

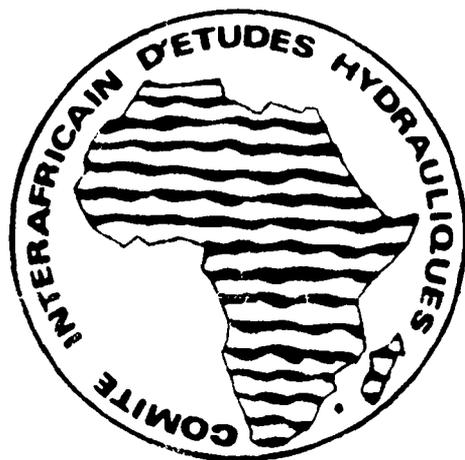
71  
CIEH75

COMITE INTERAFRICAIN D'ETUDES HYDRAULIQUES  
( C. I. E. H. )

# HUITIEME REUNION DU CONSEIL

OUAGADOUGOU  
8-15 Décembre 1975

**COMPTE RENDU DES JOURNEES TECHNIQUES**



71CIEH75-9408

COMITÉ INTERAFRICAIN D'ÉTUDES HYDRAULIQUES

( C. I. E. H. )

9408

# HUITIEME RÉUNION DU CONSEIL

OUAGADOUGOU  
8-15 Décembre 1975

**COMPTE RENDU DES JOURNEES TECHNIQUES**



--- S O M M A I R E ---

A - AVANT-PROPOS

1ère Partie/ ELIMINATION DES TRANSPORTS SOLIDES DANS LES OUVRAGES  
D'HYDRAULIQUE AGRICOLE

- BI - Rapport introductif par M. CALES -(CIEH)
- BII - Ouvrage de dérivation de Dabara sur la Morondava (Madagascar) :  
Elimination des sables pour l'irrigation par J. MEGARD et  
D. ROZETTE -(SOGREAH) et P. RADILOFE (SOMEAH)
- BIII - Discussion

2ème Partie/ ALIMENTATION EN EAU DES PETITES COLLECTIVITES PAR COLLECTE  
DES EAUX DE PLUIE SUR UNE AIRE IMPERMEABLE ET STOCKAGE DANS  
UNE CITERNE

- CI - Rapport introductif par M. CALES -(CIEH)
- CII - L'exemple du Togo par K. KATAKOU -(Direction du Génie Rural Lomé)
- CIII - Discussion

3ème Partie/ GESTION DES RESSOURCES EN EAU ET DEVELOPPEMENT DE L'ELEVAGE  
EXTENSIF

- DI - Rapport introductif par M. CALES -(CIEH)
- DII - Politique hydraulique dans la zone pastorale au Niger par M.  
ABDOU ASSANE -(Directeur de l'Hydraulique)

4ème Partie/ LE DEVELOPPEMENT DES CONSOMMATIONS D'EAU DANS LES RESEAUX  
PUBLICS DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE

- EI - Rapport introductif par M. CALES -(CIEH)
- EII - Campagne publicitaire d'incitation aux branchements d'eau potable  
en Haute-Volta par MM J.C. YAMEOGO et J.P. RIUTORT -(Société  
Nationale des Eaux)
- EIII - Discussion

5ème Partie/ MISE EN VALEUR DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES

- FI - Utilisation de la géophysique pour la recherche des eaux souter-  
raines dans les régions de socle cristallin par M. A. BENAMOUR  
-(CIEH)
- FII - Note introductive aux cartes de planification pour l'exploitation  
des eaux souterraines de l'Afrique Sahélienne par M. MARTIN -  
(BRGM)
- FIII - Intérêt hydrogéologique majeur des zones de failles dans le socle  
métamorphique éruptif de l'Afrique occidentale par MM GUIRAUD -  
(Faculté des Sciences d'Abidjan) et Pierre Paul LENCK -(FORACO)

.../...

- FIV - Hydrogéologie et géophysique appliquées à la recherche d'eau souterraine dans les roches cristallines fracturées par J. BERGER et M. ENGALENC -(Géohydraulique - Laboratoire central d'hydraulique de France)
- Y FV - Etude comparative de deux modes de forages en Haute-Volta par M.S. SOLAGES -(Aménagement des Vallées des Volta)
- FVI - La banque des données du sous-sol du B.R.G.M. par Mlle LHEUREUX
- FVII - Essai sur le terrain de pompes à main. Mise au point d'un nouveau type de pompe par A. BENAMOUR -(CIEH)
- FVIII - Présentation de matériel de forage par A. BENAMOUR -(CIEH)
- FIX - Discussion

6ème Partie/ ETUDE DES MOYENS DE PRODUCTION DE FLUIE PROVOQUEE

- GI - Les bases scientifiques de la modification artificielle des processus météorologiques par M. CALES -(CIEH)
- Y GII - Les expériences de pluie provoquée menées par le CIEH et l'ASECNA en Haute-Volta. Campagnes 1974 et 1975 par J.C. PRAT -(CIEH)
- GIII - Essai d'analyse statistique des effets de l'ensemencement sur les précipitations (1967, 74, 75) par F. FOREST -(CIEH)
- GIV - Document de travail pour un projet d'opération "MONEX" en Afrique ASECNA - Direction de la Météorologie

AVANT-PROPOS

La huitième réunion du Conseil des Ministres du Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques devait se tenir à Madagascar vers le milieu de l'année 1975. Les thèmes de discussion des journées techniques qui précèdent le Conseil, avaient été choisis parmi ceux qui intéressent particulièrement les services techniques malgaches. Pour diverses raisons le Conseil n'a pu se dérouler à la date et à l'endroit prévus. Il s'est tenu à Ouagadougou du 8 au 15 Décembre 1975.

Malgré cela, les exposés et échanges de vue entre scientifiques, ingénieurs et techniciens ont été animés et fructueux.

Les six thèmes de discussion retenus étaient les suivants :

- Elimination des transports solides dans les ouvrages d'hydraulique agricole.
- Alimentation en eau des petites collectivités par collecte des eaux de pluie sur une aire imperméable et stockage dans une citerne.
- Gestion des ressources en eau et développement de l'élevage extensif.
- Développement des consommations d'eau dans les réseaux publics de distribution d'eau potable.
- Mise en valeur des ressources en eaux souterraines.
- Etude des moyens de production de pluie provoquée.

On trouvera dans les lignes qui suivent les textes intégraux des exposés et des discussions qui les ont accompagnés.

**ELIMINATION DES TRANSPORTS SOLIDES  
DANS LES OUVRAGES D'HYDRAULIQUE  
AGRICOLE**

ELIMINATION DES TRANSPORTS SOLIDES  
DANS LES OUVRAGES D'HYDRAULIQUE AGRICOLE

RAPPORT INTRODUCTIF

par Michel CALES (C.I.E.H.)

CONSIDERATIONS GENERALES

Les transports solides des cours d'eau constituent une grave menace contre les ouvrages d'hydraulique dans les pays à climat subaride ou méditerranéen à tel point que leur élimination devient impossible lorsqu'ils dépassent une certaine importance.

Il convient ici de souligner que l'homme a parfois aggravé la situation naturelle par des actions de développement mal conçues : déboisement, surpâturage, labourage, etc... Aussi doit-on d'abord songer à diminuer à la source les causes d'érosion. De nombreuses techniques de conservation des sols ont été essayées avec succès, d'autres sont en cours d'expérimentation. Nous ne nous étendrons pas sur le problème général de l'érosion des sols qui est très vaste mais nous signalerons l'ouvrage publié par le Ministère Français de la Coopération dans la collection "Techniques rurales en Afrique" et intitulé "Conservation des sols au sud du Sahara".

Le débit solide des cours d'eau est constitué de sables et graviers qui se déplacent sur le fond ou à proximité (transport par charriage) et de limons et argiles que l'agitation de l'eau suffit à maintenir en suspension.

Les problèmes posés par les transports solides sont différents selon qu'il s'agit de protéger un ouvrage de stockage ou un ouvrage d'aduction et distribution.

Dans le premier cas, ce ne sont pas seulement les éléments grossiers (sables et graviers) qui se déposeront mais également une partie des éléments fins qui dépendra du temps de séjour moyen de l'eau dans la retenue.

Dans le deuxième cas, qui fait seul l'objet du présent rapport, les éléments fins constituent rarement une gêne. Ils peuvent même parfois avoir un effet favorable en améliorant les caractéristiques des sols irrigués sur lesquels ils se déposent.

Il n'en est pas de même pour ce qui est des sables et graviers dont l'introduction dans le réseau d'irrigation constituent toujours une gêne.

EVALUATION DES TRANSPORTS SOLIDES

Les apports solides dépendent de l'étendue et du relief du bassin versant, de la résistance à l'érosion du sol, liée elle-même à la couverture végétale, à la nature géologique des roches, au régime des pluies et des températures.

.../...

Fourmier a établi des relations entre l'érosion du sol par l'eau et un coefficient climatique  $\frac{p^2}{P}$  où p est la hauteur d'eau tombée pendant le mois de pluviosité maximale et P la pluviosité annuelle. Ce coefficient tient donc compte du mode de répartition des précipitations dans l'année et de l'abondance des précipitations. Si on caractérise de plus le relief du bassin versant par le coefficient  $Htg \alpha$  où H est la dénivelée moyenne du bassin versant et  $tg \alpha$  un coefficient de massivité, on a

- pour les milieux à relief peu accentué ( $Htg \alpha < 6$ ) et avec  $8,1 < \frac{p^2}{P} < 20$

$$E \text{ tonnes/km}^2 \times \text{an} = 6,14 \frac{p^2}{P} - 49,78$$

- pour les milieux à relief peu accentué ( $Htg \alpha < 6$ ) et avec  $\frac{p^2}{P} > 20$

$$E = 27,12 \frac{p^2}{P} - 475,4$$

- pour des régions à relief accentué ( $Htg \alpha > 6$ ) situées sous tous les climats sauf sous les climats semi-arides et avec  $\frac{p^2}{P} > 9,7$  :

$$E = 52,49 \frac{p^2}{P} - 513,21$$

- pour des régions à relief accentué ( $Htg \alpha > 6$ ) situées sous les climats semi-arides et avec  $\frac{p^2}{P} > 8$

$$E = 91,78 \frac{p^2}{P} - 737,62$$

Ces corrélations établies pour des grands bassins fluviaux sont encore vérifiées pour des bassins d'une centaine de  $\text{km}^2$  soumis aux facteurs généraux de l'érosion. Il importe en particulier que le bassin versant soit recouvert d'une couche superficielle épaisse et continue de sols.

#### LES OUVRAGES DE PRISES EN RIVIERE D'UN CANAL D'IRRIGATION

L'ouvrage de prise en rivière doit permettre une alimentation permanente et régulière du canal quel que soit l'état de la rivière.

Si l'installation d'une prise est facile en rivière calme au régime régulier, elle est beaucoup plus délicate dans une rivière à régime irrégulier torrentiel.

En pays tropical les rivières ont un régime très irrégulier et transportent souvent un débit solide important. La prise devra fonctionner régulièrement malgré les variations importantes du niveau de l'eau, le transport des sables et graviers et la divagation du lit mineur dans un lit majeur souvent très large.

### EMPLACEMENT DE LA PRISE EN RIVIERE

L'emplacement de la prise en rivière est commandé par la côte minimale compatible avec l'alimentation du périmètre c'est-à-dire la côte de l'origine du canal d'alimentation. On a cependant parfois intérêt à rechercher un emplacement favorable à une côte plus élevée quitte à allonger le canal.

On recherche les emplacements en rive concave la présence d'une barre rocheuse pour appuyer l'ouvrage de prise et un étranglement du lit du cours d'eau pour réduire le coût des travaux.

Suivant la position du dispositif de vannage par rapport au cheminement des eaux on a :

- une prise frontale (fig. 1). Elles sont sujettes aux embacles car elles reçoivent le courant de plein fouet. En outre elles facilitent l'introduction des sables et graviers ;
- une prise latérale (fig. 2).

Dans les cas les plus difficiles, les ouvrages de prise en rivière se composent :

- d'un barrage en rivière
- d'un seuil de prise
- d'un bassin d'admission et de prédécantation
- d'une vanne de prise
- des ouvrages de chasse et de dégravement
- des ouvrages de protection des berges.

Nous examinerons plus précisément le problème des ouvrages de chasse et de dégravement.

### PASSE A GRAVIER

Lorsqu'on craint l'introduction de graviers dans la prise on établit au droit de celle-ci une passe à gravier dans le seuil en rivière (fig. 3).

Le radier de cette passe est généralement fermé par des vannes qui prennent appui sur des piles en rivières surmontées de passerelles sur lesquelles sont installés les mécanismes.

Souvent la passe est limitée par un mur guide-eau de profil étudié pour permettre un bon entonnement des eaux dans la prise.

De telles passes sont très coûteuses à établir. Elles exigent d'importants travaux en rivière. Leur radier s'use très vite et doit être protégé. Par un revêtement en pierres très dures ou par l'incorporation de produits antiabiasifs. La manoeuvre des vannes exige la présence permanente d'un personnel qualifié qui ne se justifie que pour les gros canaux de dérivation.

### SEUIL DE PRISE

Pour limiter l'introduction des sables et gravier on donne au seuil de prise une largeur aussi grande que possible.

### LE DESSABLEUR

Si on dispose d'une dénivelée suffisante entre les niveaux amont et aval de l'ouvrage de prise en rivière, on peut réaliser un dessableur en tête du canal.

Pour que l'effet de chasse soit efficace le radier du convergent est en général bétonné et incliné en direction de la vanne de chasse. Le canal de chasse est lui-même bétonné et doit avoir une pente suffisante pour que la vitesse de l'eau soit grande.

On peut compléter ce dispositif en relevant l'entrée du canal d'irrigation de manière à éviter que les sables et graviers s'y introduisent.

Si on ne dispose pas de la place ou de la dénivelée suffisante pour installer le dessableur et ses annexes à l'aval immédiat de la prise on peut créer à peu de distance un élargissement du canal qui jouera le rôle de dessableur. Le dessableur sera curé périodiquement par un engin, pelle ou dragline circulant sur la berge du dessableur.

Les prises modernes, étudiées sur modèle, permettent aujourd'hui de se passer le plus souvent de dégraveurs car elles éliminent la grosse majorité des graviers. Mais les vitesses d'introduction de l'eau dans les prises sont toujours élevées et on ne peut lutter contre l'introduction des sables qui viennent ensuite encombrer les canaux.

Lorsque les apports solides de cette nature risquent d'être importants on prévoit des dessableurs en tête du canal principal où le dépôt du sable est obtenu par diminution de la vitesse de l'eau.

Si on dispose d'un peu de charge entre le dessableur et la rivière on peut envisager un nettoyage automatique du dessableur, soit de façon discontinue par des chasses périodiques soit de façon continue par un débit de fuite permanent entraînant les dépôts. Le débit de fuite dans ce cas est de l'ordre de 1/10 du débit du canal.

Dans le premier cas on prévoira deux ou trois dessableurs en parallèle de façon à éviter des interruptions dans l'alimentation du canal. Naturellement pour que le nettoyage soit efficace il faut que l'ensemble du dessableur soit bétonné et qu'on n'économise pas l'eau de lavage ou d'entraînement.

REMARQUE. La note précédente fait de larges emprunts au cours professé par Mr R. ROLLEY Ingénieur Général du GREF à l'école nationale du GREF Paris.

PRISE FRONTALE

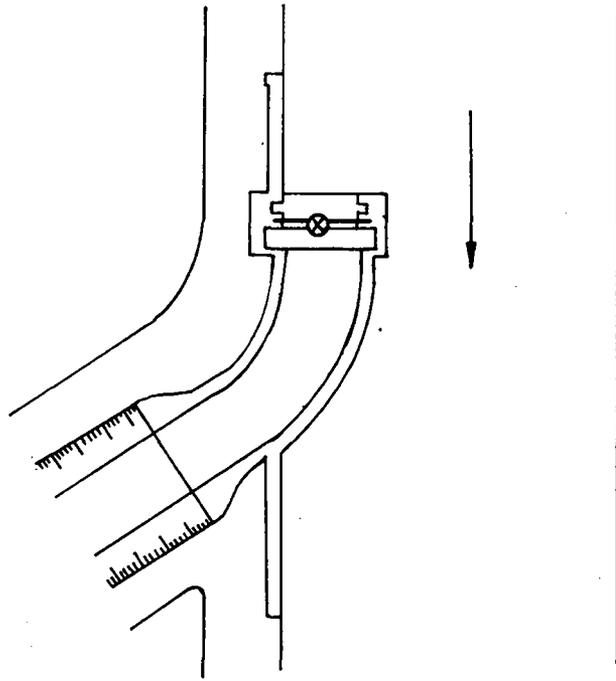


Fig. 1

PRISE LATÉRALE

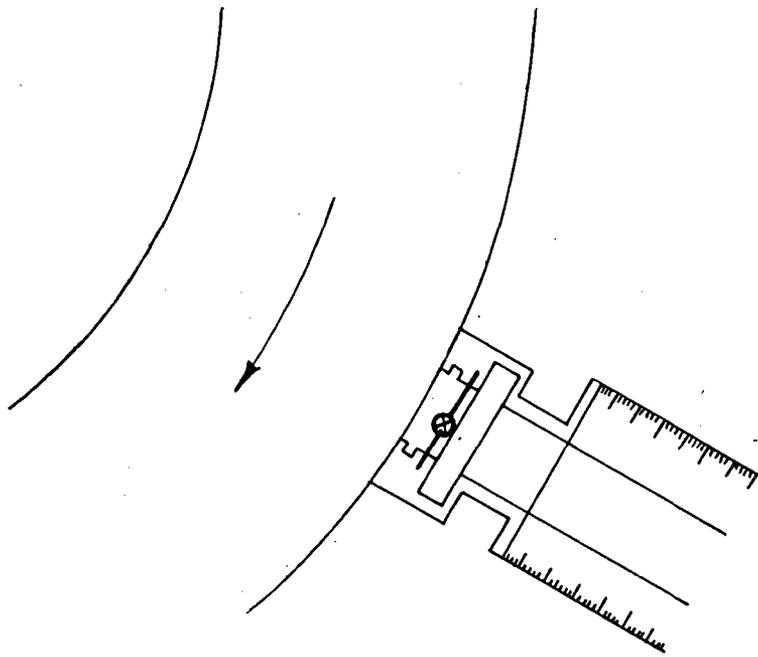


Fig. 2

### PRISE AVEC PASSE A GRAVIER

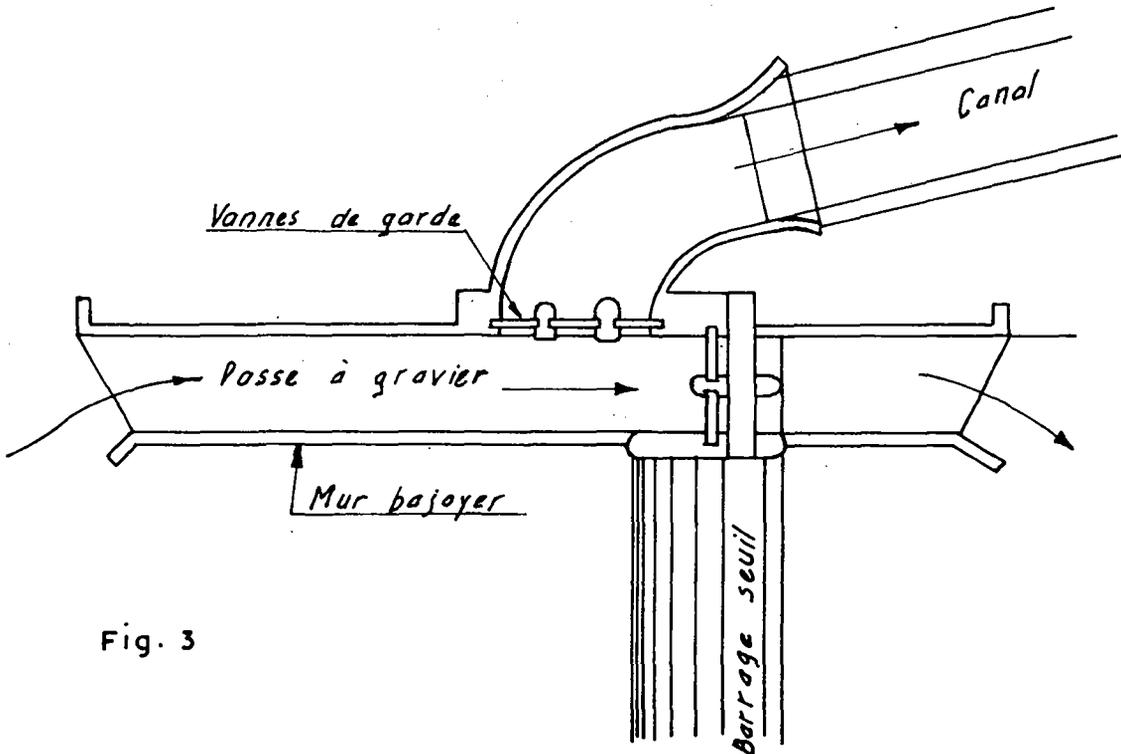


Fig. 3

### PRISE OBLIQUE EN RIVIERE TORRENTIELLE

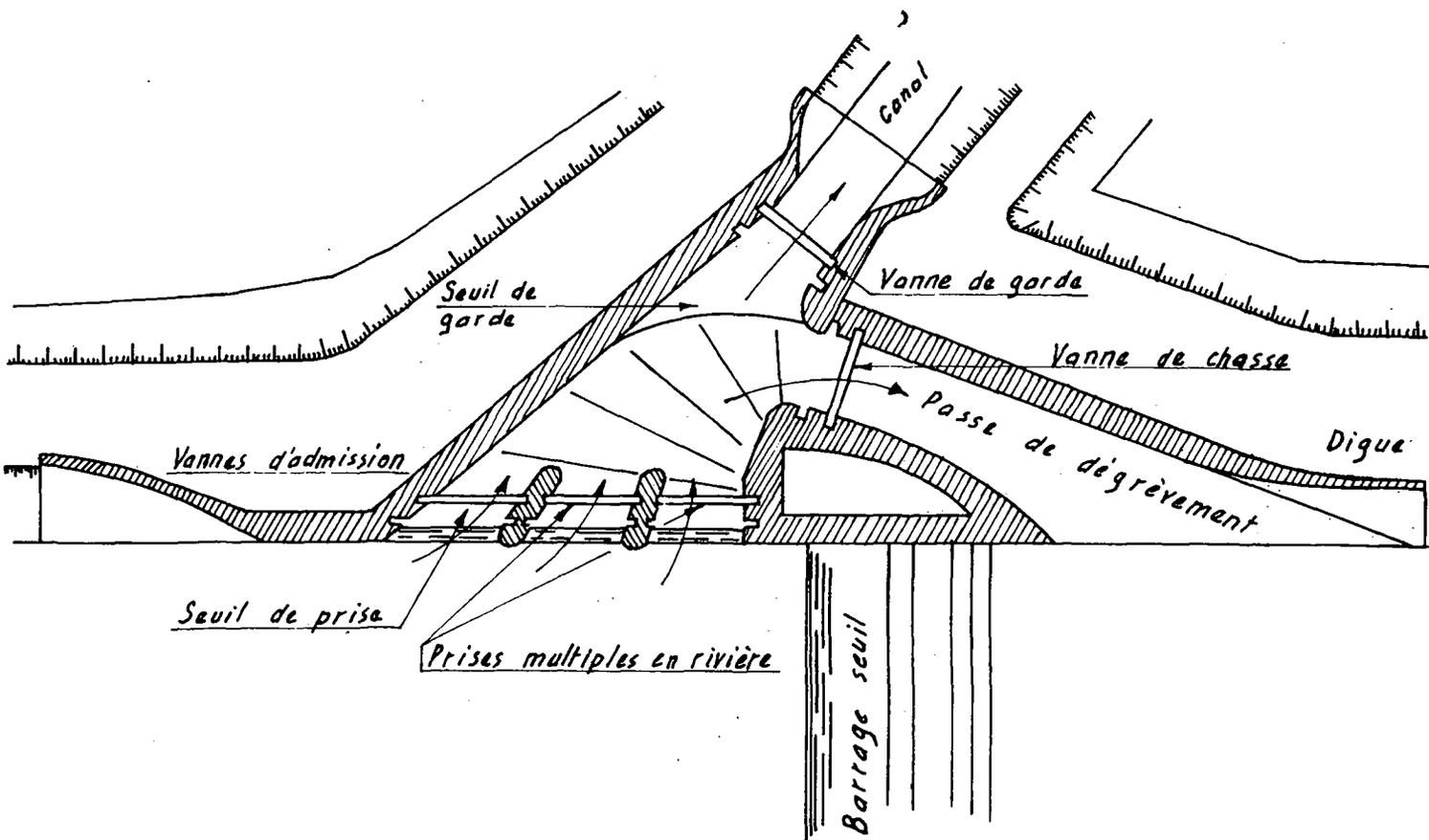


Fig. 4

OUVRAGE DE DERIVATION DE DABARA SUR LA MORONDAVA (Madagascar)

ELIMINATION DES SABLES POUR L'IRRIGATION

par Jean MEGARD (1)  
Daniel ROZETTE (1)  
Prosper RADILOFE (2)

1. SITUATION GENERALE

La plaine de la Morondava est située sur la côte Ouest de Madagascar. Elle est formée des dépôts fluviaux de la Morondava et de l'Andranomena. Profonde d'une cinquantaine de kilomètres, elle forme l'arrière pays de la ville côtière de Morondava.

Depuis de nombreuses années, l'irrigation du riz en particulier est pratiquée dans la plaine, notamment dans le delta de la Morondava et sur la rive droite de la rivière, où existe un réseau de canaux principaux. Ceux-ci sont alimentés par un canal de tête qui capte l'eau de la Morondava à Dabara.

La Morondava a un bassin versant de 4600 km<sup>2</sup> et une pente d'environ 1,2‰ à Dabara. Dans les secteurs rectilignes, où le lit s'étale librement, sa largeur est de l'ordre de 500 mètres.

Le lit est constitué de sable de diamètre moyen 0,4 mm, ce qui, compte tenu de la pente, donne des débits solides très importants. On observe même le charriage du sable à l'étiage sous des profondeurs de 0,20 mètre.

Les débits moyens mensuels varient de 8 m<sup>3</sup>/s en octobre à 140 m<sup>3</sup>/s en Janvier. La crue décennale est estimée à 3000 m<sup>3</sup>/s et la crue centennale à 7000 m<sup>3</sup>/s.

Le site de Dabara présente un intérêt particulier parce que la rivière y forme un coude dont la rive droite (concave, côté prise) est constituée de collines rocheuses qui fixent le lit et le rétrécissent localement. Un pont récent y a été construit en profitant de ces conditions favorables.

2. HISTORIQUE DU CANAL DE PRISE

La première prise d'eau de Dabara a été construite vers 1960. Elle était constituée par une simple dérivation partant de la berge et alimentant un canal.

Le canal existe toujours, bien qu'implanté assez près de la berge et s'en approchant jusqu'à 30 mètres localement. La rive droite comporte, en effet, sur ce parcours, des reliefs anciens durs, bien que non rocheux, qui fixent le tracé général rectiligne de la berge. En outre, le canal ne s'approche très près de la berge que pour suivre les courbes de niveau de ces reliefs résistants.

.../...

---

(1) SOGREA  
(2) SOMEA

Le canal, dimensionné initialement pour 6 m<sup>3</sup>/s, a une largeur au plafond de 4,80 mètres et une pente de 0,35‰, nettement inférieure à celle de la rivière (1,2‰ environ). Il s'élève donc progressivement, par rapport à la rivière et, au bout de 5 km, il débouche dans un dessableur qui domine la rivière et protège le reste du réseau.

Le canal de tête, entre la prise et le dessableur, s'est rapidement ensablé. Les plus gros sables se déposaient en tête du canal, ils étaient de plus en plus fins jusqu'à une distance de 3 à 4 km et, dans le dernier tronçon, les matériaux restants étaient assez fins pour pouvoir être entraînés jusqu'au dessableur. La vitesse du courant était d'ailleurs plus grande à l'aval, car le dessableur imposait un niveau plus bas que le régime uniforme du canal.

Les volumes déposés étaient importants. Au cours d'une mission faite en Mai 1965, M. Blanchet (SOGREAH) a noté un ensablement de 1,5 mètre de hauteur au départ, se réduisant progressivement pour s'annuler au bout de 3,5 km. Le volume déposé était de 15.000 m<sup>3</sup>. Des observations faites par le Génie Rural ont permis d'estimer que le volume déposé dans le canal au cours de la crue du 19 au 23 Février 1965, a été de 900 m<sup>3</sup> pour un volume écoulé de 1.800.000 m<sup>3</sup>, d'où un rapport de 0,5‰ en volume, soit environ 1 gr/litre. Ces valeurs ne concernent que les volumes déposés. Des volumes plus importants ont transité jusqu'au dessableur, d'autant plus que la pente du canal, fortement ensablé à l'amont, était de 0,8‰ contre 0,35‰ pour le radier initial. Au cours de la crue, le Génie Rural a mesuré des concentrations en suspension atteignant 10 gr/litre, dont 30 à 50 % de sable, ce qui montre le transport exceptionnel de sable de cette rivière.

L'exploitation du canal a été poursuivie avec des difficultés permanentes. A l'étiage, un barrage-guideau en sable et branchages était nécessaire pour faire entrer l'eau dans le canal exhaussé par les dépôts. Il était détruit au début de la saison des crues suivante par les premiers gonflements de la rivière. L'irrigation était donc impossible pendant les basses eaux intermittentes qui encadraient le cœur de la saison des crues, alors que la plaine de la Morondava aurait eu besoin d'irrigations. La prise d'eau était également fermée pendant les crues, parce qu'elles apportaient trop de sable. Des nettoyages partiels du canal ont été faits, en particulier par pompage à partir d'un bateau. Des volumes importants ont ainsi été déposés sur la berge, mais le nettoyage n'a jamais pu être réalisé au rythme de l'ensablement. Tous ces efforts ont seulement permis de maintenir un débit de 3 à 4 m<sup>3</sup>/s pendant l'étiage, avec beaucoup de difficultés.

### 3. CAUSES DE L'ENSABLEMENT

L'étude de la force tractrice dans le canal montre qu'elle est nettement supérieure à la force tractrice de début d'entraînement des sables les plus gros. Le dépôt dans le canal n'est donc pas dû au diamètre excessif des sables introduits, mais à leur quantité excessive. Autrement dit, il y avait un déséquilibre entre le débit solide introduit et celui qui pouvait être évacué par le canal.

.../...

Le débit solide introduit est fixé par la rivière et par les conditions de la prise. Le transport solide est fort dans la rivière à cause de sa pente, il y a un léger charriage de fond à l'étiage et, en crue, le transport est très important avec mise en suspension du sable. La prise elle-même contribuait à augmenter l'entrée du sable dans le canal, car elle était mal implantée, dans un tronçon légèrement divergent de la rivière et un peu en retrait de la berge, ce qui attirait les courants de fond et leur charriage. Quant au canal, sa capacité de charriage était faible à cause de sa pente beaucoup plus faible que celle de la rivière.

Pour analyser ce déséquilibre entre le débit solide entrant et le débit solide évacué, nous allons dans le paragraphe suivant rechercher dans quelles conditions l'équilibre des débits solides est réalisable après un changement de pente.

#### 4. RECHERCHE D'UN EQUILIBRE DU DEBIT SOLIDE A PENTE VARIABLE

Considérons le cas simple d'un débit constant dans un lit de pente  $i$  constitué de matériaux mobiles. Le débit solide s'y ajuste automatiquement à la capacité de charriage de l'écoulement. Voyons s'il est possible de faire transiter le même débit liquide et solide sous une pente plus faible, en modifiant les caractéristiques du lit, sans parler, pour le moment, de dérivation partielle. Adoptons les notations suivantes :

- $i$  et  $i'$  : pente, initiale et modifiée ;
- $H$  et  $H'$  : hauteur d'eau, initiale et modifiée ;
- $V$  et  $V'$  : vitesse, initiale et modifiée ;
- $q$  et  $q'$  : débit par unité de largeur, initial et modifié.

Le débit solide par unité de largeur du lit est, en première approximation, déterminé par la force tractrice

$$\zeta = f g H i$$

(en admettant qu'on peut confondre la hauteur d'eau et le rayon hydraulique, ce qui est valable pour les lits larges et plats).

A force tractrice constante, quand la pente est divisée par deux la hauteur d'eau double. Calculons la vitesse par la formule de Strickler :

$$V = 1/n H^{2/3} i^{1/2}$$

En admettant que le coefficient  $K$  de Strickler reste inchangé, puisque les matériaux sont les mêmes, on obtient :

$$\frac{V'}{V} = \left( \frac{H'}{H} \right)^{2/3} \cdot \left( \frac{i'}{i} \right)^{1/2}$$

$$\frac{q'}{q} = \frac{H'V'}{HV} = \left( \frac{H'}{H} \right)^{5/3} \left( \frac{i'}{i} \right)^{1/2}$$

.../...

A force tractrice constante,

$$\text{pour } \frac{i'}{i} = 0,5$$

$$\text{on obtient } \frac{H'}{H} = 2$$

$$\frac{V'}{V} = 1,12$$

$$\frac{q'}{q} = 2,24$$

Cette condition assure en principe le même débit solide par unité de largeur. Mais c'est insuffisant, car le débit par unité de largeur a augmenté, alors que c'est le rapport débit solide/débit liquide qui devrait rester constant pour que le débit total de chacun reste le même.

On voit qu'il faut augmenter beaucoup plus la profondeur et la vitesse. On trouvera des valeurs un peu différentes suivant les formules de charriage utilisées. Pour fixer des ordres de grandeur, nous avons pris pour base la forme de SHEN et HUNG (1), particulièrement commode.

SHEN et HUNG ont pris pour base de nombreuses données expérimentales (rivières et laboratoire) surtout relatives à des sables (gros à très fins), qu'ils soient ou non entraînés partiellement en suspension (wash-load exclus). En les étudiant par des méthodes statistiques, ils sont arrivés à exprimer la concentration (rapport débit solide/débit liquide en poids) en fonction du paramètre.

$$\gamma = V \cdot S^{0,57} / W^{0,32}$$

V : vitesse moyenne du courant (pieds/sec)

S : pente de la rivière.

W : vitesse de chute (pieds/sec) du grain médian du matériau du lit.

Pour les sables de la Morondava, la formule de SHEN et HUNG donne des résultats concordants avec ceux de ENGLUND et HANSEN (2) dans son domaine d'application (vitesses faibles ou modérées). Elle donne aussi pour les fortes vitesses de crue de la Morondava des valeurs (10 gr/litre et plus) en concordance avec celles qui ont été approximativement observées.

Indépendamment de la précision absolue de la formule, le facteur expérimental  $\gamma$  est certainement un très bon paramètre pour caractériser la constance du rapport débit solide/débit liquide. Le matériau étant le même dans les cas considérés ici, la vitesse de chute W est constante et la condition se ramène à

$$V \cdot i^{0,57} = \text{cte}$$

.../...

Cette condition remplace en quelque sorte la condition  $H_i = \text{cte.}$  du calcul précédent. En la combinant de même à la formule de Strickler, on trouve les lois de variation que doivent suivre approximativement les caractéristiques hydrauliques en fonction de la pente, à transport solide égal.

VARIATION DES CARACTERISTIQUES HYDRAULIQUES				
EN FONCTION DE LA PENTE				
A TRANSPORT SOLIDE EGAL				
Rapport des pentes $i'/i$	0.8	0.666	0.5	0.25
$H'/H$	1.43	1.92	3.03	9.2
$V'/V$	1.13	1.25	1.47	2.18
$q'/q$	1.62	2.4	4.46	20.

#### 5. APPLICATION AU CANAL DE DABARA

Le canal de Dabara est destiné à constituer une dérivation totale à l'étiage et les résultats précédents s'y appliquent directement. Si on admet, compte tenu de l'influence des berges dans le canal, que la pente efficace y est le quart de celle de la rivière ( $i'/i = 0.25$ ), on voit que la hauteur d'eau dans le canal devrait être environ 9 fois celle de la rivière. C'était sensiblement réalisé à l'étiage (par exemple hauteur de 0,20 m dans les bras de la rivière et de 1,80 m dans le canal).

Pour les débits plus forts, la dérivation n'est que partielle et le rapport débit solide/débit liquide dérivé dans le canal n'est pas forcément le même que celui de la rivière. Il était malheureusement plus grand avec l'ancienne prise mal implantée. Même en admettant qu'il soit le même, on voit que, pour les crues ordinaires atteignant 1 à 2 mètres dans la rivière, il aurait fallu une hauteur de 9 à 18 mètres dans le canal, ce qui est incompatible avec les débits dérivés et explique le fort ensablement observé pendant les crues.

#### 6. PROJET ACTUEL

Pour mettre en valeur la région, le Ministère du Développement Rural de la République Malgache a décidé de reconstruire les ouvrages de prise. Un premier élément du projet consiste à barrer le lit par un seuil en béton de 250 mètres de longueur déversante. Il a le rôle primordial de permettre la dérivation totale du débit d'étiage. Il servira aussi à exhausser les niveaux pour permettre la réalimentation de 24 m<sup>3</sup>/s dans le canal actuel convenablement exhausé (au lieu de 3 à 4 m<sup>3</sup>/s en pratique actuellement, avec des pertes d'eau non dérivée).

Les nouveaux ouvrages ont été étudiés sur modèle réduit par la Société Grenobloise d'Etudes et d'Applications Hydrauliques (SOGREAH).

.../...

Le nouvel ouvrage de prise, mieux implanté, la possibilité de faire des chasses devant la prise grâce à la chute créée par le barrage (2 mètres environ), la dérivation d'un débit plus fort dans le canal, étaient certes des facteurs favorables pour réduire l'ensablement du canal. Mais comme les sables sont partiellement mis en suspension par les crues, on n'aurait pas pu empêcher leur entrée excessive. Sur proposition de SOGREAH, le Génie Rural a donc opté pour la solution sûre qui consiste à mettre un dessableur en tête du canal. Il a en outre décidé de faire hydrauliquement le nettoyage de ce dessableur, grâce à la chute créée par le barrage.

Cette disposition n'était évidemment pas possible dans l'ancienne dérivation sans barrage, et c'est ce qui explique la disposition, apparemment illogique qui consistait à dériver l'eau dans un canal à faible pente avant de la dessabler. Il s'agissait en réalité de gagner de la chute pour que le dessableur domine la rivière et puisse être nettoyé hydrauliquement. Mais cette attitude était contradictoire, car il était impossible d'entraîner à faible pente les sables jusqu'au dessableur.

## 7. LE DESSABLEUR

Le dessableur du projet actuel comprend deux bacs de 10 mètres de large, ~~100 mètres de long~~ et 5 mètres de profondeur à l'étiage. Cette forme relativement étroite et profonde est une adaptation au terrain et aux fondations.

Le nettoyage hydraulique a nécessité une solution particulière, parce que la chute disponible est faible par rapport au débit à dessabler et qu'elle sera réduite à la fin de l'étiage par les sables rejetés dans la rivière, qui ne seront évacués que par les crues suivantes.

On ne pouvait donc pas appliquer la solution simple qui consiste à donner au dessableur un radier en pente débouchant au-dessus de l'étiage aval, parce que la hauteur moyenne restant dans le dessableur aurait été trop faible et qu'il aurait fallu lui donner une largeur inadmissible, avec en outre un système de distribution à l'amont et de collecte à l'aval très large et compliqué et absorbant une partie de la chute.

On ne disposait pas non plus de la chute nécessaire pour faire efficacement un soutirage hydraulique du sable par des conduites débouchant à l'aval. Ce système a d'ailleurs l'inconvénient de dégager le sable en cônes autour des orifices de soutirage, en laissant des points hauts à compenser par une surprofondeur du radier. En outre, le risque d'obstruction des orifices (forcément petits pour que les points de soutirage soient nombreux) aurait constitué une difficulté d'exploitation très gênante parce que les circuits de soutirage auraient été entièrement situés en dessous du niveau de la rivière et difficiles à déboucher.

On a finalement opté pour la solution qui consiste à faire un nettoyage par un courant longitudinal dans chaque bac, en concentrant localement le courant vers le fond par une vannemasque. Celle-ci est portée par un chariot mobile reposant sur des rails longitudinaux. Elle se déplace en une heure environ pour faire le nettoyage sur toute la longueur. La turbulence qu'elle crée est très efficace pour entraîner en suspension à l'aval

les sables nettoyés par le courant sous la vanne (voir photographies).

Pour la première phase du projet, où le débit dérivé sera de 12 m<sup>3</sup>/s, les bacs fonctionneront donc en dessableur à accumulation, pouvant être à moitié remplis par le sable avant de nécessiter une chasse, seulement toutes les deux semaines environ à l'étiage. Pour la phase future et assez lointaine de 24 m<sup>3</sup>/s, les chasses seraient plus fréquentes et la décantation moins bonne. Ce dernier point n'est pas un inconvénient si la décantation reste suffisante pour éviter les dépôts dans le canal de tête (5 km). En effet, on dispose ensuite du dessableur existant, où les chasses sont faciles parce qu'il domine la rivière et on dispose de la place nécessaire pour l'agrandir économiquement afin d'assurer toute la décantation qui sera souhaitable pour réduire l'entretien du reste du réseau. Une ressource de sécurité pouvant alléger l'exploitation consisterait en outre à équiper les chariots du dessableur de tête de pompes d'aspiration du sable au lieu des vannes-masques. Ceci permettrait un nettoyage semi-continu des bacs, sans couper le débit d'irrigation pendant les chasses et en utilisant toute la profondeur du dessableur pour assurer une meilleure décantation.

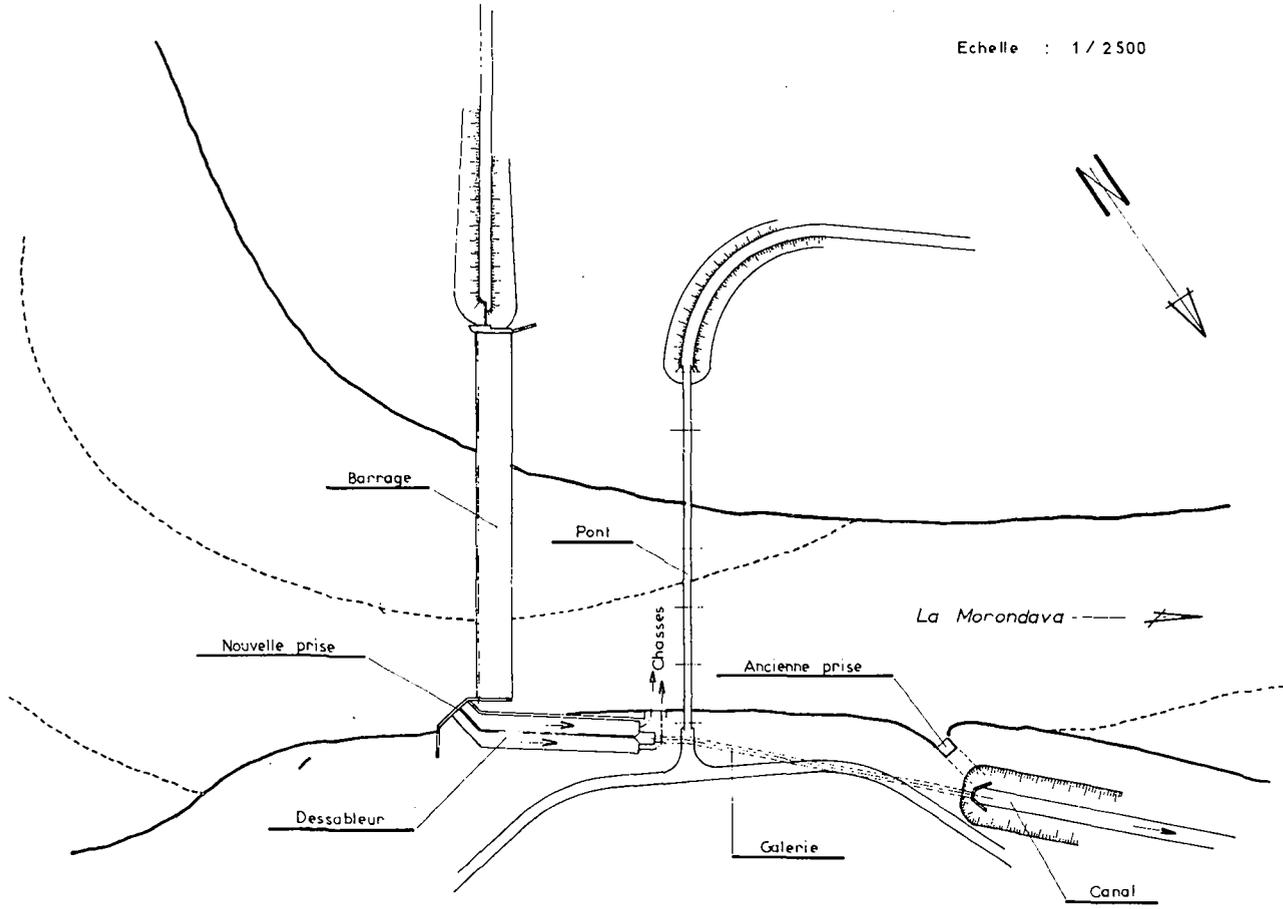
Le projet combine ainsi des dispositions économiques et simples pour la première phase (dessableur à accumulation à chasse hydraulique, non surdimensionné pour ce type de fonctionnement) avec la possibilité de doubler ultérieurement le débit de l'ouvrage en utilisant des techniques plus évoluées adaptées au développement futur de la région.

#### REFERENCES

- (1) SHEN H.W. and HUNG C.S. 1971, An engineering approach to total bed material load by regression analysis : Proc. Sedimentation Sym., June 16-19 Berkeley.
- (2) Frank ENGELUND and Eggert HANSEN, a monograph on sediment transport in alluvial streams, Teknisk Forlag - Copenhagen 1972.

