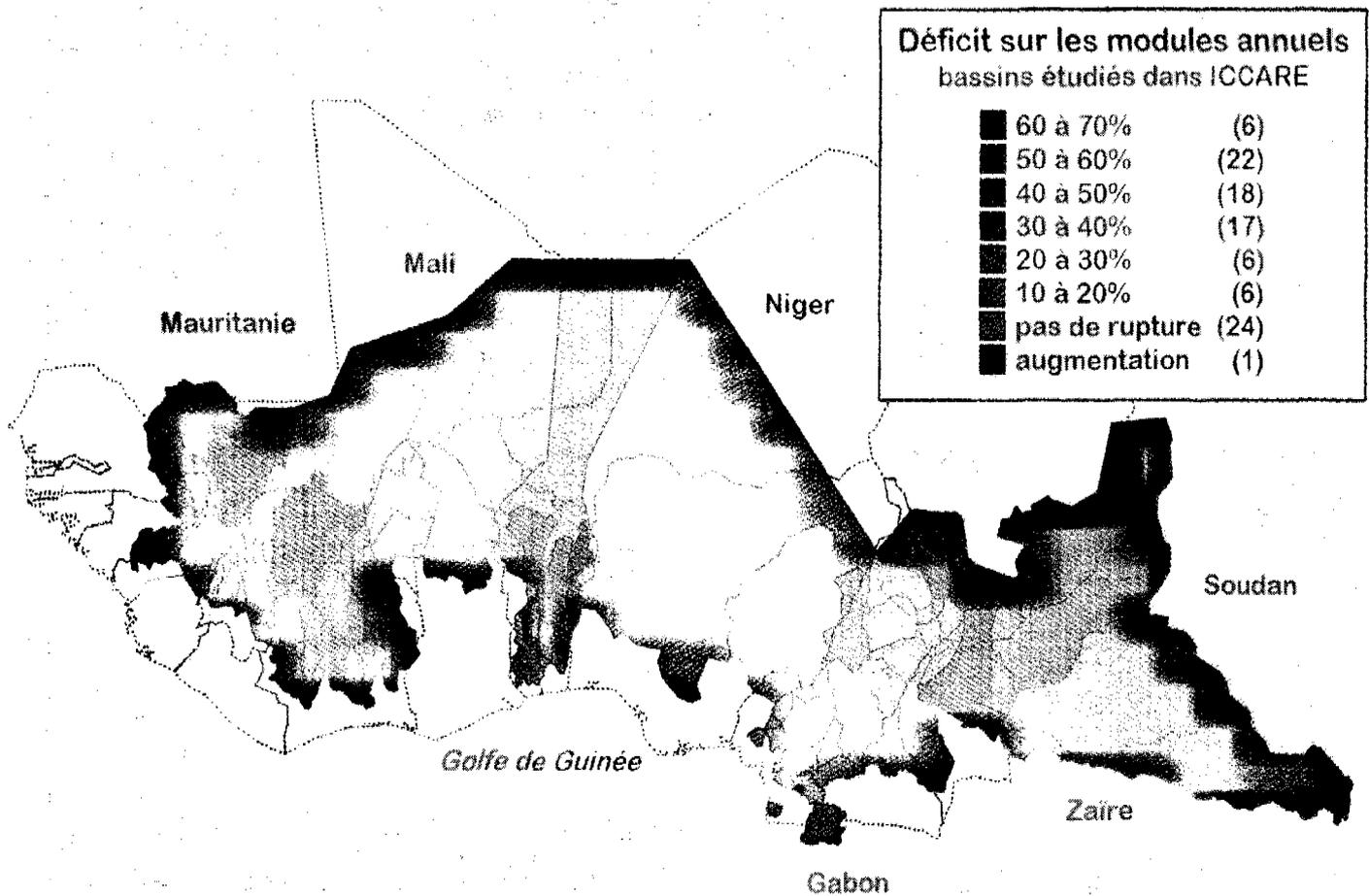


Figure 6 : Représentation cartographique des valeurs de déficits calculées de part et d'autre des dates de rupture dans les séries chronologiques de débits moyens annuels.

### Autres variables caractéristiques des débits

Des variables caractérisant (a) les débits moyens maximum de n jours consécutifs (VCXn, avec n = 1, 5, 10, 20, 30, 60, 90) et (b) les débits

moyens minimum de n jours consécutifs (VCNn, avec n = 1, 5, 10, 20, 30, 60 voire 90) ont également été étudiées.

D'une manière générale on notera que les différentes séries de VCXn

présentent, comme les débits moyens annuels, un caractère non aléatoire et que leurs dates de rupture sont également les plus fréquentes durant la période 1969 - 1971 (tableau 3).