### PLAN D'ENSEMBLE DE L'AMENAGEMENT

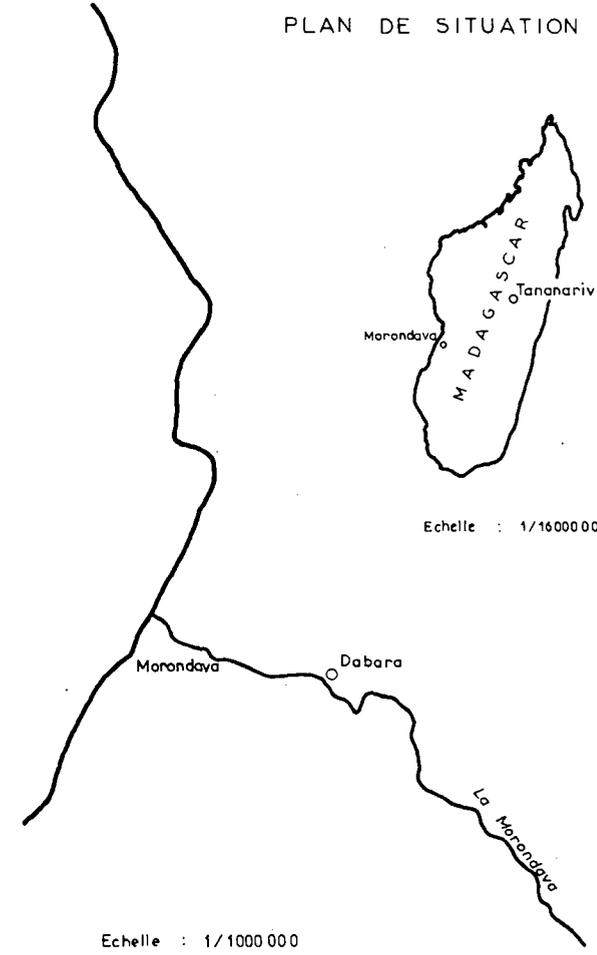
Echelle : 1 / 2500



### PLAN DE SITUATION

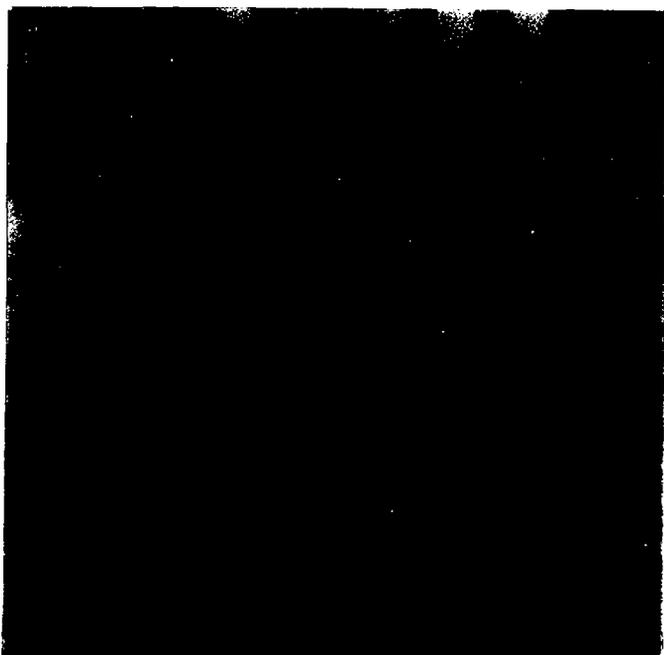


Echelle : 1/16000 000



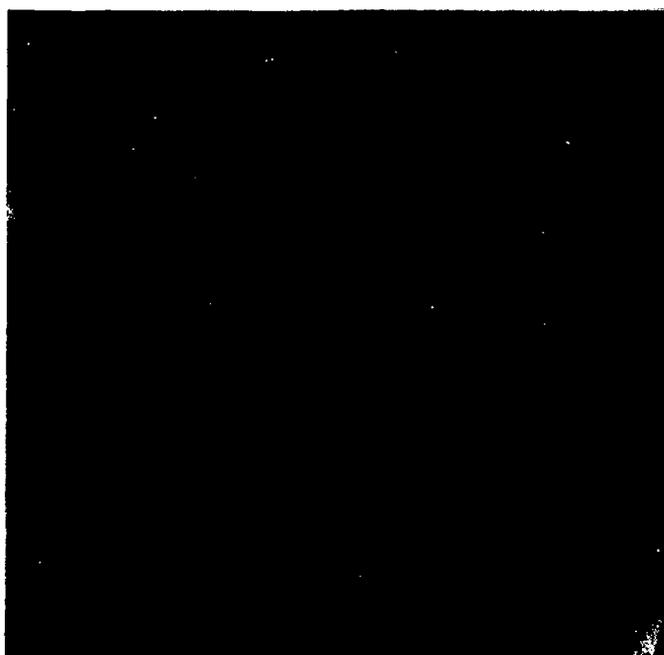
Echelle : 1/1000 000

VUES GENERALES DU MODELE



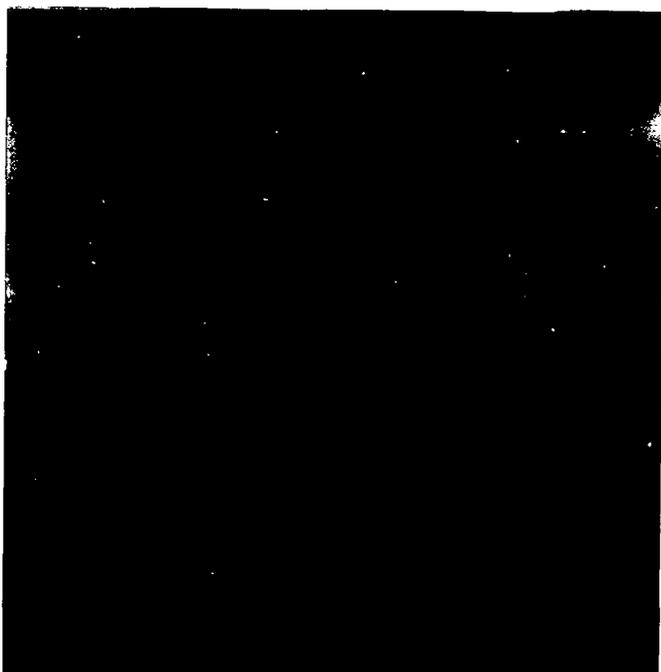
103 768-1

1 - Vue d'ensemble du modèle sans les ouvrages



104 351-11

2 - Vue d'amont



104 351-6

3 - Vue d'aval



104 351-10

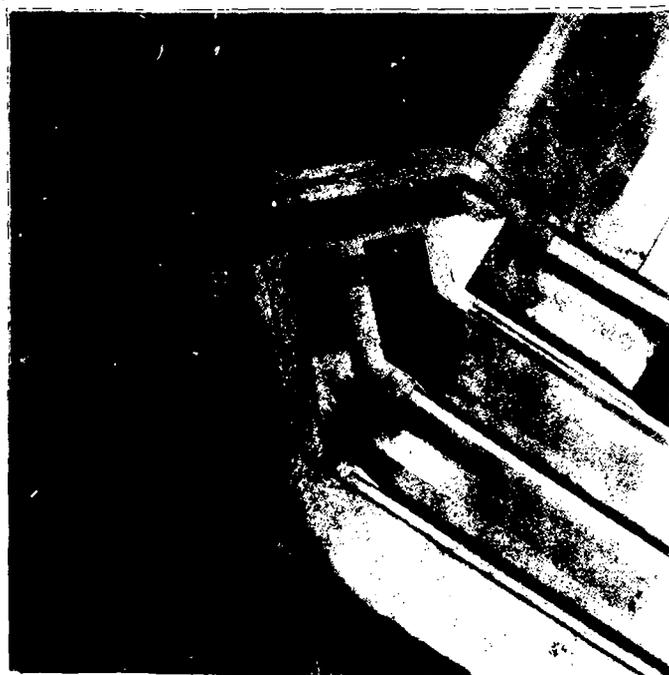
4 - Vue de la rive droite

DETAILS DU DESSABLEUR



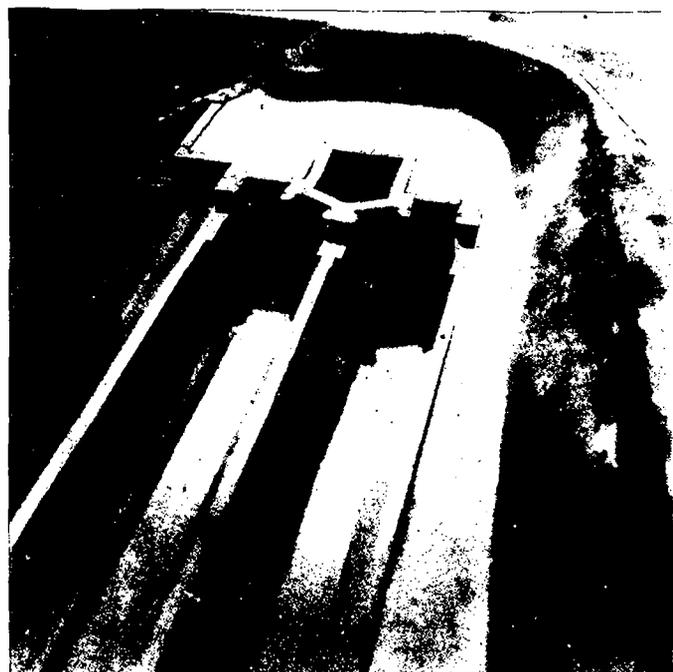
104 347-5

1 - Tête amont - vue d'amont



104 346-10

2 - Tête amont - vue de dessus



104 347-8

3 - Tête aval - vue d'amont

En haut et au centre, vannes déversantes de prélèvement d'eau claire. En bas, vannes de chasse



104 347-9

4 - Tête aval - vue de côté

Orifices d'évacuation des chasses

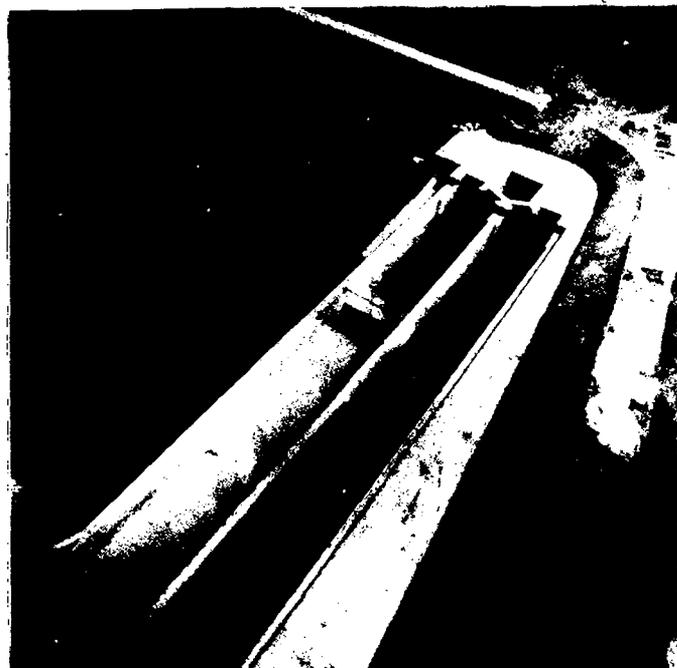
FONCTIONNEMENT DU DESSABLEUR



104 359-2

**1 - Chasse avec la vanne chariot**

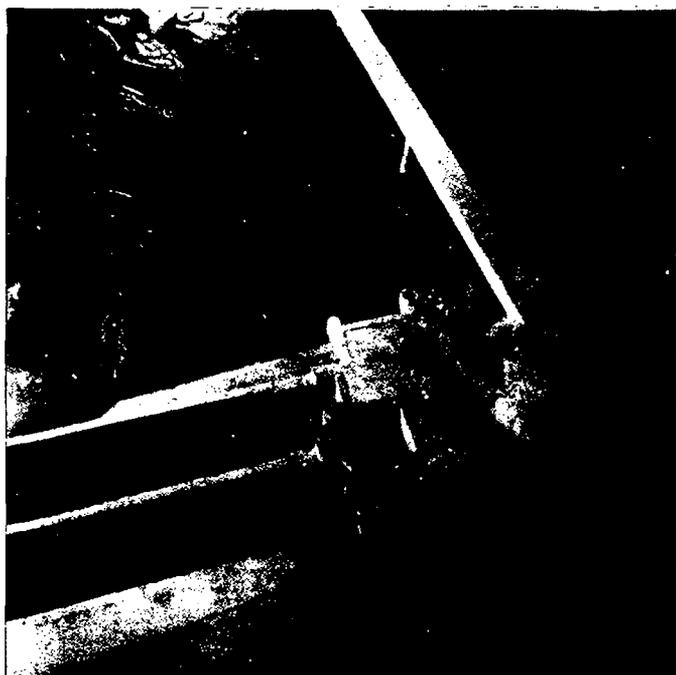
En amont de la vanne, le dessableur est propre.  
En aval, l'écoulement turbulent entraîne les sables en suspension



104 359-4

**2 - Chasse avec la vanne chariot**

On remarque la sortie du jet dans la rivière



104 350-5

**3 - Vue de dessus d'une chasse**



104 359-8

**4 - Fonctionnement des vannes déversantes de prélèvement d'eau claire**  
Le débit est réglé par la position des vannes

DISCUSSION

Mr CALES commente le rapport introductif qu'il a rédigé puis présente, en l'absence de la SOGREAH la communication rédigée par les ingénieurs de cette société sur le dessableur du canal d'irrigation de la Mondava à Dabara (sud-ouest de Madagascar).

Pour souligner l'importance des problèmes posés par les transports solides, Mr Calès lit un extrait d'une lettre du Directeur Général du génie rural de Tunisie sur ce sujet. Il ressort de cette lettre que :

- l'élimination des transports solides ne peut se faire qu'au stade initial (lutte contre l'érosion) ;
- lorsque ces transports solides ont pris une certaine importance, il est vain d'essayer de les éliminer ; la seule chose qui reste à faire est de protéger les lieux habités et cultivés ;
- les techniques d'épandage d'eaux de crue doivent être abandonnées parce que non rentables en raison des volumes considérables de matériaux qu'elles transportent.

Mr LAKH résume les interventions en soulignant l'importance des problèmes posés par la construction de l'ouvrage de prise proprement dit et du dessableur.

Mr TIAO. Les problèmes posés par les dépôts de transports solides dans les retenues et les ouvrages de dérivation ne sont pas essentiellement différents. Comment peut-on résoudre les difficultés dues à l'accumulation des sables et graviers au droit des ouvrages de prise.

Pour ce qui est des formules de Fournier on ne voit pas très bien l'intervention de la pente ni de la couverture végétale du bassin.

Mr GRESILLON. Les formules de Fournier ne donnent pas des résultats satisfaisants dans le cas des petits bassins. Dans le cas de la Haute-Volta, si on se tient à cette formule, les petits barrages devraient être remplis en quelques années, ce qui n'est pas le cas. En outre, la pente du bassin intervient de manière insuffisante.

Mr MANDINGUE. A-t-on noté une incidence des plans d'eau sur le climat local.

Mr CALES. On n'a rien observé à l'échelle de précision des études qui ont été faites.

Mr BALDY. Il faut tenir compte de l'échelle de l'étude. Pour les études à petite échelle on ne note aucune incidence sur le climat local. Mais pour les études plus fines, cette influence n'est pas négligeable. En outre, l'incidence d'une faible variation de certains paramètres climatologiques peut être importante. Mr Baldy cite le cas de l'accroissement des rosées à proximité des plans d'eau. Un léger accroissement de ces rosées peut entraîner une augmentation sensible des maladies des plantes.

.../...

Mr MAISTRE. Le problème de l'élimination des transports solides est d'ordre économique. On peut toujours trouver une solution technique mais elle peut se révéler trop onéreuse eu égard à la rentabilité du projet.

Une installation intéressante a été réalisée dans le bassin versant du Riou Majou en France dans les Pyrénées. Il s'agissait d'éliminer les transports solides dans un petit barrage hydroélectrique déversant de 1.000.000 m<sup>3</sup>. Les dépôts y sont considérables.

La solution adoptée est un siphon à amorçage automatique dès que le barrage déverse. La solution est coûteuse en eau et son effet localisé autour de la prise du siphon. Mais elle est peu onéreuse et efficace : les matériaux éliminés vont des plus fins à des blocs de plusieurs décimètres de diamètre. En outre il n'y a aucun entretien et l'installation ne suppose aucun aménagement de génie civil.

Les dimensions du siphon (600 mm dans le cas exposé) limitent assez rapidement l'utilisation possible de cet équipement.

Mr Maistre adressera au CIEH une note sur ce sujet.

Mr A. ALIDOU. Le problème de l'envasement des retenues présente une grande acuité en particulier au Niger. Le CIEH pourrait-il rassembler une documentation sur le problème de l'envasement des retenues. Cette question pourrait être inscrite à l'ordre du jour d'une prochaine réunion technique.

Mr MAISTRE rassemblera et adressera au CIEH une bibliographie sur le problème de l'envasement des petites retenues sous climat aride et semi-aride.

Mr POUYAUD. Il est facile de mesurer le débit en suspension des cours d'eau mais très difficile de mesurer le débit de charriage.

Le dessablage des eaux ne soulève pas de problème technique insurmontable mais il faut pouvoir disposer d'un débit d'eau suffisant.

Mr TIAO. Le problème de l'envasement des retenues préoccupe les services techniques voltaïques. Une étude est envisagée en collaboration avec l'EIER.

Mr POUYAUD. Cette étude pourrait être effectuée sur un certain nombre de retenues. L'utilisation des photos aériennes permettrait le planimétrage des cuvettes.

**ALIMENTATION EN EAU DES PETITES COLLECTIVITES  
PAR COLLECTE DES EAUX DE PLUIE SUR UNE AIRE  
IMPERMEABLE ET STOCKAGE DANS UNE CITERNE**

ALIMENTATION EN EAU DES PETITES COLLECTIVITES  
PAR COLLECTE DES EAUX DE PLUIE SUR UNE AIRE  
IMPERMEABLE ET STOCKAGE DANS UNE CITERNE

par Michel CALES (C.I.E.H.)

L'utilisation de citernes alimentées par un impluvium naturel ou aménagé se pratique depuis une date très réculée dans les régions peu favorisées du point de vue des ressources en eau : Afrique du Nord, Lybie, Egypte, Inde, ... Des recherches ont été faites récemment et se poursuivent pour tenter d'améliorer ce mode d'alimentation en eau tout en lui conservant un caractère économique.

Le présent rapport fait le point des résultats acquis et précise les points sur lesquels il conviendrait de poursuivre des recherches.

Les éléments essentiels de ce dispositif sont l'aire de collecte des eaux de pluie et la citerne.

AIRE DE COLLECTE

Le dispositif de collecte le plus couramment utilisé est la toiture des habitations ou des bâtiments collectifs (dispensaires, écoles,...).

Cette toiture peut être de type traditionnel (banco, chaume...) ou couverte de tôle. A signaler dans le cas des toitures traditionnelles un essai qui a consisté à les recouvrir d'une feuille de polyéthylène pour améliorer le ruissellement. La feuille est mise en place pendant la saison des pluies, puis retirée et mise à l'abri pendant la saison sèche.

Mais en fonction des conditions locales, la collecte des eaux de pluie peut être réalisée sur le sol même. Il faut alors tenir compte des éléments suivants :

- Si l'impluvium est dominé, c'est-à-dire s'il n'est pas limité par une ligne de partage naturelle des eaux, on le protège à l'amont par un fossé de garde évitant l'arrivée d'eaux chargées.
- On a toujours intérêt à imperméabiliser l'impluvium : ciment, dallage, goudronnage, béton de terre, etc, ou à choisir un impluvium imperméable : dalles rocheuses.
- Si pour des raisons d'économie on ne peut imperméabiliser, il faut au moins détruire toute végétation sur l'impluvium sauf au voisinage immédiat de la citerne où une petite haie filtrante arrête les débris divers.
- Une clôture doit empêcher la circulation du bétail sur l'aire de collecte.
- La citerne doit être précédée d'un petit bassin de décantation dont la taille dépend de la surface et de l'érodibilité de l'impluvium.

.../...

DIMENSION DE L'AIRES DE COLLECTE

Dans les zones gravement dépourvues de ressources en eau on peut estimer que la quantité d'eau minimum journalière à fournir est de 10 l/habitant.

Pour des périodes de pénurie de 4 et 6 mois, les besoins d'une famille de 10 personnes et de hameaux de 50 et 100 habitants s'élèvent en m<sup>3</sup> à

	4 mois	6 mois
10 personnes	12	18
50 habitants	60	90
100 "	120	180

Lorsque les eaux sont recueillies sur des surfaces très imperméables (toiture en tôle ou toiture traditionnelle recouverte d'une feuille de plastique), on peut sans risque d'erreur estimer que 80 à 85 % des eaux de pluie seront recueillies.

Il n'en est plus de même dans le cas d'un impluvium naturel. Une étude dégageant les valeurs moyennes des ruissellements basée sur les pluies journalières (et donc facilement extrapolable, les pluies journalières étant largement connues), apparaît nécessaire.

En mesurant les pluies et les volumes recueillis on peut déterminer :

- Le seuil moyen de ruissellement.
- La loi moyenne de variation du coefficient de ruissellement en fonction de la pluie du jour et de l'intervalle de temps depuis la dernière pluie.

On peut alors déterminer la surface de l'impluvium nécessaire.

CONSTRUCTION DE LA CITERNE

Dans la mise en oeuvre d'un programme de construction d'impluviums il ne faut pas perdre de vue deux objectifs essentiels :

- Recherche du coût minimum.
- Possibilité de réalisation par les populations intéressées.

Ceci est particulièrement vrai dans le cas de la construction des citernes qui doivent pouvoir être réalisées aux moindres frais et avec des techniques aisément vulgarisables.

.../...

Une solution particulièrement intéressante pour cela consiste à utiliser les films imperméables genre butyl ou plastique. Les films en polyéthylène haute densité se sont révélés particulièrement intéressants en raison

- de leur prix,
- de leur solidité,
- de leur salubrité,
- de la facilité de leur mise en oeuvre.

La citerne est creusée dans le terrain en place dont les parois sont recouvertes d'une feuille plastique. Cette feuille peut être doublée pour les grandes capacités. Lorsque les parois de la cavité présentent des aspérités, il est nécessaire de les crépir avec du banco pour éviter le poinçonnement du film plastique.

Il est intéressant de réaliser au préalable un gabarit de la dimension de la cavité sur lequel le plastique est mis en forme et soudé.

La feuille doit être amarrée sur les bords.

Le polyéthylène se soude à lui-même lorsqu'on le chauffe. Différents modèles d'appareils de thermo-soudures existent sur le marché. Il convient de rechercher celui dont l'emploi est le plus simple.

#### EQUIPEMENTS ANNEXES

##### Clôture

L'aire de collecte et la citerne si celle-ci n'est pas surélevée doivent être clôturées.

##### Gouttières

Dans le cas de la collecte des eaux de toitures, des gouttières doivent être réalisées pour recueillir les eaux et les amener dans la citerne. Les modèles les plus simples font appel au bois.

##### Traitement de l'eau

Dans le cas de la collecte des eaux sur un impluvium naturel, nous avons déjà vu l'intérêt d'un bassin de décantation.

L'installation d'un filtre à eau complètera l'équipement de la citerne.

.../...

A défaut, l'eau pourra être stérilisée à l'hydroclonazone ou javellisée. Ce dernier traitement a l'inconvénient de donner un goût désagréable à l'eau et de ne pas être apprécié par les utilisateurs.

EXPERIMENTATION EN COURS

Parmi les essais qui sont effectués actuellement pour adapter et diffuser ce mode d'alimentation en eau, il convient de signaler tout particulièrement ceux qui sont menés par l'Institut International de Recherche et de Formation (IRFED) sous l'égide de l'UNICEF au Sénégal et au Niger et qui doivent être étendus à la Haute-Volta.

ALIMENTATION EN EAU DES PETITES COLLECTIVITES  
PAR COLLECTE DES EAUX DE PLUIE SUR UNE AIRE  
IMPERMEABLE ET STOCKAGE DANS UNE CITERNE

Exemple du Togo

par K. KATAKOU  
Direction du Génie Rural (LOME)

I - PRESENTATION DU TOGO

I.1 Situation

Compris entre 6°5 et 11°10 de latitude Nord, 0° et 1°15 de longitude Est, le Togo se présente sur la carte de l'Afrique comme une bande de terre de 600 km de long sur 45 à 150 km de large.

Avec une superficie de 56.000 km<sup>2</sup> et une population de 2 millions et plus d'habitants, le Togo est limité par le Dahomey à l'Est, le Ghana à l'Ouest, la Haute-Volta au Nord et l'Océan Atlantique au Sud.

Il présente un relief et un climat assez variés.

I.2 Relief et hydrographie

Le Togo est pris en écharpe par une chaîne de montagnes orientée Sud - Sud-Ouest, Nord - Nord-Est. Elle culmine au Mont Agou à 1000 mètres d'altitude.

Au Sud et au Nord de cette chaîne se trouvent deux pénéplaines : celle du Sud est drainée par le Mono, le Sié, le Haho ; celle du Nord est drainée par l'Oti et ses affluents qui coulent en direction Est - Ouest pour rejoindre la Volta au Ghana.

I.3 Climat et végétation

Le Nord, à climat tropical sec, enregistre des précipitations annuelles qui varient de 1.000 à 1.100 mm. Dans la région montagneuse du Centre, la hauteur annuelle des pluies atteint 1.300 - 1.800 mm. La zone côtière à climat tropical humide, est caractérisée par une pluviosité relativement faible : 800 - 1.000 mm par an.

La végétation suit ces trois types de climat :

au sud on rencontre la forêt et la savane arboricole ;  
au centre, des forêts sur les hauteurs et le long des cours d'eau ;  
au nord, la savane clairsemée.

.../...

#### I.4 Situation géologique

Le Togo comprend du Nord au Sud les cinq formations géologiques suivantes :

- 1/ Une mince bordure de socle granitogneissique au Nord.
- 2/ Le bassin sédimentaire cambrien (série de l'Oti). Cette formation primaire dite de "grès et de schistes" de l'Oti est affectée de failles et de fractures de direction NE - SO.
- 3/ Le précambrien métamorphique (schistes et quartzites).
- 4/ La migmatite du DAHOMEEN, très étendue, couvre presque la moitié du territoire. Il est constitué de gneiss essentiellement basique et de micaschistes fortement migmatisés.
- 5/ L'étroit bassin sédimentaire littoral comprend des terrains argileux, sableux et calcaires recouverts par une couverture alluviale du Continental Terminal ou du Quaternaire.

#### II - LE PROBLEME DE L'EAU AU TOGO

Dans les localités non pourvues de réseau d'adduction d'eau potable, l'alimentation en eau n'est suffisante que pendant la saison des pluies. La situation est particulièrement précaire dans les zones de formations géologiques primaires du Cambrien et du Précambrien qui couvrent environ 95 % du Territoire.

La population utilise en saison des pluies les mares et les marigots proches des villages. En saison sèche, il faut effectuer de longs parcours (15 - 20 km) pour atteindre les rares points d'eau permanents.

Pour résoudre ce problème, les collectivités rurales constituent des réserves d'eau dans des jarres, des citernes enterrées, ou creusent des puits là où la nappe phréatique n'est pas profonde.

L'exemple des jarres et citernes dans le Sud Togo fera l'objet de cet exposé.

#### III - COLLECTE DES EAUX DE RUISSELLEMENT

##### 1) - Dans les récipients à faible capacité : jarres

Les récipients en terre cuite demeurent, dans bon nombre de nos centres ruraux, les ustensiles les plus utilisés pour conserver l'eau.

En période de pluies, ne disposant pas de points d'eau naturels (mares, marigots, rivières ...), il n'est pas rare de voir la ménagère sous la pluie remplir ces pots d'eau de ruissellement prélevée sur des aires opportunément aménagées.

La famille dispose alors d'un nombre suffisant de pots pour couvrir une bonne partie de ses besoins en saison sèche. Ces pots ou jarres sont souvent disposés en groupe de 10 ou 20 sous un arbre ou dans un enclos et protégés par un couvercle en terre cuite.



Jarres contenant de l'eau  
de ruissellement



Jarres et citernes



Jarres contenant de l'eau

La décantation de l'eau est obtenue en y mettant du kaolin ou de la cendre.

La coutume traditionnelle exige que ces pots fassent partie des biens d'héritage de la famille. Autant dire que, bien entretenus, ces récipients ont une durée de vie importante.

## 2) - Collecte des eaux dans les citernes enterrées

La méthode d'approvisionnement en eau décrite plus haut a évolué. Les jarres traditionnelles tendent à faire place aux citernes enterrées munies de margelle. (voir schéma).

Ces ouvrages sont réalisés par les familles elles-mêmes. le maçon n'intervient qu'à la finition.

Les eaux de pluie sont collectées dans ces citernes de deux manières :

a) eaux de ruissellement : sur aire aménagée (terrain rendu imperméable - briques ou sol ciment) ou non (terrain naturel).

b) eaux de pluie recueillies du toit de bâtiment par des gouttières qui communiquent à la citerne. (voir schéma).

Dans l'un ou l'autre des cas, la réalisation de ces ouvrages suit les mêmes critères.

### A) REALISATION DES CITERNES ENTERREES

1) Implantation : Le choix de l'emplacement de la citerne suit deux critères :

- proximité de la maison
- topographie du terrain : pente suffisante pour permettre l'écoulement de l'eau (dans le cas de la collecte des eaux de ruissellement).

L'implantation elle-même consiste à tracer un cercle de diamètre déterminé (2 - 3 m).

2) Fouilles : Le creusement de la citerne se fait d'une façon collective : le chef de famille sollicite au besoin la participation des membres d'autres familles. Les fouilles se font en investissement humain. Le matériel employé est constitué de houe, pioches, pelles.

La terre est évacuée par des seaux tirés à la corde.

La profondeur de la citerne, conditionnée la plupart du temps par la nature géologique du terrain, et davantage par les disponibilités financières du propriétaire, peut atteindre en moyenne 3 à 3,50 m.

.../...

3) Maçonnerie : Une fois les fouilles terminées, les travaux de maçonnerie sont confiés à un maçon : margelle, chapes.

4) Coût : Il apparaît difficile d'évaluer le coût des réalisations de citernes dans nos villages, compte tenu de la part importante que l'investissement humain y occupe.

On peut néanmoins appliquer les prix usuels pour ces ouvrages et déduire le coût réel.

Prenons l'exemple d'une citerne de 3 m de profondeur, 2,40 m de diamètre.

Le volume de terre est de :

$$V = \pi R^2 p. 1,2 =$$

$$V = 3,14 \times 1,20^2 \times 3 \times 1,2 = 16,27 \text{ m}^3$$

Désignation	U.	Qté	P.U.	Total
Fouilles	m <sup>3</sup>	16,27	500	8.135
Ciment	kg	750	12	9.000
Sable	m <sup>3</sup>	3		1.000
Main d'oeuvre				3.000
Imprévus et divers				2.000
<b>TOTAL</b>				<b>23.135 F</b>

Ce coût est à comparer avec celui d'un puits réalisé à Lomé avec les caractéristiques suivantes :

profondeur 10 - 12 m, diamètre 0,80 m (fini)

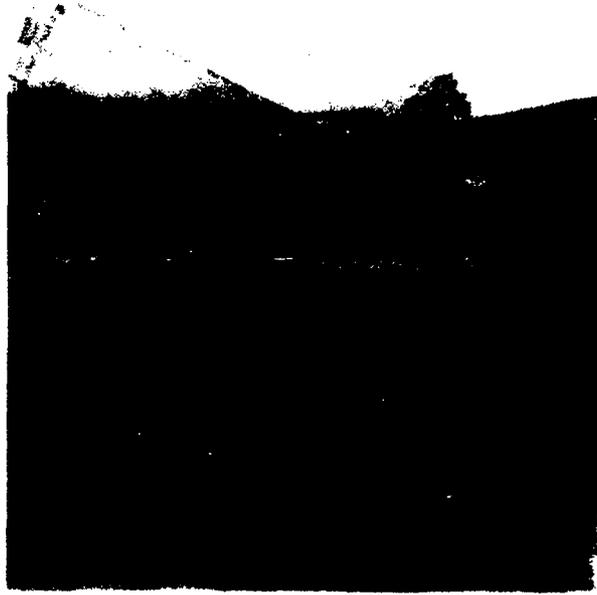
Ce puits revient actuellement (prix tâcheronnage) en moyenne à 35.000 F CFA.

Ce qui importe le plus est la vie de l'ouvrage.

#### B) ENTRETIENS

Il est évident que les eaux stockées par les citernes ainsi conçues ne sont pas bactériologiquement pures. Ces eaux, avant utilisation, doivent être chlorées et filtrées.

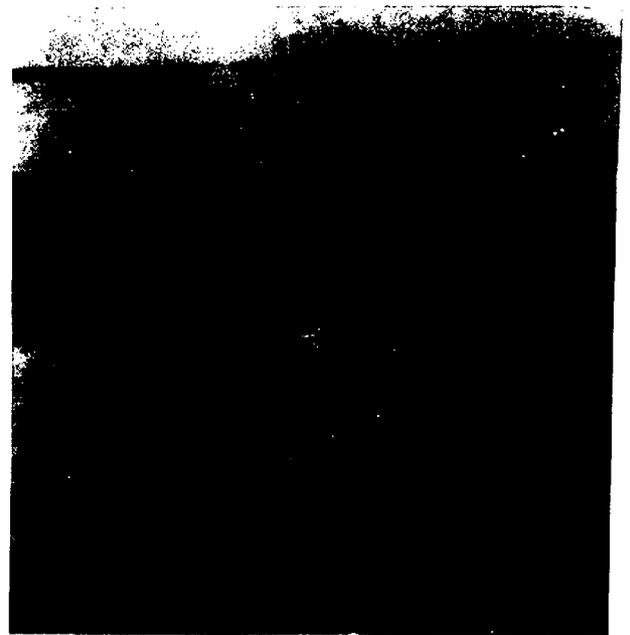
.../...



Collecte d'eau de ruissellement  
dans une citerne

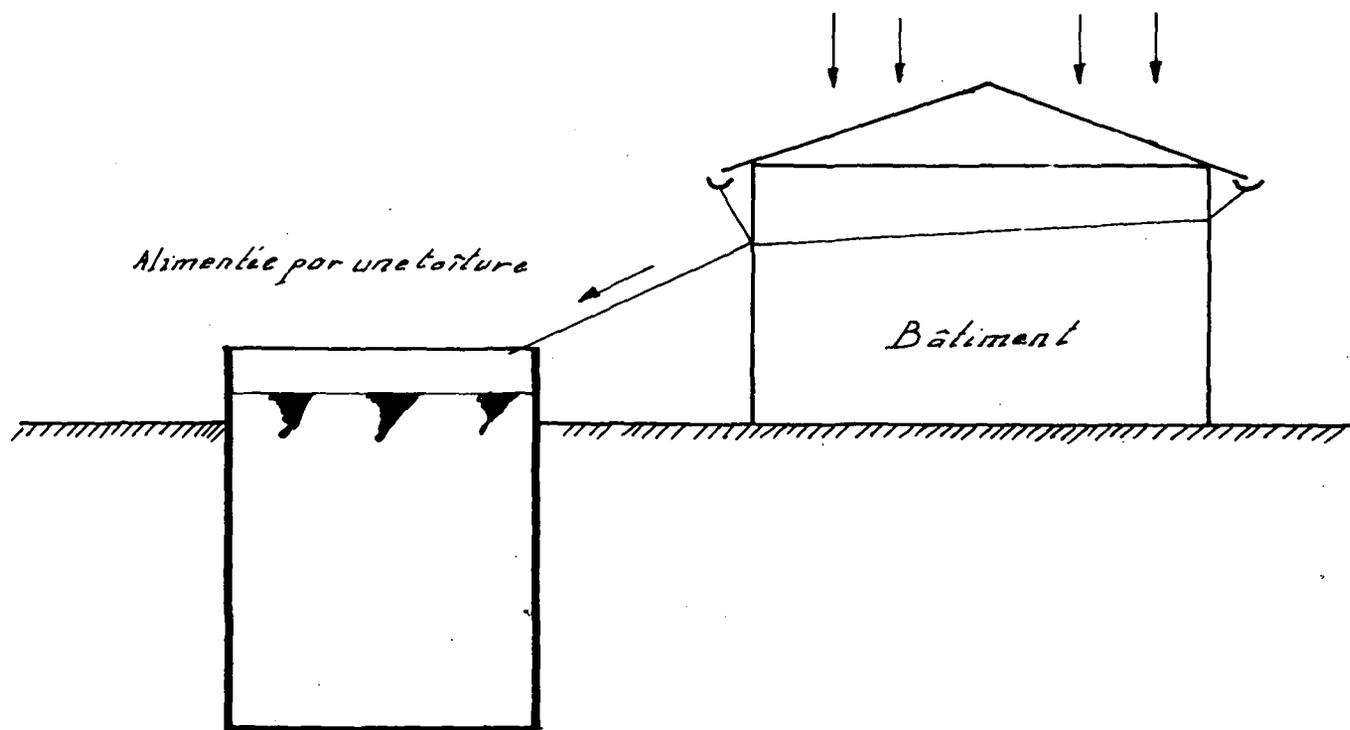
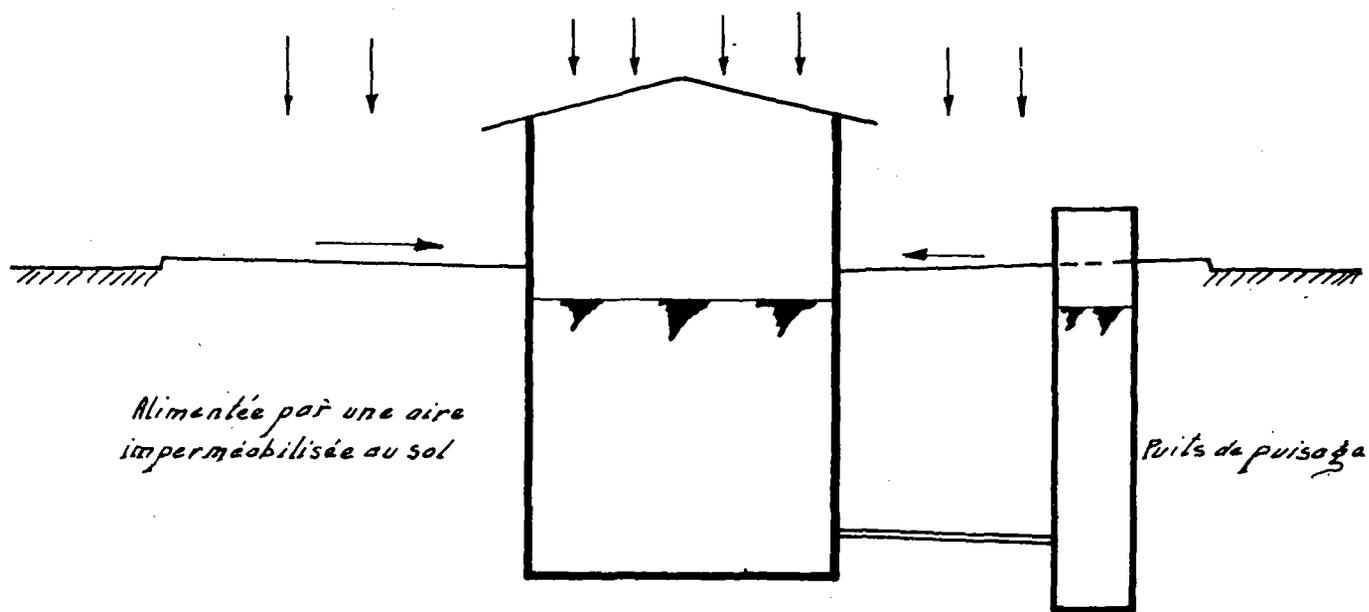


de pluie et système de gouttière  
Citerne et gouttière



Citerne recueillant l'eau

# SCHEMA DE CITERNES ENTERREES



Mais pour assurer une vie durable de ces ouvrages, il s'avère nécessaire d'en effectuer annuellement le curage et les retouches utiles (fissurations).

Néanmoins on constate que ces ouvrages ont une durée de vie moyenne de dix à quinze ans.

### CONCLUSIONS

L'augmentation de niveau de vie en général, et du monde rural en particulier, entraîne un besoin croissant en eau. Les méthodes traditionnelles d'approvisionnement en eau font de jour en jour place au réseau moderne d'adduction d'eau.

Cependant dans les localités où les conditions naturelles (points d'eau permanents, existence de nappe phréatique,...) et où les projets d'adduction d'eau n'apportent pas de solution au problème d'eau, les méthodes traditionnelles persistent. Il ne faudrait peut-être pas les négliger, bien au contraire, il faudrait les améliorer et apporter l'encadrement technique nécessaire aussi bien sur le plan de génie civil que sanitaire pour donner à nos populations cet élément eau si utile à la vie.

DISCUSSION

Mr LAKH résume les différents problèmes que pose actuellement l'utilisation des impluviums :

- détermination du coefficient de ruissellement dans le cas des aires de collecte naturelles ;
- durée de vie des installations ;
- prix de revient du m<sup>3</sup> d'eau ;
- traitement de l'eau.

Mr MANDINGUE. Il s'agit de recueillir l'eau de pluie. Il faut établir un bilan tenant compte des pertes par infiltration et évaporation. Comment seront équipés les bassins étudiés.

Mr CALES. Les bassins expérimentaux seront équipés d'un pluviomètre et d'un limnigraphe. On n'envisage pas d'installer un bac d'évaporation, la valeur de l'évaporation étant assez bien connue.

Mr COULIBALY demande des précisions sur les prix de revient de ces aménagements et les modes de puisage.

Mr CALES. Le prix de la main d'oeuvre n'est pas compté, les installations étant supposées réalisées en investissement humain. Des expériences menées par l'IRPED sous l'égide de l'UNICEF, il ressort un prix de

3.400 CFA	pour une citerne de 3 m <sup>3</sup>
12.000 CFA	pour une citerne de 6 m <sup>3</sup>
53.000 CFA	pour une citerne de 30 m <sup>3</sup> .

Le coût de l'aménagement de l'aire de collecte est très variable selon le type d'aménagement. Dans le cas de la réalisation d'un sol ciment, il faut 4 kg de ciment par m<sup>2</sup>. Pour remplir une citerne de 30 m<sup>3</sup> il faut un impluvium de 100 m<sup>2</sup> environ nécessitant 400 kg de ciment dont le coût peut être évalué à 8.000 CFA.

Pour ce qui concerne les moyens de puisage il est souhaitable d'équiper l'installation d'une pompe manuelle, type Japy, ABI ou BODIN.

Mr MBOUMBA demande si des études ont été faites sur la qualité de l'eau recueillie et les incidences sur la santé des consommateurs et en particulier des nouveaux nés. Il s'agit en effet d'eaux de pluie très peu minéralisées.

Mr VILLEMOT demande : -

- les résultats des expérimentations menées par l'UNICEF
- si une étude économique comparative a été faite entre les ressources souterraines et la collecte des eaux de pluie
- si une expérimentation pourrait être menée en Côte d'Ivoire sur ce type d'installation.

.../...

Mr CALES. Les résultats des expérimentations réalisées sous l'égide de l'UNICEF sont repris dans le rapport remis aux participants. Le CIEH pourrait cependant assurer la diffusion des rapports intégraux sous réserve de l'accord de l'IRFED et de l'UNICEF.

Pour ce qui concerne l'étude économique comparative, on a donné précédemment des chiffres sur les coûts d'investissement. Pour avoir le prix de revient d'un m<sup>3</sup> il faudrait connaître la durée de vie moyenne des installations. On ne dispose pas encore de données sur ce point. Un des objectifs des expérimentations qui vont être menées sera de déterminer cette durée de vie.

Il n'est pas possible de faire une comparaison avec le prix de revient de l'eau souterraine. En effet celle-ci varie considérablement en fonction de nombreux facteurs :

- profondeur de la nappe
- débit exploitable
- réalisation à l'entreprise ou en régie.

Le CIEH est disposé à mener une expérimentation en Côte d'Ivoire dans les conditions suivantes :

- le CIEH fournit les matériels de mesure (pluviomètre et limnigraphe) ainsi que les matériaux nécessaires à la réalisation de la citerne (bois et plastique) et de l'aire de collecte (éventuellement ciment)
- un organisme local prend la responsabilité de l'aménagement de l'aire de collecte (éventuellement) et de la construction de la citerne et de la maintenance des matériels de mesure pendant deux ou trois ans.
- le CIEH effectue le dépouillement des données enregistrées.

Mr TIAO. Un des points sur lesquels il convient de porter un effort est la détermination de la durée de vie de ces installations. Un autre point sur lequel on aimerait avoir des précisions est celui de la maintenance des ouvrages.

Enfin, avant de se lancer dans un programme de réalisation de ce type il faut s'assurer que ces installations sont bien adaptées au mode de vie des populations et qu'aucune autre solution plus classique ne peut être apportée au problème de l'alimentation en eau.

Mr ABOUKI. La collecte des eaux de pluie pour l'alimentation en eau potable intéresse la république populaire du Bénin.

En effet si le sud du pays dispose de ressources en eau souterraine satisfaisante, il n'en est pas de même du centre et du nord situés sur le socle cristallin. Les puits tarissent. Les services techniques envisagent de collecter les eaux de pluie sur des aires naturelles éventuellement aménagées (béton ou sol ciment).

La détermination de la dimension de l'aire doit être faite en tenant compte du coefficient moyen de ruissellement qui dépend lui-même de la nature du sol et de la répartition des pluies. Les services béninois souhaitent le concours du CIEH.

.../...

Mr AMADOU HALIDOU demande si on ne pourrait utiliser la technique de construction des citernes dans le cas des mares artificielles pour le bétail.

Mr MANDINGUE. Il ne faut pas perdre de vue que le type d'aménagement qui a été décrit est adapté à la solution d'un certain type de problème et qu'il est limité par diverses contraintes.

Mr CALES. En effet. Il faut tout d'abord rappeler que ce type d'aménagement doit pouvoir être réalisé en investissement humain. Ceci limite en particulier la dimension des citernes.

Il s'agit en outre sauf cas particulier d'un aménagement qui fournit un complément d'alimentation en eau.

Mr LAKH. On a évoqué l'aspect économique de ce type d'aménagement. En fait dans certaines régions en particulier au Sénégal, ce type d'aménagement constitue la seule et unique ressource ; c'est le cas des régions où la nappe est saumâtre.

La limitation de la capacité des citernes ne constitue pas un obstacle absolu. On peut en effet grouper les maisons par carré pour assurer la collecte et le stockage.

Il faut commencer par approfondir nos connaissances sur les ressources souterraines en qualité et quantité. Ces ressources seront utilisées en priorité dans tous les cas possibles. Dans les cas où ce ne sera pas possible on fera appel au stockage des eaux de pluie.

Mr ABOUKI demande si les participants ne pourraient pas recevoir l'ensemble des documents publiés par l'IRFED.

Mr CALES. Le CIEH essaiera de satisfaire cette demande.

**GESTION DES RESSOURCES EN EAU ET DEVELOPPEMENT  
DE L'ELEVAGE EXTENSIF**

GESTION DES RESSOURCES EN EAU  
ET DEVELOPPEMENT DE L'ELEVAGE EXTENSIF

RAPPORT INTRODUCTIF

par Michel CALES (C.I.E.H.)

Le développement économique de nombreux pays africains dépend pour une part importante de l'intensification de l'ensemble de leurs productions agricoles. L'élevage extensif constituant un des éléments importants parfois même prépondérants de cette agriculture on comprend que les gouvernements aient décidé que le développement de l'élevage serait une des options fondamentales des programmes de développement nationaux.

La sécheresse qui a sévi au cours des dernières années et les conséquences dramatiques qu'elle a eues sur le niveau des productions agricoles n'a fait qu'accentuer l'importance de cette option.

LA SITUATION DE L'ELEVAGE EXTENSIF. SES PERSPECTIVES D'EVOLUTION

L'élevage extensif africain est resté pour sa majeure partie traditionnel. Ceci se traduit en particulier dans le fait que cette activité économique s'est maintenue dans le cadre de l'économie de subsistance. Les éleveurs cherchent davantage à assurer leur sécurité qu'à accroître au maximum la valeur ajoutée de leur travail. Il y a à cela de nombreuses raisons d'ordre naturel, technique, économique ou social.

On peut constater cependant une évolution favorable due à l'action des pouvoirs publics. Le développement de l'élevage extensif est possible mais suppose que cette activité soit intégrée dans le secteur moderne de production.

Pour y parvenir il est nécessaire de mener toute une série d'actions dans les domaines de l'utilisation des ressources naturelles (en particulier l'eau et le fourrage), des techniques de production, de l'organisation administrative, de la commercialisation des produits, de la formation et de l'information des éleveurs.

La politique de gestion des ressources en eau constitue un élément important mais un élément seulement de cet ensemble.

UTILISATION DES RESSOURCES EN EAU

De nombreuses études et rapports ont été rédigés sur les problèmes que pose l'alimentation en eau du bétail dans les zones de transhumance. Il n'est pas dans notre propos de faire un exposé sur tous les aspects techniques sociaux et économiques de ces problèmes dont beaucoup ont d'ailleurs reçu une solution, au moins théorique.

.../...

Par contre il a paru intéressant de provoquer une confrontation des politiques adoptées par les différents états pour la gestion des ressources en eau pastorale, de rechercher les difficultés particulières auxquelles se heurte la mise en oeuvre de cette politique et d'évoquer les solutions qu'on peut envisager pour les résoudre.

Nous passons en revue ci-dessous un certain nombre de ces problèmes.

#### IMPLANTATION DES POINTS D'EAU

L'utilisation des pâturages est étroitement liée à celle des points d'eau dans les zones d'élevage extensif. Le nombre et la situation des points d'eau doivent être établis de manière que le troupeau n'ait pas à parcourir de trop grandes distances entre deux abreuvements successifs.

On estime que dans les conditions moyennes de la zone sahélienne les troupeaux peuvent se déplacer dans un rayon de 12 km autour des points d'eau ce qui suppose que ces points d'eau ne soient pas éloignés de plus de 24 km.

En contrepartie en tenant compte d'une charge de bétail de 1 bovin pour 10 ha et d'une consommation d'eau moyenne de 30 l par jour et par bovin, on peut déterminer le volume que doit pouvoir fournir le point d'eau soit 150 m<sup>3</sup>/jour.

Mais les chiffres précédents ne constituent que des moyennes autour desquelles les possibilités réelles peuvent varier sensiblement.

L'implantation des points d'eau dépend donc d'une bonne connaissance des capacités de charge des pâturages et des possibilités des ressources en eaux souterraines.

Mais en tout état de cause le développement de l'élevage suppose la multiplication des points d'eau tant pour assurer une meilleure utilisation des pâturages existants que pour l'utilisation de nouveaux pâturages actuellement inexploités.

Moyens d'exhaure. Le deuxième problème non moins important que pose l'alimentation en eau du bétail est celui des moyens d'exhaure. En effet les ressources en eaux superficielles sont rares dans les zones de transhumance et à l'exception de quelques grands cours d'eau pérenne, tarissent presque toutes enfin de saison sèche.

Les ressources souterraines <sup>sont</sup> par contre presque partout présentes. Elles ont en outre l'avantage d'être de qualité supérieure aux eaux superficielles le plus souvent polluées par les animaux eux-mêmes.

Mais ces ressources posent le problème de leur exhaure qui traditionnellement se fait soit à la main soit à l'aide de la traction animale (delou).

.../...

Ce problème de l'exhaure n'est pas spécifique à l'élevage, il se pose également pour l'alimentation humaine mais il faut voir que les débits ne sont pas les mêmes.

Si on revient aux chiffres déjà cités ci-dessus il faut pour alimenter un troupeau de 5.000 bovins un volume journalier de 150 m<sup>3</sup> soit un débit horaire de 7,5 m<sup>3</sup> pour une durée de pompage de 20 h.

Le débit moyen du puisage au delou avec traction animale étant de 4 à 500 l/h, on s'aperçoit que les moyens d'exhaure traditionnels constituent une sérieuse limitation à l'utilisation des points d'eau dans la mesure bien entendu ou ceux-ci peuvent fournir le débit nécessaire.

Les solutions consistent soit à équiper ces points d'eau de moyens mécaniques avec tout ce que cela suppose du point de vue de l'entretien des ouvrages, soit à multiplier les points d'eau en particulier dans les régions de socle cristallin où les débits unitaires sont faibles.

#### Gestion des ouvrages

Un autre problème également important est celui de la gestion des points d'eau. Il présente deux aspects.

Tout d'abord dans les zones où les pâturages supportent une charge élevée, une réglementation d'emploi des forages peut permettre d'éviter leur dégradation.

Une telle réglementation a été mise en oeuvre dans certains états. Elle peut prendre la forme soit d'une fermeture des points d'eau par rotation, soit d'une fermeture systématique pendant la saison d'hivernage, soit enfin de la mise en défens de certaines zones pendant l'hivernage.

Cette réglementation n'est, bien sûr applicable qu'aux points d'eau équipés de moyens mécaniques d'exhaure, qui entraînent la plus forte charge de bétail pour les pâturages voisins.

Un autre aspect sous lequel se pose le problème de la gestion des ouvrages d'hydraulique pastorale est celui de l'association nécessaire des éleveurs à cette gestion. Comme cela a déjà été dit, la gestion du point d'eau est étroitement liée à celle des pâturages voisins et du troupeau qui utilise ces ressources.

Si on n'associe pas les éleveurs à cette gestion, il apparaît difficile d'éviter les gaspillages actuels et d'utiliser au mieux les ressources hydrauliques et fourragères.

Une action dans ce domaine ne peut être envisagée au départ que dans des zones choisies car elle suppose un encadrement au niveau de l'unité de base que constitue l'ensemble d'un point d'eau et des pâturages qu'il dessert.

.../...

### Pâturages irrigués

Lorsque les ressources en eau sont abondantes et dans la mesure où une structure de gestion locale des ressources hydrauliques et fourragères a été créée, on peut envisager la création de pâturages irrigués. Mais celle-ci doit être précédée d'une sérieuse étude économique.

Ce type d'aménagement ne sera justifié que si la chaîne de commercialisation aval du bétail permet sa valorisation.

### RANCHES

Comme nous l'avons dit au début de ce rapport une politique de développement de l'élevage extensif suppose la mise en oeuvre de tout un ensemble d'actions qui permettent en particulier de commercialiser dans de meilleures conditions le bétail produit.

Un des maillons de cette chaîne est le ranch situé en limite de la zone de transhumance à peu de distance des points de consommation ou d'expédition où le bétail se reconstitue.

Les mêmes problèmes d'équipement hydraulique se posent ici mais avec une densité d'ouvrages plus élevée, compte tenu de l'intensification de l'élevage, de la densité plus élevée du bétail et de la nécessité de réduire les déplacements des troupeaux pour augmenter leur prise de poids.

Une étude approfondie des ressources en eau disponibles doit donc préciser l'implantation de ces ranches.

Tous les états qui se préoccupent du développement de leur élevage ont réalisé ou envisagent de créer de tels équipements.

### CONCLUSIONS

Comme nous l'indiquons au début de ce rapport, le problème de l'infrastructure hydraulique constitue un des éléments de la politique de développement de l'élevage extensif.

Le but final de cette politique étant d'intégrer cette activité dans le secteur économique moderne marqué par la recherche du profit maximum.

La politique d'utilisation des ressources hydrauliques pastorales qui est à la base de l'activité d'élevage peut largement aider à cette transformation.

### Remarque

Le présent rapport s'est inspiré, sur certains points d'une étude de la société d'études pour le développement économique et social (SEDES) intitulée "Rapport de modernisation de l'élevage en zone pastorale au Niger".

POLITIQUE HYDRAULIQUE  
DANS LA ZONE PASTORALE AU NIGER

par . ABDOU ASSANE (Directeur de l'Hydraulique)

INTRODUCTION

On distingue au Niger les deux zones d'élevage suivantes :

- Une zone sédentaire caractérisée par une cohabitation des éleveurs et des agriculteurs et où les problèmes d'abreuvement du bétail sont résolus assez facilement car les bêtes s'alimentent aux mêmes points d'eau que les populations sédentaires environnantes sauf en saison des pluies où le ravitaillement se fait généralement dans les mares.
- Une zone d'élevage transhumant caractérisée par un déplacement saisonnier des troupeaux, à la recherche de l'herbe et de l'eau avec une grande dispersion pendant la saison des pluies et une concentration autour des rares points d'eau pendant la saison sèche. Cette zone a été fixée au Nord des cultures par la loi 61-5 du 26 mai 1961. Elle s'étend environ sur 1.450 km de long sur 100 à 300 km de large. Occupée par environ 70.000 personnes appartenant à diverses ethnies dont les principales sont les Peulhs et les Touaregs, cette zone présente des ressources fourragères exploitées par des troupeaux (généralement des bovins) toujours en mouvement d'amplitudes variables et liées principalement à l'infrastructure hydraulique mise en place.

L'importante place qu'occupe l'élevage dans l'Economie Nationale a amené le Niger à retenir dans les priorités la mise en valeur de la zone pastorale.

I - LES RESSOURCES EN EAU

1/ Les nappes : les principales nappes de la zone pastorale sont les suivantes :

- a) les nappes de la base du continental intercalaire libre ou sous pression (nappes des grès dits d'Agadès)
- b) les eaux de la série du Tégama ou du Continental Intercalaire. Continental Hamadien, dont l'épaisseur est estimée entre 500 et 600 m s'étendant sur toute la partie pastorale sauf aux abords de l'Aïr et dans le bassin du Lac Tchad. Les débits spécifiques atteignent 15 m<sup>3</sup>/h/m.
- c) Les eaux du crétacé moyen et supérieur et du paléocène de moindre importance.
- d) les nappes du Continental terminal de débits spécifiques variant de 0,5 à 6 m<sup>3</sup>/h/m.

.../...

o) les nappes alluviales d'épaisseurs en général réduites.

2/ les points d'eau existants :

Les points d'eau que l'on rencontre dans cette région sont de types suivants :

1) les mares :

Les mares jouent un rôle important dans l'abreuvement du bétail car pendant l'hivernage les stations de pompage demeurent fermées et les troupeaux n'ont comme point de ravitaillement que ces mares parmi lesquelles rares sont celles qui ont encore de l'eau en novembre.

2) Puisards :

On appelle communément au Niger puisards, de simples trous de quelques mètres de profondeur, rarement plus de 10 m, creusés dans le revêtement quaternaire et exploitant le plus souvent des nappes du quaternaire bien connues des nomades.

Ces points sont généralement temporaires.

On peut distinguer d'après leur durée :

- puisards permanents creusés tous les ans mais suffisants pour la soudure.
- puisards creusés tous les ans mais n'amenant pas à la soudure.

3) les puits : se distinguent des puisards :

- par leur profondeur en générale plus grande
- par le fait qu'ils exploitent une nappe permanente et d'extension importante.
- par leur longévité.

Les puits traditionnels construits généralement par les populations du Sud vivant avec les nomades sont généralement cuvelés en bois ou en pierre et peuvent atteindre des profondeurs de l'ordre de 50 m.

- Le puits cimenté construit généralement par l'Administration diamètre 1,40 et 1,80 m, généralement un par site sur les parcours des nomades.

- Les débits sont généralement de l'ordre de 5 m<sup>3</sup>/h.

4) les stations de pompes pastorales comprennent un forage, un équipement d'exhaure mécanique, etc, (voir schéma annexe).

Les stations de pompage sont ouvertes selon un calendrier établi par les responsables locaux et l'OFEDS. Les débits d'exploitation sont de l'ordre de 20 m<sup>3</sup>/h. On dénombre une quarantaine de stations de pompage.

.../...

5) Les forages - puits :

Les forages ne présentant pas un débit suffisant pour justifier une station de pompage sont transformés en puits-forages pour permettre l'exhaure selon les moyens traditionnels dont disposent les nomades.

6) Les forages artésiens :

Environ 35 forages artésiens sont pastoraux et concernent les zones du Manga (Est du pays) et la plaine de l'Irhazer (Nord-Ouest).

7) Les mares artificielles et les barrages :

Ces derniers sont absents dans cette région (1 seul barrage). Les sites intéressants sont peu nombreux.

Ainsi donc plusieurs programmes se sont succédés pour doter la zone nomade de l'infrastructure hydraulique indispensable pour le développement de l'élevage. Ces programmes qui sont généralement localisés ne sont en fait que des solutions partielles et il a été établi au cours de ces dernières années que les modifications apportées dans la zone pastorale par certains équipements (stations de pompage notamment) entraînent parfois des perturbations allant à l'encontre du but recherché car tout autour de ces points d'eau à des distances dépassant une dizaine de km, il n'y a plus aux périodes de soudure un brin d'herbe.

C'est ainsi que le Gouvernement a estimé indispensable de procéder à une vaste étude portant sur l'ensemble de la zone pastorale et destinée à redéfinir la meilleure association eau-pâturage-bétail pour le développement de ce secteur prioritaire qu'est l'élevage.

Cette étude qui s'est déroulée de 1969 à 1973 a consisté en des missions d'experts hydrogéologues (BRGM), zootechniciens, agrostologues (IEMVT), et socio-économistes (SEDES) ayant collaboré avec les services techniques Nigériens pour :

- établir l'inventaire potentiel de la zone pastorale. C'est-à-dire de ses ressources en eau, pâturage et bétail.
- évaluer les besoins à satisfaire pour mieux exploiter ce potentiel.

Le rapport de synthèse remis en septembre 1973 par la SEDES présente un ensemble d'options pour la mise en oeuvre d'une politique cohérente du développement de l'élevage ainsi qu'un programme complet d'équipement à réaliser dans le cadre d'un projet de modernisation de l'élevage en zone pastorale.

## II - INFRASTRUCTURE HYDRAULIQUE A ENVISAGER

L'infrastructure hydraulique sur l'ensemble de la zone pastorale demeure l'ossature indispensable pour la mise en oeuvre de cette zone. Un programme de construction de points d'eau tenant compte des données hydrogéologiques, agroclimatologiques et zootechniques a donc été proposé au Gouvernement.

.../...

Il concerne toute la zone pastorale sur le plan de l'équipement hydraulique, cependant pour préciser les conditions de gestion du potentiel eau-pâturage-bétail à partir de cette infrastructure hydraulique il est recommandé de tester dans des "zones d'intervention" le fonctionnement d'une structure assurant la participation des éleveurs intéressés.

- dans tous les cas, en dehors des "zones d'intervention", le type de captage proposé est celui entraînant le moins de charges récurrentes et assurant une bonne répartition des troupeaux : le puits est ainsi préféré au forage-puits et celui-ci à la station de pompage ;

- dans les "zones d'intervention" (ou de modernisation pastorale) c'est le souci de l'utilisation optimale des ressources hydrauliques qui prévaut : la création de ressources fourragères nouvelles par pleine utilisation des débits des points d'eau implique l'adaptation des moyens d'exhaure correspondant à chaque débit pour chacune des infrastructures hydrauliques envisagées ; la dissociation des fonctions d'exhaure et d'utilisation apparaît alors nécessaire ;

- la station de pompage n'est retenue que pour certains forages de bons débits existant déjà dans les "zones d'intervention" du Sud Tamesna et de Tégira.

Les autres stations de pompage pour lesquelles le niveau de pompage est inférieur à 60. 65 m seraient transformées en forage-puits ;

- les forages-puits seront conçus pour pouvoir être aménagés ultérieurement en stations de pompage si les besoins économiques le justifiaient.

Le choix des "zones d'intervention" a été déterminé par la recherche d'une représentativité de l'ensemble de la zone pastorale, pour permettre ultérieurement l'extension des actions éprouvées.

Ces zones sont :

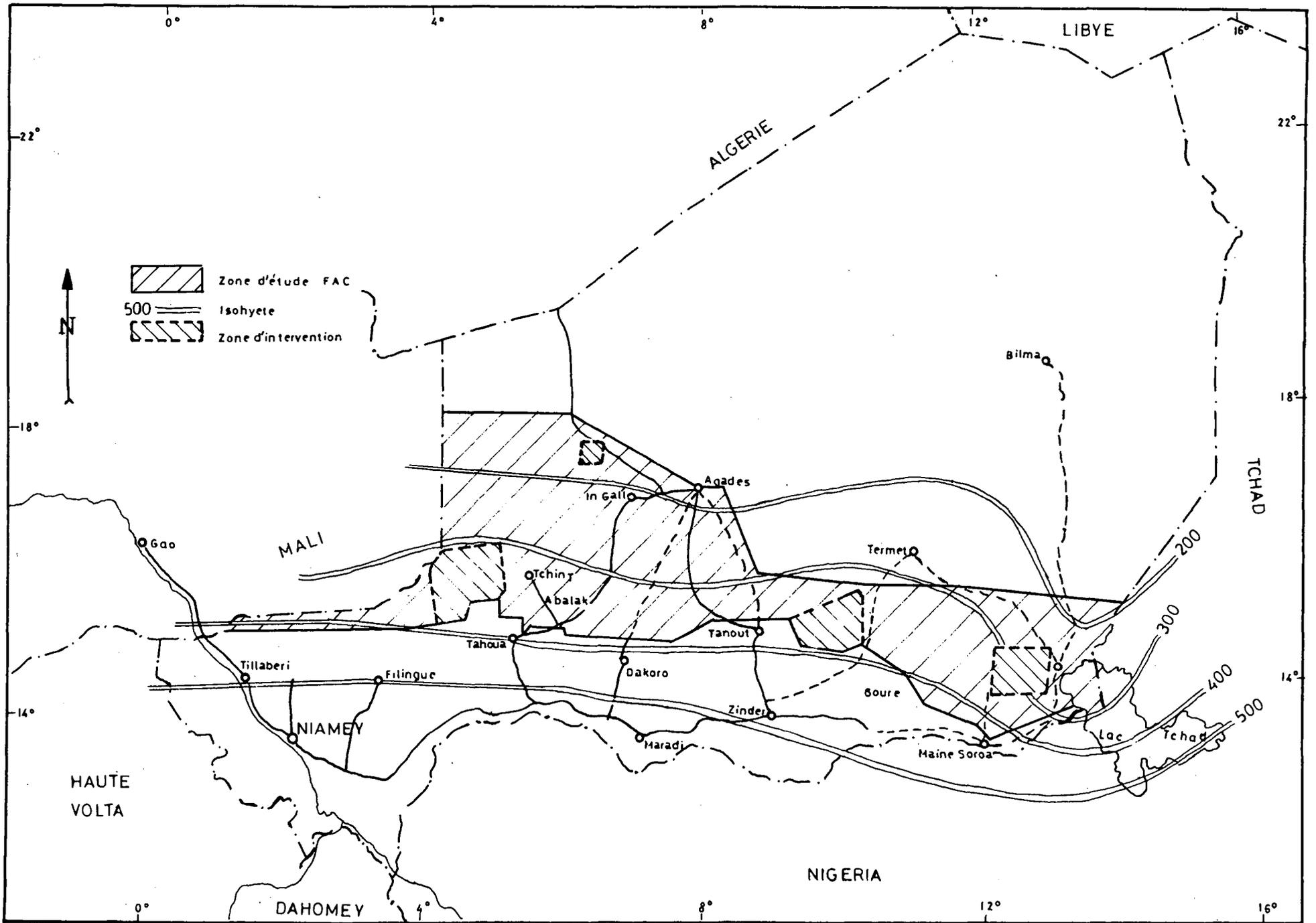
- à l'ouest, la zone du "Sud-Tamesna"
- au nord, la zone "In Gouchoul" (Irhazer)
- au centre, la zone "Tégira" (Projet PNUD - Nord Gouré)
- à l'est, la zone "Kadzel - Manga".

Le type des ouvrages hydrauliques à réaliser a été déterminé en fonction :

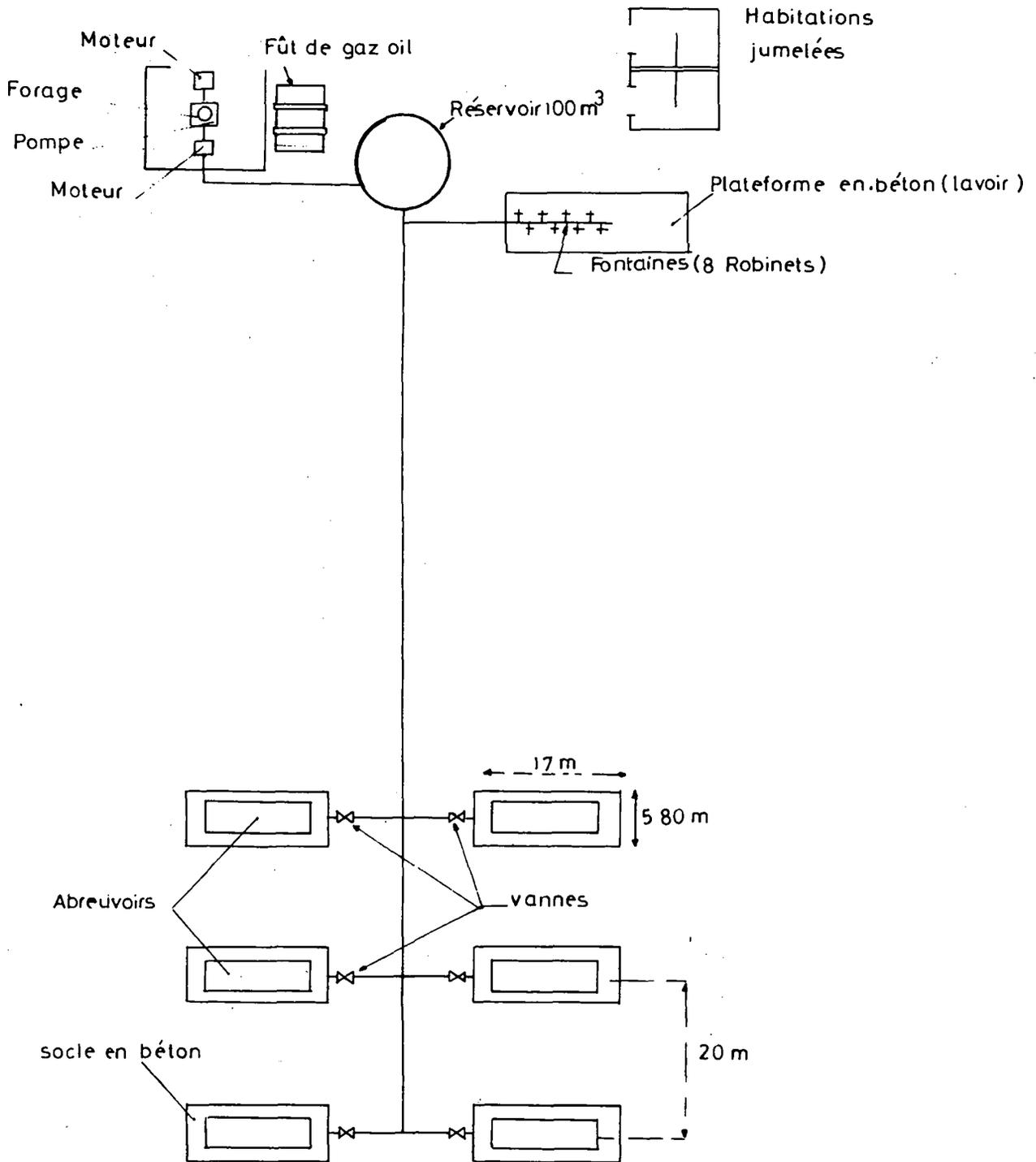
- des ressources hydrauliques des différentes nappes souterraines réparties en cinq "domaines hydrauliques" définis par rapport aux conditions de gisement des nappes exploitables (domaine occidental, l'azaouak, centre Nigérien, Manga et plaine de l'Irhazer).

- des objectifs d'utilisation dans les "zones d'intervention" où seront entreprises des actions d'intensification des productions animales et fourragères (ces dernières après expérimentation) des moyens d'exhaure modernes seront mis en oeuvre sur des ouvrages fournissant les plus grands débits possibles sans charges financières excessives.

.../...



# SCHEMA D'IMPLANTATION D'UNE STATION



- partout ailleurs l'exhaure traditionnelle sur les puits ou les forages-puits resterait la règle, avec pour seul objectif l'abreuvement des troupeaux :

- puits "FED" et forages-puits de 1,8 m de diamètre
- puits filtrants (Manga) de 1 m de diamètre.

Ce programme de création d'infrastructure hydraulique en zone pastorale (217 ouvrages prévus) estimé à plus de 2 milliards permettra, s'il est réalisé, d'améliorer les conditions de vie des éleveurs nomades semi-nomades par la transformation de leur milieu et d'accroître le revenu de l'élevage par la modernisation des techniques d'exploitation du cheptel.

**LE DEVELOPPEMENT DES CONSOMMATIONS D'EAU  
DANS LES RESEAUX PUBLICS DE DISTRIBUTION D'EAU  
POTABLE**

LE DEVELOPPEMENT DES CONSOMMATIONS D'EAU DANS  
LES RESEAUX PUBLICS DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE

RAPPORT INTRODUCTIF

par Michel CALES (C.I.E.H.)

Une des conditions de base indispensable, de l'élevation du niveau de vie des populations de nos pays est l'amélioration de leur alimentation en eau. Ce problème est d'une ampleur et d'une urgence telle que les organismes de la famille des Nations-Unies, tels que l'OMS et l'UNICEF l'ont placé au premier rang de leur<sup>s</sup> préoccupations.

Il se pose avec acuité dans les zones rurales mais également dans les agglomérations et en particulier dans les agglomérations secondaires et les quartiers populaires des grandes villes. L'exode rural qui frappe tous nos pays contribuera à donner à ce problème une importance particulière au cours des années à venir.

La garantie d'une alimentation de ces populations agglomérées avec une eau de qualité et de quantité satisfaisantes ne peut être apportée que par des réseaux publics de distribution d'eau. La réalisation de ces réseaux favorise dans le même temps l'implantation d'activités nouvelles agricoles, industrielles ou commerciales qui participent à leur tour à l'accroissement du niveau de vie des populations. Aussi les états africains ont-ils entrepris depuis de nombreuses années la construction de tels équipements.

Malheureusement si dans les grandes agglomérations les installations de distribution d'eau sont rentables et se développent à un rythme satisfaisant, il n'en est pas de même dans les agglomérations secondaires ni dans les quartiers populaires des grandes villes où vivent des populations à revenus très modestes. Les usagers continuent de faire appel aux points d'eau traditionnels : puits, marigots, ... dont les conditions sanitaires sont presque toujours très mauvaises.

Le présent rapport a pour but d'analyser les difficultés auxquelles se heurte le développement des réseaux public dans ces quartiers et d'essayer d'y apporter des solutions.

DIFFICULTES LIEES A L'INSUFFISANCE D'INFORMATION DES ADMINISTRATIONS DES  
ELUS, DES COLLECTIVITES LOCALES ET DU PUBLIC

Au premier rang de ces difficultés il faut citer l'ignorance du public sur les problèmes de santé et de bien être liés à la consommation d'eau. Un grand effort d'information doit être accompli dans ce domaine qui doit toucher non seulement les utilisateurs mais également les responsables de l'administration, les élus, les collectivités locales, les industriels...

Ce même large public doit être mieux informé du prix de revient de l'eau potable. Il faut le convaincre que l'eau potable n'est pas un bien gratuit ni illimité. Il faut également lui faire comprendre que la sécurité

.../...

de l'alimentation se paie. L'information du public peut prendre toutes les formes possibles : brochures, articles dans les journaux, conférences, projections de films, éducation, radio, télévision.... Il peut être intéressant d'associer le secteur privé (fabricants de canalisations et robinetterie, pompes, installation de traitement des eaux) à cet effort d'information.

La distribution gratuite d'eau soit aux particuliers (bornes-fontaines publiques) soit à certaines collectivités (municipalités, hôpitaux, écoles, ...) est à proscrire. Elle entraîne en effet un gaspillage inadmissible. Une forme de distribution gratuite également à proscrire est celle qui consiste à faire payer par la collectivité (commune, canton...) l'eau consommée aux bornes fontaines publiques. Le gaspillage est le même.

Une formule qui par contre paraît intéressante est celle adoptée dans certains pays, et qui consiste à vendre l'eau de ces bornes. Un fontainier est chargé de la surveillance et éventuellement de l'entretien de la borne et perçoit sur les usagers une redevance dont le plafond est fixé par la société des eaux. Cette formule outre qu'elle permet à une importante fraction de la population (une borne fontaine peut desservir un cercle de 200 à 250 m de rayon) de bénéficier d'une eau de qualité, supprime certaines formes d'exploitation des familles pauvres, soit par les familles plus aisées disposant d'un branchement soit par les revendeurs d'eau. L'utilisation des bornes fontaines ne doit constituer qu'une étape vers la généralisation des branchements individuels ; mais cette étape est indispensable dans le cas des populations à faible niveau de revenus.

Dans le cas très général où la gestion du service des eaux est concédée à une société publique, semi publique ou privée, il faut que l'autorité de tutelle soit tenue informée régulièrement de l'activité de la société et de ses difficultés, tant sur le plan technique qu'administratif, sanitaire ou financier.

En contrepartie, l'autorité de tutelle doit tenir compte du caractère industriel et commercial du service des eaux et des impératifs financiers et commerciaux auxquels il est soumis.

#### DIFFICULTES LIEES A LA GESTION DU RESEAU

La gestion des réseaux publics de distribution d'eau est en général confiée à une société nationale qui a compétence sur l'ensemble du pays. Le premier souci de cet organisme est de rationaliser la gestion pour porter l'efficacité au niveau maximum et donc réduire au minimum le prix de revient de l'eau.

On conçoit que les techniques modernes de gestion et la centralisation puissent s'appliquer sans difficultés au cas des réseaux des grandes villes.

Il n'en est pas de même pour les centres secondaires. Une certaine décentralisation de la gestion et des responsabilités peut seule garantir la souplesse indispensable à la gestion de ces réseaux.

.../...

DIFFICULTES D'ORDRE FINANCIER

Il est certain qu'un des principaux obstacles au développement des consommations d'eau à partir des réseaux publics est d'ordre financier.

Les frais de location d'un compteur (200 CFA par mois environ) de pose d'un branchement particulier (20 à 40.000 CFA) et le prix des consommations d'eau (50 à 100 CFA/m<sup>3</sup>) représentent une charge lourde pour une famille à revenus modestes.

Les solutions peuvent être recherchées dans plusieurs directions :

- fractionnement de certaines charges ; on peut inclure le prix du branchement dans le prix d'un m<sup>3</sup> d'eau grâce à une surtaxe ;
- mise au point de tarifications incitatives pour les petits consommateurs ;
- répartition du déficit de gestion des réseaux non rentables sur la gestion des réseaux plus rentables.

L'adoption de telles mesures ne doit pas dispenser les responsables de la distribution de l'eau de connaître le prix de revient réel de l'eau. Si des mesures transitoires peuvent être prises pour permettre à certaines exploitations de réseaux de franchir des périodes difficiles il n'en reste pas moins vrai qu'il faut tendre à plus long terme vers la vérité des prix qui seule permet d'aboutir à une gestion saine de ces exploitations.

Une autre difficulté est celle de la juste appréciation des investissements (ouvrages de prise et de traitement, réseau...) à réaliser pour **satisfaire** à échéance assez lointaine les besoins prévisibles sans pour autant charger excessivement du point de vue financier la gestion des premières années. La solution dans ce cas ne peut venir que d'une bonne connaissance de l'évolution des consommations par type d'utilisateurs, type d'habitats... et d'une comparaison technique et économique des diverses solutions techniques possibles.

CONCLUSION

Le développement des réseaux publics de distribution d'eau potable est une des conditions de base indispensable à l'accroissement du niveau de vie des populations.

Pour y parvenir, il faut recourir à toute une gamme de mesures d'ordre administratif, financier et social. De toutes ces mesures, la plus importante est l'information, la sensibilisation non seulement du grand public mais également de tous ceux qui, à tous les échelons et dans tous les domaines d'activité, sont directement ou indirectement intéressés par ces problèmes.

CAMPAGNE PUBLICITAIRE D'INCITATION  
AUX BRANCHEMENTS D'EAU POTABLE EN HAUTE-VOLTA

par MM J.G. YAMEOGO et J.P. RIUTORT

(Société Nationale des Eaux)

1°/ - APERCU SUR LA S.N.E.

La Société Nationale des Eaux à laquelle nous appartenons est une société d'économie mixte à qui l'Etat voltaïque a confié depuis le 1er Janvier 1970 la gestion de ses réseaux d'adduction d'eau. Cette gestion est régie par un contrat de gérance qui lie à la fois la SNE et l'Etat voltaïque. Et selon ce contrat, l'Etat conserve la pleine propriété des installations publiques et la maîtrise de leur développement, tout en confiant cas par cas à la SNE la responsabilité de la mise en oeuvre de certains investissements et celle du remboursement des emprunts qu'ils occasionnent.

Aussi donc la SNE est-elle chargée de gérer les réseaux d'adduction d'eau des sept (7) principaux centres suivants :

- OUAGADOUGOU
- BOBO-DIOULASSO
- BANFORA
- KOUDOUGOU
- OUAHIGOUYA
- KAYA et
- DORI.

Les réseaux de ces centres ont été financés sur subventions et sur emprunts.

Les sources de financement sont généralement l'Etat et les organismes financiers extérieurs.

En ce qui concerne ces organismes de financement, rappelons qu'ils ont financé surtout les grosses infrastructures à savoir retenues d'eau, stations de pompage, réservoirs de stockage et grosses conduites de diamètres souvent supérieurs à 200 mm. De ce fait on a eu tendance à vouloir rentabiliser immédiatement ces investissements en ne desservant que les secteurs administratifs et les quartiers résidentiels, laissant ainsi pour compte les quartiers très peuplés à faibles revenus.

La SNE avec le concours de l'Etat s'efforce d'inverser cette tendance. Ce qui l'amène à étudier et à réaliser des projets ayant pour but essentiel la desserte de ces quartiers à forte densité et à faible revenus. De récents prêts conjoints de la Caisse Nationale des Dépôts et des Investissements (C.N.D.I.) de Haute-Volta, et du Gouvernement danois au Gouvernement voltaïque permettent la mise en oeuvre des projets d'extension des réseaux dans les principaux centres. Ces extensions vont consister surtout à poser dans les quartiers à forte densité des conduites PVC de coûts relativement moindres, et de diamètre allant de 75 mm à 160 mm. Le maillage de

.../...

ces quartiers par de petits diamètres de prix par conséquent moins élevés permettra de toucher près d'une rue sur deux dans ces quartiers.

Et c'est au vu de ces réalisations en cours, que la campagne a été décidée afin d'inciter les habitants de ces quartiers à avoir un branchement d'eau potable à domicile.

## 2°/ - BUTS VISES PAR CETTE CAMPAGNE

Comme nous le disions plus haut, les premiers investissements (sur subvention pour la plupart) ont surtout profité aux quartiers administratifs et résidentiels ; si bien que la grande masse des centres urbains a souvent cru que les branchements d'eau potable étaient le privilège des habitants de ces quartiers. Il est à noter aussi qu'éloignés de ces grosses conduites généralement en fonte, le coût du branchement était tel qu'ils étaient handicapés.

Et contrairement à l'opinion qui admet généralement que le facteur limitant de la consommation d'eau potable des réseaux et le prix de l'eau, nous vous rappelons brièvement qu'en 1968, au temps de l'ancien gérant, la Voltelec, l'Etat voltaïque sur demande de ce gérant a porté le prix de l'eau de 50 à 69 frs (62frset 55 frs tarifs dégressifs pour les gros consommateurs tels les industries) dans les centres de Ouagadougou et Bobo-Dioulasso, et de 50 à 125 frs (tarif unique) pour les autres centres.

Cette augmentation n'a pas pour autant freiné la consommation. Et vous pouvez le constater sur les courbes de croissance des différents centres (à votre disposition dans cette <sup>salle</sup> exception faite du centre de Ouahigouya dont le phénomène paraît anormal et peu explicite). Le principal facteur limitant est et demeure le coût du branchement qui habituellement tourne autour de 60.000 Frs. Il n'est pas rare de voir des branchements coûter de 100.000 à 500.000 Frs pour une population urbaine dont le revenu ne dépasse guère 13 à 20.000 Frs par mois. L'expérience du centre de Bobo-Dioulasso vient corroborer notre assertion. En effet, dans cette localité qui a bénéficié des projets d'extension de réseaux sur prêts allemands en 1973 et 1974, nous avons lancé une pareille campagne de moindre envergure. Et cependant tous les pronostics ont été battus en brèche : sur 600 clients escomptés nous sommes vite arrivés à 1.300, et encore nous avons limité le nombre faute de tuyaux disponibles.

Les projets en cours vont donc nous permettre de faire baisser le coût du branchement par le fait que les conduites maîtresses passeront désormais dans les quartiers populaires et pratiquement devant chaque concession. Le propriétaire de cette concession n'aura plus qu'à tirer une antenne de petit diamètre pour desservir sa parcelle.

Individuellement, ce branchement peut néanmoins poser des problèmes à certains de revenus encore plus modestes. Aussi, un des buts de la campagne est de les inviter à se regrouper le plus possible afin de faire baisser encore plus le coût des branchements (se référer au document "Résumé des Projets et cadre de publicité proposé" 29 avril 1975, annexé au présent exposé). Nous escomptons en moyenne ramener ce coût de 60.000 à 30.000 Frs soit un gain fort appréciable de 50 %. Et nous allons

leur faciliter le paiement soit en les orientant vers un organisme de crédit tel que la Banque Nationale de Développement (BND), soit en leur permettant de ne verser au gérant que la moitié de leur dû et les 50 % restants étalés sur plusieurs mois.

Le but essentiel de notre campagne est l'accès massive de la population à ces branchements à moindres coûts. Les quartiers populaires seront ainsi mieux desservis pour le plus grand bien de la population surtout sur le plan de l'hygiène, car bon nombre de maux dont elle souffre restent d'origine hydrique. Les puits traditionnels et les latrines se cotoyant d'une manière quasi permanente.

Un des buts non moins essentiels de cette campagne est de mettre l'eau potable à la portée de tous, en vulgarisant le branchement et ôter de l'esprit des gens que ces installations d'eau sont le privilège de quelques nantis. Tout le monde y a droit sans exception.

### 3°/- LES MOYENS MIS EN OEUVRE

Cette campagne sera menée par :

- 1) voie "parlée"
  - 2) voie "écrite"
- et 3) éventuellement par voie "télévisée et cinématographique".

L'accent sera mis essentiellement sur les deux premières voies.

La voie "parlée" se fera par diffusions radiophoniques dont nous vous invitons à écouter quelques extraits à la fin de cet exposé. Il est prévu aussi la diffusion publicitaire par des crieurs publics.

Les diffusions radiophoniques se feront en français avec une introduction de M. le Ministre des Finances GARANGO Tiémoko Marc puis dans les langues nationales à savoir le Moré et le Dioula. Les flashes n'excédant généralement pas plus de 1 minute 30 secondes. Les flashes trop longs risquent d'ennuyer l'auditeur.

La voie "écrite" consistera à l'impression et la diffusion de tracts, d'affiches et de calendriers. Quelques spécimens sont à votre disposition dans cette salle. Les journaux locaux, les factures clients, les tableaux d'affichage dans les lieux publics serviront de supports. La distribution se fera par les élèves des écoles primaires et secondaires.

Quant à la 3<sup>o</sup> solution, c'est à dire la voie télévisée et cinématographique, aucune option n'a encore été prise, ce en raison de son coût trop élevé, si bien que nous regrettons de ne pouvoir vous en parler.

Néanmoins, les premières solutions qui seront usitées ne coûteront pas moins de 5 millions de francs CFA.

### 4°/- VILLES BENEFICIAIRES DE CETTE PUBLICITE SUR LES BRANCHEMENTS

A l'exception de Bobo-Dioulasso qui a déjà bénéficié d'une opération semblable en 1973 et 1974, tous les habitants des six autres centres à savoir :

.../...

- Ouagadougou
- Banfora
- Koudougou
- Ouahigouya
- Kaya et

- Dori seront touchés par la présente campagne publicitaire et leurs habitants invités à faire connaître leurs besoins soit en se présentant aux bureaux de la S.N.E. de leur centre respectif (où toutes les données seront recueillies) soit en répondant à domicile aux questions qui leur seront posées par les élèves des écoles chargés de recueillir les données, soit enfin en répondant eux-mêmes par écrit (fiche individuelle) et acheminer leur courrier par voie postale.

#### 5°/ - RECUEIL DES DONNEES

Chaque propriétaire de parcelle dans chacune de ces localités, désireux d'avoir un branchement est invité à nous faire connaître son nom, prénom, adresse, n° du lot, n° de la parcelle, et désidérata etc..., doit nous fournir tous les éléments indispensables à la localisation de sa concession et nous permettre de calculer approximativement ses besoins en eau. A cet effet, le nombre de personnes à charge serait nécessaire.

Une fois que nous serons en possession de ces données, nous les transcrivons sur les plans de chaque ville. Et suivant la densité de répartition des demandeurs, nous décidons alors de poser une conduite dans telle rue et nous évaluons les montants des devis de branchement. Une fois que le client nous aura donné son accord sur le montant du devis porté à sa connaissance nous passerons alors à la phase de réalisation.

#### 6°/ - CALENDRIER DE CETTE CAMPAGNE

Une fois que les marchés des travaux auront été signés et notifiés aux entrepreneurs adjudicataires, la campagne débutera aussitôt et durera trois mois environ.

Vu l'état d'avancement des appels d'offres, nous espérons être en mesure de lancer cette campagne au début de l'année 1976.

#### 7°/ - CONCLUSION

Notre vœu est que cette campagne réussisse à l'image de Bobo-Dioulasso et que nous aboutissions à un mieux être des populations desservies qui est le but que l'Etat voltaïque a assigné à la Société Nationale des Eaux. Que notre exemple soit suivi, adapté et amélioré par les Etats voisins, et nous n'en serions que mieux flattés, et nous vous exprimons par avance toute notre gratitude.

Novembre 1975

CAMPAGNE PUBLICITAIRE D'INCITATION  
AUX BRANCHEMENTS D'EAU POTABLE EN HAUTE-VOLTA

Annexe 1

1. - RECAPITULATIF DES PROJETS D'ADDUCTION D'EAU POTABLE A REALISER

I - PRET DANOIS

Par convention du 8 février 1973, le Royaume du Danemark a mis à la disposition de la Haute-Volta un prêt de 20 (vingt) millions de Couronnes danoises soit environ 750 millions de F CFA pour la réalisation de ses objectifs de développement économique. Ce prêt ne porte pas d'intérêts et est remboursable en 25 ans avec un différé de 10 ans.

Le Gouvernement de la Haute-Volta a alors permis à la SNE (convention du 8 mai 1974) de disposer de ce crédit pour ses projets d'extension de réseaux à travers les 6 centres suivants :

- OUAGADOUGOU
- BANFORA
- KOUDOUGOU
- OUAHIGOUYA
- KAYA
- DORI

a) OUAGADOUGOU

Le prêt servira à étendre le réseau de canalisations à travers la ville et plus particulièrement dans les quartiers les plus défavorisés.

Il y aura environ une conduite toutes les deux (2) rues dans la mesure du possible.

Nous comptons poser ainsi près de 100 km de tuyaux de diamètre allant de 75 mm à 300 mm. La majeure partie des conduites sera des tuyaux plastiques. Le reste sera de la fonte.

En plus de ces tuyaux, il est prévu de doubler la capacité de la station de traitement. La capacité serait portée à près de 24.000 m<sup>3</sup>/jour. La consommation journalière actuelle de OUAGADOUGOU aux mois les plus chauds est de 10 à 14.000 m<sup>3</sup>.

Sur ce même crédit nous prévoyons aussi la construction d'un château d'eau à l'est de la ville.

b) BANFORA

A BANFORA, il y aura la pose de près de 13 km de conduites de 250 mm de diamètre. Ce sont les anciens tuyaux de refoulement de BOBO-DIOULASSO. Les pièces de raccords et robinetterie seront achetées dans le cadre de ce prêt. Ces tuyaux amèneront l'eau de la COMOE à BANFORA. L'eau sera traitée à BANFORA.

A cet effet une station de traitement y est prévue. L'extension du réseau s'y fera également.

c) KOUDOUGOU

Extension du réseau pour lequel un projet d'adduction à partir de la Volta Noire est en bonne voie.

d) OUAHIGOUYA

Construction d'un troisième puits, son équipement en pompe et tuyaux de refoulement, extension du réseau.

e) KAYA

Construction d'un troisième puits, son équipement en pompe et tuyaux de refoulement, extension du réseau en prévision de l'implantation dans cette ville de la future gare ferroviaire.

f) DORI

Construction d'un troisième puits, son équipement en pompe et tuyaux de refoulement, extension du réseau.

Il est bon de souligner que ce prêt danois est un prêt lié qui fait obligation à la Haute-Volta de s'approvisionner pour les 3/4 en équipements, matériels et matériaux au DANEMARK même.

II - PRETS DE LA CAISSE NATIONALE DE DEPOTS ET D'INVESTISSEMENTS (CNDI)

Afin de compléter le prêt danois dont le montant ne suffira pas à couvrir tous nos besoins, la SNE a sollicité des prêts à la CNDI, qui pour son premier exercice a bien voulu nous accorder 350 millions de F CFA se repartissant ainsi :

1°/ un prêt à long terme de 150 millions pour le financement des conduites maîtresses à OUAGADOUGOU et à BANFORA.

2°/ un prêt à moyen terme de 100 millions pour la construction de deux décanteurs dont l'un à OUAGADOUGOU et l'autre à BANFORA.

3°/ un prêt à moyen terme de 50 millions pour la construction d'un château d'eau au sud de la ville de OUAGADOUGOU afin de desservir la zone pilote de CISSIN, et mieux assurer l'alimentation des quartiers sud de la ville.

4°/ un prêt à moyen terme de 50 millions pour faciliter le financement des branchements de la population des six (6) centres suivants :

.../...

- OUAGADOUGOU
- BANFORA
- KOUDOUGOU
- OUAHIGOUYA
- KAYA
- DORI

Il est bon de rappeler que BOBODIOULASSO a bénéficié en 1972-73-74 et 75 des travaux similaires sur prêt allemand et subvention FED.

B - BUTS VISES PAR LA PRESENTE CAMPAGNE DE SENSIBILISATION DE LA POPULATION

Les buts que nous nous sommes fixés d'atteindre sont :

1°/ Faire savoir à toute la population que toute personne désireuse d'avoir de l'eau chez elle peut en faire la demande auprès des guichets de la SNE. La SNE se chargeant de lui établir un devis. Une fois que le client en aura versé le montant, les travaux sont automatiquement exécutés sans autres formalités. Tout le monde y a droit sans exception.

2°/ Dans le souci d'alléger la part de chaque contribuable pour son branchement dont le montant souvent handicapé, le Gouvernement a fait des efforts remarquables auprès des différentes sources de financement et sur sa trésorerie propre pour doter la plupart de nos centres importants d'une infrastructure en matière d'alimentation en eau potable. Ainsi donc sommes-nous amenés à faire connaître à la population que les efforts de notre Gouvernement n'ont pas été vains et que grâce à ces efforts bientôt la population pourra bénéficier de branchements bon marché.

Rappelons que les devis de branchements dépassaient parfois le demi-million ce qui est un handicap sérieux pour nos populations à faible revenu. En dehors de ces cas qui sont relativement rares, le prix d'un branchement est en moyenne supérieur à 60.000 F y compris la police d'abonnement, frais de timbres, etc...