Nom Poste	Bassin principal	Bassin	Rivière	VCX1	VCX30	VCX90
Mbasso	Comoe	Comoe	Comoe	1971	1971	1971
Aniassue Pont	Comoe	Comoe	Comoe	1971	1971	1971
Ndjamena	Lac Tchad	Chari	Chari	1971	1971	1971
Lai	Lac Tchad	Logone	Logone	1971	1971	1970
Makurdi	Niger	Niger	Benoue	1971	1971	1971
Douna	Niger	Niger	Bani	1971	1971	1971
Kankan	Niger	Niger	Milo	1979	1979	1979
Eseka	Nyong	Nyong	Nyong	Rien	Rien	Rien
M'Balmayo	Nyong	Nyong	Nyong	Rien	Rien	Rien
Sagon	Oueme	Oueme	Oueme	1965	1967	Rien
Logozohe-Pont	Oueme	Oueme	Klou	Rien	Rien	Rien
Scmien	Sassandra	Sassandra	Sassandra	1971	1971	1969
Bakel	Sénégal	Sénégal	Sénégal	1968	1972	1972
Oualia	Sénégal	Sénégal	Bakoye	1971	1971	1971
Dapola	Volta	Volta	Volta Noire	Rien	1971	1971
Bangui	Zaire	Oubangui	Oubangui	1975	1970	1970
Salo	Zaire	Sangha	Sangha	1971	1975	1971
Doume	Zaire	Sangha	Doume	Rien	Rien	Rien

Tableau 3 : Présence et dates des ruptures détectées dans certaines des séries chronologiques de VCX

L'importante corrélation existant d'ordinaire entre débits moyens annuels et débits maximums permet d'expliquer cette forte similarité.

L'exploitation des résultats obtenus pour les VCNn est plus complexe dans la mesure où, désormais, nombre de cours d'eau se trouvent chaque année à sec sur des périodes relativement longues. On notera, cependant, que les débits de basses eaux semblent également avoir subi d'importantes modifications à la baisse durant la période 1969 - 1971.

## CONCLUSION

Au cours de ce siècle, l'Afrique de l'ouest et centrale a donc connu une succession de périodes déficitaires et excédentaires du point de vue pluviométrique sans que l'on puisse, toutefois, parler de cycle. La fluctuation la plus brutale et la plus significative (au sens statistique du terme) a été observée autour des années 1970, à partir desquelles on note généralement une diminution importante de la pluviométrie annuelle. Si dans les parties les plus orientales de la région étudiée, cette fluctuation semble s'inscrire dans la "norme" des fluctuations des séries chronologiques, l'étude des séries longues montre qu'à l'ouest et au nord elle revêt un caractère d'exception tant par son intensité que par sa durée. Les régions dites "humides" d'AOC ont ainsi vu leur régime pluviométrique profondément modifié depuis plus de 25 ans maintenant. Sur l'ensemble de la zone étudiée, la pluviométrie a subi d'importantes modifications qui se traduisent par des diminutions de précipitations annuelles pouvant atteindre 20 à 25% par rapport à la période de référence 1950-1989. On constate également, dans bon nombre de zones de savane, une tendance à passer d'un régime climatique "guinéen" à un régime "soudanien" plus sec.

Il est probable que les activités humaines ont très certainement contribué à accroître ce phénomène de sécheresse. On peut ainsi citer l'exemple de la déforestation qui a pris une ampleur considérable dans de nombreuses régions du Golfe de Guinée durant ces dernières décennies, s'accompagnant généralement d'une profonde modification de la nature de l'occupation des sols du fait d'importantes mises en cultures.

Ce déficit pluviométrique observé en Afrique de l'ouest et centrale depuis plus de vingt cinq ans a de sérieuses conséquences sur l'hydraulicité des cours d'eau de cette région. Ils présentent, en effet, des déficits d'écoulement communément supérieurs à 30% et souvent situés au delà de 50%. Hautes eaux et basses eaux ont également subi

d'importantes modifications à la baisse.

Les conséquences de cette diminution des volumes écoulés sont d'ores et déjà évidentes au regard de l'exploitation des ressources en eau et de l'environnement. L'agriculture, l'alimentation des retenues et la production hydroélectrique, entre autres, sont fortement pénalisées par cette baisse de la pluviométrie. Gestion des aménagements existants et conception des projets doivent donc désormais tenir compte de cette hydraulicité déficitaire dans toute cette région.

La pénurie pure et simple n'est pas à craindre dans ces régions où les

quantités précipitées restent importantes dans l'absolu. Mais les effets de cette variabilité climatique peuvent, malgré tout, se révéler désastreux, en ce sens qu'ils modifient les données d'un équilibre déjà souvent mis à mal par ailleurs (mise en culture et exploitation forestière). □

## REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient J.F. Boyer et M. Ouedraogo pour leur contribution importante à cette étude.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DEMAREE, G., 1990. An indication of climatic change as seen from the rainfall data of a Mauritanian station, *Theor Appl Climatol*, 42, p. 139-147.
- ELDIN, M., 1971. Le climat, in : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire* (Avenard et al). Mém. ORSTOM, Paris, 50, 391 p.
- HUBERT, P., CARBONNEL, J.P., CHAUCHE, A., 1989. Segmentation des séries hydrométriques, Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'Ouest, *J. Hydrol.*, 110, p. 349-367.
- LAMB, P. J., 1982. Persistence of Sub-Saharan drought. *Nature*, 299, September : 46-47.
- LUBES-NIEL, H., MASSON, J.M., PATUREL, J.E., SERVAT, E., 1997. Variabilité climatique et statistiques. Etude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques. Soumis pour publication à *Revue des Sciences de l'Eau*.
- MAHE, G. et OLIVRY, J.C., 1991. Changements climatiques et variations des écoulements en Afrique occidentale et centrale du mensuel à l'interannuel, in : *Hydrology for the Water Management of Large River Basins* (Proc Vienne Symposium August 1991), IAHS Publ., 201, p. 163-172.
- NICHOLSON, S.E., KIM, J. et HOOPINGARNER, J., 1988. Atlas of African rainfall and its interannual variability, Department of Meteorology, Florida State University, Tallahassee, Florida, USA.
- PETTIT, A. N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem, *Applied Statistics*, 28, n°2, p. 126-135.
- SERVAT, E., PATUREL, J.E. & LUBÈS H., 1996. La sécheresse gagne l'Afrique tropicale. *La Recherche*, n°290, Septembre 1996