3°/ Contrairement à ce que nous faisons habituellement, c'est-à-dire que le client paie la totalité de son branchement avant le commencement des travaux, nous ferons en sorte que le client ne paie que la moitié de son branchement avant les travaux et les 50 % restants à tempérament avant la fourniture d'eau. Ce qui lui donne un délai de près d'un an pour s'acquitter de la totalité de son branchement dont le prix moyen va être abaissé grâce au concours de tous ces projets.

4°/ Nous souhaiterions rappeler à la population qu'une opération de ce genre a déjà eu lieu à BOBO-DIOULASSO de 1970 à 1974 et les effets bénéfiques continuent et continueront à se faire sentir dans les prochaines années. Le succès de cette opération a largement dépassé nos espoirs. Initialement nous ne comptions que sur 600 nouveaux abonnés. Ce chiffre a été pulvérisé, puisque nous avons eu 1.300 nouveaux abonnés dont le prix moyen de branchement est passé de 55.000 F à 30.000 F CFA.

.../...

5°/ Dans ce genre d'opération nous voudrions attirer l'attention de la population qu'elle pourrait faire baisser encore le prix du branchement en se regroupant au lieu de solliciter des branchements individuels.

A cet effet, nous avons pris trois exemples bien précis pour illustrer notre assertion.

Ces trois exemples ont été pris au hasard dans l'un des six centres bénéficiaires des présents projets et restent valables pour n'importe quel autre centre. La raison bien simple étant que les prix unitaires des matériaux entrant dans un branchement sont les mêmes pour tous les centres.

Nous voici donc en présence de trois clients potentiels qui désirent un branchement chez eux et qui viennent en faire la demande séparément à des dates éloignées. Désignons ces clients par X, Y et Z. Affectons leur des noms suivants la facilité de la compréhension.

X devient OUEDRAOGO  
Y devient SANOU  
Z devient DIALLO

Mr OUEDRAOGO le premier à se présenter le 10 septembre 1974 a sollicité son branchement pour la parcelle K du lot 52 ; lot situé en bordure d'une conduite en fonte de 200 mm de diamètre. La distance qui le sépare de cette conduite est de 25 mètres. Mr OUEDRAOGO ayant été informé de nos modes de calcul, nous a demandé d'avance de prévoir la plus petite conduite afin que son devis ne soit pas élevé.

Chez nous le client étant roi, nous nous sommes inclinés devant son souhait et nous lui avons établi un devis avec un diamètre de 21/25 en PVC dont nous savions d'avance que cette conduite est trop petite et qu'elle ne pourrait pas desservir plus d'un robinet. Fort de ces données, le devis s'établit à 72.441 F CFA sans la police qui est estimée à 4.241 F pour un compteur de 15 mm.

Vu le diamètre de cette conduite qui est vraiment petit, le client limite à la fois ses besoins en eau et aussi bloque la possibilité pour une tierce personne d'être alimentée en se branchant sur sa conduite. Ce dernier devant rembourser bien sûr une certaine somme au premier.

La parcelle K ayant de l'eau après les travaux, son voisin SANOU, parcelle G du même lot 52 se ramène à la SNE et demande aussi un branchement, ceci à la date du 15 décembre 1974. Nous voici donc obligés de le raccorder à la conduite maîtresse en fonte de 200 mm de diamètre au lieu de le brancher sur la conduite de Mr OUEDRAOGO qui est du PVC 21/25, nettement insuffisant pour alimenter un deuxième robinet. Résultat : devis d'un même montant de 72.441 F CFA.

De fil en aiguille le troisième, Mr DIALLO vient nous voir pour le même problème à la date du 28 janvier 1975.

Mr DIALLO est de la parcelle F du même lot 52, situé à une même distance de 25 mètres de la conduite maîtresse que les deux précédents. Résultat : devis de 72.441 F CFA.

.../...

En définitive, ces trois branchements leur ont coûté au total :  $72.441 \times 3 = 217.323$  F CFA alors qu'ils les auraient eu moins cher s'ils s'étaient regroupés à trois et nous en faire la demande. Dans ce cas en refaisant les calculs pour un branchement collectif les résultats auraient été les suivants :

- Mr OUEDRAOGO aurait eu à payer 60.828 F
- Mr SANOU " " 57.225 F
- Mr DIALLO " " 59.750 F

La petite différence entre Mr SANOU et les deux autres vient du fait que Mr SANOU, propriétaire de la parcelle G est au milieu des deux parcelles K et F, située à une distance moindre que les deux autres, eu égard au lieu de la prise sur la conduite de 200 mm.

Economie réalisée individuellement :

- Mr OUEDRAOGO parcelle K lot 52

- a) en valeur absolue :  $72.441 - 60.828 = 11.613$  F CFA
- b) en valeur relative :  $\frac{11.613}{72.441} \times 100 = 16,03 \%$

- Mr SANOU parcelle G lot 52

- a) en valeur absolue :  $72.441 - 57.225 = 15.216$  F CFA
- b) en valeur relative :  $\frac{15.216}{72.441} \times 100 = 21,00 \%$

- Mr DIALLO parcelle F lot 52

- a) en valeur absolue :  $72.441 - 59.750 = 12.691$  F CFA
- b) en valeur relative :  $\frac{12.691}{72.441} \times 100 = 17,52 \%$

Pour l'ensemble ils auraient réalisés ainsi :

$$\begin{array}{r} (72.441 \times 3) - (60.828 + 57.225 + 59.750) = \\ 217.323 \quad - \quad 177.803 \quad = 39.520 \text{ F CFA en valeur} \end{array}$$

absolue et  $\frac{39.520}{217.323} \times 100 = 18,18 \%$  en valeur relative.

CONCLUSION

L'économie réalisée est fort appréciable et les clients ont ainsi tout intérêt à se regrouper au minimum à trois personnes. Cette économie va croissant avec une distance plus grande des parcelles à la grosse conduite.

Signalons qu'avec un regroupement à deux, l'économie n'aurait été que de 2 à 3 % dans les exemples cités ci-dessus.

Voir bases de calcul aux annexes n° 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 11.

Annexe 2

PROPOSITION DE CADRE DE PLAQUETTE PUBLICITAIRE

INTRODUCTION

L'opération actuelle de publicité ne concerne que la ville de Ouagadougou. Elle sera faite par voie parlée, écrite et éventuellement télévisée. Outre le français, les langues nationales devront être utilisées.

CADRE PLAQUETTE PUBLICITAIRE EN FRANCAIS

Dans le cadre des projets d'extension du réseau d'eau potable de la ville de Ouagadougou et en accord avec le Gouvernement de notre pays qui a convaincu les pays amis de nous apporter leurs concours financiers et qui lui-même apporte sa contribution à la réalisation de ces projets, plusieurs prêts nous permettent à l'heure actuelle :

- 1°/ de doubler la capacité de traitement de la station
- 2°/ de construire au moins deux châteaux d'eau à Cissin et à Zogona.
- 3°/ d'étendre considérablement le réseau dans la plupart des quartiers de la ville de Ouagadougou.

Il est donc, par conséquent, demandé à la population de Ouagadougou qui veut avoir un branchement d'eau de venir s'inscrire auprès des guichets de la SOCIETE NATIONALE DES EAUX. La date d'inscription est ouverte du.....  
..... et ceci pour une durée limitée.

Pour un branchement pas cher, n'hésitez pas. Des conditions exceptionnelles vous sont offertes :

- 1) 50 % seulement du branchement au moment de l'inscription,
- 2) les 50% restants à tempérament et avant la fourniture d'eau.

Le devis sera établi avance de police comprise, ainsi le jour où vous aurez fini de payer les cinquante derniers pour cent, vous aurez immédiatement et automatiquement l'eau.

- Votre santé et celle de votre famille est un capital précieux, ne le gâchez pas.
- Demandez et vous serez servi.
- Faites plaisir à ceux qui vous sont chers en leur offrant de l'eau potable à des prix bien étudiés.
- La SNE, votre serviteur est là pour vous servir. Venez, l'accueil sera des plus chaleureux.

CAMPAGNE PUBLICITAIRE 1975

1 branchement économique pour l'eau	O U I (1)
	N O N (1)

Où se trouve le terrain sur lequel vous voulez amener de l'eau dans la ville de Ouagadougou ?

Parcelle.....

Lot n°.....

Quartier.....

Votre nom : M (1) ou Mme (1) ou Mlle (1).....

Votre prénom.....

Votre adresse complète et lisible.....

.....

Dans le cas où vous demandez ce branchement pour un parent, un ami absent de Ouagadougou, n'oubliez pas de nous donner les renseignements ci-dessous :

Je demande ce branchement pour :

M (1) Mme (1) ou Mlle (1) : Nom.....

Prénom.....

Résident à.....

Adresse complète et lisible.....

..... Tél.....

(1) Rayer la mention inutile.

Retourner ce papier à la SOCIÉTÉ NATIONALE DES EAUX, avenue de la Gare, B.P 170 - OUAGADOUGOU - Haute-Volta + Tél. 34-74 et 34-75. Téléx : SONALE 5226 UV.

N.B. : la SNE vous invitera après à connaître le montant du devis de votre branchement économique.

Annexe 4

SOCIETE NATIONALE DES EAUX  
SOUSCRIPTION AUX BRANCHEMENTS N°.....

Je soussigné

Nom.....

Prénom.....

Profession.....

Adresse.....

sollicite auprès de la SNE un branchement à ma parcelle..... lot n° .....  
quartier..... ville de OUAGADOUGOU dont le montant est de :

.....(en chiffres)

.....

.....(en lettres)

police d'abonnement comprise.

Je m'engage par la présente à verser :

1°) 50 % du montant du devis soit..... F CFA, le ..... 19.....

2°) les 50 % restants à verser tous les mois à compter du

..... jusqu'à .....

Au delà de..... (date)

si je ne m'acquittais pas de la totalité de mon devis, le montant versé sera  
acquis définitivement à la SNE qui est libre de disposer de mon branchement  
dont je n'ai pu payer la totalité

Fait à OUAGADOUGOU, le... 19..

Vu :  
la S.N.E.

Lu et approuvé  
le client

Devis (n°..... du .....  
(montant..... (chiffres)

	Date de versement	Espèce (1)	Chèque (1)	CCP (1)	BND (1)
! 1er versement	!	!	!	!	!
! 2ème "	!	!	!	!	!
! 3ème "	!	!	!	!	!
! 4ème "	!	!	!	!	!
! 5ème "	!	!	!	!	!
! 6ème "	!	!	!	!	!
! 7ème "	!	!	!	!	!
! 8ème "	!	!	!	!	!

(1) Rayer la mention inutile.

Annexe 5DEVIS INDIVIDUEL

Longueur : 27 mm

Valable pour chacune des trois parcelles

- parcelle K du lot 52 (M. OUEDRAOGO)
- parcelle G du lot 52 (M. SANOU )
- parcelle F du lot 52 (M. DIALLO )

! Désignation	! U	! Q	! P.U.	! P. TOTAL
! 1. partie fixe de 25	! u	! 1	! 16.333	! 16.333
! 2. tranchée	! m3	! 145	! 920	! 13.340
! F + P de : collier de 200	! u	! 1	! 4.808	! 4.808
! " tube PVC $\emptyset$ 21/15	! m	! 25	! 217	! 5.425
! " tube acier $\emptyset$ x 27	! m	! 2	! 723	! 1.446
! " raccord union adapt. de 32	! u	! 2	! 1.659	! 3.318
! " réduction 20 x 27-15 x 21	! u	! 2	! 429	! 858
! " réduction 32 - 26	! u	! 2	! 451	! 902
! " 26 x 34 - 20 x 27	! u	! 1	! 429	! 429
! " puisage + lyre	! u	! 1	! 3.986	! 3.986
! " robinet d'arrêt de 20 x 27	! u	! 1	! 1.175	! 1.175
! " traversée de goudron	! m3	! 3	! 6.807	! 20.421
! T O T A L				! 72.441

Arrêté le présent devis à la somme de :

SOIXANTE DOUZE MILLE QUATRE CENT QUARANTE ET UN FRS CFA.

Annexe 6DEVIS LOT 52/K M. OUEDRAOGO

Désignation	U	Q	P.U.	TOTAL
Tranchée	m3	3	920	2.760
F + P de : partie fixe de 25	u	1	16.333	16.333
" coude PVC de 26	u	1	537	537
" tube acier de 20 x 27	u	4	723	2.892
" raccord union adapt. de 32	u	1	1.659	1.659
" manchon réduit galv. de 26-34 20 x 34	u	1	429	429
" réduction 20 x 27 - 15 x 21	u	2	429	858
" mamelon de 26 x 34	u	2	417	834
" réduction PVC de 32-25	u	1	451	451
" puisage + lyre	u	1	3.986	3.986
" robinet d'arrêt de 20 x 27	u	1	1.175	1.175
" participation	-	-	28.914	28.914
<b>T O T A L</b>				<b>60.828</b>

Arrêté le présent devis à la somme de :

SOLXANTE MILLE HUIT CENT VINGT HUIT FRS CFA.

Annexe 7DEVIS LOT 52/G M. SANOU

Désignation	U	Q	P.U.	TOTAL
Tranchée	m <sup>3</sup>	3	920	2.760
F + P de : partie fixe de 25	u	1	16.333	16.333
" té de 25	u	1	625	625
" tube acier de 20 x 27	ml	4	723	2.892
" raccord union adapt. de 32	u	1	1.659	1.659
" mamelon de 26 x 34	u	2	417	834
" manchon réduit 26 x 34				
20 x 27	u	1	429	429
" manchon réduit 20 x 27 -				
15 x 21	u	2	429	58
" puisage + lyre	u	1	3.986	3.986
" robinet d'arrêt 20 x 27	u	1	1.175	1.175
" participation	-	-	25.223	25.223
" réduction PVC 32 - 25	u	1	451	451
T O T A L				57.225

Arrêté le présent devis à la somme de :

CINQUANTE SEPT MILLE DEUX CENT VINGT CINQ FRS CFA.

Annexe 8DEVIS LOT 52/F M. DIALLO

Désignation	U	Q	P.U.	TOTAL
Tranchée	m <sup>3</sup>	8	920	7.360
F + P : partie fixe de 32	u	1	16.333	16.333
" coude de 25	u	1	537	537
" tube PVC de 21 x 25	ml	12	217	2.604
" tube acier de 20 x 27	ml	2	723	1.446
" raccord union adapt. de 32	u	1	1.659	1.659
" manchon de 26 x 34	u	2	417	834
" manchon réduit 26 x 34 - 20x27	u	1	429	429
" manchon réduit 20 x 27 - 15x21	u	2	429	858
" puisage + lyre	u	1	3.986	3.986
" robinet d'arrêt de 20 x 27	u	1	1.175	1.175
" réduction PVC de 32-25	u	1	451	451
" participation	-	-	22.078	22.078
<b>T O T A L</b>				<b>59.750</b>

Arrêté le présent devis à la somme de :

CINQUANTE NEUF MILLE SEPT CENT CINQUANTE FRS CFA.

Annexe 9BRANCHEMENT COLLECTIF

3 personnes - longueur 23 ml

PARTIE COMMUNE

Désignation	U	Q	P.U.	TOTAL
Tranchée	m3	12,5	920	11.500
F + P de : collier de 200	u	1	4.808	4.808
" partie fixe de 25	u	1	16.333	16.333
" $\emptyset$ 26 <sup>8</sup> /32 PVC :	ml	23	361	8.303
" raccord U.A. de 32'	u	1	1.659	1.659
té de 32	u	1	666	666
" traversée de goudron	m3	3	6.807	20.421
" réduction 32-25	u	2	451	902
T O T A L				64.592

Arrêté le présent devis à la somme de :

SOIXANTE QUATRE MILLE CINQ CENT QUATRE VINGT DOUZE FRCS CFA.

Participation à la partie commune :  $\frac{64.592}{3} = 21.531$  F CFA.

Annexe 10

PARTIE COMMUNE à 52/G et K

Désignation	U	Q	P.U.	TOTAL
Tranchée	m <sup>3</sup>	8,5	920	7.820
Tube PVC ø 21/25	m1	15	217	3.255
T O T A L				11.075

Arrêté le présent devis à la somme de :  
ONZE MILLE SOIXANTE QUINZE FRCS CFA.

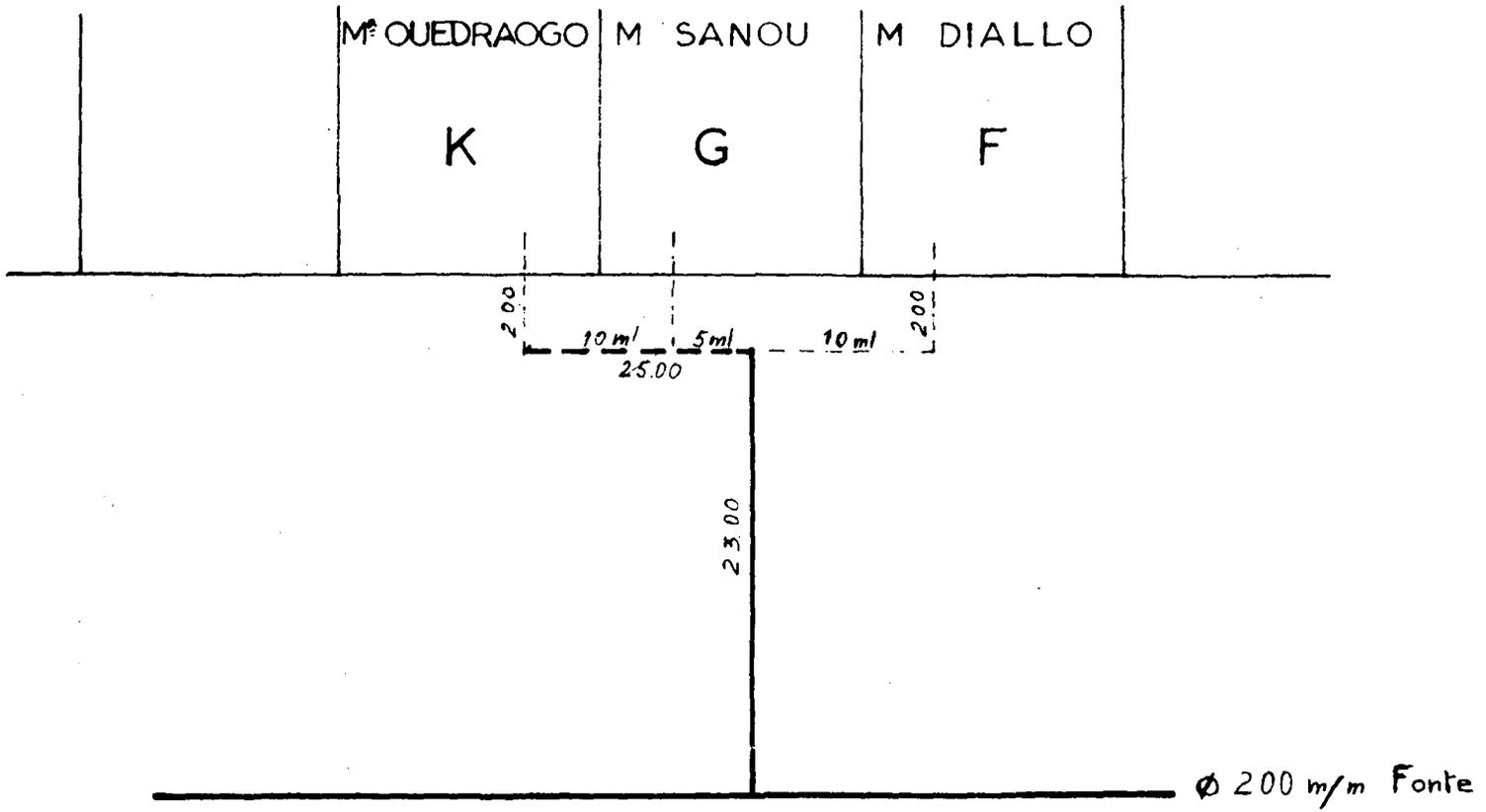
Participation à la partie commune

- 52/G  $11.075 : 3 = 3.692$

- 52/K  $\frac{11.075 \times 2}{3} = 7.383$



# LOT 52



——— Partie commune 52./ F. G. K.  
- - - - - " 52./ G . K.

Annexe N° 11

DISCUSSION

Mr CALES commente le rapport introductif qu'il a rédigé.

Mr J.G. YAMEOGO de la Société Nationale des Eaux (SNE) de Haute-Volta présente ensuite une communication sur "La campagne publicitaire d'incitation aux branchements particuliers d'eau potable" en Haute-Volta.

Son exposé est complété par la présentation d'affiches destinées à sensibiliser le public sur le problème de la qualité de l'eau de consommation et à l'inciter à faire installer des branchements individuels.

Mr Yameogo fait ensuite entendre une intervention du Ministre des Finances qui doit être diffusée à la radio en français, moré et dioula ainsi que des flash publicitaires destinés eux aussi à être radiodiffusés.

Mr LAKH à l'issue de ces deux exposés, résume les difficultés qu'éprouvent actuellement les sociétés distributrices d'eau à promouvoir l'extension des réseaux publics d'eau.

Mr MANDINGUE. Le problème évoqué par les précédents exposés est d'importance capitale. Mais il se présente différemment selon que les ressources en eau sont rares ou abondantes.

L'eau est une ressource naturelle. Elle semble gratuite aux consommateurs africains.

La situation de la distribution est également variable : dans les grandes agglomérations il y a des quartiers où la consommation d'eau croît normalement.

Mais si on<sup>se</sup> réfère aux chiffres cités par la SNE, une fraction importante de la population ne dispose pas encore de l'eau à domicile. Il faut donc dans un premier temps multiplier les points d'eau collectifs. Mais il est difficile d'exiger que l'eau fournie par ces points d'eau soit payée ; les consommateurs ne comprendraient pas en effet qu'ils doivent la payer deux fois sous forme d'impôts locaux et sous forme d'un prix au litre ou au m<sup>3</sup>.

Mr ABOUKI fait état de l'expérience de la République Populaire du Bénin.

On distingue les centres urbains et les centres ruraux.

Dans les centres urbains, la distribution était concédée à la CCTE jusqu'en 1973. A cette date le gouvernement a racheté cette société qui est devenue la Société Béninoise d'Eau et d'Electricité.

Cette société distribue l'eau à Cotonou, Porto-Novo, Coudah, Abomey et Parakou. Dans ces villes il n'y a pas de problèmes aigus. Les installations sont rentables.

.../...

Mais le gouvernement s'est fixé pour objectif de desservir en eau la totalité de la population y compris celle des zones rurales.

Les quartiers populaires des villes ont été équipés dans ce but de postes d'eau publics. L'eau y est fournie gratuitement ; la taxe d'eau est en effet incluse dans la taxe civique. Cette gratuité a malheureusement entraîné un gaspillage important d'eau.

Pour faciliter la réalisation des branchements, la banque Béninoise de Développement accorde des prêts aux particuliers qui couvrent les frais de branchement. Les bénéficiaires ont trois ans pour rembourser.

Mais le problème le plus aigu est celui des centres ruraux. C'est la direction de l'hydraulique qui a la responsabilité de l'alimentation en eau de ces centres. Elle crée pour cela des points d'eau (puits).

En 1967 a été lancé un important programme d'alimentation en eau de quinze centres ruraux. Ce programme était financé par un prêt. Mais la direction de l'hydraulique qui n'a pas de ressources financières et ne dispose pas d'un budget propre n'a pas pu rembourser les annuités de ce prêt exigées par le prêteur en l'occurrence le gouvernement des U.S.A.

En effet les revenus des consommateurs des centres ruraux sont très modestes. Ces consommateurs n'entendaient pas payer l'eau.

Ils préféreraient acheter l'eau aux revendeurs d'eau (2 CFA le seau de 20 l, à comparer au prix de m<sup>3</sup> de l'eau du réseau soit 100 CFA plus 15 % perçus par le fontainier).

Dans ces conditions, la direction de l'hydraulique a pensé à se décharger de la gestion des installations sur les autorités locales, l'hydraulique se contentant d'assurer l'encadrement. Les collectivités locales s'engagent à verser annuellement à l'hydraulique leur participation aux charges financières.

Mr AMADOU ALIDOU. Les consommations d'eau des réseaux publics ne se développent pas comme on pourrait le souhaiter car les consommateurs estiment que l'eau est un bien naturel et gratuit.

Contrairement à ce que pense la S.N.E., les points d'eau collectifs resteront encore pendant longtemps la solution au problème de l'alimentation de la majeure partie de la population. Le prix de l'eau fournie à domicile est encore très élevé au Niger. Il faut que les sociétés distributrices recherchent les moyens d'assurer une desserte collective. Il est en particulier très difficile d'envisager des branchements dans les quartiers à développement spontané.

Il faut montrer aux consommateurs la part du prix de l'eau qui est supportée par la subvention et la part qui revient réellement au particulier car celui-ci a souvent l'impression qu'il paie tout.

Mr J.G. YAMEOGO. Il est impossible de fournir l'eau gratuite car ceci entraîne un gaspillage considérable.

.../...

Mr RIUTORT. Il n'y a pas de taxe nationale sur l'eau. L'eau est payante car elle est fournie à domicile ; c'est une eau de qualité constante et elle est fournie en permanence quels que soient les aléas du climat.

Le prix de l'eau en H.V. était de 50 CFA/m<sup>3</sup> jusqu'en 1968. Il est passé cette année-là à 69 CFA/m<sup>3</sup> dans les grands centres et 125 CFA/m<sup>3</sup> dans les centres secondaires. Ce n'est pas le prix de vente de l'eau au m<sup>3</sup> qui limite la consommation mais le prix du branchement.

Mr AMADOU ALIDOU. Le particulier ne fait pas de différence entre le prix du m<sup>3</sup> et le prix du branchement.

Mr TIAO n'est pas d'accord. Le consommateur fait bien la différence entre le prix du m<sup>3</sup> et le prix du branchement car ils vont acheter l'eau chez leur voisin au prix de vente réel mais ils hésitent à faire installer un branchement.

Mr MBOUMBA. Un point important est celui de l'information des particuliers. Le public n'a pas assez conscience de l'influence de la consommation d'eau polluée sur la santé. Le problème est d'ordre financier. Il faut trouver des financements extérieurs. Les organismes de financement n'accordent des prêts que dans la mesure où la rentabilité du réseau est assurée.

Mr Mboumba est très intéressé par l'expérience voltaïque. Il demande si on a pu déterminer un seuil de population au-dessous duquel on ne peut pas faire appel à une desserte collective.

Mr RIUTORT. Il n'y a que des cas particuliers. Ce seuil dépend du coût de mobilisation de la ressource et de la plus ou moins grande dispersion des consommateurs.

En général, l'utilisation de ressources souterraines est moins onéreuse que celle des ressources superficielles.

Mr Riutort cite le cas d'une petite agglomération pour laquelle il est nécessaire de réaliser une retenue. Le prix de revient du m<sup>3</sup> d'eau est, dans ce cas, très élevé.

Mr COULIBALY. A Ouagadougou il y a encore beaucoup de puits utilisés. La plupart sont pollués. La borne-fontaine constitue un progrès indéniable par rapport au puits. Il faut encourager la création de ces bornes-fontaines et non pas les condamner comme le font les affiches de la SNE.

Il serait en outre intéressant de faire une enquête sur le niveau des revenus des populations. Pour certains ménages, ces revenus sont très faibles.

Enfin en associant la gestion financière des centres secondaires et principaux on doit arriver à inciter à développer la consommation dans ces centres secondaires.

Mr VERIDIQUE. Il est certain que la société distributrice doit vendre l'eau à un prix qui lui permette d'équilibrer son budget. Mais il faut également évaluer la rentabilité au niveau de la collectivité et tenir compte à ce moment-là des avantages indirects apportés par le développement des réseaux publics tels que l'amélioration du niveau de santé et du bien-être collectif.

Un problème important est également celui du dimensionnement des réseaux pour tenir compte du développement futur de la consommation. Quelles sont les bases adoptées par les projeteurs pour définir les dimensions optimum du réseau.

Mr ABOUKI. Il y a des pays où les ressources en eau naturelles sont abondantes, d'autres où elles sont rares.

Dans le premier cas seul le prix de revient de l'eau est un facteur limitant. Il faut dans ce cas organiser des campagnes de sensibilisation du public.

Mr MANDINGUE. Les aspects sociaux du problème n'ont pas été évoqués. Une partie des charges de fourniture de l'eau est supportée par l'Etat qui a la responsabilité de l'accroissement du bien-être de la population. On ne pourra jamais vendre l'eau à son prix de revient réel.

Il y a en outre une notion de seuil de rentabilité. La société distributrice doit équilibrer son budget. Est-ce qu'on pourrait avoir des précisions sur le seuil de rentabilité d'un réseau.

Mr J.G. YAMEOGO. En haute-Volta sur sept villes desservies par la SNE, trois sont rentables, les quatre autres ne le sont pas.

La SNE ne fait pas de bénéfices. C'est l'Etat qui a pris la décision de confier la distribution de l'eau à une société d'économie mixte.

Pour ce qui concerne la rentabilité, tout dépend de la disponibilité de la ressource et des frais de pompage.

Actuellement le tarif de la SNE comporte un tarif de saison chaude et un tarif pour le reste de l'année. En saison chaude, le prix du m<sup>3</sup> d'eau s'élève, au delà de 100 m<sup>3</sup> par mois à 150 CFA.

Pour les centres secondaires on a ramené le prix de vente de l'eau de 125 CFA à 70 CFA/m<sup>3</sup>.

Mr LAKH. Le problème du dimensionnement des réseaux soulevé par Mr Véridique se pose à deux niveaux : au niveau des ouvrages de captage et des ouvrages de distribution.

Le Sénégal dispose d'une importante ressource souterraine. La nappe du Maestrichtien entre 250 et 300 m sous le niveau du sol. Le débit moyen d'un ouvrage de captage est de 50 m<sup>3</sup>/h. Les ouvrages réalisés au départ apparaissent maintenant sous dimensionnés. Les services sénégalais ont entrepris un programme de renforcement des réseaux des centres secondaires (ouvrages de captage et de distribution).

Pour les projets neufs plusieurs services sont consultés : Statistiques, Urbanisme, Ministère du Plan...

.../...

On adopte les bases de consommation suivantes : en zone urbaine 150l/hbt x j ; en milieu rural 70l/hbt xj. Les installations ne sont pas utilisées en plein au début. L'accroissement de consommation ne suit pas l'accroissement de population car ce dernier est fourni en majorité par l'exode rural et constitué de populations à faible revenu.

Mr. TIAO. En Haute Volta on peut distinguer trois cas : En milieu rural adduction d'eau sommaire. Dans les centres secondaires on réalise un forage, un réservoir et un réseau alimentant quelques bornes fontaines. Le projet est réalisé par étape : d'abord le forage, on commence par déterminer la capacité du point d'eau. Les caractéristiques du réservoir et des canalisations sont définies en fonction de la capacité du point d'eau.

Dans les centres urbains on réalise des renforcements de réseaux. L'évolution prévisible des consommations est évaluée sur la base des renseignements dont on dispose.

Dans les centres secondaires, l'ancienne méthode consistait à recenser les besoins des fonctionnaires et des services publics (école, dispensaire...) Actuellement on fait une rapide enquête sur les consommations des particuliers.

Mr. LAKH. Il y a une double relation entre consommation d'eau et niveau de vie.

Au Sénégal on<sup>a</sup> scripté les problèmes. La distribution en milieu rural ou urbain soulève des difficultés. Du point de vue des ressources le Sénégal dispose d'une nappe très importante, celle du Maestrichtien dans les sables à 300 m de profondeur. Une étude est en cours pour définir sa capacité et sa réalimentation.

En zone rurale il n'y avait que cinq forages en 1959 il y en a quatre vingt huit en 1975.

Leur usage était essentiellement pastoral au début puis mixte. Le gouvernement a en effet entrepris un effort de sédentarisation des éleveurs. Actuellement il est difficile de séparer les usages d'alimentation humaine et pastorale. Les consommateurs considèrent que l'eau doit leur être fournie gratuitement.

La gestion des quatre vingt huit forages a été confiée à un service public, la SOMAH. L'installation type de distribution d'eau rurale est la suivante :

Forage : débit 50 m<sup>3</sup>/h profondeur 260 m

Equipement : pompe à axe vertical et groupe thermique

Durée de pompage : 12 heures

1er Réservoir : alimente quatre ou cinq bornes fontaines

2e Réservoir : alimente quatre ou cinq abreuvoirs.

L'atelier central de réparation est installé à Lougah.

Pour l'entretien des forages la zone desservie est découpée en quatre zones avec des sous-sections.

L'eau est fournie gratuitement ce qui a entraîné un accroissement important de la consommation. La totalité des charges est supportée par l'état. Les groupes moto-pompes sont pour la plupart à la limite de l'usure. La plupart ont dix à quinze ans d'ancienneté.

L'administration ne pourra pas poursuivre dans cette voie d'autant que le budget du service a diminué :

100 millions en 1960

74 millions en 1975 pour quatre vingt huit forages.

L'administration s'oriente vers les forages-puits. La jonction entre les deux ouvrages se fait à 5 m en dessous du niveau statique.

Pour la gestion des ouvrages le gouvernement envisage de créer une Société d'Etat : la Société Nationale pour l'exploitation et l'entretien des ouvrages hydrauliques (SONEBOH).

Le prix de vente de l'eau au Sénégal est de 105 F CFA/m<sup>3</sup> à Dakar et de 70 CFA en zone rurale. Ce dernier prix reste trop élevé. Pour le réduire on fera supporter l'ensemble des charges par l'ensemble de la population. On envisage de créer une taxe hydraulique sur l'ensemble des produits agricoles, une imposition individuelle et une taxe sur les produits de luxe.

Il faut faire comprendre au public qu'on leur vend non seulement de l'eau mais un service.

Il faut sensibiliser les populations. Ce sera la tâche des communautés rurales qu'on va créer. Les charges de la société seront supportées par ces collectivités rurales.

Dans un stade ultérieur on pourrait créer une SONEBS rurale (société nationale des eaux du Sénégal) qui vendrait l'eau aux particuliers comme à Dakar.

La SONEBS est une société nationale chargée de la distribution d'eau en zone urbaine. Elle ne réalise pas de bénéfice. La consommation d'eau se développe. Son prix de vente est de 105 F CFA/m<sup>3</sup> dont  
3F/m<sup>3</sup> pour les travaux  
5F/m<sup>3</sup> pour le renouvellement des ouvrages.

Les ressources en eau de Dakar ont été complétées par l'adduction des eaux du lac de Guiers. La canalisation d'adduction a 1 000 mm puis 900 mm de diamètre. Les eaux sont traitées dans une station de traitement. Les besoins de Dakar sont évalués à 150.000 m<sup>3</sup>/j. Des projets d'hydraulique agricole ont vu le jour le long de la conduite. Actuellement on recherche d'autres solutions pour ces périmètres pour laisser le débit maximum à destination de Dakar.

Mr. TIAO. Est ce que la SONEBS arrive à équilibrer son budget ?

Mr. LAKH. Actuellement non. Il y a un problème de gestion. La SONEBS utilisait mille cinq cents employés. C'est trop. On a réduit le nombre des employés à onze cents.

Le réseau est vétuste ; son renouvellement est nécessaire. Il faut également rembourser les prêts contractés pour sa construction. Actuellement ces remboursements entraînent une charge de 21 CFA/m<sup>3</sup>.

La SONEBS s'efforce de tendre vers l'équilibre budgétaire mais elle se heurte à une autre difficulté : les collectivités locales ne payent pas leurs dettes.

Mr. VILLEMOT. Le problème est de savoir si on peut faire passer "le social" avant "l'économique" ou si on doit attendre le développement économique pour résoudre les problèmes sociaux. Les sources de financement accordent de moins en moins de subvention et de plus en plus

de prêts. On ne peut pas compter sur les revenus des populations les plus pauvres.

Pour établir le prix de vente de l'eau il faut faire une enquête auprès des consommateurs et établir les courbes : prix de revient, population desservie d'une part, demande en fonction du prix d'autre part. On s'aperçoit alors en comparant les deux courbes qu'on aboutit à une impossibilité. Il faut alors se tourner vers l'Etat pour résoudre le problème.

Mr. COULIBALY. Le prix de revient du m<sup>3</sup> dépend du coût de mobilisation de la ressource. Lorsque par exemple, il faudra aller chercher l'eau de la Volta Noire pour alimenter Koudougou et Ouagadougou, le coût de l'adduction sera très élevé. Le prix de revient du m<sup>3</sup> d'eau s'en ressentira.

Mr. LAKH. Il est indispensable de mieux connaître les ressources en eaux souterraines. Quelle est la fraction de la capacité totale des ressources en eau de Ouagadougou qui est actuellement utilisée ?

Mr RIUTORT. Environ 60 %. Lorsqu'il s'agit de ressources superficielles, la garantie de la fourniture de l'eau suppose un surdimensionnement des ouvrages compte tenu du caractère aléatoire de la pluviométrie. La sécurité, dans ce cas, coûte cher .

Mr ABOUKI. L'expérience sénégalaise est intéressante. Comme au Sénégal, les services de la République populaire du Bénin ont renoncé à réaliser des installations complètes en zone rurale. Il faut revenir au puits.

La République Populaire du Bénin a actuellement un programme de creusement de 2.500 puits. Elle ne veut compter que sur ses propres forces pour son développement.

On envisage de créer une taxe pour résoudre le problème de l'eau en zone rurale. L'expérience du Sénégal est intéressante de ce point de vue.

Le facteur climatologique est important. S'il pleut beaucoup, la population peut s'alimenter à partir des eaux de pluie.

Mr REELES. Il ne faut pas négliger l'incidence sanitaire de tous les projets d'alimentation en eau. Amener l'eau suppose qu'on l'évacue ensuite Or il n'y a pas actuellement de réseau d'assainissement. Chacune des mares qui se créent au pied de chaque robinet constitue un gîte à moustiques.

Mr J.G. YAMEOGO. Il y'a des projets d'assainissement mais ils sont difficiles et Mr RIUTORT à financer. La priorité doit être accordée à la fourniture d'eau.

Mr LAKH. Si on veut faire aboutir les projets d'assainissement il faut coordonner l'action des différents services concernés : Travaux Publics, Hydraulique.

Mr VILLEMOT. Dans les zones urbanisées tout projet d'alimentation en eau doit être complété par un projet d'assainissement.

Malheureusement les projets d'assainissement n'apportent pas un supplément de bien-être évident et ils sont chers.

.../...

Mr MBOUMBA. La réalisation des réseaux d'assainissement pose un problème financier et un problème technique mais également un problème de mentalité. L'opinion publique considère l'assainissement comme un investissement de luxe.

Aussi laisse-t-on souvent les problèmes empirer dans les zones urbanisées au point qu'ils deviennent très difficiles à résoudre.

Mr SEGUI signale l'intérêt de la récupération des eaux usées. Il cite l'exemple de la ville de Tripoli. Quinze millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées sont récupérés annuellement pour l'arrosage de 3000 ha de périmètres maraîchers.

Mr LAKH. Une étude est en cours à Dakar pour une réalisation du même genre.

# **MISE EN VALEUR DES RESSOURCES EN EAUX SOUTERRAINES**

UTILISATION DE LA GEOPHYSIQUE POUR LA RECHERCHE  
DES EAUX SOUTERRAINES DANS LES REGIONS DE SOCLE CRISTALLIN

par A. BENAMOUR (C.I.E.H.)

Les méthodes de prospection dont nous disposons pour la recherche et l'exploitation des eaux souterraines sont de trois sortes : études géologiques (indices de surface, photographies aériennes) études géophysiques et sondages de reconnaissance.

Le CIEH a publié en 1966 (2) une note sur les méthodes géophysiques et leur application à la recherche des eaux souterraines en Afrique Occidentale. En outre l'utilisation de cette technique a été abordée dans plusieurs études publiées également par notre comité (1,3,4).

Nous ne décrivons pas ici les différentes techniques utilisées ni les méthodes d'interprétation qui sont suffisamment détaillées dans les ouvrages spécialisés (2,7,8).

Rappelons simplement que ce sont les méthodes électriques (sondages électriques et profil de résistivités) qui sont les plus employées en raison de la légèreté et de la rapidité <sup>des</sup> moyens mis en oeuvre ce qui entraîne un prix de revient peu élevé comparé aux autres méthodes (sismique par exemple).

Un grand nombre de programmes de réalisation de points d'eau sont en cours dans les états africains principalement dans les zones rurales et le but recherché est de livrer aux utilisateurs des puits ou des forages dont le débit est compris entre 1 et 2 m<sup>3</sup>/h. Dans ces conditions l'utilisation de la géophysique doit s'envisager sous ses deux aspects techniques et économiques.

Les problèmes posés par l'utilisation de la géophysique peuvent se résumer dans les deux questions suivantes :

- La géophysique peut-elle répondre à tous les problèmes qui se posent dans la recherche des eaux en région de socle cristallin ?

- Dans quelles conditions son utilisation est-elle rentable étant donné que l'on dispose de moyens de reconnaissance mécaniques puissants, c'est-à-dire de machines capables de forer très vite dans le socle et à des prix de revient relativement peu élevés au mètre linéaire.

ASPECT TECHNIQUE

En pays de socle cristallin on demande à la prospection géophysique de localiser les zones les plus favorables pour l'implantation d'ouvrages productifs c'est-à-dire de déceler :

- les zones d'approfondissement du socle : c'est à l'aplomb de ces zones qu'il est possible de rencontrer des niveaux aquifères épais ;

.../...

- les zones de fractures ;
- les zones de filons.

Ces deux zones sont celles susceptibles de fournir les débits les plus importants.

Dans ces trois cas de gisement de l'eau, quelles sont les limites des méthodes électriques :

- dans la zone altérée du socle, le sondage électrique permet de localiser le toit de la roche saine avec une bonne approximation, la profondeur étant en général légèrement surestimée.

Au dessus de la roche saine il est difficile de déceler les zones les plus perméables surtout si ces niveaux sont peu épais, par conséquent il est difficile d'émettre un pronostic sur le débit.

Les zones de fractures et de filons apparaissent bien sur les cartes de résistivités et peuvent être repérées avec une précision supérieure à celle que permet d'obtenir un simple examen de surface. Cependant leur localisation dans l'espace est quelquefois trop imprécise surtout si ces zones n'ont que quelques mètres de largeur.

En résumé, on peut dire que les méthodes géophysiques sont plus précises que les études de surface. Elles permettent avec certitude de localiser les zones sans arènes (à priori stériles) et de mettre en évidence celles où les arènes sont épaisses. Mais elles sont insuffisantes, à elles seules, pour localiser les aquifères et préciser leur perméabilité.

Il est nécessaire que la prospection géophysique soit accompagnée de sondages de reconnaissances pour étalonner et vérifier une campagne de mesures.

De plus l'interprétation des sondages électriques et des profils de résistivités doit être faite par des techniciens qui ont une très grande expérience de ces problèmes.

#### ASPECT ECONOMIQUE

Cette dernière contrainte nécessite pour le moment de faire appel à des entreprises spécialisées pour l'exécution d'une campagne de prospection. Les tarifs pratiqués sont de l'ordre de 3.500.000 F CFA le mois de géophysique (équipe légère : un technicien, manoeuvres, véhicule et matériel de mesure). Comme il faut compter en moyenne 5 ou 6 jours pour l'étude d'un site ceci nous amène à 700.000 F CFA le site.

Or nous disposons dans nos pays depuis deux ou trois ans de machines puissantes capables de forer très vite dans des terrains de duretés très différentes.

.../...

Ces appareils travaillant en régie le prix de revient du mètre linéaire de sondage de reconnaissance est de 5.000 à 10.000 F CFA si la machine effectue 50 à 60 m/j ce qui est un minimum. On est donc en droit de se demander si l'utilisation du sondage de reconnaissance comme méthode de prospection n'est pas la façon la plus économique de résoudre les problèmes de recherches des eaux souterraines dans la mesure où les débits exigés des ouvrages ne sont pas supérieurs à 1 ou 2 m<sup>3</sup>/h.

L'étude statistique de R. BISCALDI (3) a mis en évidence, que pour des débits inférieurs à 2 m<sup>3</sup>/h, en général les sondages de reconnaissance permettent d'obtenir un sondage productif sur 2 - (50 %). Pour des débits inférieurs à cette valeur en général un seul sondage suffit (87 %).

Pour les débits supérieurs à 2 m<sup>3</sup>/h le pourcentage de succès est beaucoup plus faible (8 %) et il faut 3 à 4 sondages de reconnaissance.

#### CONCLUSION

Etant donné le coût actuel de la prospection géophysique nous pensons qu'il faut la réserver à la recherche des débits élevés, ou lorsqu'on se trouve dans des cas particulièrement délicats : région totalement inconnue où la prospection hydrogéologique n'a pas permis d'implanter des ouvrages d'après les indices de surface.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) B.R.G.M. J. P. BARRAUD - RECONNAISSANCES HYDROGEOLOGIQUES EN ARENES GRANITIKUES PAR SONDAGES ELECTRIQUES EN MOYENNE COTE D'IVOIRE - CIEH 1961.
- (2) J. P. MATHIEZ ET G. HUOT. - PROSPECTION GEOPHYSIQUE ET RECHERCHES D'EAUX SOUTERRAINES. EXEMPLES D'APPLICATION EN AFRIQUE OCCIDENTALE. CIEH 1966 (Français et Anglais).
- (3) R. BISCALDI - ETUDE STATISTIQUE DES FORAGES ET CARTE HYDROGEOLOGIQUE DES REGIONS A SUBSTRATUM ERUPTIF ET METAMORPHIQUE EN AFRIQUE OCCIDENTALE. CIEH 1970.
- (4) BURGEAP - ETUDE COMPARATIVE DES AVANTAGES RESPECTIFS DES PUIES ET FORAGES DANS LES REGIONS A SUBSTRATUM CRISTALLIN D'AFRIQUE DE L'OUEST. CIEH 1972.
- (5) PROSPECTION ELECTRIQUE POUR L'ALIMENTATION EN EAU DE 20 CENTRES DE HAUTE-VOLTA 1966 C.G.G.
- (6) B.R.G.M. - HYDROGEOLOGIE DES ROCHES ERUPTIVES ET METAMORPHIQUES EN ZONES TROPICALES ET ARIDES. BULLETIN DU BRGM. HYDROGEOLOGIE. SECTION III N° 2 ET 3 - 1968.
- (7) P. LASFARGUES. - PROSPECTION ELECTRIQUE PAR COURANTS CONTINUS. MASSON 1957.
- (8) J. L. ASTIER - GEOPHYSIQUE APPLIQUEE ET HYDROGEOLOGIE. MASSON - 1971.

NOTE INTRODUCTIVE AUX CARTES DE PLANIFICATION POUR  
L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES DE L'AFRIQUE  
SAHELIENNE

par Mr MARTIN (B.R.C.N.)

NOTE INTRODUCTIVE

Les cartes de planification pour l'exploitation des eaux souterraines de l'Afrique sahélienne présentées ci-après ont été réalisées par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM), à la demande du Secrétariat d'Etat aux Affaires Etrangères, aux termes du marché n° 75/M/74 en date du 19 février 1974, financé sur crédits du Fonds d'Aide et de Coopération (F.A.C.).

Ces cartes, à l'échelle 1/1.500.000, couvrent la zone comprise entre les isohyètes 100 et 1.000 mm sur les six pays suivants : Mauritanie, Sénégal, Mali, Haute-Volta, Niger et Tchad. Pour plus de commodité d'utilisation, elles comprennent trois coupures : feuilles ouest, centre et est.

La carte n° 1 : Productivité des nappes aquifères. Débits de production initiaux des ouvrages captants

donne les valeurs du débit en fonction d'un rabattement admissible.

La carte n° 2 : Coût moyen de captage et d'exploitation de l'eau souterraine indique, en francs CFA, le prix de revient du m<sup>3</sup> d'eau et inclut les coûts de réalisation des forages, des matériels d'exhaures et constructions annexes.

La carte n° 3 : Aptitude des eaux à l'irrigation

fournit une image de la qualité des eaux en fonction de leur usage pour l'irrigation.

1 - REMARQUES PRELIMINAIRES

Conçues comme outils de planification, ces cartes ne doivent être utilisées qu'à un stade très en amont de l'aménagement d'une région. Lors de l'élaboration des avant-projets et des projets d'exécution, on se reportera aux études détaillées réalisées dans les secteurs d'aménagement choisis.

En outre, l'établissement de telles cartes de synthèse suppose l'utilisation d'un certain nombre d'hypothèses simplificatrices, dont tout utilisateur devra évidemment tenir compte : ces hypothèses sont énumérées dans les notices explicatives qui accompagnent les cartes.

2 - DONNEES GENERALES SUR LA ZONE CONCERNEE

Données de base

Les données de base utilisées pour la préparation de ces cartes proviennent :

.../...

- des rapports et publications dont la liste est donnée en bibliographie,
- des marchés et propositions de travaux disponibles fin août 1974,
- d'informations orales (notamment d'hydrogéologues du BRGM et du BURGEAP travaillant ou ayant travaillé dans la région cartographiée).

### LITHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE

Les formations cartographiées vont du socle éruptif et métamorphique ancien au quaternaire.

Les corrélations de pays à pays ne sont pas toujours faciles et de nombreuses formations portent des appellations locales, mal datées stratigraphiquement.

D'une manière générale, les formations continentales dominent (Continental terminal, Continental intercalaire), sauf dans le bassin sénégalo-mauritanien.

La lithologie et la localisation dans l'échelle stratigraphique des zones délimitées sont consignées sur le tableau 1.

Les numéros des différentes zones sont indiqués en noir sur les cartes à 1/1.500.000 et sur les schémas de situation joints aux notices des cartes 1 et 3.

### AQUIFERES GENERALISES ET AQUIFERES DISCONTINUS

Une distinction fondamentale a été faite entre les aquifères dits généralisés et les aquifères discontinus, termes que nous définissons ci-dessous.

#### Aquifères généralisés

Sont classées dans cette catégorie les formations sédimentaires à porosité d'interstices (sables, grès, ...) ou de fissures, présentant une certaine perméabilité en grand (dolomies, calcaires, marno-calcaires karstifiés, roches très diaclasées, ...).

Ces aquifères sont caractérisés par :

- une certaine continuité de leurs caractéristiques dans l'espace, bien que celles-ci puissent évidemment varier du fait de l'hétérogénéité du matériau aquifère (changements latéraux ou verticaux de faciès) et de ses changements d'épaisseur,
- des réserves généralement importantes dues à la grande dimension des systèmes aquifères.

Pour des raisons pratiques on a cartographié en aquifère généralisé toute formation géologique contenant une nappe continue susceptible d'être captée en tout point.

TABEAU 1/A

LITHOLOGIE ET LOCALISATION DANS L'ECHELLE  
STRATIGRAPHIQUE DES ZONES DELIMITEES

Localisation géo- graphique et lithologie	Sénégal	* !	Mauritanie	* !	Mali	* !
Stratigraphie						
QUATERNAIRE	.Estuaires : Saloum, Casamance	7!	.Sables dunaires Aouker, Cheggat	2!		
	.Alluvions Fleuve Sénégal .Sables dunaires	1! 2!				
PLIO-QUATERNAIRE						
	Continental terminal (Post-paléocène)	.Sables et grès argileux : bassin sénégalais	3!	.Sables et grès argileux : bassin mauritanien	3!	.Grès argileux Plaine du Gondo Est de l'Azouad
						18! 15!
TERTIAIRE	Eocène	.Eocène supérieur calcaires et dolomies : Bassin sénégalais	4a!	.Grès et sables calcaires Sud bassin mauritanien	4b!	
		.Eocène inférieur calcaires marneux : NW bassin sénégalais				
	Paléocène	.Calcaires : presqu'île Cap-Vert	5!			.Sables, argiles et calcaires : bordure Ouest Adrar des Ifoghas
						19!

\* Indices de repérage indiqués sur la carte de productivité des nappes.

(9a), (9b), (9c) correspondant à des zones stériles, et (26) à une zone très peu connue (Ténéré du Tafassasset), ne figurant pas sur ce tableau.

TABLERAU 1/A (suite)

	!Maestrichtien				
!Crétacé	!sables et grès:				
!supé-	!Est de Dakar	!6!			
!rieur					
!SECONDAI-	!Conti-				
!RE	!nental				
	!interca-				
	!laire				
	!Crétacé				
	!inférieur				
			!.Grès :Assaba,	!.Cambrien ou In-	
			!Tagant	!11! fracambrien,	
			!.Dolomies:Assaba,	!.calcaires et	
			!Tagant	!10! grès : Taoudéni!	!14!
!PRIMAIRE et			!.Pelites du Hodh!	!13!Grès de Bandia-	
!INFRACAMBRIEN				!gara	!11!
				!.Dolomies d'Irma:	
				!.N. du Gondo	!17!
				!.Série du Gourma!	
				!.région NW Tom-	
				!bouctou	!16!
	!.Schistes, gra-	!.Schistes, gra-	!.Schistes, gra-		
!SOCLE CRISTALLIN et	nites	!12!	nites	!12!	!.Schistes, gneiss :!12
!CRISTALLOPHYLLIEN					!.Sud du pays,
					!.Adrar des Ifo-
					!ghas

TABLEAU 1/B

LITHOLOGIE ET LOCALISATION DANS L'ECHELLE STRATIGRAPHIQUE DES ZONES DELIMITEES

Localisation géographique et lithologie	Haute-Volta	* Niger	* Tchad	* *
Stratigraphie				
QUATERNAIRE		.Sables : Koramas	27	
PLIO-QUATERNAIRE		.Sables et argiles : Manga	28	.Sables et argiles, dunes : centre du bassin
Continentale (Post-Paléocène)		.Grès argileux, sables et argiles : sud soudanais bassin du Niger	20	.Sables et argiles : les : Koros, Salamat région est du Batha
TERTIAIRE				30
Eocène				
Paléocène				
Crétacé supérieur		.Séries gréseuses : massif de Termit et d'Agadem, bassin de Bilma	25	.Grès de Nubie : Grès fins à grossiers, marne à niveaux calcaires : Mayo Kebbi
SECONDAIRE				29
Continentale intercalaire		.C. intercalaire et C. hamadien grès, grès argileux, sables, argiles	21a	
		.Grès du Tegma	21b	
Crétacé inférieur		.Grès du Teloua	23	
		.Grès d'Agadès ou du Tchirezine	22	

\* Indices de repérage indiqués sur la carte de productivité des nappes.

(9a), (9b), (9c) correspondant à des zones stériles, et (26) à une zone très peu connue (Ténére du Tafassasset), ne figurant pas sur ce tableau.

TABLEAU 1/B (suite)

!	!	!	!	!	!
!	!.Grès de Bobo-	!	!.Grès primaires	!	!.Carbonifère -
!	! Dioulasso	!11!	(ordovicien,	!	! grès et marnes
!	!	!	! Dévonien, Car-	!	! calcaires :
!	!.Dolomies d'Ir-	!	! bonifère) :	!	! Nord-Est de Lar-
! PRIMAIRE ET	! ma	!17!	! Ouest de l'Air	!24!	! geau
! INFRACAMBRIEN	!	!	!	!	!.Cambrien, Viséen
!	!.Séries du Gour-	!	!	!	! grès grossiers
!	! ma	!	!	!	! et grès kaolini-
!	!	!	!	!	! que : Borkou
!	!	!	!	!	!32!
!	!.Granites, gneiss	!	!.Granites, gneiss	!	!.Granites, gneiss
! SOCLE CRISTALLIN	! schistes : bou-	!	! schistes : Air,	!	! schistes : Quad-
! ET	! clier voltaïque	!12!	! massifs de Ma-	!	! daï, Guéra
! CRISTALLOPHYLLIEN	!	!	! radi et de Zin-	!	!12!
!	!	!	! der	!12!	!
!	!	!	!	!	!

### Aquifères discontinus

Par opposition au type précédent, ont été placées dans cette catégorie les formations géologiques compactes, donc peu ou non perméables, mais ayant acquis localement une perméabilité secondaire soit par altération physico-chimique, soit par fissuration ou fracturation.

Dans cette classe entrent toutes les formations appartenant au socle éruptif et métamorphique (granites, schistes, gneiss, roches intrusives, ...), mais aussi des formations sédimentaires telles que grès indurés, quartzites, calcaires et dolomies compacts, ... et alluvions dans certains cas.

En termes pratiques, sont considérées comme aquifères discontinus toutes les formations géologiques intrinsèquement imperméables ayant acquis secondairement et très localement, par altération ou fracturation, une certaine perméabilité. L'exploitation de tels systèmes nécessite dans tous les cas une étude d'implantation des ouvrages de captage.

En première approximation, il existe une certaine relation entre la nature de l'aquifère discontinu et l'ordre de grandeur de la profondeur des ouvrages de captage :

- 10 à 200 m dans les roches à perméabilité de fractures,
- 20 à 50 m dans les formations d'altération,
- 10 à 40 m dans les alluvions.

### PROBLEMES CARTOGRAPHIQUES

Sur les trois types de cartes à 1/1.500.000, seul est représenté l'aquifère le plus proche de la surface du sol, qu'il s'agisse d'un aquifère généralisé ou d'un aquifère discontinu (\*), qu'il soit captif ou libre. Les systèmes aquifères inférieurs, qui sont toujours du type généralisé et captifs, sont représentés soit en cartouches à échelle plus petite, soit, dans certains cas (bassin sénégal-mauritanien), en courbes d'isovaleurs de couleur orange sur la carte à 1/1.500.000.

### DENSITE DES INFORMATIONS

Compte tenu de la superficie de la zone étudiée et de la diversité des pays intéressés, les données utilisées (provenant de documents d'archives divers) sont de valeur et surtout de densité très inégales. Dans certains cas, il a donc fallu recourir à des tracés en tiretés pour les contours les plus interprétés ou à des figurés spéciaux pour les surfaces à données peu nombreuses. Certains secteurs, faute de renseignements, ont été laissés en blanc ; une mention explicative fournit toutefois une information primaire.

.../...

---

(\*) Les zones d'aquifères discontinus importants, notamment le socle, font l'objet d'un traitement particulier sur les trois cartes.

NOTICE EXPLICATIVE DE LA CARTE DE PRODUCTIVITE DES NAPPES

DEBITS DE PRODUCTION INITIAUX DES OUVRAGES CAPTANTS

(1/1.500.000)

1 - DEFINITIONS - GENERALITES

La carte de productivité représente, par zones homogènes, l'ordre de grandeur probable de la production journalière, en début d'exploitation, d'un ouvrage ponctuel captant un aquifère. Elle ne préjuge donc pas de l'évolution du débit dans le temps sous l'influence de facteurs tels que le renouvellement ou l'épuisement des réserves, la densité et l'interaction des ouvrages, leur colmatage, etc...

Elle est fondée sur une extrapolation de l'analyse des caractéristiques des ouvrages captants, compte tenu en particulier du contexte hydrogéologique connu et de contraintes technico-économiques.

+ Dans les aquifères généralisés, les facteurs qui conditionnent la productivité sont :

- la perméabilité des terrains, qui peut être variable dans l'espace,
- la longueur de la partie captante des ouvrages, laquelle est fonction elle-même de
- l'épaisseur des couches productrices.

L'ordre de grandeur des productivités va de 100 à plusieurs milliers de m<sup>3</sup>/j.

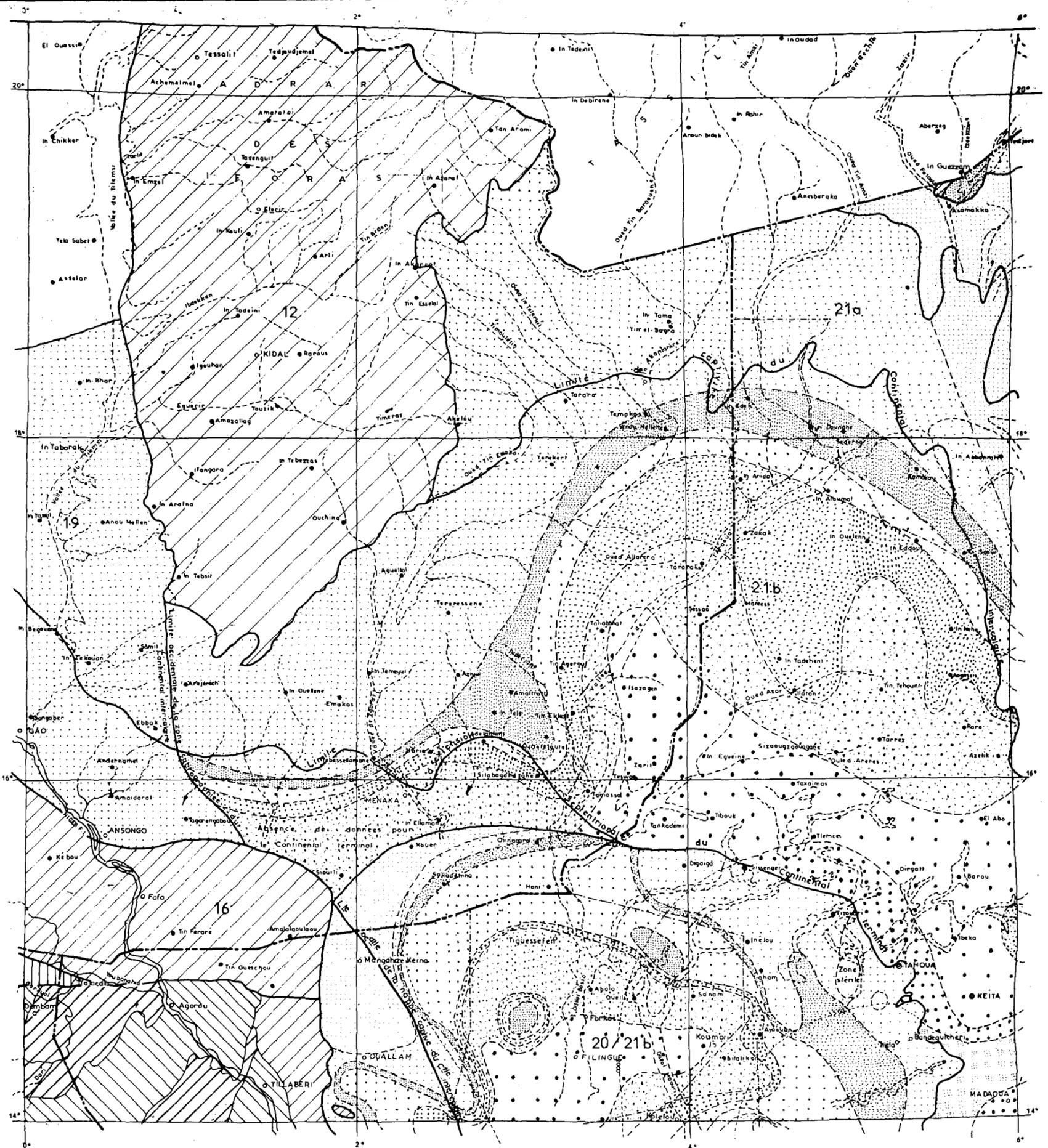
+ Dans les aquifères discontinus, la productivité liée :

- à l'intensité de la fracturation dans les schistes, dolomies, calcaires, grès quartzites ;
- à l'épaisseur de l'altération pour les roches décomposables telles que les granites et granitoïdes ;
- à la nature (sable, gravier, argile) et à l'épaisseur des épandages alluviaux.

est généralement faible et les réserves mobilisables sont modestes.

Le type d'ouvrage de captage pris en compte est le forage, qui peut théoriquement convenir dans tous les cas, quelle que soit la nature de l'aquifère. Dans la pratique toutefois, la réalisation de puits ou de forages-puits sera obligatoire lorsque :

- le puisage s'effectuera à la main,
- la perméabilité faible ou aléatoire de l'aquifère imposera une augmentation de la surface captante ou la constitution d'une réserve d'eau (puits-citerne).



CARTE DE PLANIFICATION POUR L'EXPLOITATION DES EAUX SOUTERRAINES DE L'AFRIQUE SAHELIENNE

— LEGENDE —  
DEBITS D'EXPLOITATION INITIAUX EN m<sup>3</sup>/24h

FUILLE CENTRE

PRODUCTIVITE DES NAPPES  
DEBITS DE PRODUCTION INITIAUX DES OUVRAGES CAPTANTS

**EXTRAIT**

**Aquifères généralisés**

- inf. à 50
- 40 à 160
- 150 à 280
- 250 à 380
- 350 à 600
- 950 à 1100
- 1000 à 2200
- 2000 à 3500
- sup. à 3500

**Aquifères discontinus**

- inf. à 25
- 20 à 50
- 40 à 75
- sup. à 75

- Courbe de réproductivité de la nappe captive du continental intercalaire (grès de Tegama).
- Limite de la zone d'artésianisme de la nappe des grès d'Agadès.
- Limite de zone hydrogéologique et numéro correspondant.
- Zone stérile ou biseau sec.

*N.B.* Pour les nécessités de la reproduction en affset les teintes de la carte originale ont été remplacées par des figures.

2 - METHODE UTILISEE

Détermination de la productivité au droit de chaque ouvrage connu

La productivité initiale est obtenue par la formule

$$P_{th} = Q_{s_{th}} \times R_{th}$$

dans laquelle

$P_{th}$  : productivité théorique en m<sup>3</sup>/j

$Q_{s_{th}}$  : débit spécifique en m<sup>3</sup>/j d'un ouvrage parfait\*, situé à l'emplacement de l'ouvrage considéré, pour 24 h de pompage

$R_{th}$  : rabattement théoriquement applicable, compte tenu de l'épaisseur de la nappe et de sa nature libre ou captive (en m).

Dans la pratique, la simple application de cette formule se heurte à un certain nombre de difficultés, (connaissance insuffisante de l'aquifère ou des ouvrages réalisés par exemple), ou conduit dans quelques cas à des non-sens technico-économiques (par exemple : hauteur de refoulement ou dimensions des ouvrages exagérées, entraînant des impossibilités techniques ou des prix de revient prohibitifs).

On est donc amené à distinguer un certain nombre de cas types, définis ci-dessous, correspondant à des secteurs géographiques homogènes où les hypothèses et les conditions aux limites, choisies en fonction des impératifs technico-économiques et/ou des données disponibles, sont uniformes et indiquées dans la description des coupures, secteur par secteur.

En fonction des conditions hydrogéologiques d'un secteur homogène, les conventions ont été choisies de manière à aboutir, dans l'ensemble, à des valeurs minimales de la productivité.

Aquifères généralisés

. Cas type 1 : nappes libres d'épaisseur connue :

$$P = Q_s \times \frac{H}{3}$$

où  $Q_s$  : débit spécifique de l'ouvrage considéré

$H$  : épaisseur de la nappe.

Le rabattement admissible est donc estimé sur la base du 1/3 de l'épaisseur de l'aquifère.

. Cas type 2 : systèmes aquifères complexes, nappes captives, nappes libres d'épaisseur inconnue :

$$P = Q_s \times R_c$$

.../...

---

\* Puits ou forage captant toute l'épaisseur de la nappe, sans perte de charge parasite.

où  $Q_s$  : débit spécifique de l'ouvrage considéré  
 $R_c$  : rabattement admissible constant pour un secteur donné.

N.B. - Dans le cas des nappes captives jaillissantes, la pression au sol est incluse dans  $R_c$  tant qu'elle est inférieure au niveau du sol. Dans les rares cas où elle lui est supérieure, on a pris  $P$  = débit naturel de l'ouvrage.

### Aquifères discontinus

. Cas type 3

Pour chaque ouvrage considéré on a pris :

productivité = moyenne des débits ponctuels

A noter qu'à de rares exceptions près (signalées dans la légende et la notice de chaque coupure), on ne tient pas compte des alluvions.

### Cartographie

Deux gammes de couleurs différentes ont été utilisées afin de différencier d'emblée les régions à aquifères généralisés (en bleu) des régions à aquifères discontinus (en orange), l'intensité des teintes croissant avec la productivité.

Dans les zones à aquifères continus, afin de marquer le caractère nécessairement imprécis des limites, les fourchettes de valeurs de productivité se recouvrent partiellement.

Dans les régions à aquifères discontinus, les valeurs de productivité représentent des moyennes valables pour des régions de même nature pétrographique : granito-gneiss, schistes, etc...

Afin de faciliter le repérage, la carte est divisée en secteurs homogènes affectés d'un indice figurant également sur le schéma de situation (fig. 1).

Les aquifères profonds sont représentés par des courbes d'isoproductivité de couleur orange et par un numéro de même couleur figurant à côté de celui de l'aquifère supérieur représenté.

Les différents secteurs géographiques homogènes sont décrits ci-dessous.

### NOTICE EXPLICATIVE DE LA CARTE DU CÔUT MOYEN DE CAPTAGE ET D'EXPLOITATION DE L'EAU SOUTERRAINE

(1/1.500.000)

Les cartes libellées coût moyen de l'eau expriment, pour un aquifère généralisé, c'est-à-dire une entité hydrogéologique, un réservoir bien individualisé, d'extension régionale, le coût de production du m<sup>3</sup> d'eau

.../...

souterraine à la côte + 10 par rapport au sol naturel. Pour la description des quelques 30 aquifères repertoriés sur la région du Sahel, on se reportera utilement à la notice des cartes de productivité. Pour un aquifère discontinu, d'extension limitée, des études locales détaillées sont nécessaires si l'on désire connaître le coût du m<sup>3</sup>. La notion strictement économique de la ressource étant plus diffuse pour ces conditions de gisement, il est plus réaliste de parler d'investissements relatifs aux prix de revient des ouvrages de captage et de production. Seul le principe du calcul sera exposé dans la présente notice et étayé sur quelques exemples précis.

Ces cartes n'ont d'autre prétention, étant donné l'échelle de la représentation (1/1.500.000), de la reconnaissance et de l'instruction des données, que d'exprimer des tendances régionales qui gagneraient à être exploitées par les utilisateurs au sens de lignes d'orientation permettant de comparer les performances des réservoirs, et non de certitudes absolues. En outre, les cartes se proposent de représenter davantage des plages de coût que des courbes d'égale valeur sensu stricto, ce qui permet d'homogénéiser la variable coût qui résulte de la composition de nombreux paramètres physiques et économétriques, et n'est pas une variable rigoureusement continue.

Enfin, nous avons jugé utile de compléter la seule cartographie et les commentaires qui l'accompagnent par le jeu des documents suivants :

- abaques et tableaux des coûts des principaux constituants de la fonction coût ;
- principe du traitement informatique du calcul des coûts ;
- cartes schématiques exprimant soit les données physiques de base, soit les résultats économétriques complémentaires à la seule analyse du coût du m<sup>3</sup> de ressource ;
- cartographie d'une fonctionnelle représentant, de manière invariante, les caractéristiques physiques de l'exploitation et du réservoir ;
- recherche, sur un réservoir donné, des conditions optimales d'exploitation.

#### 1 - DEFINITIONS - HYPOTHESES DE TRAVAIL

Les cartes du coût moyen de forage et de production des eaux souterraines ont pour but de fournir aux utilisateurs les valeurs, dans la zone du Sahel, du coût du m<sup>3</sup> d'eau, selon certaines hypothèses de travail développées par ailleurs, intégrant les paramètres physiques des réservoirs, techniques du captage et de l'exploitation, et économétriques des coûts unitaires et indices correspondants.

Nous avons retenu, pour les calculs des coûts, la formule simplifiée suivante :

$$(1) \quad C_u = \frac{IF / na + DV}{V} = C_uF + S_uV$$

- avec : Cu : coût (unitaire) du m<sup>3</sup> d'eau souterraine produit  
 IF : montant des investissements (fixes) des infrastructures et équipements  
 na : nombre d'années d'amortissement des investissements.  
 DV : dépenses variables  
 V : volume annuel d'eau souterraine extrait (m<sup>3</sup>)  
 Cu<sup>F</sup> : coûts unitaires fixes  
 Cu<sup>V</sup> : coûts unitaires variables.

Ces deux derniers paramètres, constituants fondamentaux de la fonction coût, peuvent se décomposer en :

$$(2) \quad Cu^F = \left[ (CF/naf) + (CP/nap) + (CM/nam) \right] / V$$

$$(3) \quad Cu^V = a \times HMT \times Ch \times Cc$$

- avec : CF : coût de forage (fonction de la profondeur et du débit)  
 CP : coûts des équipements de pompage (fonction du débit et de la hauteur manométrique de refoulement)  
 CM : coûts de moteur (à combustion interne) (fonction de la puissance requise pour refouler le débit nominal à la côte de l'exutoire)  
 naf, nap, nam : nombre d'années d'amortissement (forage, équipements en pompage, moteur)  
 HMT : hauteur manométrique totale de refoulement  
 Ch : consommation horaire par CV de carburant "équivalent" (gaz oil, huile et graisse) des moteurs  
 Cc : coût du litre de carburant "équivalent"  
 a : coefficient de proportionnalité dépendant des unités choisies.

Nous aboutissons ainsi à la formule développée suivante :

$$(4) \quad Cu = \left( \frac{(CF/naf) + (CP/nap) + (CM/nam)}{V} + (a \times HMT \times Ch \times Cc) \right)$$

Les caractéristiques essentielles des postes techniques visés précédemment, ainsi que les unités choisies, sont consignées dans le tableau 2 ci-après.

.../...

TABLEAU 2

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ET UNITES DE MESURES CHOISIES

Postes techniques			Unités employées	
Rubrique	Mode (type)	Date d'actualisation des coûts	Mesure	Unité
Forage	rotation	juin 1974	Monétaire	Francs CFA
Pompes	axe vertical	janvier 1975	Longueurs	Mètre
Moteurs	combustion interne	janvier 1975	Débit	m <sup>3</sup> /h
			Puissance	CV

En outre :

a) - l'exutoire de refoulement superficiel est fixé à la côte + 10 au-dessus du sol ;

b) - le régime d'exploitation des eaux est supposé stationnaire, c'est-à-dire que le niveau dynamique des eaux souterraines est stabilisé selon des critères de rabattement moyen de niveaux, définis dans la notice productivité ;

c) - les captages sont supposés réalisés selon les règles de l'art et bénéficient des techniques de forage les plus récentes, ce qui implique une excellente complétion des puits d'exploitation et des pertes de charge minimales au passage des crépines et dans la colonne captante. Toutes choses égales par ailleurs, les ouvrages existants, de réalisation souvent ancienne, ne constituent donc pas nécessairement une référence quant aux débits spécifiques et au régime des pertes de charge ;

d) - le coût des travaux et infrastructures d'adduction et, de façon générale, de tout équipement intervenant en aval, après le robinet vanne installé en sortie de pompe, n'est pas comptabilisé dans le coût ;

e) - les éléments qui pourraient se révéler, selon les circonstances, les lieux, les particularités locales et régionales, ou la conjoncture internationale, d'un poids non négligeable sur la structure des coûts ne sont pas pris en compte, en particulier :

- les acquisitions de terrain,
- les frais de main-d'oeuvre relatifs au gardiennage et à la maintenance,
- les frais bancaires, agios et intérêts liés au loyer de l'argent,
- l'incidence des taxes fiscales et para-fiscales.

.../...

f) - les prix indiqués pour les équipements s'entendent tous frais d'emballage, de transport et de douane compris, livrés à Dakar ou Abidjan, le coût de base étant cependant aligné sur les prix des travaux, fournitures et services pratiqués au Sénégal. L'utilisateur soucieux d'actualiser ces coûts aux conditions d'un autre Etat pourrait appliquer à la carte des coûts les taux de majoration suivants, déduits d'enquêtes, qui sont fournis à titre purement indicatif :

Mauritanie	: + 40 %
Mali	: + 25 %
Haute-Volta	: + 25 %
Niger	: + 30 %
Tchad	: + 50 %

g) - les zones cartographiées, qui ont le sens de plages homogènes de coût et non de zones comprises entre des courbes d'isovaleur, se distribuent selon l'échantillonnage de classes suivant :

1 - Cu	$\leq 10$ F CFA
2 - 10 < Cu	$\leq 20$
3 - 20 < Cu	$\leq 30$
4 - 30 < Cu	$\leq 50$
5 - Cu	$> 50$

Une cartographie académique eut exigé de présenter un échantillonnage spécifique à chaque feuille ou, mieux, à chaque réservoir, en fonction de l'histogramme de distribution des valeurs ponctuelles calculées. Nous avons préféré, par souci de simplification, une représentation globale, restant entendu que le détail de la configuration spatiale des coûts peut être consulté sur les documents analytiques joints en annexe 3.

Nous rappelons que les cartes intéressent des nappes d'eau souterraines dites généralisées, d'extension régionale (cf. notice productivité), sur lesquelles les grandeurs physiques (profondeurs et productivités des ouvrages, hauteurs manométriques) sont suffisamment régulières et homogènes pour autoriser le calcul de valeurs moyennes, représentatives à l'échelle de la maille élémentaire d'instruction qui couvre une centaine de km<sup>2</sup>. Cette échelle de travail montre, si besoin est, que les valeurs de coût produites s'entendent davantage au sens d'ordres de grandeur que de valeurs absolues : elles doivent surtout permettre des études comparatives de la structure des coûts d'une région à l'autre, plutôt que des estimations locales isolées.

Enfin, et cette remarque est essentielle, la méthodologie d'étude adoptée s'attache à fournir, sur une base économétrique, un modèle d'offre. Elle peut apparaître, de ce fait, quelque peu limitante, au plan du développement dans les conditions spécifiques de l'Afrique du Sahel, tant que le volume et le prix de la ressource ne sont pas liés explicitement à la structure de la demande et des besoins. Mais, pour l'heure, nous avons décidé de nous limiter à la structure de l'offre, ce qui constitue une première étape de travail. D'autre part, les coûts indiqués sur les cartes ne correspondent pas nécessairement aux conditions optimales (au sens du coût) de l'exploitation. Une telle recherche exige d'entreprendre, selon certaines hypothèses de production des réservoirs, une étude particularisée aux différents aquifères et types d'ouvrages, du type de celle esquissée au paragraphe

du  
 "Recherche de conditions optimales de captage" / chapitre 4 (p. 58) de la notice.

Cela étant, ce souci de simplification peut entraîner de légères distorsions par rapport aux évaluations réelles mais, en contrepartie, il a le mérite de normaliser et surtout d'homogénéiser les comparaisons moins sujettes aux particularités économiques, fiscales ou logistiques d'un pays. Il est utile, en effet, de rappeler que nous travaillons sur une entité physique écologique.

La formule du coût (4) peut cependant s'appliquer à toute évaluation, même locale, pour autant que les paramètres constitutifs soient connus.

## NOTICE EXPLICATIVE DE LA CARTE D'APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION

(1/1.500.000)

### 1 - INTRODUCTION

La carte d'aptitude des eaux à l'irrigation indique les zones où les eaux sont utilisables pour l'irrigation selon un critère fondé sur certaines caractéristiques hydrochimiques. Comme les autres cartes de planification - et peut-être même davantage, car les caractéristiques hydrochimiques sont extrêmement variables - elle est destinée aux planificateurs étudiant une région dans son ensemble.

### 2 - METHODE UTILISEE

La méthode utilisée consiste en premier lieu à définir un certain nombre de classes, fondées sur deux critères : la conductivité et le taux d'adsorption du sodium, puis à regrouper ces classes pour définir des degrés d'aptitude qui font l'objet de la représentation cartographique.

#### Classification des eaux d'irrigation

La méthode utilisée est celle du laboratoire de Riverside\* qui est fondée sur

- la minéralisation totale d'une eau exprimée par la conductivité
- le taux d'adsorption du sodium (Sodium Adsorption Ratio = SAR)

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{1/2 (Ca + Mg)}}$$

L'U.S. Salinity Laboratory a défini en 1955 les possibilités d'utilisation des eaux en fonction de leur minéralisation totale. On a distingué quatre classes : C1 à C4 (tableau 12).

Pour sa part, WILCOX (1958) a déterminé les possibilités d'utilisation des eaux en fonction du SAR, distinguant quatre classes : S1 à S4 (tableau 13).  
 .../...

---

\* US Salinity Laboratory (1954) - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils, Agr. Handbook 60, USDA (U.S.A.).

Ces deux classifications regroupées en 16 classes d'eaux permettent de définir un indice de type Cx Sy.

Pour simplifier la représentation cartographique, les 16 classes retenues dont certaines sont très proches les unes des autres, ont été regroupées en 5 degrés d'aptitude, de 1 : eau excellente à 5 : eau mauvaise.

Le qualificatif attaché à chaque degré d'aptitude traduit évidemment, de façon schématique, et donc simpliste, l'utilisation possible de l'eau. Dans toute la suite du texte, les termes simplifiés de excellente, bonne, ..., mauvaise seront employés, mais on gardera à l'esprit la définition plus complète des possibilités d'utilisation de l'eau indiquées dans le tableau 13.

.../...

TABLEAU 12

## POSSIBILITE D'UTILISATION D'UNE EAU EN FONCTION DE SA MINERALISATION TOTALE

(U.S. Salinity Laboratory, 1955)

Conductivité (C <sub>0</sub> ) en µmho eau à 25°	Minéralisation totale en g/l (approximation)	Observations
C1: $0 \leq C_0 \leq 250$	0,2	Les eaux de faible minéralisation peuvent être utilisées pour l'irrigation de la plupart des sols, sans crainte de voir se poser un problème dû à la minéralisation des eaux. Un lessivage du sol est nécessaire, mais celui-ci existe dans les conditions normales d'irrigation sauf dans le cas de sols à perméabilité extrêmement faible.
C2: $250 < C_0 \leq 750$	0,2 à 0,5	Les eaux de minéralisation "moyenne" peuvent être utilisées si le sol subit un lessivage modéré. Les plantes ayant une tolérance moyenne au sel peuvent être irriguées sans contrôle particulier.
C3: $750 < C_0 \leq 2250$	0,5 à 1,5	Les eaux salées ne peuvent être utilisées sur des <sup>sols</sup> insuffisamment drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée, même si le drainage est suffisant. Les eaux ne peuvent servir qu'à l'irrigation de plantes tolérantes au sel.
C4: $2250 < C_0 \leq 5000$	1,5 à 3	Eaux fortement minéralisées : leur utilisation n'est pas souhaitable en agriculture. Cependant, elles peuvent être utilisées sous certaines conditions : sol très perméable, drainage suffisant, irrigation importante pour éviter un lessivage trop grand. Ces eaux ne peuvent convenir qu'à des plantes tolérantes très bien le sel.

TABLEAU 13

POSSIBILITES D'UTILISATION D'UNE EAU EN FONCTION DU SAR

(WILCOX, 1958)

Classe	Observations
S1	Les eaux de cette classe peuvent être utilisées à peu près sans danger sur la plupart des sols. Cependant, les plantes particulièrement sensibles au sodium, telles certaines espèces d'arbres à fruits à noyau et les avocatiers peuvent dangereusement accumuler du sodium dans leurs feuilles.
S2	L'irrigation avec des eaux de ce type risque de poser des problèmes sur des sols à texture fine, à forte capacité d'échange d'ions (argileux), à moins qu'ils ne soient gypsifères. Ces eaux peuvent être utilisées sans problème sur des sols grossiers (sableux) ou organiques, à bonne perméabilité.
S3	L'utilisation de ces eaux est problématique sur la plupart des sols et nécessite une préparation spéciale de ceux-ci : bon drainage, bon lessivage, addition de matières organiques. Le risque d'échange cationique est limité avec des sols gypsifères. Des amendements chimiques peuvent être nécessaires pour remplacer le sodium échangeable, sous réserve de ne pas être utilisés avec des eaux très salées.
S4	Les eaux à fort taux d'adsorption du sodium sont généralement déconseillées pour l'irrigation, sauf si l'eau est moyennement minéralisée, et sur des sols où la présence de Ca, l'addition de gypse ou d'autres amendements en rend l'utilisation possible.

TABLEAU 14  
CLASSIFICATION DES EAUX PAR DEGRES D'APTITUDE A L'IRRIGATION

Degré	Qualité	Classes	Observations
1	Excellente	C1-S1	Eau utilisable sans danger pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols.
2	Bonne	C2-S1 C2-S2	En général, eau pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour l'irrigation de plantes moyennement tolérantes au sel, sur sols ayant une bonne perméabilité. Principaux problèmes, dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à forte capacité d'échange d'ions (sols argileux).
3	Admissible	C3-S1 C3-S2 C3-S3	En général, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés. L'évolution de la salinité doit cependant être contrôlée. Principaux problèmes dus aux plantes trop sensibles au sodium et aux sols à faible perméabilité.
4	Médiocre	C4-S1 C4-S2 C3-S3	En général, eau fortement minéralisée pouvant convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes au sel et sur des sols bien drainés et lessivés.
5	Mauvaise	C3-S4 C4-S3 C4-S4	Eau ne convenant généralement pas à l'irrigation mais pouvant être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, plantes tolérant très bien le sel.

Données utilisées

Les données de base de ce travail sont les analyses chimiques des éléments majeurs :

cations :  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ .

anions :  $Cl^-$ ,  $SO_4^-$ ,  $CO_3^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $NO_3^-$ .

.../...

Celles-ci permettent de déterminer le SAR et la conductivité. En effet, les valeurs de conductivité (ou de résistivité) mesurées étant rares, afin d'homogénéiser les données, une conductivité théorique a été calculée pour chaque point d'eau, à l'aide de formules empiriques prenant en compte la minéralisation totale des eaux et leur faciès chimique lorsque celles-ci sont fortement minéralisées ; les formules utilisées sont les suivantes, B étant la demi-somme anions - cations exprimée en milliéquivalents :

- si  $B \leq 1$  meq\*  
conductivité :  $100 \times B$
- si  $1 < B \leq 3$  meq :  
conductivité :  $12,27 + 86,38 \times B + 335 \times B^2$
- si  $3 < B \leq 10$  meq :  
conductivité :  $B \times (95,5 - (5,54 \times \log B))$
- si  $B > 10$  meq  
si  $\text{Cl}^-$  est l'ion dominant : conductivité\*\* =  $123 \times B^{0,939}$   
si  $\text{SO}_4^{=}$  est l'ion dominant : conductivité =  $101 \times B^{0,949}$   
si  $\text{HCO}_3^-$  est l'ion dominant : conductivité =  $90 \times B$

Les calculs élémentaires hydrochimiques et le calcul des conductivités théoriques ont été effectués automatiquement sur ordinateur.

#### Choix des données

Les analyses étant d'origine et de qualité très diverses, seules ont été retenues celles dont la balance ionique était inférieure ou égale à 10 %.

Lorsqu'on disposait de plusieurs analyses pour un seul et même point d'eau, les critères de choix ont été :

- analyse correspondant à un échantillonnage en saison sèche,
- analyse la plus récente,
- analyse moyenne (dans le cas d'un grand nombre de données).

#### Représentation cartographique

##### Régions cartographiées

Seules ont été cartographiées les régions à nappe généralisée relevant, pour l'essentiel, des grands bassins sédimentaires où les ressources en eaux souterraines sont susceptibles, du fait de leur continuité et de leur forte productivité, d'être utilisées à des fins d'irrigation.

.../...

---

\* meq : milliéquivalent  
\*\* conductivité en umho.

La répartition spatiale hétérogène des données a conduit à distinguer, selon la densité régionale des informations :

- des régions cartographiables sans restriction,
- des régions où extrapolation et interpolation sont la règle (figuré hachuré),
- des régions sans données, ou dépourvues de ressource (biseau sec, zone stérile). Dans ces régions laissées en blanc, la raison de la lacune cartographique est indiquée.

Les terrains métamorphiques ou éruptifs et les terrains sédimentaires à porosité de fissures, contenant des nappes discontinues de faible productivité et de minéralisation hétérogène, n'ont pas été cartographiés du point de vue chimique, mais ont fait l'objet d'une cartographie lithologique.

#### Conventions adoptées

De façon générale, une zone caractérisée par une eau d'une certaine qualité n'a été cartographiée que lorsqu'on disposait au moins de deux points d'eau voisins présentant des caractéristiques chimiques semblables. Cependant, de telles zonalités ont pu être définies sur la base de l'analyse d'un seul point d'eau lorsque des renseignements hydrologiques ou géologiques (lithologie ou structure) permettaient d'extrapoler à partir de la donnée ponctuelle.

Une gamme de couleurs allant du bleu (excellent) à l'orange (mauvais) a été choisie pour représenter les 5 degrés d'aptitude des eaux à l'irrigation.

Couleur	Qualité
bleu	excellente
bleu clair	bonne
vert clair	admissible
jaune clair	médiocre
jaune	mauvaise (RS (*) < 1 g/l)
orange	mauvaise (RS > 1 g/l)

Les limites de zones ont été tracées en pointillé lorsque le manque total ou l'insuffisance d'information ne permettaient pas de localiser celles-ci avec certitude.

Un figuré en dents de scie a été utilisé lorsque l'aquifère considéré se divise en plusieurs nappes superposées séparées par des niveaux plus ou moins imperméables et plus ou moins continus, permettant localement des mélanges d'eau de qualités différentes ; la variation de la qualité, dans ce cas, n'est pas régulière, et le passage d'une qualité à une autre ne se situe pas sur la même verticale selon le niveau aquifère considéré (ex. feuille).

(\*) RS = résidu sec.

ouest, limite du front salé en Mauritanie).

La qualité de l'eau d'une région a été représentée en hachures de la couleur correspondante quand, ne disposant d'aucune donnée chimique mais connaissant les conditions de gisement de la nappe, on pouvait émettre une hypothèse quant à cette qualité.

### 3 - CARTE D'APTITUDE DES EAUX A L'IRRIGATION

#### Objectif de la carte

La carte a été établie dans le but de fournir une image essentiellement comparative de la qualité chimique des eaux pour l'irrigation.

Chaque zone de qualité définie exprime une dominante chimique et traduit la qualité la plus probable des eaux de la région. Les points de pollution locale (pollution organique, concentration locale des eaux de la nappe à l'affleurement dans les mares, ...) n'ont donc pas été pris en considération.

La classification du laboratoire de Riverside ne prenant en compte ni la nature du sol, ni le type de culture à irriguer, cette carte ne donne qu'une idée de l'aptitude moyenne des eaux utilisées dans des conditions moyennes de sol (lessivage moyen, drainage suffisant) et de culture (plantes moyennement sensibles au sel).

De ce fait, ce document n'a qu'un objectif d'orientation. Il ne dispense pas d'études locales complémentaires :

- études agronomiques pour tempérer ou confirmer des diagnostics apparemment sévères et définitifs (ex. une zone peu ou pas favorable à un aménagement agricole par la qualité médiocre ou mauvaise de l'eau peut s'avérer exploitable après un choix judicieux des cultures et une bonne préparation des sols),

- études hydrogéologiques afin de s'assurer par exemple que les irrigations prévues ne provoqueront pas, dans une région caractérisée par des eaux peu favorables à l'irrigation, une remontée des eaux salées dans la zone racinaire ou une remontée du niveau de la nappe très près de la surface amenant, sous l'effet d'une évaporation intense, un enrichissement en sels de sodium dont souffriraient les cultures.

#### Précision de la carte

Quant à la précision de cette carte, l'utilisateur devra tenir compte, d'une part de la petite échelle à laquelle elle a été réalisée, d'autre part de la qualité parfois douteuse des analyses et de la densité très irrégulière, parfois même très insuffisante, des points d'eau qui constituent la base de ce travail.

.../...

Lorsque deux degrés de qualité très différente se trouvent situés à très faible distance l'un de l'autre, les concentrations intermédiaires en auréoles n'ont pas été représentées dans les cas suivants.:

- lorsque les données prises en compte à l'échelle du travail n'indiquent pas de valeur intermédiaire,

- lorsqu'il y a variation de faciès lithologique : la qualité chimique de l'eau varie trop rapidement pour qu'on puisse représenter les stades intermédiaires à l'échelle considérée.

En fait, une zonalité en auréoles résulterait essentiellement d'une construction purement géométrique qui ne peut pas toujours s'appliquer au caractère non linéaire de la variable : qualité chimique d'une eau.



SUR L'INTERET HYDROGEOLOGIQUE MAJEUR DES ZONES DE FAILLES  
DANS LE SOCLE METAMORPHIQUE ET ERUPTIF  
DE L'AFRIQUE OCCIDENTALE

par

René GUIRAUD (\*) et Pierre Paul LENCK (\*\*)

PLAN

- INTRODUCTION

PROBLEMES METHODOLOGIQUES CONCERNANT L'IMPLANTATION ET LE TYPE D'OUVRAGE  
A REALISER

- . La localisation des failles et l'implantation des ouvrages.
- . Le choix du type d'ouvrage.

PRESENTATION DE QUELQUES RESULTATS INTERESSANTS OBTENUS RECEMMENT EN  
COTE D'IVOIRE

- . Sondage effectué dans les environs de Soubré (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire).
- . Sondages divers exécutés dans le socle en Côte d'Ivoire.

- CONCLUSIONS

- BIBLIOGRAPHIE

(\*) Faculté des Sciences BP 4322 ABIDJAN

(\*\*) FORACO C.I. BP 11592 ABIDJAN.

## INTRODUCTION

L'intérêt présenté par les zones de fractures pour la recherche des eaux souterraines dans les régions de socle de l'Afrique de l'Ouest a été souligné à diverses reprises, et en particulier tout récemment par M. ENGALENC et par R. GUIRAUD dans les colonnes du bulletin de liaison du Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques.

En effet, certains hydrogéologues s'orientent maintenant vers la prospection systématique des drains que constituent souvent les failles et les zones broyées qui les accompagnent.

Cette méthodologie, appliquée notamment en Côte d'Ivoire, conduit à une amélioration considérable du pourcentage de réussite des ouvrages et des débits obtenus ponctuellement. Ces derniers atteignent parfois des valeurs tout à fait inhabituelles, et c'est pourquoi nous voudrions attirer ~~ici~~ l'attention sur quelques résultats remarquables et sur les méthodes avec lesquelles ils ont été obtenus.

Nous tenons enfin à préciser, au terme de cette introduction, qu'il ne sera pas question dans cet article des nappes de fissures (joints) que l'on rencontre dans de nombreux secteurs au toit des roches saines aussi bien en domaine granito-gneissique que schisto-grauwackeux (R. GUIRAUD, 1975 et 1976), nappes qui contribuent évidemment à l'alimentation des aquifères localisés au niveau des failles.

## PROBLEMES METHODOLOGIQUES CONCERNANT L'IMPLANTATION ET LE TYPE D'OUVRAGE A REALISER

### La localisation des failles et l'implantation des ouvrages

Les zones de fractures peuvent être localisées assez rapidement à l'aide de divers moyens.