# CONFERENCE OUEST-AFRICAINE SUR LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU Ouagadougou, du 3 au 5 mars 1998

*Du 3 au 5 mars 1998 s'est tenue à OUAGADOUGOU la CONFERENCE OUEST-AFRICAINE SUR LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU.*

*La Conférence a abouti à une déclaration dite déclaration de Ouagadougou.*

## DECLARATION DE OUAGADOUGOU

**N**ous, Ministres et Chefs de délégations chargés des ressources en eau participant à la Conférence Ouest-africaine sur la gestion intégrée des ressources en eau, tenue à Ouagadougou du 3 au 5 mars 1998, après avoir examiné les différents aspects de la gestion actuelle des ressources en eau dans nos pays, notamment les principaux domaines suivants :

- Formulation de politiques, législation réglementaire, normalisation et leur mise en application en relation avec le cadre institutionnel ;
- Développement de capacités, y compris les instruments de planification, de coordination et d'évaluation ;
- Décentralisation et déconcentration, approche participative, rôle des usagers, des principaux groupes, du secteur associatif, etc.;
- Conventions régionales et implications sur les législations nationales ;
- Concertation Ouest-africaine en matière de bassins partagés ;
- Coopération scientifique et technique : formation, études, recherches, échanges entre laboratoires, etc.

Reconnaissant que nos pays sont confrontés à divers problèmes de l'eau qui s'aggravent d'année en année et aboutissent à des situations préjudiciables à leur développement économique et social : pénurie d'eau, maladies hydriques, inondations, etc.

Reconnaissant que les causes principales de ces problèmes sont : la forte croissante démographique, la pauvreté, la sécheresse et la désertification, la gestion sectorielle des ressources en eau, etc.

Reconnaissant que la résolution des problèmes aussi vastes passe nécessairement par une gestion intégrée des ressources en eau, un plan d'action pour le secteur de l'eau, et une action concertée des pays africains selon les principes directeurs de gestion des ressources en eau consignés dans le document "Action 21", issu de la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement de Rio.

Soulignant l'insuffisance de suivi de la mise en oeuvre de plusieurs déclarations déjà faites sur la gestion de nos ressources en eau ;

Convaincus que la gestion intégrée de nos ressources en eau est un facteur important de développement durable de nos pays ;

Exhortons nos gouvernements à :

- Mettre en oeuvre dans nos pays respectifs, un processus de gestion intégrée des ressources en eau, s'appuyant sur un plan d'action national de l'eau ;
- Créer un cadre de coopération régionale pour la gestion intégrée des ressources en eau, l'harmonisation des politiques et des législations en matière d'eau et les échanges d'expérience ;
- Créer ou redynamiser les cadres de concertation entre pays riverains pour la gestion concertée des eaux des bassins partagés ;
- Elaborer des stratégies nationales et régionales pour la mobilisation des ressources financières nécessaires à la gestion intégrée des ressources en eau.

Exprimons notre reconnaissance aux partenaires de la coopération bilatérale et multilatérale pour les efforts déjà consentis au profit de nos peuples dans leurs luttes quotidiennes pour le bien-être ; Sollicitons les partenaires au développement pour l'appui technique et financier à la hauteur des enjeux de la gestion intégrée des ressources en eau, notamment la connaissance, et la maîtrise des ressources, la mise en place d'une coopération régionale et d'un partenariat sur l'eau.

Décidons la création d'un comité de suivi au niveau ministériel chargé de rendre opérationnelles les recommandations issues de la conférence de Ouagadougou, et mandatons le Gouvernement du Burkina Faso en vue de prendre les initiatives pour la première convocation dudit comité de suivi.

Mandatons le gouvernement du Burkina Faso pour présenter la présente déclaration ainsi que les conclusions des travaux de la conférence Ouest-africaine sur la gestion intégrée de nos ressources en eau à la conférence internationale "Eau et Développement durable" de Paris.

Consultable à l'adresse suivante : <http://ohraoc.ors-tom.bf/HTMLF/PARTNAT/MEE/INDEX.HTM> (rubrique, Grands Evénements). □

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

## *Arrivée et départs d'enseignants et cadres :*

- Au cours de l'année scolaire 1997-1998, l'E.I.E.R. a enregistré :

### Les départs suivants :

- **Monsieur Jean VARRET**, ancien Directeur, parti en Décembre 1997.
- **Monsieur Antoine MBENGUE**, enseignant en environnement, parti en Décembre 1997.

### L'arrivée de :

- **Monsieur Philippe MANGE**, nouveau Directeur en fin Avril 1998. Monsieur MANGE assurera à partir de la prochaine rentrée scolaire la direction des deux Ecoles E.I.E.R. et ETSHER.

- **A la fin de l'année scolaire 1997-1998,**

### les départs suivants sont annoncés :

- **Monsieur Michel MARTIN**, enseignant Chef de département Génie Civil ;
- **Monsieur Fabrice COUPEL**, enseignant en Gestion et Economie ;
- **Monsieur Azzedine BENGELOUNE**, enseignant responsable de la filière de spécialisation en Informatique Appliquée aux Sciences de l'Eau.

### Recrutements d'enseignants en cours :

- Enseignants mis à la disposition de l'E.I.E.R. par la Coopération Française :
- **Un enseignant en mathématiques appliquées et informatique,**
- **Un enseignant chef de département Génie Civil.**

- Enseignant ressortissant d'un des états membres de l'Ecole :
- **Un enseignant en Hydraulique et Aménagement** (date limite de dépôt des dossiers fin Juin 1998).
- **Un enseignant en environnement**
- **Un enseignant en A.E.P.**

## *Soutenance de travaux de thèse :*

- **Monsieur Philippe GINESTE**, enseignant en Hydrologie à l'E.I.E.R. a soutenu le 19 Mai 1998 à Montpellier une thèse portant sur :
  - Contribution de l'imagerie satellite radar à la direction des zones et à la modélisation hydrologique d'un petit bassin versant agricole par TOPMODEL.

## *Diverses manifestations*

- La 31ème session du Conseil d'Administration de l'E.I.E.R. et de l'ETSHER se tiendra du 30 Juin au 02 Juillet 1998 à Ouagadougou.
- Le voyage de fin d'étude de la 27ème promotion d'élèves ingénieurs aura lieu du 05 au 15 Juin 1998.
- Séminaire U.A.D.E. / E.I.E.R. / ONEA sur l'environnement du 15 au 19 juin 1998 à l'E.I.E.R.
- Séminaire FRIEND/A.O.C / E.I.E.R. sur la gestion des ressources en eau du 11 au 15 mai 1998 à l'E.I.E.R. □

# VOYAGE D'ETUDES...

## ... des stagiaires du département GEFI en Côte d'Ivoire.

*Du 9 au 21 mars 1998, les dix stagiaires du département GEFI (Génie Energétique et Froid Industriel) de l'E.I.E.R. ont effectué un voyage d'études sur Abidjan, la capitale économique ivoirienne.*

Le groupe, encadré par M. Yézouma COULIBALY (Chef du Département) et M. Marcel DUBOIS (Professeur en électrotechnique) était constitué de dix stagiaires originaires de neuf pays de la sous-région. Partis de l'E.I.E.R. le lundi 9 mars à 6 heures 30, il a fallu 20 heures réparties en deux étapes pour parcourir les 1200 km qui relient Ouagadougou à Abidjan. Le but de ce voyage était la connaissance réelle du milieu industriel orientée vers les centres d'intérêt similaires au contenu de la formation GEFI : le froid industriel, l'électricité et les énergies.

Les visites d'entreprises échelonnées jusqu'au 19 mars ont été entrecoupées de déjeuners, d'entretiens et de contacts informels. Les sociétés et services visités ont largement couvert les grands axes énumérés ci-dessus. Au total, 11 sociétés de renommée internationale ont accueilli les stagiaires et leurs encadreurs.

Dans le domaine du froid industriel, les stagiaires ont pu visiter les installations gérées par les grandes sociétés RICA et COGIM, reconnues dans toute l'Afrique de l'ouest : on peut citer les chambres froides du port autonome d'Abidjan (exploitées par la SOGEF), la patinoire de l'Hôtel Ivoire, l'immeuble de la Caisse de Stabilisation au Plateau et le CHU de Yopougon.

La production de l'énergie électrique a été étudiée à la centrale thermique de Vridi qui fournit aujourd'hui de l'électricité au Ghana, au Togo et au Bénin. Le groupe CUMMINS-WARTSILLA (ex SACM), spécialisé dans la production de l'énergie électrique par des groupes diesel, a exposé aux stagiaires ses technologies au cours d'un séminaire dans son centre de formation.

Ils ont pu aussi s'imprégner de l'expérience acquise par le laboratoire du bâtiment et des travaux publics (L.B.T.P.) dans les domaines de la sécurité électrique, des économies d'énergie et de l'électrifi-

cation rurale, notamment avec la visite du village expérimental d'Amangoua Koi en banlieue d'Abidjan, électrifié par un petit groupe électrogène et autogéré par les habitants.

Les visites des industries agro-alimentaires telles que NESCAFE-NESTLE, BLOHORN et OLEATECH ont permis de voir l'application des groupes frigorifiques, des chaudières et de nombreux appareillages électromécaniques dans des processus sophistiqués de production en masse de biens de consommation. La dernière visite chez ABB a permis d'apprécier les techniques pratiques utilisées dans le rebobinage des moteurs électriques et des transformateurs de toutes puissances et dans le montage des batteries de condensateurs.