L'étude des cartes géologiques existantes facilitera dans certains cas cette opération. Mais celles-ci ne sont généralement pas assez détaillées soit par manque d'affleurements (dans les régions couvertes par la forêt principalement), soit par l'insuffisance des études entreprises jusqu'à présent. Cependant, les secteurs qui ont fait l'objet de prospections minières et de recherches universitaires de géologie générale, voient leur superficie s'accroître rapidement dans diverses régions et, par suite, les données structurales disponibles progressent également.

Des informations intéressantes peuvent par ailleurs être fournies par les prospections aéromagnétiques réalisées actuellement dans de vastes secteurs.

Le tracé du réseau hydrographique fournit souvent, quant à lui, une bonne image de la fracturation en grand de la région comme l'ont souligné de nombreux auteurs (B. TAGINI, 1971, A.C. REBOUCAS, 1975 ; G. PERON et R. GUIRAUD, 1976 ; etc).

.../...

Mais c'est en ~~définitive~~ l'étude des photographies aériennes qui seule permet à la fois la reconnaissance à l'échelle régionale (agrandissement de photographies ERTS au 1/200.000 par exemple, en noir et blanc et en infrarouge), et le choix précis des emplacements des ouvrages en fonction de l'intérêt structural et géomorphologique d'une part et des possibilités d'accès pour les machines d'autre part (nécessité pour cela de disposer de photographies à une échelle aussi grande que possible, comprise en pratique entre le 1/50.000 et le 1/10.000).

Par ailleurs, il sera peut-être bientôt possible d'utiliser, dans certains secteurs, des documents complémentaires élaborés également par télédétection (radiométrie infrarouge à balayage, radar). Ces documents permettraient un inventaire plus aisé du réseau de fractures dans les régions où un voile peu épais, constitué par des formations alluviales ou éoliennes, masque le substratum. Malheureusement, le coût très élevé de telles prospections interdit actuellement leur mise en oeuvre à des seules fins hydrogéologiques.

En revanche, dans ces mêmes zones à recouvrement superficiel étendu, des prospections géophysiques classiques (méthodes électriques et électro-magnétiques) ne sauraient trop être conseillées. Et il sera alors économique de réaliser des profils selon des directions perpendiculaires à celles des accidents majeurs affectant les régions voisines, afin d'augmenter les chances de recouper des fractures et de diminuer ainsi le coût de la prospection.

Dans quelques cas particuliers, enfin, à défaut de couverture photographique aérienne correcte et lorsque un débit important est recherché, un rapide survol en avion du secteur à prospecter se justifie.

Mais en règle générale, et surtout dans les régions de savane, on peut retenir qu'il est facile pour un géologue un peu expérimenté de repérer les zones fracturées dans le socle, et par suite d'implanter les ouvrages, à l'aide des seules photographies aériennes en noir et blanc.

Il est évident, par ailleurs, que la convergence dans un même secteur de deux ou plusieurs accidents constituera un élément particulièrement positif. Et contrairement à ce que l'on pourrait penser, ce dispositif est assez fréquent. De même, les accidents les plus longs et les plus larges seront a priori les plus favorables.

Rares sont donc les secteurs où l'on n'observe pas de faille à proximité de la localité ou des installations à alimenter : si la densité des fractures est bien évidemment plus importante au voisinage des accidents majeurs qui découpent le socle, il semble cependant, d'après des études réalisées récemment en Côte d'Ivoire (G. PERON) et en Haute-Volta (M. ENGALENC, A. TAHO), que la surface maximale des blocs non affectés par des cassures présentant un intérêt sur le plan hydrogéologique (700 à 800 m de long au minimum) n'excède pas le plus souvent 8 à 10 km<sup>2</sup>.

La difficulté principale pour l'implantation résulte souvent des difficultés d'accès sur les sites les plus favorables. Dans bien des cas, l'aménagement très sommaire d'un tronçon de piste, avec la participation de la population locale, permettrait de résoudre ce problème. Mais

cela implique que l'étude hydrogéologique préliminaire soit effectuée plus ou moins longtemps avant l'arrivée de la sondeuse sur les lieux, ce qui n'est malheureusement pas toujours le cas.

#### Le choix du type d'ouvrage

Comment exploiter au mieux les aquifères de fractures ? Quelques considérations géologiques et hydrogéologiques permettent de répondre aisément à cette question.

Les failles qui affectent le socle précambrien présentent le plus souvent à l'affleurement, quelle que soit leur importance, un tracé rectiligne. Les auteurs en ont conclu, à juste titre, qu'il s'agissait d'accidents verticaux ou subverticaux, ce que tendent à confirmer les sondages réalisés à leur niveau (nombreux exemples en Côte d'Ivoire et surtout dans le Nordeste brésilien où le contexte géologique est identique).

Par ailleurs, il convient de tenir compte d'un important facteur de géodynamique interne : le régime général de distension qui s'est installé régionalement depuis le Trias du fait de la dérive de l'Afrique vers l'Est et qui s'est accompagné notamment par de nombreuses manifestations volcaniques basiques (filons doléritiques, volcans quaternaires du Sénégal, volcanisme actuel du Cameroun, etc), n'a pu que favoriser l'ouverture des fractures (plus particulièrement peut-être des accidents orientés au Nord-Ouest).

On sait d'autre part, sur le plan lithologique, que l'altération progresse rapidement au niveau des zones fracturées et que, dans les régions de socle métamorphique et éruptif, ce processus peut se traduire par une forte concentration de minéraux argileux dans les horizons superficiels. Et ce phénomène est, en outre, accentué au niveau des failles qui donnent souvent lieu en surface à des zones déprimées vers lesquelles les produits les plus fins, provenant de l'altération des versants voisins, tendent à converger.

Néanmoins, les zones de fractures et leurs épontes altérées constituent en général des drains dans lesquels circulent les eaux souterraines que l'on doit donc rencontrer à des profondeurs variables en fonction de nombreux paramètres, dont principalement le modèle local et la pluviométrie.

Et, compte tenu d'une part de la verticalité des accidents et d'autre part de la diminution des teneurs en argiles avec la profondeur, il est évident que les meilleurs débits seront obtenus avec des ouvrages relativement profonds. Ceci est d'ailleurs la règle générale dans le précambrien quel qu'en soit le faciès, et, par conséquent, les puits forés en grand diamètre - dont la profondeur ne dépasse pas 30 m - ne conviennent pas dans de nombreux cas. En outre, des ouvrages profonds permettront seuls de protéger le point d'eau d'un éventuel tarissement lors des périodes de sécheresse.

Cependant, au delà d'une certaine profondeur, variable et difficile à prévoir, l'altération n'étant que peu ou pas intervenue, les précisions locales augmentant et la verticalité des accidents n'étant pas parfaite, les débits spécifiques risquent de diminuer plus ou moins rapidement

il existe donc un seuil au delà duquel la poursuite des ouvrages n'est plus rentable et dont l'appréciation, délicate, est du seul ressort du géologue supervisant le chantier. Il y a lieu de noter à ce propos les résultats obtenus dans le Nord-Est du Brésil où environ 400 forages furent exécutés au droit de fractures du socle et où l'on a constaté que les venues d'eau tendaient à diminuer au delà d'une cinquantaine de mètres de profondeur (A.C. REBOUCAS, 1975). Mais il s'agit là d'une région assez sèche où, de surcroît, la puissance moyenne des altérites est exceptionnellement faible - puisqu'elle est de l'ordre de 4 m - et où par conséquent l'altération au niveau des failles a progressé moins profondément qu'en Afrique de l'Ouest.

En définitive, si l'on tient compte des différents facteurs exposés dans les paragraphes précédents, on est conduit à conclure que l'ouvrage le mieux adapté pour l'exploitation des aquifères de fractures correspond au forage en petit diamètre. Quant à la profondeur des ouvrages, elle devrait se situer dans la plupart des cas entre 40 et 70 m.

#### PRESENTATION DE QUELQUES RESULTATS INTERESSANTS OBTENUS RECEMMENT EN COTE D'IVOIRE

##### Sondage effectué dans les environs de Soubré (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire)

Un sondage de reconnaissance a été effectué récemment dans la région de Soubré, près du village d'Okrouyo, dans le but d'alimenter en eau potable une base agricole et de tester les possibilités locales des nappes souterraines afin de procéder éventuellement par la suite à l'irrigation de quelques parcelles.

La région prospectée est couverte par une forêt dégradée et par des plantations. Elle reçoit en moyenne une tranche d'eau annuelle de l'ordre de 1.500 mm, qui tendrait à diminuer cependant depuis quelques années en raison de la déforestation intense de la région (1).

La couverture photographique aérienne disponible n'étant pas de bonne qualité, il a été procédé à un survol aérien d'une demi-heure environ de la région à prospecter. C'est ainsi que plusieurs fractures, dont la trace avait été décelée sur les photos, ont pu être reconnues (fig.). Deux d'entre elles convergeant dans un bas-fond accessible par les machines, cet emplacement fut donc retenu et un sondage de 40 m fut réalisé à l'aide d'une sondeuse du type SM.70-FORACO (procédé rotary et marteau fond du trou).

Le granite a été rencontré dès 2 m de profondeur. Il était tout d'abord un peu altéré et légèrement fissuré ; de faibles venues d'eau ont été enregistrées à diverses reprises. Puis la sonde est entrée vers 32 m dans du granite très fracturé mais sain, qui a été traversé sur 8 m environ, et de très fortes venues d'eau ont alors été enregistrées. L'eau est remontée aussitôt dans le sondage, jusqu'à 50 cm environ de la surface du sol. . . . .

(1) Nous retons à remercier la Société SODEPALM, pour le compte de laquelle a été exécuté ce sondage et qui a bien voulu nous autoriser à en publier les résultats.

Il s'agissait donc d'un aquifère en charge.

Un test de production effectué par air-lift pendant 4 heures a donné un débit de  $40 \text{ m}^3/\text{h}$ . Et, si ce débit est certainement supérieur au débit d'exploitation, en particulier en raison du fait que le sondage a été effectué au mois d'octobre c'est-à-dire au moment où les nappes sont là les plus hautes, il n'en demeure pas moins que ce résultat ouvre des perspectives nouvelles quant à l'exploitation des eaux souterraines dans les régions de socle bien arrosées.

#### Sondages divers exécutés dans le socle en Côte d'Ivoire

Au cours d'une campagne de reconnaissance des possibilités d'alimentation en eau souterraine de diverses localités en Côte d'Ivoire, plusieurs ouvrages ont pu être exécutés à l'aplomb de failles décelées par l'étude de photographies aériennes en noir et blanc.

C'est ainsi que dans le Nord du pays, dans la région de Korhogo où la pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 1.000 à 1.200 mm, des débits de 9 à  $12 \text{ m}^3/\text{h}$  ont été obtenus en saison sèche à des profondeurs de 40 à 45 m dans des granites fracturés (niveau statique à 10-12 m de la surface du sol).

De même, dans l'Ouest de la Côte d'Ivoire, un sondage exécuté au Sud Ouest de Man dans une zone recevant en moyenne 1700 à 1800 mm de pluie par an et implanté au voisinage immédiat d'une fracture affectant des diorites, a donné en fin de période sèche un débit de  $15 \text{ m}^3/\text{h}$  à 27 m de profondeur (niveau statique à 2 m).

#### CONCLUSIONS

On retiendra de cet exposé que la densité des failles est très élevée dans le socle Précambrien métamorphique ou éruptif de l'Afrique de l'Ouest, que celles-ci sont souvent faciles à localiser par le seul examen des photographies aériennes classiques et qu'elles sont généralement aquifères.

Ainsi la prospection et l'exploitation par forages en petit diamètre des zones de fractures doit-elle être effectuée de façon systématique, une telle stratégie ayant pour corollaire une amélioration considérable des pourcentages de réussite des ouvrages et des débits obtenus ponctuellement : avec les moyens techniques actuels de forage, qui permettent au besoin de traverser des roches saines jusqu'à 60 à 80 m de profondeur, on peut en effet espérer raisonnablement réaliser 80 à 90 % de sondages positifs dont les débits seraient généralement supérieurs à  $5 \text{ m}^3/\text{h}$  et dépasseraient même dans bien des cas  $10 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Les résultats obtenus récemment en Côte d'Ivoire démontrent, au besoin, qu'il ne s'agit pas là d'une utopie.

.../...

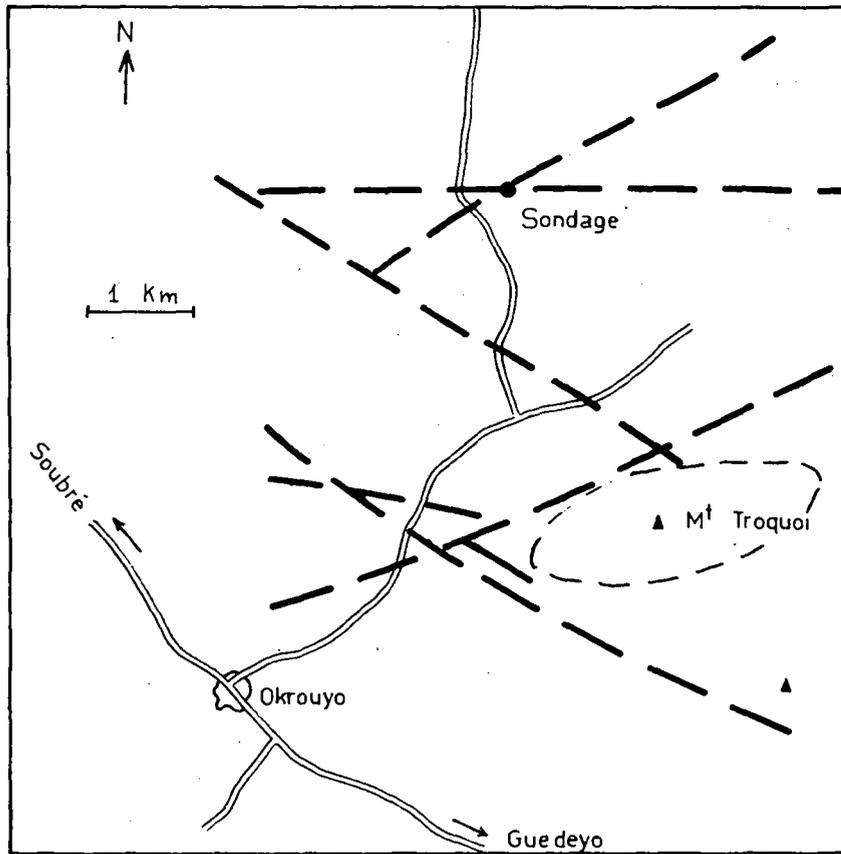


Fig.	Coupe Géologique	Observations
0	Granite	N.S
		Tubage PVC Pied à 6 m
10	Granite légèrement fracturé à amphibole, légèrement orienté	Petite venue d'eau: 200 l/h
20		Venue d'eau 1000 l/h
30	Granite fracturé	
40		Venue d'eau 40 m <sup>3</sup> /h

IMPLANTATION ET COUPE DU SONDAGE D'OKROUYO

B I B L I O G R A P H I E

- ENGALENC M. 1975 : Rôle de la fracturation dans la recherche des eaux souterraines dans les granites de l'Afrique occidentale. Bull. Liaison C.I.E.H. n° 20, p.2-7.
- GUIRAUD R. 1975 : Eléments pour une orientation nouvelle de la recherche des eaux souterraines dans les régions à substratum métamorphique ou éruptif de l'Afrique occidentale. Bull. Liaison C.I.E.H. n° 21, p. 7-16.
- GUIRAUD R. 1976 : Sur la présence de nappes aquifères de fissures dans le socle précambrien de l'Afrique de l'Ouest. A paraître. 4ème Réunion ann. Sc. Terre, Paris.
- PERON G. et GUIRAUD  
R. 1976 : Relations entre les orientations du réseau hydrographique et des éléments structuraux dans le Centre Nord de la Côte d'Ivoire. A paraître, 4ème Réunion ann. Sc. Terre, Paris.
- TAGINI B. 1971 : Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire. Essai de géotectonique régionale. Publ. SODEMI, Abidjan.

HYDROGEOLOGIE ET GEOPHYSIQUE APPLIQUEES  
A LA RECHERCHE D'EAU SOUTERRAINE  
DANS LES ROCHES CRISTALLINES FRACTUREES

par

J. BERGER - M. ENGALENC  
(GEOHYDRAULIQUE - LABORATOIRE CENTRAL D'HYDRAULIQUE  
DE FRANCE (L.C.H.F.)).

Décembre 1975

Dans les roches cristallines et métamorphiques du socle Africain, la recherche d'eau souterraine par implantation de puits et de forages, sans études préalables, se heurte à de nombreux échecs. Trouver de l'eau n'est pas facile, il est encore moins aisé d'assurer la pérennité des ouvrages et leur débit.

L'analyse des conditions d'existence des ressources hydrauliques permet d'élaborer une méthode de recherche qui doit éviter des tâtonnements et détruire le mythe de la répartition hasardeuse de l'eau dans les roches cristallines.

La méthode la plus simple repose sur la photo-interprétation et sur la géophysique électrique.

1 - ANALYSE DES CONDITIONS D'EXISTENCE DES EAUX SOUTERRAINES

L'existence d'eau souterraine est liée à des facteurs d'ordre climatique, géologique, morphologique et hydrologique.

1.1 - Facteur climatique

La pluviométrie est un facteur primordial qui permet le renouvellement plus ou moins régulier et abondant des ressources hydrauliques.

L'évaporation et l'évapotranspiration différée mobilisent de grandes quantités d'eau dans les couches supérieures du sol (8).

1.2 - Facteur géologique

L'eau souterraine est à rechercher dans deux niveaux superposés :

- dans le manteau d'altération,
- dans les fractures du socle cristallin.

L'inégale répartition des ressources hydrauliques est liée à l'inégale répartition des masses altérées dont l'épaisseur et la distribution spatiale sont conditionnées par le réseau des fractures (4 et 5).

La fracturation du socle est très intense ; elle affecte la roche à toutes les échelles. Des cassures d'origine tectonique, des décrochements en général, se superposent à des fractures nées de la décompression superficielle des roches portées à l'affleurement. La cartographie des fractures montre un chevelu dense et complexe que l'on peut toutefois classer en réseaux maillés. Des fractures s'associent et délimitent des blocs moins fracturés.

La fracture est un drain qui favorise le départ et le développement de l'altération, latéralement et en profondeur.

Ainsi, des poches altérées voisinent avec des blocs de roche saine. Comme la fracturation est rectiligne et verticale, les poches altérées sont bien délimitées et dessinent des zones allongées ou des ellipses. On peut observer plusieurs directions dans la fracturation, correspondant à plusieurs phases de contraintes. Toutes les fractures ne jouent pas obligatoirement le même rôle dans la circulation des eaux et dans le développement de l'altération.

On peut penser qu'il existe des directions d'écoulement préférentiel.

Les fractures d'origine tectonique peuvent s'accompagner d'accidents satellites et affectent la roche sur des profondeurs assez grandes. Les cassures liées à la décompression superficielle ne découpent la roche que sur quelques dizaines de mètres en profondeur. Elles sont ouvertes en surface, mais se referment rapidement vers le bas.

### 1.3 - Facteur morphologique

Les ressources hydrauliques superficielles sont fonction de l'épaisseur des altérites ; la faible perméabilité est compensée par la puissance de l'aquifère.

#### 1.3.1 - L'épaisseur des altérites dépend de la morphologie de surface (5)

Sur les plateaux fossilisés par les cuirasses, les épaisseurs sont conservées. Elles sont maximales dans le cas des inversions de relief. Les emboîtements successifs des glacis étagés de part et d'autre des grands marigots réduisent les épaisseurs de l'amont vers l'aval (fig. 1 - zone C). Au droit des grands marigots, le creusement actuel met la roche saine à nu.

#### 1.3.2 - La puissance des altérites est aussi fonction de la morphologie du toit du socle

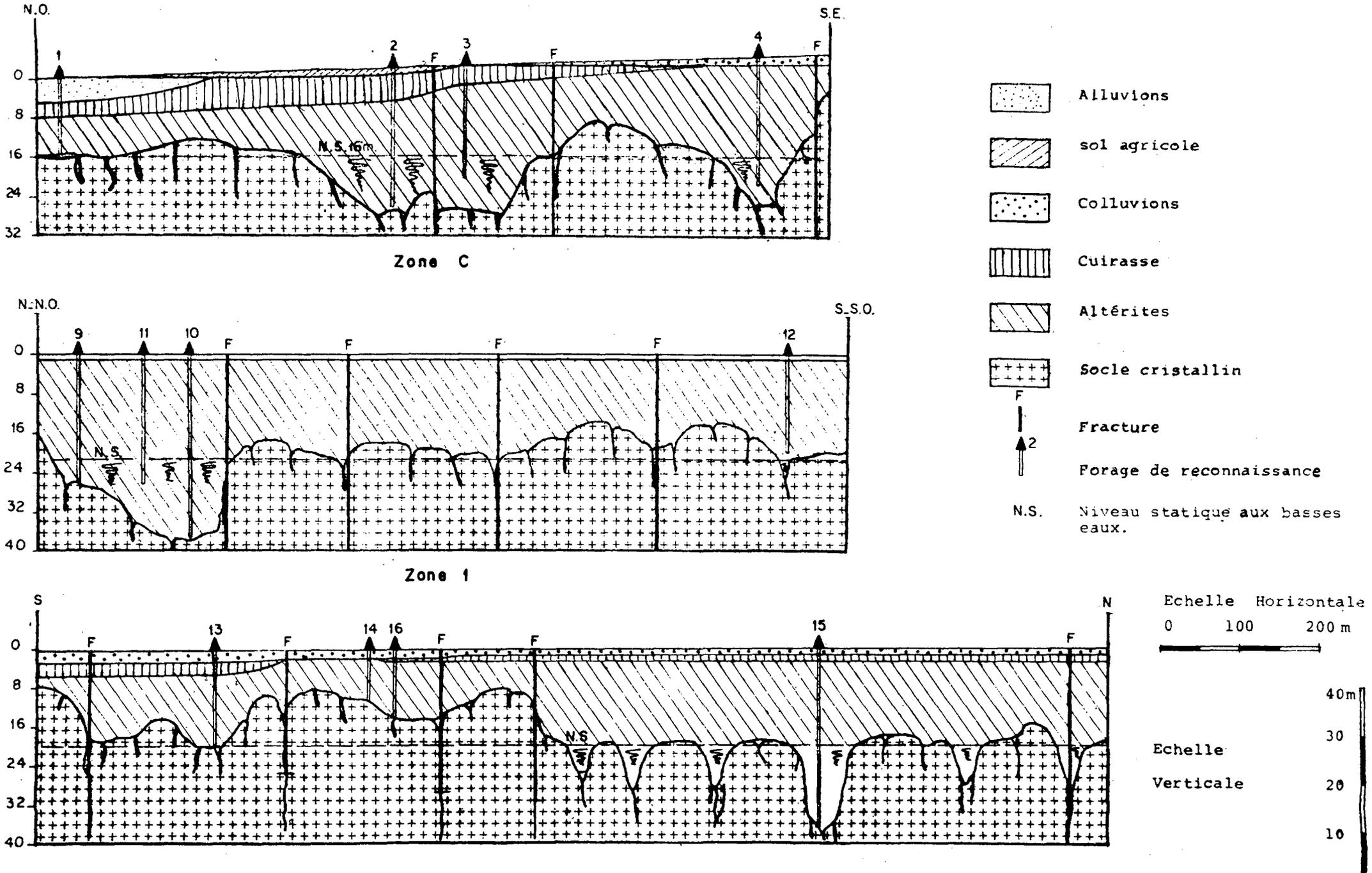
Cette surface est accidentée par des poches altérées. Sur quelques mètres les profondeurs du socle passent de 10 à 40 ou plus (60 m au maximum) (fig. 1).

Les poches altérées sont directement liées à la présence d'une fracture ou d'une association de fractures.

Rappelons toutefois qu'une variation minéralogique de la roche peut modifier le processus de l'altération.

Fig: 1 Coupes hydrogéologiques interprétatives

(Niveau statique aux basses eaux)



#### 1.4 - Facteur hydrologique

##### 1.4.1 - L'eau dans les altérites

La puissance des altérites est une condition nécessaire mais pas suffisante.

Le niveau des eaux souterraines doit être peu profond afin qu'une tranche maximum de terrain soit saturée.

Les fluctuations piézométriques doivent être réduites afin de ne pas annuler les ressources à l'étiage.

Les plus grandes profondeurs des eaux souterraines sont souvent étroitement liées avec les plus fortes amplitudes piézométriques ; sur les plateaux peu ou pas drainés par les marigots, on peut parler d'un aquifère continu relativement constant dans le temps. Par contre, en bordure des plateaux, dans la zone des entailles des marigots et de leurs affluents, les eaux souterraines sont fortement drainées. Les mauvaises perméabilités accentuent les seuils hydrauliques.

Les plus fortes variations piézométriques s'observent sur les versants qui raccordent les plateaux aux marigots.

Les creusements successifs au cours du quaternaire ont rabattu d'autant le niveau des eaux souterraines.

Au droit des marigots, les ressources hydrauliques s'annulent en même temps que l'écoulement superficiel, sauf dans les rares zones à dépôts alluvionnaires.

Dans les zones de fortes amplitudes piézométriques, on ne peut parler d'aquifère continu dans les altérites qu'au moment des hautes eaux. Rapidement, la vidange provoque un assèchement des arènes ; aux basses eaux, les ressources hydrauliques sont piégées dans les poches d'altération les plus profondes (fig. 1).

A la limite, lorsque la surface piézométrique est profonde ou lorsque les altérites sont peu épaisses ou absentes, le niveau de l'eau s'observe sous le toit des roches cristallines.

##### 1.4.2 - L'eau dans le socle cristallin

Dans les roches cristallines, les seules possibilités de circulation et de rétention de l'eau sont localisées dans les discontinuités de la roche.

Les discontinuités sont nombreuses et affectent le socle en réseaux denses de fractures.

Du point de vue hydraulique, la roche est assimilée à un milieu fissuré à faible perméabilité matricielle. Ce milieu est traversé par des fractures, donc l'action drainante est fonction de la nature et de la distribution des fissures. La structure géométrique du milieu n'est pas hasardeuse mais dépend de phénomènes géologiques et mécaniques qu'une étude micro-tectonique peut définir.

Les fractures se groupent en familles de mêmes directions et de mêmes caractéristiques ; une étude statistique peut déceler l'orientation optimale suivant laquelle s'ordonnent les fissures les plus ouvertes, donc les plus perméables.

Les fractures les plus favorables pour l'exploitation des eaux souterraines sont celles qui recoupent le plus de mailles et qui sont recouvertes par un manteau alluvionnaire ou d'altérites ; la fracture devient alors le drain d'un vaste système hydraulique.

## 2 - METHODE SIMPLE DE RECHERCHE DES EAUX SOUTERRAINES

Dans la mesure où les paysages africains ont une morphologie plane et monotone, il est difficile de désigner directement sur le terrain les zones favorables à l'implantation des ouvrages de captage.

### 2.1 - Photo-interprétation

L'interprétation, même partielle, des photographies aériennes est essentielle pour définir l'unité morphologique (plateau, versant, marigot), la nature géologique de surface (altérites, cuirasse, affleurement du socle) et surtout la fracturation. Il est indispensable de dresser le canevas de base de la fracturation, car c'est le seul indice superficiel qui permet de localiser les principales masses altérées.

On retiendra les accidents majeurs et, en particulier les recouvrements d'associations de fractures qui sont préférables aux accidents isolés.

On peut ainsi localiser les ouvrages de captage sur les zones les plus fracturées et les plus altérées et éviter les mûles de roches saines. Avec un peu d'habitude, on décèle facilement les fractures sur les photographies aériennes, même sous une forte couverture d'altérites ou végétale ou sableuse.

Dans les zones de plateau, à ce stade de l'étude, on doit avoir de bons résultats pour l'alimentation des populations ruralés.

Sur les zones affouillées des versants des grands marigots, la faible épaisseur des altérites et la profondeur de la surface piézométrique exigent une étude plus précise. Pour les zones difficiles et pour les débits élevés, on sera amené à compléter la reconnaissance photo-géologique par une campagne de géophysique.

### 2.2 - Utilisation de la géophysique

Les méthodes et les avantages de la géophysique ont été remarquablement exposés par J.P. MATHIEZ et G. HUOT (9).

Nous retiendrons que la méthode électrique est plus rapide et moins coûteuse que la sismique. Elle donne de bons résultats pour la reconnaissance générale ; la technique de la carte des résistivités est recommandée pour la recherche systématique des accidents du granite.

La sismique ne joue qu'un rôle d'appoint, mais permet de tracer le toit du bed-rock et de déceler ainsi les poches altérées. Les données supplémentaires apportées par la sismique ne se justifient pas si l'on considère le coût de cette technique par rapport à la méthode électrique.

### 2.2.1 - Les cartes de résistivités

Dans la pratique, il est préférable de choisir des sites de forage par photo-interprétation et de tracer ensuite une carte des résistivités couvrant une surface de 1 km<sup>2</sup>. Les profils électriques seront espacés de 150 m environ et perpendiculaires à la direction principale des fractures. Les longueurs de ligne en AB = 200 m permettent dans presque tous les cas d'étudier les altérites sur toute leur épaisseur. Dans les régions où les altérites sont décapées, on réduira les longueurs de ligne afin que l'horizon étudié corresponde à la partie supérieure des roches fissurées.

MN = 20 m donne satisfaction mais peut avoir une valeur plus faible lorsque l'on veut localiser des fractures avec précision.

On obtient des cartes des résistivités très contournées et présentant de nombreuses anomalies résistantes juxtaposées à des plages conductrices (fig. 2 - 3 - 4 - 5).

L'interprétation de ces cartes est grandement facilitée par la superposition de la fracturation relevée par photo-interprétation.

### 2.2.2 - Echelle des résistivités

Les corrélations avec les résultats des forages donnent l'échelle des résistivités suivante :

- au-dessus de 400 ohm/m : ce sont les cuirasses dénoyées ou les roches cristallines saines ;

- de 400 à 200 ohm/m : on peut grouper dans ces valeurs l'ensemble stérile ou sec des altérites, ainsi que les altérites humides mais non saturées.

- au-dessous de 200 ohm/m : les altérites contiennent de l'eau et les résultats sont très bons si la résistivité est inférieure à 140 ohm/m. Toutefois à moins de 30 ohm/m, la teneur en argile réduit fortement la perméabilité. Ces valeurs peuvent varier en fonction de la longueur de ligne AB utilisée.

### 2.2.3 - Interprétation des cartes des résistivités (fig. 2-3-4-5)

Des poches de faible résistivité et d'inégales extensions alternent avec des zones stériles plus vastes.

Les poches sont généralement allongées suivant une direction préférentielle qui correspond à celle des fractures.

.../...

Les sinuosités complexes des courbes d'équirésistivité s'expliquent quand on superpose le réseau des fractures décelé par la photo-interprétation (courbe 400 de la fig. 2).

La répartition des poches altérées est bien conditionnée par le réseau des fractures.

Les sillons altérés sont axés sur les fractures et plus particulièrement à leur intersection.

On peut remarquer toutefois que certaines fractures sont sans effet sur l'allure des courbes et qu'elles ne sont pas accompagnées d'altération. D'autres fractures sont bien soulignées par la poche d'altération mais sont stériles ; elles sont sans doute colmatées par des argiles. Ainsi toutes les fractures ne sont pas fonctionnelles sur le plan hydraulique.

La carte des résistivités permet de localiser les forages sur les poches les plus développées ayant des connections avec d'autres poches par l'intermédiaire des fractures.

Enfin, cette carte facilite l'implantation des ouvrages sur le terrain pauvre en repères naturels.

#### 2.2.4 - Les sondages électriques

Il est utile d'accompagner les profils des résistivités de quelques sondages électriques qui permettent une meilleure connaissance des composants verticaux des altérites et de leur épaisseur. Les sondages électriques seront implantés de préférence au centre des poches conductrices de la carte des résistivités, afin qu'ils soient confondus avec les futurs emplacements des forages.

#### 2.2.5 - Les sondages électriques pluridirectionnels

Quoique débordant du cadre de la méthode simple de recherche des eaux souterraines, il est bon de parler d'une méthode qui donne des résultats intéressants dans les milieux karstiques (6).

En un point du terrain on effectue plusieurs sondages électriques dans des directions différentes et on porte sur un diagramme la valeur de la résistivité apparente obtenue pour une même longueur de ligne AB et pour chaque direction. Le diagramme obtenu a la forme d'une ellipse plus ou moins étoilée ; les maxima de résistivités correspondent à des directions de fracturation. S'il existe plusieurs directions de fracturation, le diagramme ne traduit en général qu'un seul maximum qui correspond à la direction des écoulements préférentiels.

Par allongement des longueurs de ligne on peut vérifier si les directions de la fracturation sont constantes, ainsi que l'évolution de la fissuration en profondeur.

Il serait souhaitable de vérifier si cette méthode est applicable aux roches cristallines fracturées car elle pourrait devenir un moyen d'investigation précis et peu onéreux.



Zone 1

Interprétation hydrogéologique de la carte

AB = 180 M MN. = 20 M

Echelle 1/5.000

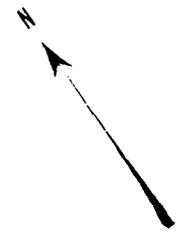
	<200 ohm/m	Altérite saturées
	200/400	Altérites sèches
	>400	Cuirasse ou Granite sec

— Fracture

P<sub>1</sub> - P<sub>2</sub> etc... Profils de résistivité

▲ S9 Forage de reconnaissance et son numéro

Fig. 2

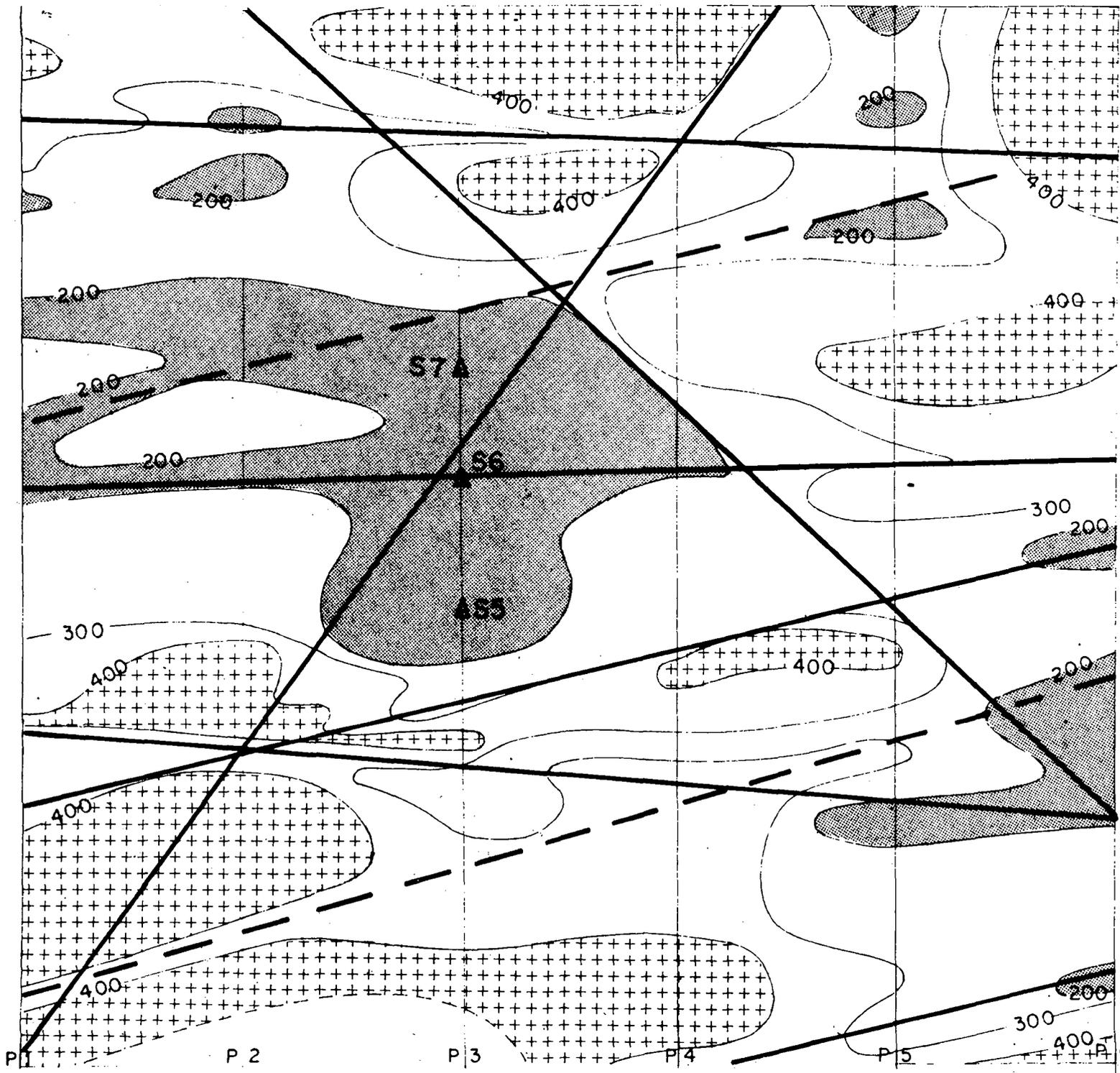


Zone 5

Interprétation hydrogéologique de la carte des résistivités.

AB = 180 m

Echelle 1/5.000



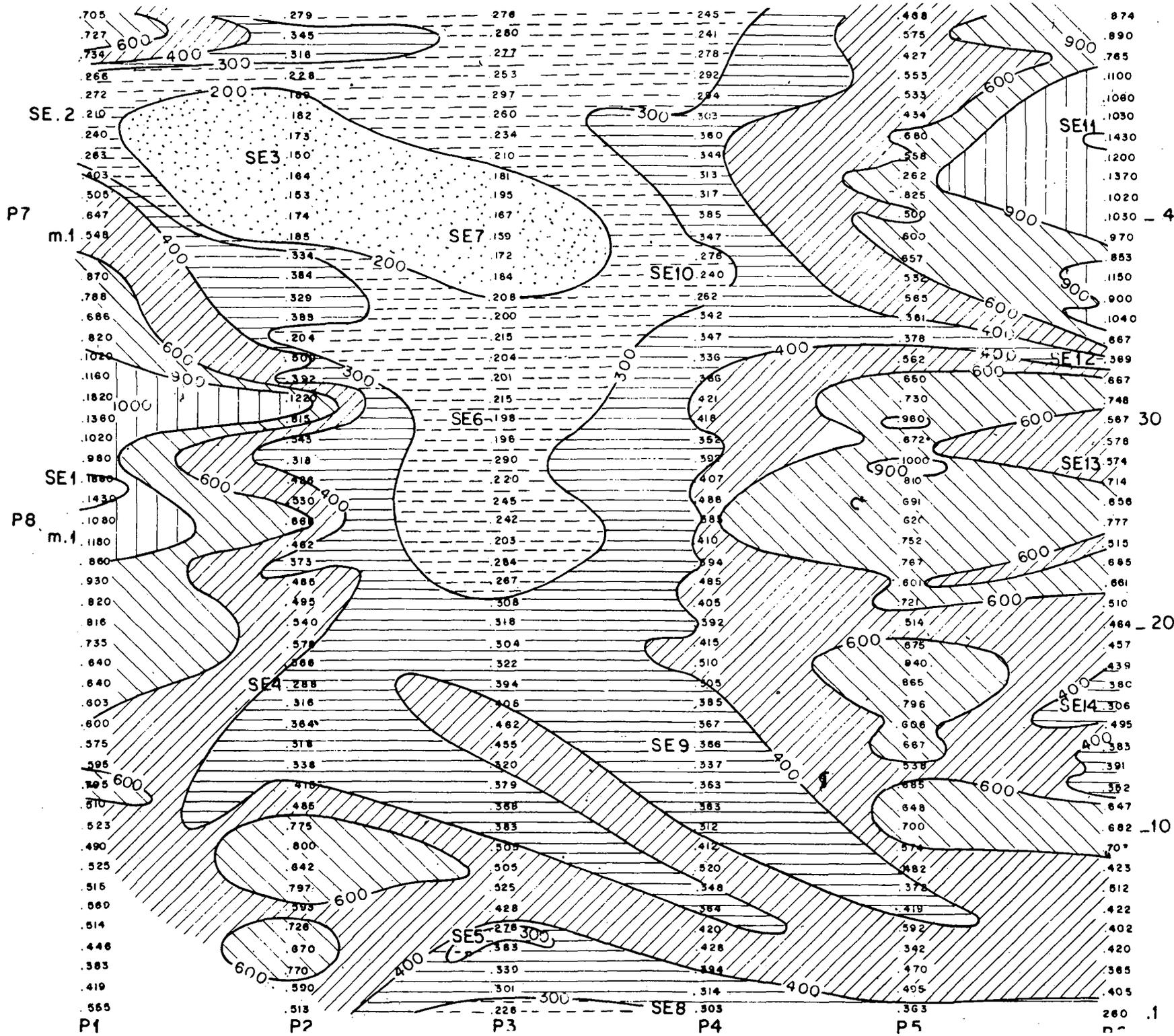
	<200 ohm/m	Altérites saturées
	200/400	Altérites sèches
++++	>400	Cuirasse ou granite sec

- Fracture
- P<sub>1</sub> P<sub>2</sub> etc... Profils de résistivités
- S5 Forage de reconnaissance et son numéro



Fig. 3

Geol. E. M.; 1975

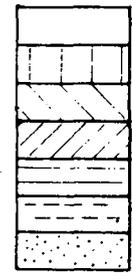


Ech: 1/5000

Zone 1

Carte de résistivités

AB = 180 m MN = 20m



1440  
900  
600  
400  
300  
200

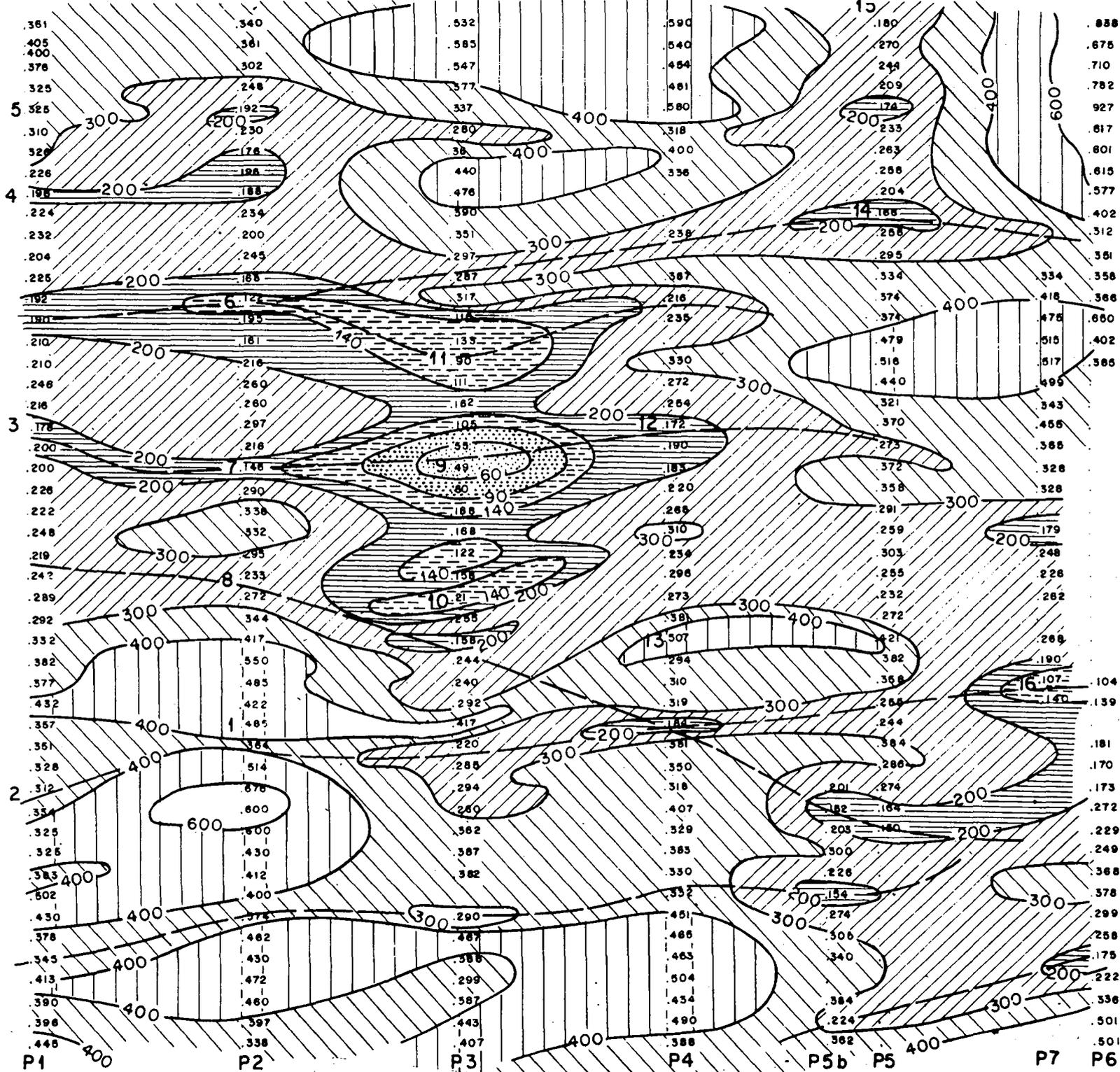
- 40

30

- 20

- 10

.1



- 40



- 30

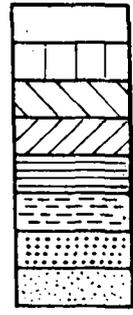
Ech: 1/5000

Zone 5

Carte de résistivités

AB = 180m MN = 20m

- 20



- 10

- 1

CONCLUSION

Dans la nature, aucune place n'est laissée au hasard. S'il existe une inégale répartition des ressources hydrauliques dans les roches cristallines (et métamorphiques), il faut l'imputer à l'inégale répartition des masses altérées (ressources superficielles) et à l'inégale répartition de la fracturation du socle (ressources profondes).

L'existence des roches altérées est liée à la fracturation comme le démontrent les travaux de forage et de géophysique.

Si la fracturation est décelable par photo-interprétation, la géophysique électrique s'avère le moyen le mieux adapté pour préciser le comportement hydrauliques des altérites. Réciproquement la bonne connaissance des roches altérées doit faciliter le choix des fractures empruntées par les écoulements préférentiels.