Il faut noter que les déjeuners offerts par M. NIAMOUKE, Directeur Général de RICA et M. BORDELAIS, responsable formation de CUMMINS-WARTSILLA, ont été d'une très grande importance pour les stagiaires. En effet, pendant ces déjeuners, ils ont bénéficié de leurs conseils et de l'expérience des ingénieurs qu'ils ont rencontrés, et dont certains se trouvent être leurs prédécesseurs dans le département GEFI. Les stagiaires ont aussi beaucoup appris lors des contacts informels à l'Université d'Abidjan, l'ESIE de Bingerville, l'ENSET de Yamoussokro, etc. Ils ne sont rentrés que le samedi 21 mars après un trajet en trois étapes.

Ce voyage, très fructueux de l'avis des stagiaires, a permis à chacun de valider ses connaissances théoriques, d'étendre ses connaissances pratiques et de s'initier aux dernières technologies de pointe utilisées dans le domaine de l'électrotechnique. Il vient à point nommé au moment où ils commencent à poser les bases de leurs projets de fin de formation. □

**Luc Sina SOSSOU**  
Stagiaire en GEFI



**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



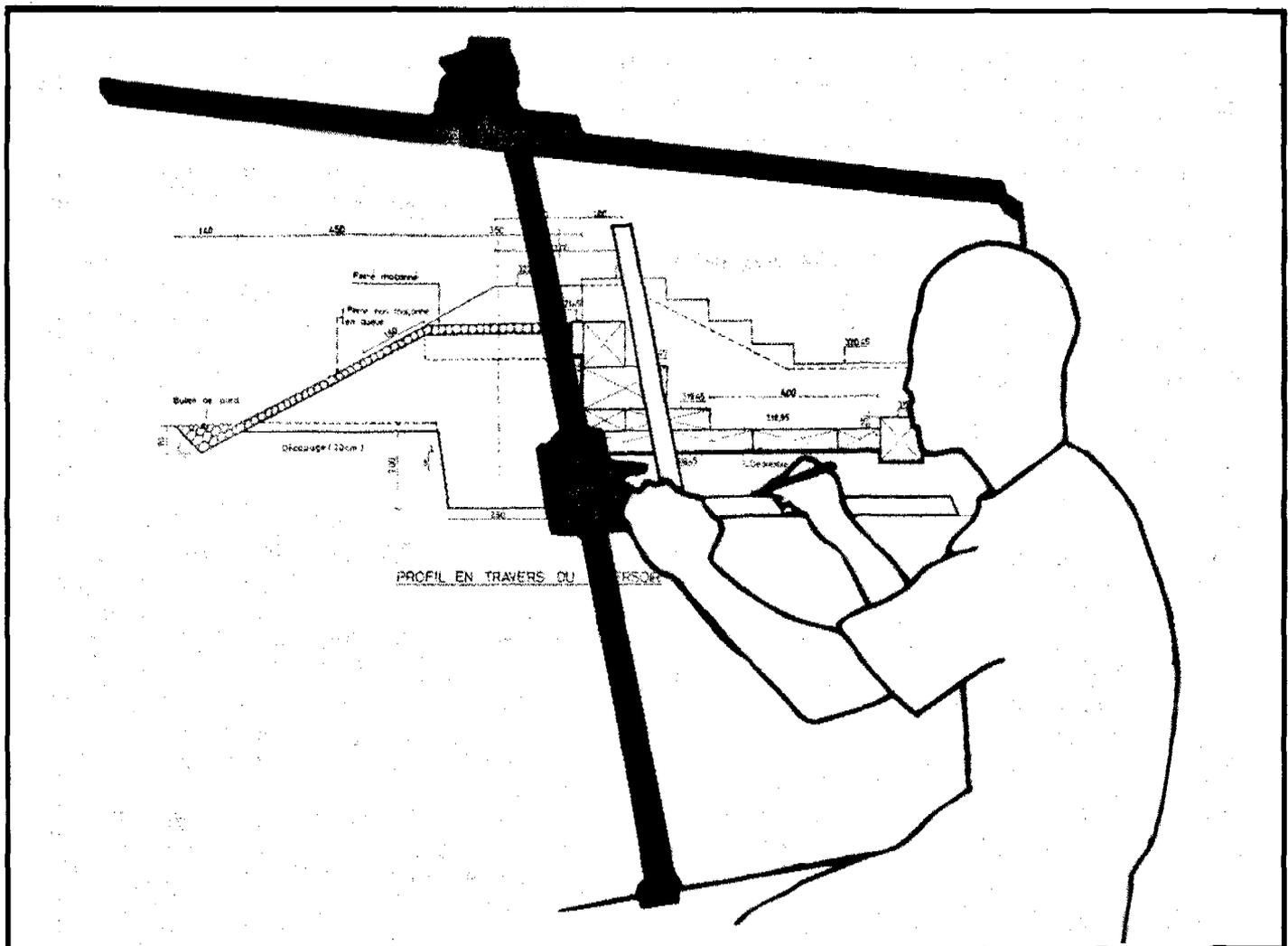
**PROGRAMME DE FORMATION CONTINUE  
1997/1998**