Il est certain que le choix des fractures les plus intéressantes n'est pas aisé. Leur détection implique un surcroît d'études que l'on doit orienter vers la recherche statistique des discontinuités de la roche, vers la micro-tectonique et d'autres techniques comme les sondages électriques pluridirectionnels.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - AVIAS J. (1967) - Observations sur une nappe de fissures dans les gneiss cévenols à l'occasion des études de reconnaissance du site du barrage Saint-Jean du Gard (France). La Houille Blanche n° 1 - 1967.
- 2 - AVIAS J. (1975) - Contrôle tectonique et morphologique des aquifères des roches fissurées d'après l'exemple des aquifères des gneiss de Saint-Jean du Gard et de Sénéchas (Cévennes - France).  
(Prospection des eaux souterraines dans les roches fissurées non calcaires - Porto-Alégre - Brésil).
- 3 - BERNARDI A. et MOUTON J. (1975) - Recherche d'eau dans les formations cristallines et métamorphiques du socle africain.  
(Porto-Alégre - Brésil).
- 4 - ENGALENC M. (1975) - Rôle de la fracturation dans la recherche des eaux souterraines dans les granites de l'Afrique Occidentale. Bulletin de Liaison du C.I.E.H. n° 20 - Février 1975
- 5 - ENGALENC M. (1975) - Etudes hydrogéologiques préalables à l'implantation d'un Ranch d'embouche en Haute-Volta - Région de Léo. Direction des services de l'Elevage et des Industries Animales - H.A.E.R. Ouagadougou - Août 1975.
- 6 - GRILLOT J.C. BRION M. - GUERIN R. - LESQUER A. (1975) - Essai d'interprétation des sondages électriques pluridirectionnels appliqués au milieu carbonaté fracturé. Revue de géophysique et de géologie dynamique. Vol. XVII. fasc. 2 - Avril-Mai 1975 - p. 163-169.
- 7 - GUIRAUD R. (1975) - Eléments pour une orientation nouvelle de la recherche des eaux souterraines dans les régions dites de socle de l'Afrique Occidentale.  
(Congrès hydrologie de Porto-Alégre - Brésil).
- 8 - LELONG F. (1966) - Régime des nappes phréatiques contenues dans les formations d'altération tropicale. Conséquences pour la pédogénèse. Sc. de la Terre, Tome XI - n° 2 - p. 201 à 204 - Nancy - Juin 1966.
- 9 - MATHIEZ J.P. et G. HUOT (1966) - Prospection géophysique et recherche d'eaux souterraines. Exemples d'application en Afrique Occidentale. C.I.E.H. - Juin 1966.

ETUDE COMPARATIVE DE DEUX MODES DE

FORAGES EN HAUTE-VOLTA

(par S. SOLAGES - Hydrogéologue - Chef du Service Forage de l'Autorité des Aménagements des Vallées des Volta - détaché par la Société Géohydraulique).

Décembre 1975

RESUME -

Le substratum de l'Afrique de l'Ouest est constitué par une plate forme de roches précambriennes pénéplanées plus ou moins recouverte de formations latéritiques.

Quelque soit leur nature, la caractéristique commune des roches qui la constituent est une totale imperméabilité en l'absence d'altération ou de fissuration, ce qui revient à dire que les ressources aquifères sont contenues dans la frange altérée du socle ou dans des fissures et fractures qui l'affectent.

L'importance relative de ces deux types d'aquifères, dans les pays ou régions considérés, conditionne le choix des appareils de forage. Mais on doit également tenir compte de 3 autres facteurs qui sont : le débit recherché, le prix de revient des forages et le mode d'exhaure.

Le but de cette note est d'exposer les caractéristiques techniques les performances et les prix de revient de deux types de foreuses adaptées à l'exploitation de ces aquifères.

Ces deux foreuses équipent actuellement le service forage de l'Autorité des Aménagements des Vallées des Volta.

1 - COUPE GEOLOGIQUE TYPE ET CONDITIONS D'EXPLOITATION

Profondeur	Nature des terrains	Conditions d'exploitation	Débits extraits
0-10 m	Cuirasse latéritique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Certaines cuirasses anciennes sont parfois difficiles à traverser à la tarière, les vitesses d'avancement sont alors de 1 à 5 m/h</li> <li>- En général tout type de forage permet de les traverser sans problème</li> </ul>	1 à 10 m <sup>3</sup> /h (lorsqu'elles sont noyées).
10-20 m	Argile latéritique et altération argileuse	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Niveau très tendre qui permet des vitesses d'avancement spectaculaires. (Jusqu'à 30 m/h)</li> <li>- Lorsqu'ils sont aquifères, ils présentent des risques d'éboulement qui nécessitent l'utilisation de bentonite ou de tubages provisoires</li> <li>- Le forage à l'air avec tubage à l'avancement permet de les traverser sans problème</li> <li>- Seuls les ouvrages à grand diamètre permettent leur exploitation</li> </ul>	0,1 à 0,5 m <sup>3</sup> /h
20-30 m	Roche peu altérée (arène grenue, ou schistes non décomposés)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vitesses d'avancement également élevées (10 à 20 m/h)</li> <li>- Les outils du type tarière ou bucket ne permettent pas de traverser la totalité de ce niveau</li> <li>- La réalisation d'ouvrage à grand diamètre est encore souhaitable si l'on ne capte que ces terrains.</li> </ul>	0,5 à 3 m <sup>3</sup> /h
30-50 m	Roche fissurée non altérée	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leur dureté élimine les outils du type tarière ou bucket</li> <li>- Le rotary devient peu efficace et d'un prix de revient très élevé, vitesse d'avancement 1 à 5 m/h</li> <li>- Seul le forage percussion ou roto-percussion permet d'exploiter la totalité de ce niveau (vitesses d'avancement au marteau fond de trou de l'ordre de 6 à 10 m<sup>3</sup>/h)</li> </ul>	1 à 6 m <sup>3</sup> /h

2 - MATERIEL UTILISE PAR L'AVV

L'AVV pour répondre à ses besoins qui sont de 40 forages par an environ a créé sa propre unité de forage ; ce service est équipé de deux foreuses utilisant des techniques totalement différentes qui sont :

- une foreuse de type tarière mécanique bucket à grand diamètre et tiges kelly télescopiques (Calweld 250 B).

- une foreuse pneumatique du type marteau fond de trou avec tube à l'avancement (Stenuick H66).

Ce matériel est également utilisé pour réaliser des travaux extérieurs à l'AVV.

2.1 - Foreuse Calweld

2.1.1 - Fiche technique

! Principe de forage	! - Forage rotary à sec avec outils du type bucket à grand diamètre (24 à 48") et tiges kelly télescopiques ! - Evacuation des déblais par bras de décharge latéral
! Force motrice	! - Moteur diésel carterpillar 130 CV - 5 vitesses avant 1V arrière. Entraînement rotation par table de rotation arrière
! Dornick et maintenance	! - Mat longueur 12,77 m - charge 28 T - montée descente par 3 verins télescopiques ! - 1 treuil double tambour de 4 T entraîné par le moteur de la foreuse
! Garnitures et outils de forage	! - 3 tiges kelly télescopiques de 10 m chacune pour forage jusqu'à 29 m ! - Buckets de 24 et 30" pour les sondages 48" pour les ouvrages d'exploitation
! Porteur	! - Berliet G BH 6 x 6 - 250 CV - poids total de l'unité autoportée 27 T
! Accessoires	! - 2 verins de calage arrière ! - 2 verins de poussé sur la table de rotation pour la traversée des cuirasses compactes ! - 1 tige ralonge pour forage jusqu'à 40 m (peu utilisée).

2.1.2 - Performances de la foreuse et réalisation des ouvrages

- Limites d'utilisation : ce matériel permet d'exploiter efficacement en grand diamètre les trois premiers niveaux décrits précédemment jusqu'à une profondeur de 29 m. Les aquifères de fracture ne peuvent être traversés

a) - Réalisation des puits forés

- . Forage en  $\varnothing$  150 mm jusqu'au substratum, ou 29 m de profondeur.
- . Pose d'un tube provisoire de 6 m de long,  $\varnothing$  130 mm, en cas de terrains bouillants.
- . Descente de buses en béton armé  $\varnothing$  int. 1 m par élément de 1 m. (Les buses sont crépinées au niveau des venues d'eau).
- . Arrachage du tube.
- . Mise en place d'un massif de gravier, (l'espace annulaire entre les buses et les terrains est de 10 cm environ).

b) - Performances :

- . Sondages : 3 sondages à 20 m peuvent être réalisés dans la journée (10 à 20 m/h).
- . Puits forés : tous engins et matériel étant en place, 1 puits à 25 m peut-être réalisé en  $\frac{1}{2}$  journée, la cadence moyenne est de 10 puits/mois.

.../...

2.1.3 - Investissement et prix de revient

a) Investissement achat du matériel

FOREUSE	24.000.000. F CFA
PORTEUR (25 T - 6 x 6)	13.000.000 "
OUTILS DE FORAGE	4.000.000 "
PIECES DE RECHANGE (pour 1 an)	4.000.000 "
<b>MONTANT TOTAL HORS TAXE RENDU ABIDJAN</b>	<b>45.000.000. F CFA</b>

b) Prix de revient des ouvrages

(calculé sur la base du revient mensuel)

FONCTIONNEMENT VEHICULES FOREUSE (carburant - lubrifiant - entretien)	1.500.000 F CFA
USURE PIECES FOREUSE (dents - cables - aléseurs, etc...)	200.000 "
PRESONNEL	250.000 "
AMORTISSEMENT MATERIEL (sur 5 ans)	900.000 "
DIVERS	150.000 "
<b>TOTAL FONCTIONNEMENT MENSUEL</b>	<b>3.000.000 F CFA</b>

- . Cadence de réalisation : 10 forages à 18 m/mois.
- . Prix de revient du ml foré : 16.000 F CFA
- . Prix de revient du ml équipé : 33.000 F CFA\*  
(buses - gravier - margelle)

UN PUITIS EQUIPE A 20 M DE PROFONDEUR REVIENT A 660.000 F CFA.

Le ml de forage de reconnaissance revient seulement à 6.000 F CFA  
(cadence de 500 ml/mois).

.../...

(\*) Ce prix est un prix de revient brut qui ne comporte pas la part des salaires des expatriés, les frais généraux de la société, le pourcentage d'échecs.

2.2 - Foreuse Stenuick

2.2.1 - Fiche technique

Principe de forage	- Forage marteau fond de trou (roto-percussion) en petit diamètre (130 à 150 mm), à l'air comprimé ou mixte eau + air. Système de tubage à l'avancement avec taillant excentré pour la traversée des fluants ce système est efficace jusqu'à 30 m. La profondeur totale forée peut atteindre 100 m
Force motrice	- Foreuse entièrement pneumatique, l'air comprimé est fourni par un compresseur Atlas COPCO PR H 700 (moteur Deutz 300 CV), le débit d'air peut atteindre 19 m <sup>3</sup> /mn et la pression 10 kg.  - Rotation secondaire (tubage à l'avancement) par un moteur de 4 HP, vitesse de rotation max. 15 R/mn, couple 700 m/kg.  - Entraînement rotation primaire par un moteur pneumatique de 4 HP, vitesse de rotation max. 46 R/mn, couple 270 m/kg.  - Translation : 2 moteurs de 4 HP, force de traction 3,6 T, force de poussée 1,8 T (transmission par chaîne).
Mat	- Glissière de 5,3 m de long. Montée descente par un verin hydraulique avec prise de force sur le canon
Garnitures et outils de forage	- <u>Forage marteau seul</u> : tiges forage $\phi$ 90 mm assemblées par éléments de 3 m  . taillants à boutons ou en croix $\phi$ 130-140-150 mm  - <u>Forage avec tubage à l'avancement</u> :  . tiges $\phi$ 90 à double paroi pour injection d'eau, éléments 1,50 m  . tubes provisoires $\phi$ 152/168 éléments de 1,50 m (filetage à mi épaisseur)  . taillant excentré 152/168  - <u>Marteau type 500 kg</u> pour les deux modes de forage, consommation d'air 9,5 m <sup>3</sup> /mn à 7 kg, 13 m <sup>3</sup> à 10 kg
Porteur	- Berliet G LR 160 1 pont - Poids total de l'unité autoportée 12 T. (Un porteur + puissant 4 x 6 est conseillé)

2.2.2 - Performances de la foreuse et réalisation des ouvrages

Ce matériel permet d'exploiter utilement tous les terrains décrits précédemment.

a) Réalisation des forages

- Forages marteau simple : forage  $\phi$  150 jusqu'à la côte optimale (40 m en moyenne).

. Pose des tubes PVC en 10 bars en éléments de 6 m  $\phi$  124 x 110 mm.

. Mise en place du massif de gravier.

- Forages avec tubage à l'avancement :

. Forage à l'eau avec taillant excentré, descente des tiges et tubes provisoires par élément de 1,50 m. Arrêt à la roche fissurée non altérée.

. Remontée de l'outil, meulage des ergots en fond de trou.

. Descente de l'outil avec un taillant normal de 150 ou 140 mm.

. Poursuite du forage au marteau simple.

. Equipement du forage (PVC 124 x 110).

. Arrachage des tubes provisoires.

. Mise en place du massif de gravier.

b) Performances :

Vitesses d'avancement marteau simple : cuirasse 15 m/h  
 : argile et altération 10 à 20 m/h.  
 : roche saine 6 à 10 m/h

Forage avec tubage à l'avancement 10 m/h (en terrain tendre uniquement).

Un forage à 40 m de profondeur peut être réalisé en une journée de travail, compte tenu des déplacements et aléas de chantier, 10 forages peuvent être réalisés par mois.

.../...

2.2.3 - Investissement et prix de revient

. Investissement achat du matériel

! FOREUSE ET ACCESSOIRES	! 21.000.000 F CFA
! (pour forage à 60 m dont 20 m avec tubage à l'avancement)	!
! COMPRESSEUR	! 12.000.000 "
! PORTEUR (15 T 6 x 4)	! 13.000.000 "
! PIECES DE RECHANGE	! 14.000.000 "
! MONTANT TOTAL HORS TAXE RENDU ABIDJAN	! 60.000.000 F CFA

. Prix de revient des ouvrages

(calculé sur la base du prix de revient mensuel)

! FONCTIONNEMENT VEHICULES FOREUSE	! 1.000.000 F CFA
! (carburant - lubrifiant - entretien)	!
! USURE PIECES FOREUSE	! 1.000.000 "
! (taillants - marteaux, etc...)	!
! PERSONNEL	! 500.000 "
! AMORTISSEMENT (sur 5 ans)	! 1.200.000 "
! DIVERS	! 300.000 "
! TOTAL MENSUEL	! 4.000.000 F CFA

. Cadence de réalisation : 10 forages à 40 m/mois en moyenne (déplacements et arrêts de chantier compris)

. Prix de revient du ml foré : 10.000 F CFA

. Prix de revient du ml équipé (PVC - gravier - margelle) : 14.000 F CFA\*

UN FORAGE EQUIPE A 40 M DE PROFONDEUR REVIENT A 560.000 F CFA .../...

(\* ) Ce prix est un prix de revient brut qui ne comporte pas la part des salaires des expatriés, les frais généraux de la société, le pourcentage d'échecs.

3 - RESULTATS STATISTIQUES DES FORAGES REALISES

3.1 - Foreuse tarière à grand diamètre (Calweld)

(2 campagnes de 6 mois de forage)

	Nbre de puits	P. moy. (m)	H. eau (m)	Q. moy. (m <sup>3</sup> /h)	% forages productifs	Niveau statique (m)	Niveaux captés
FORAGES Vallées des Volta	40	15	5	0,5	30 %	10	-Latérite -Altération argileuse
FORAGES Villageois (ensemble H.V.)	45	18	7	0,8	70 %	8	-Altération grenue

Un forage est considéré comme productif sous les conditions suivantes :

Hauteur d'eau 4 m - Débit 300 l/h - Quantité journalière fournie 10 m<sup>3</sup>  
(le volume de la réserve compensant le débit)

3.1.2 - Foreuse marteau fond de trou

(2 mois de fonctionnement)

	Nbre de puits	P. moy. (m)	H. eau (m)	Q. moy. (m <sup>3</sup> /h)	% forages productifs	Niveau statique (m)	Niveaux captés
FORAGES Vallées des Volta	12	40	15	1	60 %	15	Roche fissurée
FORAGES villageois (ensemble H.V.)	9	40	20	2	80 %	10	

Un forage est considéré comme productif lorsqu'il fournit : 0,7 à 1 m<sup>3</sup>/h (débit des pompes à main).

.../...

AVANTAGES COMPARES DES DEUX MODES DE FORAGE

	PUITS PORES (Calweld)		FOREUSE MARTEAU FOND DE TROU (Stenuick)	
Aquifères exploités	- Latérites - altération argileuse - altération grenue (la roche saine ne peut être traversée)		- tous niveaux (la roche fissurée est l'objectif principal)	
Profondeur des ouvrages	- maxi. 29 m - profondeur moyenne 18 m		- maxi. 60 m - profondeur moyenne 40 m	
Diamètre	- 50 cm à 1,50 m puits réalisés $\phi$ 1 m int.		- 130 mm à 150 mm - forages équipés en PVC 125 x 110	
Débit	- mini. 0,4 m <sup>3</sup> /h ; maxi. 3 m <sup>3</sup> /h - Q moyen 0,7 m <sup>3</sup> /h		- mini. 0,7 m <sup>3</sup> /h ; maxi. 6 m <sup>3</sup> /h ; Q moy. 1,5 m <sup>3</sup> /h	
Mode d'exhaure	- Tous types d'exhaure		- mécanique uniquement	
Réserve d'eau	0,8 m <sup>3</sup> /m d'eau		négligeable	
Performances	Sondages	Puits	Sondages	Exploitation
	20 m/h			
	3 sond/jour	1 puits/jour	10 à 20 m/h	1 forage/jour
Prix de revient	500 ml/mois soit environ 30 sond/mois	10 puits/mois	2 sond/jour 400 ml/mois	10 forages/mois
	6.000 F CFA/ml	33.000 F CFA/ml	10.000 FCFA/ml	14.000 F CFA/ml
		1 puits à 20 m 660.000		1 forage à 40 m : 560000

En fait ces deux modes de forage ne sont pas concurrentiels mais complémentaires.

Les puits forés sont réalisés dans les villages où l'entretien des est difficile ou inexistant.

Les forages en petit diamètre sont indispensables lorsque l'altération est nulle ou sèche également pour des débits recherchés supérieurs à 1 m<sup>3</sup>/h.

LA BANQUE DE DONNEES DU SOUS-SOL DU BRGM

par Mlle L. LHEUREUX (BRGM)

Chaque chercheur, chaque entrepreneur, a toujours éprouvé la nécessité de conserver en archives les résultats de ses travaux afin de pouvoir s'y reporter ultérieurement et aborder un travail nouveau avec plus de chances de succès. C'est notamment le cas dans les sciences de la Terre, domaine dans lequel les données acquises sont très variées et nécessitent des travaux coûteux pour les obtenir ; il peut même arriver, dans le domaine minier par exemple, que certaines données non conservées ne puissent être à nouveau obtenues.

x  
x x

En France, la mise dans le domaine public de la documentation géologique, tant d'origine publique que d'origine privée, a été grandement facilitée par le Code Minier. Cette loi a permis au Bureau de Recherches Géologiques et Minières de rassembler et de mettre à la disposition des usagers une abondante documentation intéressant les données d'ordre géologique, hydrogéologique, géophysique et minier.

x  
x x

Les objectifs de la banque des données du sous-sol sont définis en fonction de la mission du BRGM consistant à recueillir toutes les données provenant d'observations et d'ouvrages portant exploration du sol et du sous-sol.

Cette définition implique donc que la banque doit être capable de stocker les renseignements de toutes provenances et de toutes disciplines relatives aux sciences de la terre (affleurements et indices de surface, sondages, forages, puits, carrières, sources ; données géophysiques et géochimiques ; etc.). En outre, l'introduction des méthodes informatiques dans le traitement des données géologiques ne doit pas faire sous-estimer l'intérêt de maintenir des fichiers manuels qui seuls permettent de rassembler l'ensemble des données concernant un sujet et sont consultables par quiconque indépendamment de l'ordinateur et donc de l'organisme gérant ce dernier.

Compte-tenu de l'abondance et de la diversité de la documentation rassemblée au BRGM depuis sa création, il ne pouvait être question de mémoriser toutes les données conservées\* ; pour cette raison le premier objectif assigné à la banque a été de mettre au point un système de documentation automatique donnant rapidement l'identité des dossiers dans lesquels l'utilisateur trouvera la documentation recherchée.

---

\* toutes les données ne sont pas mémorisables ou n'ont pas à être mémorisées.

Un second objectif s'est rapidement dégagé par la suite :

- mémoriser les renseignements apportés par les coups géologiques.

Le troisième objectif concerne les valeurs numériques (résultats d'essais et d'analyses). Il a été décidé de ne les mémoriser que si leur exploitation est envisagée à court terme.

#### LES BORDEREAUX DE SAISIE (voir en annexe)

Le BRGM assurant un rôle de service public en matière de documentation sur le sous-sol ces bordereaux doivent être rédigés et saisis en clair de manière qu'une seule opération permette leur consultation manuelle par les utilisateurs et leur mise en mémoire.

Cette façon de procéder a donc conduit à l'élaboration de lexiques dont les mots sont rigoureusement définis.

Il s'agit donc en fait d'une normalisation du langage dont le principal avantage a été d'éliminer les contraintes locales ou d'"école" notamment en ce qui concerne la stratigraphie et la lithologie. Les lexiques sont donc utilisés partout en France y compris les DOM et ils pourraient l'être à l'étranger, dans tous les pays francophones tels quels et partout ailleurs après une simple traduction.

Il va de soi que des ajouts à ces lexiques sont possibles à n'importe quel moment.

#### le dossier

Sur ce bordereau sont rassemblés toutes les données concernant la situation géographique des informations, les renseignements administratifs nécessaires, la nature de l'"ouvrage" (naturel ou artificiel) et ses caractéristiques (profondeur, mode d'exécution, état observé à une date donnée) l'objet des travaux, l'utilisation de la substance extraite, le mode de gisement, l'échantillonnage et le contenu du dossier non mis en mémoire.

Au niveau de l'interrogation, un traitement est possible sur tous les mots clé employés ; les seules rubriques qui ne peuvent faire l'objet de ce traitement sont les noms des cartes, le lieu de conservation des échantillons, le nom de l'entrepreneur, et celui du rédacteur du dossier ainsi que les informations placées entre parenthèses. Ce sont des rubriques dites en libellé qui sont restituées lors des interrogations.

#### la coupe géologique

Le langage employé pour la saisie est le langage courant en ce qui concerne la stratigraphie, il s'en rapproche au mieux pour les descriptions lithologiques.

Le lexique "lithologie" est traité en analyse sémantique ce qui permet des interrogations directes sur certaines données implicites par le langage.

Par exemple, si on désire connaître toutes les roches détritiques meubles d'un secteur donné, il suffit d'interroger sur les mots clé "détritique" et "meuble". Cette façon de faire évite d'avoir à dresser à chaque interrogation la liste des roches ou des codes correspondants qui répondent à la question posée.

#### aquifères, gîtes, niveaux reconnus ou exploités

Ce bordereau sert à décrire un aquifère, un gîte ou un niveau. Il permet également la saisie de la coupe technique d'une carrière. Les renseignements qui y sont reportés sont les suivants :

- identification de l'aquifère ou du niveau par un code local établi par l'informateur. En ce qui concerne les aquifères cette méthode a permis, par secteur, d'en dresser la liste exhaustive, donnant ainsi un véritable catalogue des nappes existant en France. Les niveaux peuvent ici être caractérisés par un terme de lithostratigraphie adapté aux besoins locaux,

- rappel de la stratigraphie et de la lithologie du niveau,

- position du niveau par rapport à la coupe géologique,

- numéro d'ordre (charnière) permettant d'y rapporter les mesures effectuées.

Ces renseignements peuvent faire l'objet de sélections et de tris notamment sur un terme de lithostratigraphie caractérisé par son faciès local et sur la géométrie de la formation.

Ce bordereau ne fait pas double emploi avec la coupe géologique détaillée, il peut se substituer à cette dernière dans les cas simples.

#### bordereaux de valeurs numériques

La saisie et la restitution des valeurs numériques est beaucoup plus simple que celle des données évoquées ci-dessus mais ces valeurs doivent, pour être significatives, être corrélées à un horizon géologique et à une lithologie parfaitement définie.

Actuellement, six bordereaux de "piézométrie" permettent de suivre les fluctuations du niveau des nappes.

#### SAISIE DES DONNEES

Elle s'effectue au BRGM à Orléans, sur "terminaux" de type Singer à écran cathodique, directement sur cartouches magnétiques. Les bandes magnétiques obtenues permettent, avant leur passage dans l'ordinateur, de restituer une édition complète des bordereaux destinée aux centres de consultation de Paris et de Province. Les données sont finalement introduites dans les fichiers hiérarchisés et reliés entre-eux de la banque de données. La banque centrale a été préférée aux banques régionales indépendantes pour les raisons suivantes :

.../...

- homogénéisation du langage et du traitement de saisie,
- possibilité d'interrogation multi-régionale,
- possibilité de concentrer les moyens suffisants pour la saisie, les contrôles automatiques de conformité et la mise à jour.

Cette méthode élimine tous les problèmes liés d'une part à l'extension du volume des données à traiter et, d'autre part à la mise en mémoire de nouveaux types de données.

La régionalisation de fichiers extraits périodiquement de la banque, donc mis à jour, est possible ; ces fichiers seraient consultables soit par des programmes de routine fournis avec les fichiers soit par des programmes écrits spécialement pour un utilisateur.

#### TRAITEMENT DES DONNEES

##### Un système de gestion de banque de données : GEISHA

Dans une exploitation traditionnelle, chaque fichier est associé à un programme ou une famille de programmes qui contiennent la description de la structure de ce fichier, et l'accès physique au fichier est réservé à cette famille de programmes. Les besoins de traitement étant très différents d'un utilisateur à un autre, on est conduit à une multiplication du nombre de fichiers, qui va de pair avec une duplication de l'information. De plus, l'accès séquentiel étant prépondérant, de nombreux tris sont obligatoires, et d'autre part, il est difficile de faire des corrélations entre les informations des différents fichiers, notamment lorsque les volumes deviennent importants.

L'intégration des données des différents fichiers dans un ensemble unique, la banque de données, permet de s'affranchir de ces contraintes. En plus des nouvelles facilités d'utilisation offertes, une telle intégration simplifie les problèmes de gestion des données, toutes les saisies et corrections étant faites par le même système.

L'utilisation d'une banque de données implique la dissociation des fonctions de mémorisation et de traitement. Il faut donc pouvoir sélectionner dans la banque, des données soit directement éditables soit utilisables, sous forme de fichier extrait, par des programmes de traitement pré-existants ou écrits indépendamment de la base.

Le système GEISHA développé au BRGM permet, après définition de la nature des informations et de la structure arborescente, l'apport de données par fichiers mouvements, la correction de données par messages, la sélection puis l'extraction de données présentées alors sous forme d'éditeurs ou de fichiers. Ce faisant, le système assure la protection du secret en contrôlant les accès aux informations confidentielles contenues dans la base, ainsi que la sécurité des informations en procédant à des archivages et sauvetages permettant les reprises après incidents.

.../...

L'exploitation des données se fait suivant de nombreux critères que l'on peut illustrer en partie par les exemples de questions suivants :

- d'ordre documentaire : "dans une zone donnée (définie par ses coordonnées ou bien par ses limites administratives ou bien par la carte normale IGN) quels sont les forages et les sondages ayant atteint tel horizon géologique et pour lesquels existent des essais géotechniques" ?
- d'ordre documentaire encore, mais nécessitant une interrogation sélective après traitement de l'information : "à l'intérieur de telles limites, quelle est l'épaisseur des arènes sur le socle" ?
- d'ordre statistique : liste des carrières classées par niveaux exploités, par matériaux extraits, par usage de ces matériaux.
- d'ordre administratif : "quels sont les ouvrages souterrains du département des pyrénées orientales exploitant des nappes aquifères et dont la profondeur est comprise entre 30 et 80 mètres" ? (dispositions du décret loi du 8 août 1935 sur la protection des eaux souterraines).

Notons enfin que puisqu'à la saisie la documentation reste à l'état brut sans que le risque soit pris de la déformer par un prétraitement quelconque ; l'utilisateur peut donc, quelle que soit la présentation des réponses à ses questions, effectuer toutes interprétations et éventuellement d'autres traitements selon des critères de son choix.

En conclusion on peut dire que le souci majeur qui nous a guidés a été de respecter l'information dans son intégralité d'où qu'elle vienne, qu'elle soit ancienne ou récente et quels qu'en soient les auteurs. Toute déformation aurait conduit à une fausse précision plus néfaste, on le sait, qu'une information incomplète ou démodée.





... classement national [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]

Désignation ouvrage [ ] [ ] [ ] [ ] [ ] [ ]

Pièce :  
Feuillet :

NUMÉRO DE CHARNIÈRE	OBJECTIF	RENSEIGNEMENTS VALABLES LE	IDENTIFICATION	CODE D'IDENTIFICATION	HAUTEUR UTILE (m)	PROFONDEUR (m)		
						CODE	de	à
..	[ ]	.. / .. / ..			.. . . .	.	.. . . .	.. . . .
..	[ ]	.. / .. / ..			.. . . .	.	.. . . .	.. . . .
..	[ ]	.. / .. / ..			.. . . .	.	.. . . .	.. . . .
..	[ ]	.. / .. / ..			.. . . .	.	.. . . .	.. . . .
..	[ ]	.. / .. / ..			.. . . .	.	.. . . .	.. . . .
..	[ ]	.. / .. / ..			.. . . .	.	.. . . .	.. . . .
..	[ ]	.. / .. / ..			.. . . .	.	.. . . .	.. . . .
..	[ ]	.. / .. / ..			.. . . .	.	.. . . .	.. . . .
..	[ ]	.. / .. / ..			.. . . .	.	.. . . .	.. . . .

[ ] = Caractère de confidentialité

**AQUIFÈRES, GÎTES ou NIVEAUX RECONNUS ou EXPLOITÉS**



PROFONDEUR DU NIVEAU DE LA NAPPE

ANNEE: . . . .

67 76

0 0

COMMUNE \_\_\_\_\_

Feuille 1/50.000

DESIGNATION DE L'OUVRAGE \_\_\_\_\_

Indice de classement \_\_\_\_\_

Désignation piézo \_\_\_\_\_

X : \_\_\_\_\_ Y : \_\_\_\_\_

COTE DU REPERE: \_\_\_\_\_

NATURE: <sup>(1)</sup> \_\_\_\_\_

N° de charnière \_\_\_\_\_

CODE CARTE	JOUR	JANV. 01	FEV. 02	MARS 03	AVRIL 04	MAI 05	JUIN 06	JUIL. 07	AOUT 08	SEPT. 09	OCT. 10	NOV. 11	DEC. 12	JOUR
	0,1													0,1
	0,2													0,2
	0,3													0,3
	0,4													0,4
	0,5													0,5
	0,6													0,6
	0,7													0,7
	0,8													0,8
	0,9													0,9
	1,0													1,0
	1,1													1,1
	1,2													1,2
	1,3													1,3
	1,4													1,4
	1,5													1,5
	1,6													1,6
	1,7													1,7
	1,8													1,8
	1,9													1,9
	2,0													2,0
	2,1													2,1
	2,2													2,2
	2,3													2,3
	2,4													2,4
	2,5													2,5
	2,6													2,6
	2,7													2,7
	2,8													2,8
	2,9													2,9
	3,0													3,0
	3,1													3,1

Mod. BSS/INF-n° 8

(1) NAT = naturel, DYN = dynamique(en cours de pompage), INF = influencé (niveau mesuré après pompage) NAPPE : \_\_\_\_\_

ESSAI SUR LE TERRAIN DE POMPES A MAIN par A. BENAMOUR  
MISE AU POINT D'UN NOUVEAU TYPE DE POMPE (C.I.E.H.)

Lors du dernier conseil du CIEH qui s'est tenu à Libreville en avril 1973, nos services techniques ont été chargés d'entreprendre avec l'aide financière de l'OMS une étude des moyens d'exhaure manuels et de mettre au point un modèle de pompe adapté aux conditions d'utilisation en Afrique.

L'étude a débuté en octobre 1973 dès que la subvention accordée par l'OMS a été mise en place.

Le but de cette étude était d'essayer dans des conditions de service effectif au niveau des villages une gamme assez large de différents modèles de pompes à main connus afin de déterminer les différentes catégories de pannes, la facilité de maniement, d'entretien et les améliorations à apporter éventuellement au matériel existant.

DEROULEMENT DE L'ETUDE

La première étape consistait à dresser l'inventaire des différents types de pompes utilisés dans les pays africains, principalement dans les états membres du CIEH.

Il s'agissait ensuite de réunir une documentation technique sur ce matériel et de proposer d'autres types de pompes pour puits et forages à inclure dans les essais.

Nous avons choisi pour l'expérimentation la région de Koupéla et Tenkodogo en raison de la facilité d'accès et de la présence de forages restés sans équipement d'exhaure depuis plusieurs années.

Une mission a été effectuée au Ghana du 14 au 18 octobre 1973 afin d'examiner sur place avec les services ghanéens les problèmes posés par l'utilisation et l'entretien des pompes à main. Nous avons également recensé les différents modèles utilisés.

EXPERIMENTATION DU MATERIEL EXISTANT

Dans un premier temps, un certain nombre de modèles de pompes a été retenu pour l'expérimentation. Surtout parmi les pompes fabriquées en Afrique ou celles diffusées en de nombreux exemplaires.

Nous avons installé :

- pompe ABI - 3 exemplaires 2MR - 1 M
- pompe BODIN - MAJESTIC à balancier MJ3 - 5 exemplaires
- pompe BRIAU - Africa à volant - 5 exemplaires.

D'octobre 1973 à Juin 1975 - 25 tournées ont été effectuées sur le terrain pour la pose et des visites régulières d'entretien.

Lorsqu'une panne était constatée, elle était signalée à l'équipe d'entretien de l'HER qui procédait à la réparation ou au remplacement de la pompe.

.../...

AIDE MATERIELLE DU FISE

Le FISE devait nous fournir en plus de ces modèles 15 pompes qui se répartissaient comme suit :

- 3 pompes DEMPSTER
- 3 pompes UGANDA
- 3 pompes BRIAU type royale
- 3 pompes GODWIN modèle WIH 51
- 3 pompes GODWIN modèle WIH 54.

Nous venons seulement (Juin 1975) de recevoir 5 pompes GODWIN et 3 pompes DEMPSTER nous n'avons pu obtenir de précisions sur l'expédition des autres modèles.

PANNES CONSTATEES SUR LES DIFFERENTS MODELES DE POMPES

- ABI 2 pannes sur la même pompe à Linoghin 1/3 (rupture des tringles)
- BODIN changement de la tête 1/5
- AFRICA 4 pompes tombées en panne sur 5.

Nous devons mettre en place prochainement les pompes GODWIN et DEMPSTER.

PRIX DES DIFFERENTS TYPES DE POMPE

Les prix des différents modèles de pompes qui ont été installées sont les suivants :

Pompe ABI	120.000 CFA	(rendue Ouagadougou)
Pompe BODIN	150.000 CFA	(rendue Ouagadougou)
Pompe BRIAU Africa	500.000 CFA	(départ port français).

EXPERIMENTATION ET MISE AU POINT D'UN NOUVEAU MODELE DE POMPE

1) Présentation du problème

De longue date le CIEH a entrepris des études sur les conditions d'exploitation des eaux souterraines dans les formations éruptives et métamorphiques d'Afrique tropicale\*.

La conclusion essentielle de tous ces travaux a confirmé que les forages constituent un moyen plus rationnel que les puits pour exploiter les ressources en eau des formations cristallines. Leur débit est en effet plus élevé et leur coût moindre lorsqu'on peut les réaliser en grande série\*\*.

- \* . Etude statistique des forages et carte hydrogéologique des régions à substratum éruptif et métamorphique en Afrique Occidentale.
- . Etude comparative des avantages respectifs des puits et forages dans les régions à substratum cristallin d'Afrique de l'Ouest.

- \*\* . CIEH. Journées techniques 1973. La maîtrise de l'exhaure manuelle, condition d'une alimentation en eau satisfaisante des villages dans les régions à substratum cristallin (J. LEMOINE)

Par conséquent, on peut affirmer que la maîtrise de l'exhaure manuelle est la clé de la généralisation de l'exploitation par forage, c'est-à-dire la condition d'une alimentation en eau satisfaisante des villages dans les régions à substratum cristallin.

En Afrique Occidentale et dans les Etats membres du CIEH, des dizaines de milliers de villages sont concernés par ce problème. Malheureusement les matériels d'exhaure utilisés tombent rapidement et souvent en panne, ceci entraîne pour les états des charges considérables d'entretien que quelquefois ils ne sont pas en mesure d'assurer.

## 2) Expérimentation d'un nouveau modèle de pompe

C'est dans cette optique que le CIEH a entrepris depuis plusieurs mois avec l'aide de l'OMS l'expérimentation dans des conditions de service effectif de différents modèles de pompes à main. Cette étude est en cours et doit durer deux ans. D'ores et déjà les causes des pannes les plus fréquentes ont pu être décelées, celles-ci se produisent toujours au niveau de la tringlerie de commande, des axes, des goupilles et des cuirs de piston.

Parallèlement nous avons donc mis au point un nouveau modèle de pompe qui, nous pensons, devrait être beaucoup plus robuste que tous les matériels classiques utilisés jusqu'à présent.

Il s'agit d'une pompe à commande hydraulique entièrement en PVC pour tout ce qui concerne la partie sous le sol. La commande se fait par une pédale se déplaçant verticalement, il n'y a donc plus de problème de levier, d'axe ou de goupille. Toutes les parties au-dessus du sol sont en acier inoxydable. Cette pompe a été étudiée pour répondre aux impératifs d'emploi dans les conditions africaines.

### Impératifs économiques

- Coût de fabrication : la simplicité de construction et l'emploi des matières plastiques devraient, pour une fabrication en grande série abaisser le prix de vente/manière sensible par rapport aux matériels classiques.

- Coût de transport : le poids et l'encombrement étant réduits (à 20 à 30 kg), le colisage sera plus facile et le transport moins onéreux.

- Coût de l'installation : une quinzaine de minutes sont suffisantes pour mettre en place la pompe sur un puits ou un forage et ceci sans aucun outillage lourd.

- Coût de l'entretien : l'entretien sur place, le plus incertain dans les conditions africaines a été supprimé, il n'y a aucun graissage ou réglage à effectuer. Il n'y a aucune pièce en frottement à l'intérieur du puits, les risques de panne sont donc réduits voire inexistantes. La durée de vie de l'appareil et sa robustesse sont fondées sur la simplicité de sa conception et sa résistance aux diverses conditions d'utilisation propres à l'Afrique.

.../...

Impératifs d'utilisation

- Cette pompe est adaptée au puisage de l'eau à toutes les profondeurs (0 à 50 m) avec des débits égaux ou supérieurs aux matériels classiques.
- Le large emploi des matières plastiques supprime les inconvénients de la corrosion et de l'entartrage.
- La commande hydraulique autorise l'installation de l'élément de surface à distance de l'ouvrage exploité, cela permet une fermeture efficace du forage ou du puits et évite la pollution directe de la nappe.
- La pompe est adaptable à tous les types d'entraînement : moteur, éolienne, pompe solaire.

Actuellement deux modèles de cette pompe fonctionnent depuis plusieurs mois sans entretien ; les observations faites sur ces deux pompes ont permis de fiabiliser la fabrication.

Nous travaillons actuellement sur l'optimisation des composants afin d'adapter la pompe à toutes les profondeurs comprises entre 0 et 50 m. Cinq autres modèles ont été commandés sur les crédits de la dernière convention OMS. Nous avons demandé d'autre part un crédit de 5 millions de F CFA du Fonds d'Aide et de Coopération pour étudier la mécanisation de cette pompe en vue d'obtenir des débits de l'ordre de 3 à 4 m<sup>3</sup>/h pour les usages pastoraux et la petite irrigation.

3) Description du fonctionnement. (voir schéma ci-joint)

La pompe comprend :

- une presse hydraulique à simple effet - (ensemble cylindre-piston) (9)
- une canalisation de commande (8)
- une canalisation de refoulement (7)
- un corps inférieur immergé composé d'une enceinte rigide (1) à l'intérieur de laquelle se trouve une chambre élastique (2).

L'enceinte rigide comporte un clapet d'aspiration (3) et un clapet de refoulement (5) qui permet le passage de l'eau jusqu'à son point d'utilisation.

Lorsque le fluide moteur est repoussé par le piston (\*) dans la chambre élastique, celle-ci augmente de volume et chasse l'eau contenue dans la capacité (1) à travers le clapet de refoulement. L'eau refoulée est conduite à la surface du sol ou dans un réservoir par la canalisation (7). Pendant la phase d'extension de l'enceinte élastique le clapet d'aspiration reste fermé.

.../...

---

(\*) toutes les canalisations étant remplies d'eau.

Lorsque l'action sur le piston cesse, la chambre élastique se rétracte chassant le liquide qu'elle contient dans le cylindre et repoussant automatiquement le piston dans sa position haute.

La diminution de volume de la chambre élastique provoque l'aspiration de l'eau du puits ou du forage à l'intérieur de l'enceinte rigide. Le clapet de refoulement est maintenu fermé pendant toute la durée de l'aspiration.

#### Dispositif d'autoamorçage

La pompe (1) étant immergée, la pression de l'eau provoque l'ouverture des clapets et dans un premier temps le remplissage de l'enceinte rigide et de la canalisation de refoulement jusqu'au niveau statique. Dans un deuxième temps par l'intermédiaire du clapet (6) la chambre élastique se remplit ainsi que la canalisation de commande.

Lorsqu'on agit sur le piston, l'air bien que compressible provoque une légère extension de l'enceinte élastique et une certaine quantité d'eau est refoulée dans la canalisation (7). Cette eau, lorsque le piston est en position haute et la lumière dégagée (l'air peut donc s'échapper), passe par le clapet (6) et vient remplir le circuit primaire.

Le volume d'air diminuant dans le circuit de commande, l'action du piston devient de plus en plus efficace et quelques aller et retour successifs permettent de remplir le circuit de commande. La pompe est alors prête à fonctionner.

#### Purge automatique

Si de l'air pénètre dans le circuit de commande, l'eau du circuit secondaire qui est en légère surpression passe par le clapet (6) et purge ainsi le circuit, l'air pouvant s'échapper par la lumière aménagée dans la partie haute du cylindre.

Cette légère surpression est obtenue en faisant déboucher la canalisation de refoulement au-dessus du cylindre de commande.

L'originalité de cette pompe réside dans le fait que le retour à l'état initial du circuit de commande et l'aspiration se font automatiquement grâce à la rétraction de la chambre élastique. En effet, lorsque toute action cesse sur le piston, celui-ci revient en position haute sans intervention extérieure. L'énergie nécessaire à la remontée ayant été accumulée pendant la phase active d'extension.

Il faut signaler également que l'utilisateur se sert de son propre poids pour actionner la pompe, il suffit de monter sur la pédale, de se laisser descendre et de remonter sur la marche (11) pour laisser revenir le piston. Ce mouvement correspond exactement à la montée d'un escalier.

.../...

#### 4) Détails de fabrication

Il fait largement appel aux matières plastiques, le corps de pompe est fabriqué en PVC, les canalisations de commande et de refoulement sont en polyéthylène souple haute densité. Les clapets sont en matière plastique, seuls le cylindre et la tige de commande du piston sont métalliques (acier inox et laiton). L'ensemble est donc très léger (une trentaine de kilogrammes) et insensible à l'entartrage et à la corrosion.

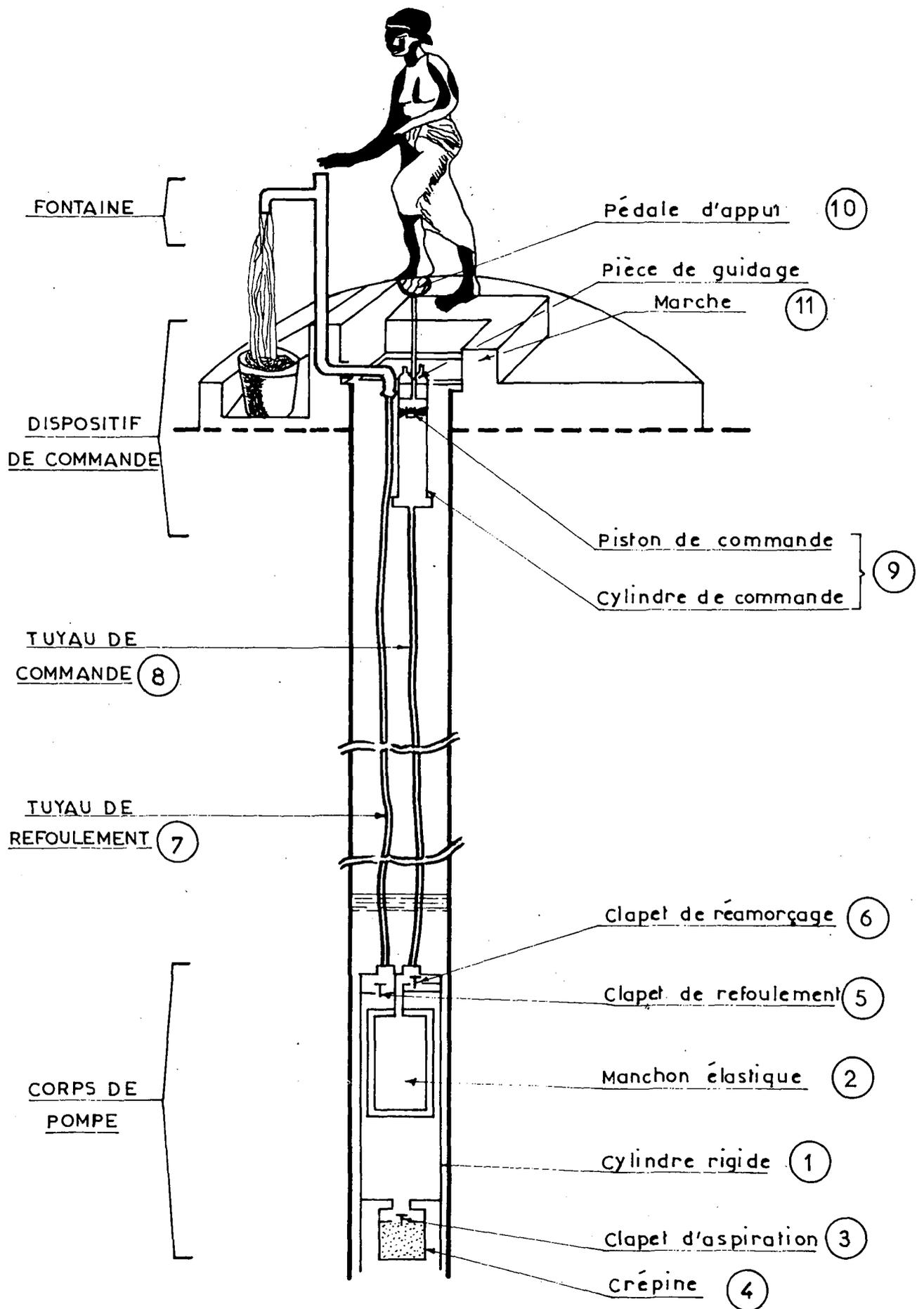
Comme il n'y a pas de pièces en frottement dans le corps de pompe, à l'intérieur du puits, il n'y a aucune usure à craindre même si l'eau pompée contient du sable ou des matières en suspension.

#### 5) Expérimentation de l'hydropompe Vergnet

Depuis Juillet 1974, cette pompe est expérimentée dans les villages et les observations qui ont été faites ont permis de fiabiliser la fabrication de certains éléments notamment le guide de la pédale de commande, le piston et la boîte à clapets du corps inférieur.

On peut affirmer à ce stade que ce modèle de pompe est maintenant adapté aux conditions réelles d'utilisation et qu'il est en mesure de répondre à ce qu'on attend de lui : absence d'entretien, grande fiabilité, débit comparable aux modèles classiques. On obtient en effet 1,5 m<sup>3</sup>/h à 7 m et 1,2 m<sup>3</sup>/h à 20 m.