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

# GROS PLAN SUR...

## La Cellule de Formation Professionnelle à l'Ingénierie

*Un bureau d'études à vocation pédagogique*



## UN OUTIL AU SERVICE DE LA PROFESSIONNALISATION

Fondée à l'initiative de l'E.I.E.R. et de l'ETSHER organismes de formation interafricains dont le siège est au Burkina Faso et qui regroupent 14 Etats d'Afrique de l'Ouest et du Centre, la Cellule de Formation Professionnelle à l'Ingénierie (C.F.P.I.) est née du double constat :

- l'orientation professionnelle des jeunes diplômés des Ecoles au sortir de leurs formations doit essentiellement viser les secteurs privés des Etats membres ;

- l'expérience professionnelle minimale requise par les employeurs ou nécessaire à la création de centres de profits du secteur privé peut difficilement être acquise dans les structures existantes.

## UN OUTIL QUI COMPLETE ET ENRICHIT LA FORMATION

Pour satisfaire à son rôle de professionnalisation, la Cellule de Formation Professionnelle à l'Ingénierie (C.F.P.I.) vise deux objectifs de premier ordre :

- initier la professionnalisation individuelle de jeunes diplômés en favorisant leur prise de contact avec le secteur professionnel privé salarié et indépendant (création d'une structure d'activité propre) ;

- donner l'occasion aux enseignants des Ecoles d'exercer leur spécialité dans un contexte réel d'Ingénieur-Expert pour rendre plus efficaces et enrichir leurs cours de supports concrets de projets.

Par sa vocation pédagogique fondamentale, la Cellule de Formation Professionnelle à l'Ingénierie (C.F.P.I.) constitue une entité autonome fonctionnant sur le modèle d'un bureau d'études privé.

En ce sens, elle développe

toutes les formes de missions dévolues à une telle structure à toutes les phases d'une opération : définition - faisabilité, conception et exécution, et assume toutes les prestations d'expertise (analyse et diagnostic) et d'appui à la transmission des technologies, savoirs faire et savoirs être.

## UN OUTIL AYANT DES COMPETENCES RECONNUES

La structure permanente de la Cellule de Formation Professionnelle à l'Ingénierie (C.F.P.I.) est composée de six jeunes diplômés Ingénieurs et Techniciens Supérieurs de l'Equipement Rural (E.I.E.R., ETSHER), et est conduite par un Ingénieur senior permanent confirmé.

Dans le cadre de chacune des opérations développées, la structure permanente reçoit un appui d'encadrement approprié sous forme de l'intervention d'un ou plusieurs Ingénieurs Experts, Enseignants des Ecoles Inter-Etats.

En tant que bureau d'études de type privé, la structure permanente et l'appui d'encadrement de la Cellule de Formation Professionnelle à l'Ingénierie (C.F.P.I.) sont caractérisés par une grande flexibilité permettant une réponse immédiate aux variations de son plan de charge.

L'appui d'encadrement au niveau des Ecoles représente un pôle de compétences de près de 50 spécialistes Africains et Européens dans des domaines divers, outre le génie rural, tels que : génie civil, hydraulique, aménagement, environnement, agronomie, organisation, formation,....

Dans le cadre de la structure générale inter-Etats, la Cellule de Formation Professionnelle à l'Ingénierie (C.F.P.I.) dispose d'un ensemble d'outils et de supports performants tels que laboratoires

(mécanique des sols, chimie, analyse des eaux), division informatique, matériels de prospection géophysique, ... ainsi que d'accords de partenariats dans les domaines de la recherche et du développement.

## UN OUTIL DE MISE EN OEUVRE DE CES COMPETENCES

Depuis sa création en 1989, la Cellule de Formation Professionnelle à l'Ingénierie (C.F.P.I.) dans le cadre de ses objectifs de professionnalisation, a développé, dans divers Etats membres de nombreuses prestations pour différents opérateurs du développement (publics et privés, programmes de coopérations bilatérales et multilatérales).

Ses actions ont couvert la quasi totalité des domaines de l'équipement rural : assainissement, hydraulique agricole et pastorale, hydraulique urbaine et villageoise, mobilisation des ressources en eau, aménagement de bassins versants et de basses fonds, énergie pour le développement rural.

Le développement par les Ecoles de programmes spécifiques (matériaux locaux) a conduit à ouvrir les actions au domaine du bâtiment et plus globalement aux problèmes de conduite d'opération, de marché, de contrôle et assistance à la réalisation des ouvrages et prestations, entraînant un renforcement du partenariat avec les opérateurs du secteur privé (bureaux d'architecture, bureaux d'études, entreprises du type PME) et développant un volet de centre d'appui aux acteurs privés.

Cellule de Formation Professionnelle à l'Ingénierie  
(C.F.P.I.)

**03 BP 7023 OUAGADOUGOU 03  
BURKINA FASO  
Tél. (226) 30 71 16/17  
Fax : (226) 31 27 24  
Télex : 5266 BF**

**Observatoire Hydrologique Régional  
de l'Afrique de l'Ouest et Centrale  
(http ://ohroac.orstom.bf)  
ORSTOM Ouagadougou  
Département RED – UR2 Programme GBT  
(Grands Bassins Tropicaux)**

**OHR-AOC**



**Responsable : Michel GAUTIER, ORSTOM, 01 BP 182 OUAGADOUGOU 01, BURKINA FASO  
tél : (226) 30 67 37 Email : Michel.Gautier@orstom.bf**

**Collecte de données.**

Dans la zone AOC, acquisition en temps réel de données de 70 stations hydrologiques. L'Observatoire est équipé de réception ARGOS et METEOSAT. Récupération en différé des informations pour 10 stations. Traitement contrôle et stockage des informations sur la banque de données HYDROM3. Acquisition de toutes les mesures hydrologiques effectuées par le programme OMS-Oncho (300 sites). Redistribution des données traitées vers les Services Nationaux.

**Produits**

Informations hydrologiques mises à disposition en temps réel ou différé sur des supports multimédia. Pages Web Internet, serveur hydrologique Wise-Hydro, édition de CD-Rom.

Diffusion sur le Web de pages spécifiques de présentation des partenaires de l'Observatoire, Ministères, Directions Nationales, Services Hydrologiques, Directions de la Météorologie, Organisations régionales.

Développement de Wise-Hydro, serveur Hydrologique ORACLE proposant, une navigation cartographique à échelle variable, le positionnement de tous les sites hydrologiques. Pour chaque station l'inventaire et l'édition des données disponibles, les caractéristiques, photos et historiques. Accès contrôlés aux données de base. Outils de représentation graphique. Présentation cartographique des paramètres hydrologiques par bassin. (Serveur accessible en local à Ouagadougou. Sur Internet en avril 98)

En préparation pour octobre 98. Version du serveur Wise-Hydro sur CD-Rom avec les données hydrologiques sur une base de type ACCESS pour permettre aux partenaires de l'Observatoire de disposer localement de la base cartographique et de tous les produits qui y sont associés.

**Assistance**

Formation des agents des partenaires de l'Observatoire aux techniques du multimédia pour leur permettre de concevoir et de développer eux-mêmes leurs pages web. Aide à l'édition de bulletins périodiques.

**Moyens**

Action encouragée par l'OMM comme préfigurant un des volets du programme Hycos-AOC. Le fonctionnement est assuré par l'ORSTOM depuis 1995.

**Equipe de l'Observatoire**

- 1 Ingénieur hydrologue Responsable de l'Observatoire,
- 3 Ingénieurs informaticiens,
- 1 technicien en informatique,
- 3 Techniciens hydrologues.

**PARTENAIRES**

- Ministère de l'Environnement et de l'Eau du Burkina Faso,
- Direction de la Météorologie Nationale du Burkina Faso,
- Direction de l'Hydraulique du Bénin,
- Centre de Recherche Hydrologique du Cameroun,
- Direction de la Recherche Scientifique du Congo,
- Direction Nationale de l'Hydraulique du Mali,
- Association Malienne d'Hydrologie,
- Direction de la Météorologie Nationale Service Hydrologique RCA,
- Service Commun d'Entretien des Voies Navigables de RCA,
- Direction des Ressources en Eau et de la Météorologie du Tchad,
- Programme de lutte contre l'Onchocercose : OMS-Oncho,
- Autorité du Bassin du Niger : HYDRO-NIGER.
- Centre Régional AGRHYMET.

# DANS VOS BIBLIOTHEQUES

Par Jean-Maurice DURAND

## PETITS BARRAGES

Recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi  
(CEMAGREF EDITIONS - 1997 - 173 p. - 11 000 FCFA)

Cet ouvrage a été rédigé par un collectif d'auteurs, sous la coordination de Gérard DEGOUTTE (Directeur adjoint de l'Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts - ENGREF), et à l'initiative du Comité Français des Grands Barrages.

Il aborde de nombreux aspects de la conception et de la réalisation des petits barrages (par convention, 25 m a été la hauteur limite retenue). Pour chaque type d'ouvrage, ce manuel propose les recommandations les plus récentes, prenant en compte les derniers développements des techniques et des moyens de calcul.

Le choix de traiter les petits barrages n'est pas anodin. En effet, pour les grands barrages, maîtres d'ouvrages et concepteurs disposent de procédures bien claires, dont la bonne exécution en France est contrôlée par le C.T.P.B. (Comité Technique Permanent des Barrages).

Dans le cas des petits ouvrages par contre, dont la conception et l'exécution sont tout aussi complexes, l'enveloppe financière ne permet pas des études aussi poussées que pour les grands. Le concepteur aura par conséquent à faire face à des incertitudes plus importantes.

L'intérêt majeur de ce manuel est donc de donner de nombreux

conseils, le plus souvent issus d'expériences pratiques et parfaitement adaptés aux aléas multiples que l'on peut rencontrer en cours d'étude, comme en cours de chantier.

Le contenu suit un déroulement logique en commençant par un chapitre sur le choix des sites et des types de barrages.

Tous les aspects font l'objet d'un développement détaillé :

- traitement de la fondation ;
- réalisation des remblais ;
- exécution des bétons ;
- stabilité
- drainage et étanchéité ;
- évacuateurs de crues et ouvrages annexes ;
- dispositifs d'auscultation ;
- suivi et contrôle des chantiers.

Enfin, un chapitre sur la gestion de la qualité de l'eau et un autre sur la vie du barrage viennent utilement compléter le manuel, car ce sont des points qui sont peu souvent abordés dans la littérature.

Nous présentons donc ici un ouvrage de synthèse, agréablement illustré de photos bien choisies et de schémas clairs et précis.

Il devrait être d'un appui précieux pour toutes les prises de décisions qui jalonnent la conception et la vie d'un petit barrage.

Notons cependant que son contenu est plus spécialement adapté aux climats tempérés (et à la France en particulier). Mais,

notamment sur les sujets très techniques, il a été l'une des références principales pour la rédaction par l'E.I.E.R. et le CEMAGREF d'un manuel conçu pour le contexte africain et intitulé : " Technique des Petits Barrages en Afrique Sahélienne et Equatoriale " (à paraître prochainement). □



Sont abordés ensuite la pré-détermination de la crue de projet, ainsi que les études préliminaires géologiques et géotechniques.

Deux chapitres très complets exposent les recommandations pour la conception et la construction des barrages en remblai et en béton.

# VERS UNE FEDERATION DES ASSOCIATIONS AFRICAINES DES PROFESSIONNELS DE L'EAU

Amadou Hama MAIGA

**A** l'issue de la Conférence Oucst-Africaine sur la gestion intégrée des ressources en eau tenue à Ouagadougou du 03 au 05 mars 1998, des représentants d'associations de professionnels de l'eau se sont retrouvés à l'Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural (E.I.E.R.) de Ouagadougou, le vendredi 06 mars 1998, pour une réunion de concertation.

Les participants à cette rencontre informelle ont échangé sur les objectifs et les activités de leurs différentes associations et ont dégagé des axes de collaboration autour du thème de la gestion intégrée des ressources en eau en Afrique.

Les participants ont ainsi recommandé la création à moyen terme d'une Fédération Africaine des Pro-

fessionnels de l'Eau (FAPE) en vue d'une meilleure coordination des actions. La création de la FAPE doit permettre aux Associations d'orienter leurs actions dans l'esprit de la déclaration de Ouagadougou sur la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE), de rassembler les moyens et de défendre des points de vue en commun dans les forums internationaux.

Pour une première étape, les participants suggèrent la mise en place d'un bureau provisoire de coordination des associations de professionnels de l'eau. Mandat a été donné à l'ARID de convoquer, en marge de son Assemblée Générale Constitutive prévue en novembre 1998 à l'E.I.E.R., les représentants des autres associations, pour la mise en place de ce bureau de coordination. Les participants ont recommandé aux associations présentes d'adhé-

rer en tant que personnes morales les unes aux autres, afin d'être tenues au courant de l'agenda des autres, de participer à leurs manifestations et de bénéficier de leurs expertises.

## Associations présentes :

Association Africaine d'Hydrologie (A.A.H.)

Ligue burkinabé des consommateurs (L.C.B.)

Association des Professionnels de l'Hygiène et de l'Environnement (APHEN)

Union Africaine des Distributeurs d'Eau (U.A.D.E.)

Association Régionale pour l'Irrigation et le Drainage (ARID)

Flow Regimes for International Experimental and Network Data (FRIEND-AOC) □

## INSTRUCTIONS AUX AUTEURS

**L**a 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),
- hygiène et assainissement,
- traitement et distribution de l'eau,
- gestion des ressources naturelles,
- 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 manus-

crits 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'Equipement 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, adresses postales complètes. 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 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.

# Sud-Sciences et Technologies

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

N° 2 - Deuxième 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

B. DIENG

T. DJIAKO

M. MOREL

avec l'aimable participation de

A. DEZETTER (ORSTOM).

## Réalisation de la maquette

F. de S. NASSA

sous la responsabilité de

Jean Maurice DURAND (E.I.E.R.)

et de

R. OUATTARA (CREPA).

## Impression

IMUPA

02 BP 5597 Ouagadougou 02

Tél : 30 17 59

Fax : 30 17 59

## 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 :**

EIER (Bulletin) - 03 BP 7023 Ouagadougou 03 Burkina Faso

Tél. : (226) 30 71 16/17

Fax : (226) 31 27 24

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

# ANNONCEURS,

CET ESPACE VOUS APPARTIENT...

N'HESITEZ PAS A NOUS CONTACTER POUR  
PRENDRE CONNAISSANCE DES TARIFS DE  
NOS ENCARTS PUBLICITAIRES.



## HYDRO-PACTE

*INGENIEURS CONSEILS - SARL*

**BUREAU D'ETUDES D'INGENIERIE ET D'ORGANISATION**

■ PLANIFICATION

■ ASSISTANCE

■ CONSEILS EN TRAVAUX

■ ETUDES HYDRAULIQUES

■ HYDRAULIQUE AGRICOLE

■ AMENAGEMENTS

Siège Bamako : BP E 1072 - Tél / Fax : 23 12 20

Succursale Ségou : BP 161 - Tél . : 32 02 56



**Déversoir du barrage d'Al Bassam de Niandouba (Sénégal);  
muni d'un dissipateur d'énergie en gabions.**  
(Sujet développé dans le prochain numéro)