On pense arriver à améliorer encore ces performances et obtenir des débits supérieurs en optimisant les composants : diamètre du piston, caractéristiques du manchon élastique.



**HYDRO-POMPE "VERGNET"**  
 SCHEMA DE PRINCIPE

PRESENTATION DE MATERIEL DE FORAGE

par

A. BENAMOUR (CIEH)

Le CIEH a toujours été préoccupé par les problèmes posés par la réalisation des points d'eau dans la zone cristalline : nature des ouvrages à réaliser et choix du matériel nécessaire pour leur exécution.

Il semble aujourd'hui que de nombreux pays aient choisi la solution du forage pour alimenter en eau les populations rurales. Ceci pour plusieurs raisons et en particulier :

- cadence d'exécution plus rapide que pour les puits,
- satisfaction des besoins réalisée quelle que soit la période de l'année.

S'est posée alors la question du choix du matériel le mieux adapté aux problèmes de forage dans les roches cristallines et la tranche altérée qui surmonte le substratum.

• Plusieurs articles sur le matériel de forage ont été publiés dans notre bulletin de liaison (n° 16 et 22) et au cours du 8ème conseil du CIEH qui s'est tenu à Ouagadougou du 8 au 15 Décembre 1975 quatre ateliers de forage ont été présentés aux participants qui ont pu les voir fonctionner sur le terrain dans des formations géologiques analogues, c'est-à-dire socle granitique surmonté d'une tranche de terrains altérés, plus ou moins puissante suivant les endroits.

Il ne s'agissait pas de mettre en compétition les différentes machines présentées mais de montrer quelques-unes des solutions adoptées pour forer dans les régions de socle cristallin des ouvrages de reconnaissances ou d'exploitations.

• Les tableau ci-dessous donne les caractéristiques des forages réalisés par les différentes machines présentées :

Type d'appareil	Ouvrage exécuté	Prof. (m)	N.S	Débit (m <sup>3</sup> /h)	Formation	lieu d'exécution	Temps d'exécution
CALWELD 250B	puits en grand diamètre	14,60	7,85	0,8	arène et granite altéré	SAABA	1 j
STENUICK H66	forage	40	19	1 à 1,5	arène et granite	LINOCHIN	1 j
FORACO-SM70	forage	20	8	0,5	arène et granite	OUAGADOUGOU	1 j
AQUADRILL	forage	42	7,5	2 à 3	arène et granite	OUAGADOUGOU	1 j

Le lecteur trouvera ci-après les caractéristiques techniques de ces machines et les adresses des constructeurs. La description et le rendement de deux de ces machines (Calweld et Stenuick) se retrouvent dans la communication de Mr SOLAGES Chef du service de forages de l'A.V.V.

La Calweld est un appareil qui a un rendement très élevé dans les zones où l'altération est épaisse (sup. à 20 m) et où le niveau de l'eau est proche de la surface du sol.

Le prix de revient en forage de reconnaissance est très bas (4000 f/ml) mais le prix de l'ouvrage d'exploitation est fortement grévé par celui de l'équipement (16.000 f/ml de buses en béton armé).

Les limites sont la profondeur (30 mètres maximum) et son incapacité de perforer les roches dures.

En effet dans les terrains cristallins, deux impératifs doivent guider le choix du matériel :

- capacité de perforation dans les roches dures ;
- tenue des parois dans la zone altérée.

Les trois autres machines (Stenuick, FORACO et Aquadrill) ont des caractéristiques analogues pour ce qui concerne le forage en terrain dur : utilisation du marteau fond de trou, air comprimé comme fluide de circulation et vitesse d'avancement similaires dans des diamètres de 135 à 150 mm.

Elles diffèrent cependant par le mode d'entraînement mécanique, hydraulique ou pneumatique et par les solutions adoptées pour le tubage à l'avancement :

#### STENUICK H66

Le tubage provisoire est effectué à l'avancement par des tubes vissés de 1,50 m de longueur ( $\phi$  152/168) qui suivent le taillant excentré du marteau. Au delà de 30 mètres il devient difficile d'arracher le tubage provisoire.

#### FORACO SM70

Cette sondeuse est équipée d'un vibreur qui permet de fonder un tubage provisoire jusqu'à 35 m en 8".

#### AQUADRILL

Cette machine peut travailler avec tubage à l'avancement lorsque la tenue des parois du forage l'exige. On utilise alors des éléments métalliques soudés. Le tubage est perdu.

.../...

FOREUSE CALWELD

- Principe de forage - forage rotary à sec avec outils du type bucket à grand diamètre (24 à 48") et tiges kelly télescopiques.
- évacuation des déblais par bras de décharge latéral.
- Force motrice - moteur diesel carterpillar 130 CV - 5 vitesses avant 1V arrière. Entraînement rotation par table de rotation arrière.
- Derrick et manutention - mat longueur 12,77 m - charge 28T - montée descente par 3 verins télescopiques.
- 1 treuil double tambour de 4T entraîné par le moteur de la foreuse.
- Garnitures et outils de forage - 3 tiges kelly télescopiques de 10 m chacune pour forage jusqu'à 29 m.
- buckets de 24 et 30" pour les sondages 48" pour les ouvrages d'exploitation.
- Porteur - Berliet G BH 6x6 - 250 CV - poids total de l'unité autoportée 27T.
- Accessoires - 2 verins de calage arrière.
- 2 verins de poussé sur la table de rotation pour la traversée des cuirasses compactes.
- 1 tige ralonge pour forage jusqu'à 40 m (peu utilisée).

FOREUSE STENUICK

- Principe de forage - forage marteau fond de trou (roto-percussion) en petit diamètre (130 à 150), à l'air comprimé ou mixte eau + air. Système de tubage à l'avancement avec taillant excentré pour la traversée des fluants, ce système est efficace jusqu'à 30 m. La profondeur totale forée peut atteindre 100 m.
- Force motrice - foreuse entièrement pneumatique, l'air comprimé est fourni par un compresseur Atlas COPCO PR H 700 (moteur Deutz 300 CV), le débit d'air d'air peut atteindre 19 m<sup>3</sup>/mm et la pression 10 kg.
- rotation secondaire (tubage à l'avancement) par un moteur de 4 HP, vitesse de rotation max. 15 R/mm, couple 700m/kg.
- entraînement rotation primaire par un moteur pneumatique de 4 HP, vitesse de rotation max. 46 R/mm, couple 270 m/kg.

- translation : 2 moteurs de 4 HP, force de traction 3,6 T force de poussée 1,8 kg (transmission par chaîne).
- Mat - glissière de 5,3 m de long. Montée descente par un verin hydraulique avec prise de force sur le camion.
- Garnitures et outils de forage - forage marteau seul :
  - . tiges forage  $\phi$  90 mm assemblées par éléments de 3 m
  - . taillants à boutons ou en croix  $\phi$  130-140-150 mm.
- forage avec tubage à l'avancement
  - . tiges  $\phi$  90 à double paroi pour injection d'eau, éléments 1,50m
  - . tubes provisoires  $\phi$  152/168, éléments de 1,50 m (filetage à mi-épaisseur)
  - . taillant excentré 152/168
- marteau type 500 KS pour les deux modes de forage, consommation d'air 9,5 m<sup>3</sup>/mn à 7 kg, 13 m<sup>3</sup> à 10 kg.
- Porteur - Berliet G LR 160 1 pont - poids total de l'unité autoportée 12 T. (un porteur + puissant 4x6 est conseillé).
- Accessoires - clef pneumatique de dévissage des tubes
- pompe pour forage à l'eau (haute pression).

FOREUSE FORACO SM70

- Principe de forage - rotation et marteau fond de trou en 135 ou 150 mm
- Force motrice - 2 moteurs Deutz de 250 CV pour le compresseur et la sondeuse servitudes hydrauliques
- 12 vitesses de rotation 10 AV et 2 AR
- Couple à la tige - 1000 m/kg
- Force de levage et de poussée - 8,4 T
- Treuil de levage - 500 à 1200 kg
- Compresseur - TAMROCK à vis asymétrique 16 à 19 m<sup>3</sup>/mn sous bars
- Diamètre du train de tige - 4 1/2

.../...

Marteau - Stenuick 500 KS et 100 HS  
Porteur - MOL 6x6 26 T en charge  
16 T de charge utile.

FORTEUSE AQUADRILL

Principe de forage - rotation et marteau fond de trou 4 à 6"  
Force motrice - Toutes les fonctions sont pneumatiques - le compresseur alimente tous les moteurs et les servitudes  
Marteau - COP4  
Longueur des tiges - 3 mètres  
Compresseur - PRH 700 - 19 m<sup>3</sup>/mn sous 10 bars  
Tubage à l'avancement - tubage perdu.

x x  
x

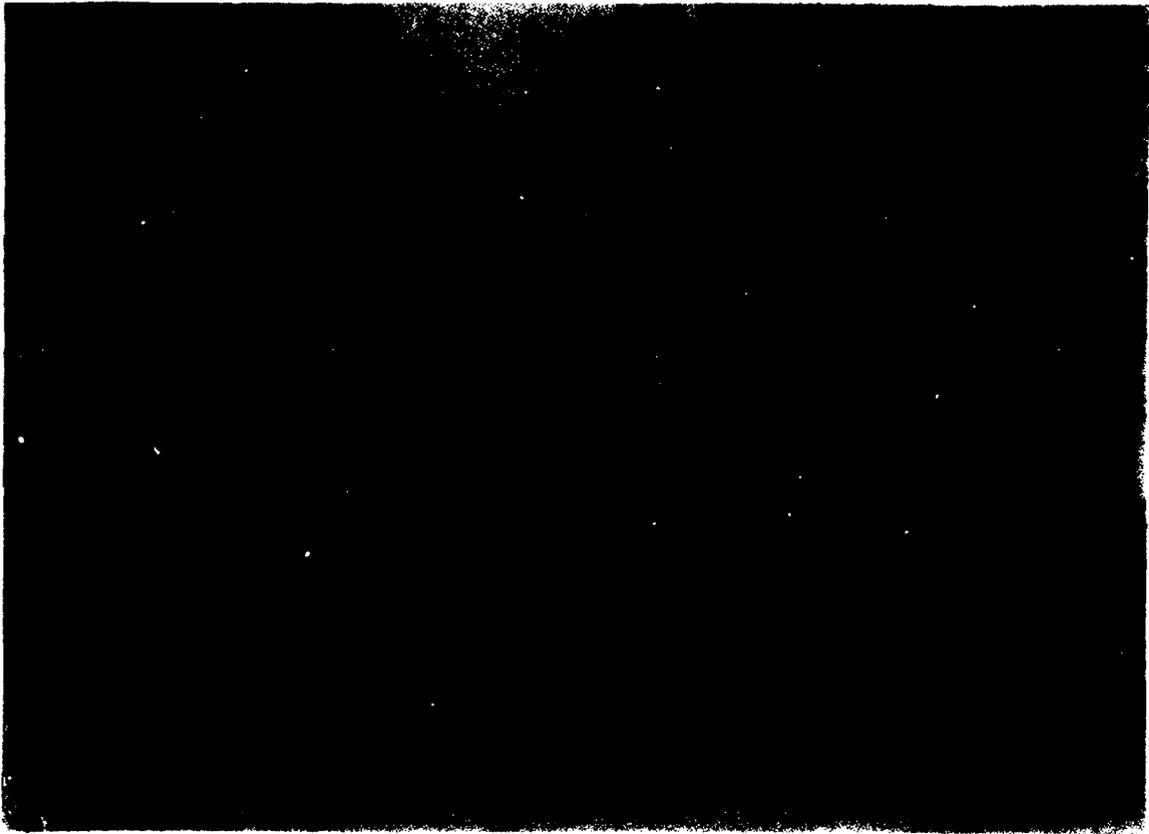
Adresses des constructeurs

CALWELD : Division of smith international Inc.  
PO Box 2875 Santa Fe Springs  
California 90670 - USA

STENUICK : Boulevard Marie - Stuart  
45-ORLEANS - France

FORACO : Le plan d'Aigues  
13760 Saint-Cannat - France

AQUADRILL : Cette machine a été présentée par la société CARIC  
BP 20884 -ABIDJAN  
Côte d'Ivoire



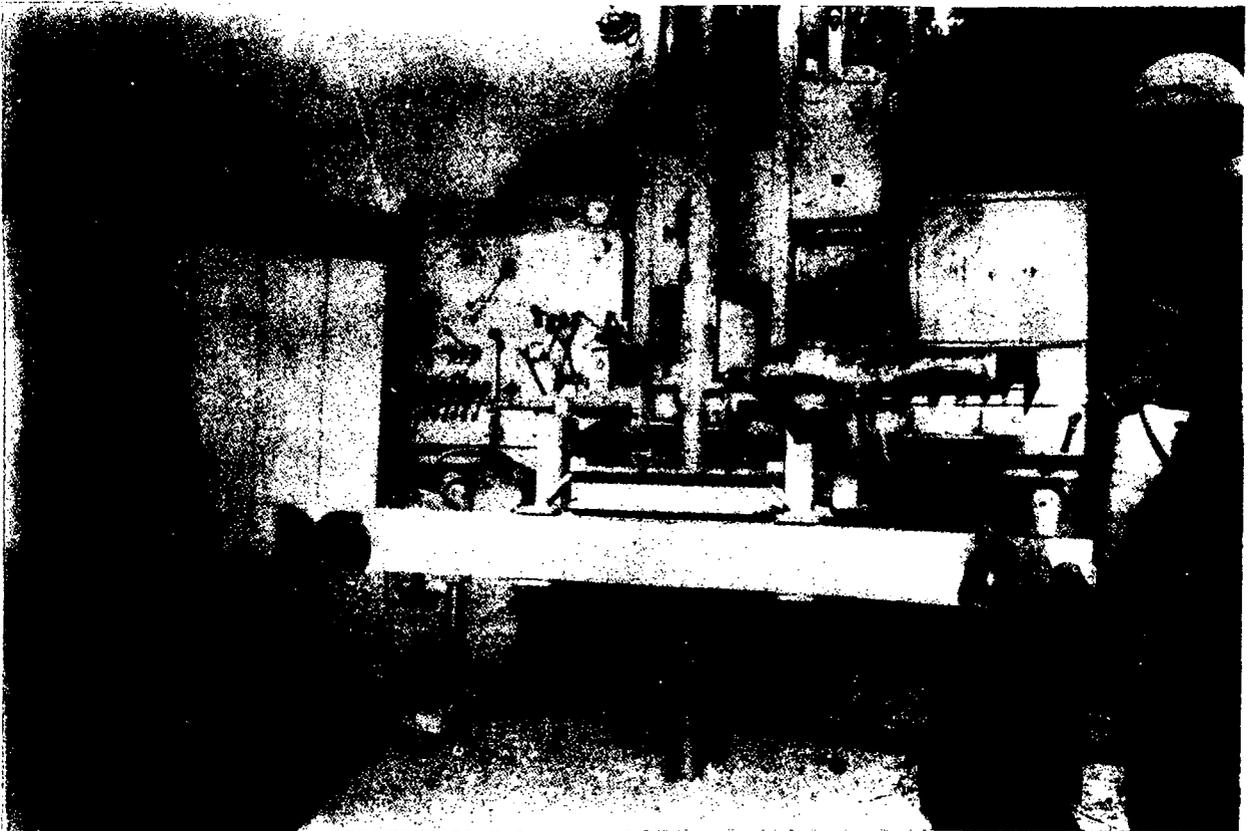
AQUADRILL



Sondeuse Stenuick H 66



CALWELD 250 B



FORACO SM 70

DISCUSSION

Dans le premier exposé M. MARTIN a présenté les cartes de planification des ressources en eau qui couvrent six pays du Sahel :

Mali, Mauritanie, Sénégal, Haute-Volta, Niger et Tchad à l'échelle de 1.500.000.

Ces cartes ont été établies sur les trois thèmes suivants :

- Productivité des nappes
- Aptitude des eaux à l'irrigation
- Coût de l'eau.

Une discussion a suivi l'exposé au cours de laquelle M. MARTIN a précisé le mode d'établissement de ces cartes et les limites d'utilisation.

Il a été précisé également qu'un 4ème thème viendra compléter les cartes déjà établies, il s'agit de la carte des ressources où seront distinguées les réserves renouvelables et non renouvelables. Cette dernière carte est en cours d'exécution et a été demandée au BRGM par le CIEH.

Il est apparu également qu'il faudrait étendre ce travail aux autres pays membres du CIEH et qu'il fallait mettre au point une méthodologie dans les zones de socle.

Mr GUIRAUD de la Faculté des Sciences d'Abidjan a ensuite parlé de l'intérêt hydrogéologique de la fracturation dans le socle granito-gneissique. Profitant des campagnes d'exécution de points d'eau qui sont en cours en Côte d'Ivoire, il a pu être dégagé des critères d'implantation des points d'eau et des méthodes de recherche systématique des zones de fractures qui s'appuient en particulier sur l'étude des cartes topographiques, des photos aériennes et photos de satellites.

L'exposé de Mr ENGALENC sur l'hydrogéologie et la géophysique appliquée aux terrains cristallins a fait ressortir la nécessité d'un travail de photo interprétation poussé afin de déterminer les zones de fracturation une étude géophysique légère venant ensuite préciser les sites d'implantation des points d'eau.

Mr SOLAGES Chef du Service Forages de l'Autorité pour l'aménagement des vallées des Volta a présenté une note sur les caractéristiques techniques, les performances et les prix de revient de deux types de foreuses qui équipent actuellement le services des forages de l'AVV.

Il s'agit d'une machine de forage de type tarière travaillant en grand diamètre et d'une sondeuse pneumatique utilisant un marteau "fond de trou".

Les débats qui ont suivi, ont permis de comparer les expériences ivoirienne et voltaïque. Il est apparu également que le pourcentage de succès était lié aux performances des machines utilisées. Il semble donc nécessaire de disposer de plusieurs types de foreuses afin de pouvoir répondre au mieux aux différents problèmes existants.

Mr ADOU Directeur Général de la FOREXI a fait les propositions suivantes qu'il souhaite voir mises en oeuvres par le CIEH. :

- Réunion annuelle des responsables des travaux hydrauliques.
- Recensement et étude comparative du matériel de forage existant en Afrique.
- Formation de personnel d'exécution pour répondre aux besoins des états.
- Extension et amélioration de la diffusion des publications et périodiques du CIEH.

Mr HASSAN Président de la commission a proposé que ces suggestions soient soumises au conseil des ministres.

Mlle LHEUREUX du BRGM a présenté la méthodologie de stockage et d'utilisation des données géologiques mise en oeuvre par le BRGM en France. En liaison avec le BNETD, un système analogue est mis actuellement en place en Côte d'Ivoire.

Enfin Mr BENAMOUR a fait le point sur l'expérimentation en cours par le CIEH de l'hydropompe "VERGNET".

# **ETUDE DES MOYENS DE PRODUCTION DE PLUIE PROVOQUEE**

BASES SCIENTIFIQUES DE LA MODIFICATION ARTIFICIELLE  
DES PROCESSUS METEOROLOGIQUES

par

N. CALES (CIEH)

CONSIDERATIONS GENERALES

Les phénomènes hydrologiques et météorologiques qui se manifestent à la surface du globe peuvent être analysés comme une série d'opérations de transfert d'énergie qui ont pour origine le rayonnement solaire reçu à la surface de la terre, dont la puissance est estimée à  $10^{13}$  kw. L'énorme énergie mise en jeu dans l'évolution des processus météorologiques constitue un obstacle fondamental à toute intervention dans ce domaine. Toutefois les situations météorologiques sont souvent le résultat d'équilibres plus ou moins stables produits eux-mêmes par les interactions et conflits de principes contraires. Dans certains cas on se trouve en présence d'états particulièrement instables où une intervention ponctuelle mettant en jeu une quantité d'énergie très modeste peut entraîner une modification très brusque des propriétés physiques de la masse d'air. Dans de telles situations l'intervention humaine sera possible et permettra si les conditions sont favorables d'obtenir des résultats non négligeables.

D'autre part certaines substances agissent comme catalyseur du déclenchement des processus météorologiques, à des doses que l'on pourrait qualifier d'homéopathiques, tout à fait négligeables par rapport à la masse d'air qui est en jeu. Ce phénomène remarquable joue un rôle particulièrement important dans le déclenchement des précipitation.

En effet, en plus d'une concentration de vapeur suffisante dans des conditions données, il faut, pour que se forment des nuages, des noyaux de condensation dont les propriétés physiques gouverneront toute la cinétique de l'évolution du nuage. La masse globale des noyaux de condensation nécessaires à la formation des systèmes nuageux est infime par rapport à la masse du nuage : environ un kilogramme pour des systèmes nuageux d'un volume de dizaines de milliers de  $\text{km}^3$ , contenant environ 2 grammes d'eau liquide par  $\text{m}^3$  ce qui correspond à un rapport de l'ordre de  $10^{10}$  à  $10^{12}$  entre la masse d'eau mise en oeuvre par la condensation, et la masse globale des noyaux de condensation.

Ces remarques d'ordre général concernent tous les domaines possibles d'intervention de l'homme dans sa tentative pour modifier les conditions météorologiques, et en particulier toutes les recherches entreprises en vue d'une modification des nuages et des précipitations atmosphériques.

MECANISME DE LA FORMATION DES PRECIPITATIONS

Nous nous contenterons de rappeler ici les grandes lignes des théories émises pour expliquer les mécanismes de la formation des précipitations.

.../...

Le nuage est un aérosol contenant de l'eau condensée en gouttelettes très fines dont le diamètre moyen est de l'ordre de 10 à 30 microns et dont la masse globale représente 1 g d'eau condensée par mètre cube de nuage. Ces gouttelettes, du fait de leur légèreté sont maintenues en suspension par l'effet des turbulences atmosphériques. Pour qu'il y ait précipitation il faut un regroupement de ces gouttelettes sous forme de gouttes ayant un poids suffisant pour vaincre la poussée à laquelle elle est soumise du fait des courants d'air turbulents : le calcul montre que le diamètre minimal de la goutte doit être de l'ordre de 0,5 mm, soit de 20 à 50 fois le diamètre des gouttelettes du nuage, ce qui suppose un accroissement de volume de la gouttelette dans le rapport de  $10^4$  à  $10^5$ .

Pour réaliser un accroissement relatif aussi important de la dimension des gouttes dans le nuage, deux mécanismes sont possibles :

- soit le grossissement par coalescence directe dû à l'agglomération des gouttelettes élémentaires sous l'effet de chocs répétés dus soit à l'attraction électrostatique des gouttelettes chargées électriquement dans le nuage, soit à l'attraction hydrodynamique de deux gouttelettes rapprochées en mouvement relatif par rapport à l'air ambiant (effet Bjerknes) soit par balayage des fines gouttelettes par des grosses gouttes tombant à travers le nuage, (effet Langmuir).

- soit le grossissement de certaines particules au dépens des voisines par condensation de vapeur d'eau sur leur surface suivant le principe de la paroi froide.

L'étude théorique a montré qu'aucun des phénomènes de coalescence directe ne pouvait expliquer la rapidité relative de l'accroissement de volume des gouttelettes, tout au moins dans la phase initiale de transformation du nuage.

Le physicien norvégien TOR BERGERON a montré, en 1933 le rôle de la présence de cristaux de glace dans un nuage d'eau surfondue. En effet pour déclencher le grossissement de gouttelettes par condensation de vapeur d'eau, il faut que certaines gouttelettes du nuage aient une tension de vapeur inférieure à celle existant dans l'atmosphère du nuage, ou que celle-ci soit sursaturée.

Ceci se produit en particulier lorsqu'un nuage à température négative contient à la fois des cristaux de glace et de l'eau surfondue : du fait de la différence de tension de vapeur entre la glace et l'eau surfondue, il y aura, suivant le principe de la paroi froide, vaporisation de l'eau contenue dans les gouttelettes d'eau surfondue et condensation de cette vapeur sur les cristaux de glace qui jouent ainsi le rôle de noyaux de condensation.

La différence de tension de vapeur entre gouttelettes nécessaires au processus de grossissement par condensation de vapeur d'eau peut également provenir de différences de température entre gouttelettes voisines au sein de la masse du nuage : les gouttelettes chaudes se vaporisant au profit

d'une minorité de gouttes froides. Ceci peut se réaliser lorsque de fortes turbulences provoquent un brassage de portions de nuages à températures très différentes, et on peut expliquer ainsi la formation des pluies dans les nuages à température positive, qui constituent la majeure partie des pluies des régions tropicales.

Une dernière cause possible de transfert de vapeur d'eau sous l'effet d'une différence de tension de vapeur peut résulter de la présence dans les nuages de gouttelettes d'une solution saline, engendrées par condensation de vapeur d'eau sur des germes hygroscopiques tels que des cristaux de chlorure de sodium ou de calcium.

Ces différentes théories permettent d'expliquer le déclenchement des précipitations, mais ne peuvent justifier l'abondance des précipitations de longue durée. En effet, il est aisé de montrer, compte tenu des chiffres que nous avons donnés plus haut que la condensation complète de l'eau contenue dans un nuage peut donner au maximum une pluie de quelques millimètres.

Pour expliquer l'existence des averses longues et abondantes qui sont courantes, il faut admettre que le nuage se reforme continuellement à mesure qu'il perd son eau condensée.

Cette constatation est d'un intérêt primordial pour nous, car elle gouverne toute la méthode à suivre pour les opérations de pluie provoquée : en effet pour obtenir des précipitations appréciables, nous constatons qu'il faut non seulement un état physique convenable du nuage permettant le déclenchement des précipitations suivant l'un des processus décrits ci-dessus, mais encore des conditions météorologiques permettant le renouvellement de la masse nuageuse, ce qui suppose un mouvement général de l'air humide avec une composante ascendante suffisante pour alimenter en eau l'averse ainsi déclenchée.

## LE DECLENCHEMENT ARTIFICIEL DES PRECIPITATIONS

### Historique

C'est l'exposé de la théorie de Bergeron qui, permettant une meilleure compréhension des mécanismes naturels de formation de la pluie, a fourni les éléments les plus sérieux pour rationaliser les tentatives d'intervention.

Langmuir et Schaefer, aux U.S.A, mirent en application au laboratoire la théorie de Bergeron, et montrèrent que l'introduction de neige carbonique dans une chambre froide remplie d'un brouillard de fines gouttelettes d'eau surfondue produisait la précipitation de cristaux de glace provenant de la congélation des gouttelettes de brouillard. La même expérience entreprise dans la nature montra qu'il était possible d'obtenir des chutes de neige ou de pluie en dispersant par avion de la neige carbonique au sein d'un nuage à température négative (-5 à -15°C) formé de gouttelettes d'eau surfondue.

Les expériences de laboratoire montrèrent qu'en l'absence de germes ou de noyaux de condensation, la température de la chambre froide contenant un aérosol d'eau surfondue pouvait être abaissée jusqu'aux environs de

-39°C ; à l'approche de cette température critique la surfusion cesse brusquement et la totalité de l'eau liquide cristallise. Pour des températures intermédiaires, de l'ordre de -20° à -30°C, de nombreux corps (sables, poussières, fumées, cristaux microscopiques) jouent le rôle de noyaux de condensation et provoquent la précipitation de cristaux de glace.

Parmi les nombreux corps susceptibles d'une telle action, Vonnegut a mis en évidence les propriétés remarquables de l'iodure d'argent qui cristallise dans le même système que la glace, et provoque la formation de cristaux de glace dès que la température descend à -4°C. Cette propriété remarquable est d'autant plus intéressante que la sublimation de l'iodure d'argent donne naissance à  $10^{15}$  particules par gramme de produit ; chaque particule pouvant constituer un noyau pour la formation d'un cristal de glace, on peut ainsi ensemercer un volume très important de nuage à partir d'une quantité relativement minime d'iodure d'argent.

#### L'INSEMINATION DES NUAGES FROIDS A L'IODURE D'ARGENT

Les chercheurs ont donc fait porter leurs efforts sur l'étude des propriétés de l'iodure d'argent : l'iodure d'argent peut être utilisé soit à partir d'un avion, soit à partir du sol. Différents procédés ont été mis au point pour la mise en oeuvre de ce produit, et il existe de nombreux modèles de générateurs de fumée d'iodure d'argent.

Pour favoriser un bon rendement dans la formation des noyaux, il est nécessaire de vaporiser le sel à haute température (environ 1.300°C) et de refroidir rapidement les vapeurs obtenues ; ce résultat peut être atteint par l'un des procédés technologiques suivants :

- 1/ Combustion de coke métallurgique imprégné d'iodure d'argent dans un foyer soufflé.
- 2/ Fusion du sel et surchauffe des vapeurs dans un four électrique suivie d'une trempe des vapeurs dans un courant d'air froid.
- 3/ Combustion à l'air libre de charbon de bois imprégné d'une solution d'iodure d'argent dans l'acétone contenant 2 % d'iodure d'argent.
- 4/ Combustion d'une solution d'iodure d'argent dans l'acétone dans un brûleur à injection.

Les trois premiers procédés sont bien adaptés pour une utilisation au sol, mais le dernier semble préférable si l'on veut ensemercer les nuages à partir d'un avion. Le choix de la méthode dépend essentiellement des conditions topographiques et météorologiques locales.

En effet, nous avons vu que l'iodure d'argent est efficace pour des nuages à température négative de l'ordre de -4°C à -15°C, l'altitude à atteindre est donc fonction de la zone climatique dans laquelle on travaille, et elle est évidemment plus élevée pour les régions tropicales. D'autre part, le temps mis par les fumées d'iodure d'argent pour atteindre la zone d'activité dépend de l'altitude de départ, et de la vitesse des courants ascendants. On conçoit donc que les méthodes d'ensemencement à partir du sol qui ont été

expérimentées avec succès dans certaines régions montagneuses sous climat tempéré (chaines de l'Atlas au Maroc, Massif Central en France par exemple) sont à peu près totalement inefficaces sur les grands plateaux des régions tropicales. Des expériences de ce type effectuées en Australie ont montré que le nuage de fumées d'iodure d'argent produit au sol demandait un délai de plusieurs heures avant d'atteindre le niveau des nuages surfondus. Le rendement de l'opération était pratiquement nul car à la dispersion de l'iodure d'argent dans l'atmosphère s'ajoute un phénomène de désactivation des noyaux sous l'effet de la lumière solaire.

A la suite de ces constatations les services australiens ont décidé d'utiliser systématiquement l'épandage par avion pour toutes les opérations d'ensemencement de nuages.

#### TRAITEMENT DES NUAGES CHAUDS

En présence des nuages à températures positives qui sont généralement responsables de la formation de la pluie dans les régions tropicales et subtropicales, il n'est pas toujours possible de faire appel à l'iodure d'argent sauf dans certains cas où le sommet de nuages cumuliformes à fort développement vertical se trouve à des températures franchement négatives, ce qui conduit d'ailleurs à travailler à des altitudes élevées. C'est pourquoi de nombreuses tentatives ont été effectuées dans les pays tropicaux pour déclencher artificiellement les précipitations en utilisant du chlorure de sodium : les cristaux de chlorure de sodium jouent le rôle de noyaux de condensation, chacun donnant naissance à des gouttes de solution saline concentrée. Pour obtenir un effet appréciable dans la transformation du nuage il faut un nombre de noyaux suffisant, du même ordre de grandeur que le nombre de noyaux de cristaux de glace nécessaires d'après la théorie de Bergeron pour déclencher la pluie dans un nuage froid. En pratique cela exige l'emploi de sel parfaitement déshydraté et très finement moulu pour obtenir des cristaux d'un diamètre moyen de 40 à 60 microns. Compte tenu des altitudes auxquels il est nécessaire de travailler l'épandage à partir d'un avion semble là encore la meilleure solution.

D'autres méthodes de traitement des nuages chauds ont été proposées par pulvérisation dans le nuage de gouttelettes d'eau douce ou salée de température différente de celle du nuage.

LES EXPERIENCES DE PLUIE PROVOQUEE MENEES PAR  
LE CIEH ET L'ASECNA EN HAUTE-VOLTA  
CAMPAGNES 1974 ET 1975

par J.C. PRAT (CIEH)

Notre propos vise à préciser les buts et les moyens mis en oeuvre pour ces expériences et à ébaucher les premiers résultats que nous pouvons dégager des campagnes de pluie provoquée menées en 1974 et 1975.

Les services techniques de notre comité se sont intéressés à cette question dès 1970. Nous avons publié vers cette date deux ouvrages sur ce sujet pour informer et sensibiliser les personnes intéressées.

En 1971, nous mettions au point avec M. COTTE, alors chef du Service Météorologique Voltaïque, un devis pour soumettre cette étude aux sources de financement.

En 1972, le Fonds d'Aide et de Coopération de la République Française répondait favorablement à notre demande.

L'originalité de ce travail a fait que nous/sommes heurtés à de nombreuses difficultés pour trouver un avion, le matériel, etc... et nous n'avons pu les surmonter, grâce au concours de l'ASECNA, que vers le milieu de l'année 1973. Aussi, pour travailler dans les meilleures conditions possibles, avons-nous repoussé le démarrage de ces études à l'hivernage 1974.

Les 2 campagnes expérimentales passées se sont déroulées en deux périodes en début et en fin de saison des pluies, car nous visons à préciser les possibilités de ces techniques dans ces périodes vitales pour l'économie. Notre première campagne s'est étendue sur les périodes du 15 Mai au 15 juillet et du 15 Août au 15 Octobre ; celle de 1975, la dernière, s'est étendue du 15 Mai au 15 Juillet et du 1er Septembre au 15 Octobre.

1 - BUT DE CETTE EXPERIENCE

Notre premier objectif était de tester sur une période suffisante pour pouvoir conclure avec certitude, les techniques de stimulation des précipitations dans la zone intertropicale africaine. Nous voulions :

- quantifier les effets obtenus et évaluer les gains éventuels ;
  - déterminer le temps de réponse des diverses formations nuageuses au traitement afin de déterminer où, quand et sur quel type de formations nuageuses intervenir pour atteindre une zone prédéterminée ;
  - mettre au point le matériel et les techniques d'ensemencement.
- Mais aussi définir le personnel nécessaire pour mener de telles opérations.

Le caractère expérimental de notre étude doit aboutir à des conclusions objectives permettant aux Etats de notre comité de se faire une

.../...

idée précise des possibilités de cette technique. Eventuellement nous essaierons de préciser les gains économiques (agricoles, hydrauliques) escomptables.

## 2 - MOYENS MIS EN OEUVRE

Il faut tout d'abord préciser les raisons du choix de Ouagadougou comme base d'intervention.

Ouagadougou est au coeur de la zone soudanienne à la frontière du Sahel. Le Front Intertropical (FIT) présente dans cette zone une convexité vers le Nord qui à latitude égale est susceptible de fournir un nombre de situations favorables plus grand. Enfin Ouagadougou se situe en plein plateau Mossi qui est une zone géographique uniforme. Nous ne craignons pas de ce fait les perturbations possibles dues à la présence de reliefs ou de grandes étendues d'eau (fleuve, grands lacs, etc...).

Pour ces raisons nous pouvons donc présumer jusqu'à plus ample informé les résultats obtenus comme extrapolables aux régions contiguës plus au Nord et plus au Sud.

Il nous faut préciser que la Haute-Volta possède un des réseaux pluviométriques les plus denses de la sous-région et ce réseau fonctionne bien, ce qui est indispensable pour tout contrôle statistique sérieux.

Enfin Ouagadougou présentait l'infrastructure nécessaire, aéroport international ouvert 24 h/24, et donc un service de prévision météorologique important. De plus cette ville est le siège du CIEH ce qui ne pouvait que diminuer les frais de fonctionnement.

Une étude statistique a indiqué qu'il fallait mener cette expérience sur 5 années si nous voulions pouvoir conclure avec une certitude suffisante. Il nous faut donc poursuivre encore 3 années.

Vu le mouvement principal des perturbations qui se déplacent d'Est en Ouest, nous avons déterminé une zone d'intervention polyédrique d'environ 18.000 km<sup>2</sup>. Cette zone est située à l'Est de Ouagadougou. Nous disposons donc ainsi d'Est en Ouest, d'une zone témoin que nous ne touchons pas, d'une zone d'ensemencement que nous travaillons le plus systématiquement possible et d'une zone cible plus à l'Ouest.

Le contrôle des résultats s'appuie sur une comparaison entre les stations de l'Est non affectées par nos traitements et les stations de la zone d'intervention et de la zone cible plus à l'Ouest.

Vu le mouvement général des perturbations dans la région, nous avons renforcé le réseau pluviométrique à l'Ouest de Ouagadougou. C'est ainsi que le CIEH gère 34 postes pluviométriques installés début 1974.

### 2.1 - Quels moyens matériels avons-nous mis en oeuvre ?

Nous avons opté pour le travail aérien. En effet, l'avion permet par sa souplesse d'utilisation de couvrir une grande zone (25.000 km<sup>2</sup> selon les spécialistes australiens) et ce au moindre frais. Tout travail à partir du sol, à l'aide de fusées ou des ballons, nécessite une lourde et coûteuse infrastructure.

.../...

Avion - Nous disposons d'un avion Piper Navajo à moteurs turbo-compressés. Cet appareil a une charge utile d'environ 700 kg qui correspond parfaitement à nos besoins, il peut atteindre 8.000 mètres d'altitude et son caractère bimoteur est une sécurité obligatoire pour ce type de travail. De plus en seconde partie de la campagne 75 l'avion était équipé d'un radar météorologique de bord avec mémoire.

Radar météorologique au sol. Ce radar météorologique est installé dans le bâtiment du service de la prévision météo au pied de la Tour de Contrôle de l'aérodrome. Il s'agit d'un radar de marque OMBRA dont le faisceau a une longueur d'ordre de 3 cm. En fait, il s'agit d'un radar de précipitations qui est assez mal adapté au travail que nous effectuons car il ne signale que les nuages précipitant ou tout proche de la précipitation.

Cependant ce radar a été très utile pour :

- Donner l'alerte
- Suivre l'évolution des nuages et l'effet du traitement. Des séries de photographies des échos visibles sur le scope du radar ont été prises pour suivre ces évolutions.

Une liaison radio-sol - avion . En plus de la liaison normale et permanente de l'avion avec la tour de contrôle, nous avons cette année une liaison VHF qui a fonctionné parfaitement et nous a permis de guider et d'aider à la navigation de l'avion.

Psychromètre de l'avion. Un psychromètre permettant la mesure des températures dites sèche et humide était monté sur le nez de l'avion. Il nous a permis d'effectuer 97 sondages.

## 2.2 - Matériel et produits d'ensemencement

L'avion est équipé d'un lanceur de cartouches de 74 mm de marque ALKAN. Il permet de tirer 20 cartouches. Ce matériel est fixé sous le fuselage de l'avion et est commandé de l'intérieur.

Nous disposons d'un pistolet d'alarme tirant des cartouches de 40 mm. Le tir s'effectue par la fenêtre du copilote qu'on peut ouvrir en vol.

Enfin embarqué , nous avons un système d'épandage pour les produits pulvérulents (ClNa, Argile) mis au point par le CIEH.

Notons qu'en 1974, nous avons essayé un système d'épandage pour produit liquide (solution aqueuse de Cl<sub>2</sub> Ca) que nous avons dû abandonner pour des raisons de sécurité en vol. Nous venons de recevoir des U.S.A. 2 brûleurs à iodure d'argent qui seront montés en 1976 sur l'avion.

En ce qui concerne les produits, nous avons essayé 5 produits. L'iodure d'argent, l'urée, le chlorure de sodium, le chlorure de calcium et l'argile.

.../...

Un produit a été abandonné : le  $Cl_2$  Ca, non par manque d'efficacité mais pour des raisons de sécurité en vol ; le réservoir de plus de 200 litres non cloisonné était dangereux dans les turbulences. De plus le volume de solution embarqué (200 litres environ) ne permettait de traiter que durant quelques minutes. Le traitement de nuages par des solutions aqueuses nécessite obligatoirement de gros avions porteurs et est donc coûteuse.

L'iodure d'argent. Nous disposons de cartouches de 74 mm renfermant 150 g d'I<sub>Ag</sub> et des cartouches de 40 mm à 12 g ou 20 g d'iodure. Un gramme d'iodure d'argent donne par combustion vers -15°C, 10<sup>13</sup> à 10<sup>15</sup> noyaux de congélation.

L'urée est contenue dans des cartouches de 74 mm. Chaque cartouche disperse 320 g d'urée d'une granulométrie d'environ 50µ.

Le chlorure de sodium. Nous utilisons du ClNa anhydre conditionné en fût vernissé de 30 kg et d'une granulométrie proche de 20µ.

L'argile. Il s'agit d'une argile grise prélevée dans un bas-fond proche de Ouagadougou, pilée et déshydratée au soleil. Sa granulométrie tourne autour de 50µ et nous connaissons sa composition minéralogique.

### 2.3 - Le personnel

Il ne faut pas perdre de vue que le CIEH ~~manque~~ une expérience. Ce caractère expérimental oblige à mettre en place une équipe plus lourde que dans le cas de campagnes opérationnelles.

Cette expérience a nécessité en 1975 la participation à temps complet de 2 ingénieurs météorologistes. En effet un météorologiste dirigeait dans l'avion chaque vol. M. Cotte, météo détaché de l'ASECNA, était chef d'opérations, M. Ravard de la Météorologie Nationale Française l'assistait.

De plus l'équipe météo a été renforcée par l'arrivée en fin de campagne de M. Zabsonré, chef prévisionniste de l'ASECNA à Ouagadougou.

2 pilotes. Le caractère très pénible des vols nécessite la participation de 2 pilotes. En effet la température varie de +50°C lors du point fixe au sol, à -10°C à haute altitude vers 400 millibares. A cela s'ajoute des accélérations verticales très éprouvantes dans les turbulences. Durant les vols de nuit, les pilotes volaient à deux, un pilotant, l'autre se chargeant uniquement de la navigation; les seuls terrains de dégagement étant Niamey ou Bamako !

3 puis 2 ingénieurs du CIEH ont participé à cette expérience. Ils assistaient l'avion au sol, en vol et faisaient les observations prévues au radar.

Enfin nous avons jugé nécessaire d'adjoindre un mécanicien attaché uniquement à notre avion pour diminuer au maximum les temps morts. De plus nous avons un chauffeur et durant une partie de la campagne un manoeuvre à temps partiel.

.../...

### 3. - BILAN DE LA CAMPAGNE 1975

Nous allons dresser un bilan rapide de cette campagne. Nous soulignerons certaines observations faites au cours des deux années d'expériences et donnerons quelques conclusions.

En 1975 nous avons effectué 128 sorties opérationnelles soit 232 heures de vol. Cependant il faut souligner que des ennuis de moteur ne nous ont pas permis de travailler normalement en 1ère partie ; c'est ainsi que durant cette période nous n'avons fait que 43 sorties en 53 jours contre 85 en 41 jours en seconde période. Plusieurs de ces sorties ont été effectuées de nuit.

Le concours de la Météorologie Nationale Française qui a installé à Ouagadougou pour une quinzaine de jours une station expérimentale de radio-sondage a permis de porter à 115 le nombre de sondages effectués durant cette campagne.

Nous avons de plus recueilli les photos des satellites ESSA8 et NOAA4 grâce à la collaboration du Centre National d'Etudes Spatiales de Ouagadougou.

#### 3.1 - Le système d'alerte

En cas de situation jugée favorable, il nous fallait regrouper sur le terrain le plus vite possible le ou les pilotes, un météorologiste et un ingénieur du CIEH et ce 24 heures sur 24.

Pour cela nous disposions :

- des cartes synoptiques du service prévision tracées toutes les 3 heures et des photos de satellites pour la prévision à grande échelle.

- De plus nous avons : - des vacations spéciales avec les opérateurs radio du réseau administratif de commandement se trouvant à l'est de Ouagadougou ;

- des informations données par le radar météorologique au sol ;

- des observations visuelles des agents du poste météorologique synoptique de Ouagadougou (observations horaires).

Le recouplement de toutes ces données avec les résultats du sondage du matin étaient le principe du système d'alerte. Cependant il est apparu que l'outil idéal reste le radar météorologique et il nous a fallu organiser une veille de cet appareil 24 heures/24.

#### 3.2 - Mode de traitement des nuages

Les nuages les plus intéressants à traiter sont les nuages à extension verticale genre cumulus. Cependant nous avons ensemencé et obtenu des résultats sur des nuages peu épais du genre altocumulus et altostratus.

Le mode de traitement dépend des nuages concernés. Sur les nuages peu épais que nous pouvons survoler - Altocumulus, Altostratus et petits

cumulus -, nous traitons en nappe par le dessus.

Pour les nuages à extension verticale - genre cumulus  $\tau$ , nous travaillons soit en dessous de la base en ensemençant tous les courants ascendants. Soit à l'intérieur du nuage directement dans l'ascendance centrale. Soit par attaque latérale dans les tours et bourgeonnements liés au nuage principal.

Nous avons pu observer après traitement sur des petits nuages leur disparition mais il faut aussi signaler qu'une erreur de manipulation qui nous a fait une fois ensemencher massivement des petits cumulus médiocris isolés a été à l'origine de la formation d'une petite ligne de grains. Les nuages ont pris rapidement de l'importance et se sont soudés.

Sur des nuages bien développés - genre cumulus congestus, l'extension du nuage vers le haut peut être une véritable explosion que généralement l'avion en montée n'arrive pas à suivre.

Les produits sont utilisés comme suit :

L'iodure d'argent en dessous de  $-10^{\circ}\text{C}$ .

L'urée entre  $0^{\circ}$  et  $-10^{\circ}\text{C}$ .

Le ClNa aux températures positives mais aussi parfois en dessous de zéro degré.

L'argile à toutes les températures tant comme noyaux de congélation à température négative que comme noyaux de condensation à température positive.

### 3.3 - Enseignements plus généraux

Les radiosondages et sondages effectués cette année nous ont permis de constater que les résultats des traitements que nous effectuons dépendent naturellement de l'avancée c'est-à-dire de l'épaisseur du FIT mais aussi de la structure de celui-ci à la verticale du nuage traité. En effet le FIT présente des indentations dues à des couches d'inversion stables que naturellement le nuage ne peut traverser. Dans les cas où cette couche ou ces couches ne sont pas trop épaisses, notre action permet au nuage de les traverser et d'atteindre le stade cumulonimbus dans la couche supérieure. Si la couche de subsidence est trop épaisse, nos actions peuvent être sans effet, c'est-à-dire que nous voyons le sommet du nuage se développer lentement puis regagner sa position antérieure sans obtenir de précipitation. Le développement a été stoppé.

Nous avons également constaté que nous pouvions faire précipiter des nuages peu épais réputés non précipitables.

En ce qui concerne le temps de réponse des nuages vu que nous travaillons sur des nuages différents et à des stades d'évolution divers nous avons des temps de réponse variables allant de 20 minutes à 1 heure.

.../...

4 - COUT

Le caractère expérimental de notre étude nous oblige à mettre en oeuvre une équipe nombreuse formée d'un personnel de haut niveau et de plus nous louons l'avion. Ceci fait que le prix de revient de nos expériences sont beaucoup plus élevés que celui de campagne opérationnelle à grande échelle.

Cependant nous allons donner quelques prix afin de fixer approximativement le coût d'une campagne.

L'avion avec les 2 pilotes, le mécanicien et le lanceur de cartouches de 74 mm nous était loué à 100.000 F CFA de l'heure. Nous avons volé avec les mises en place de l'avion 265 heures environ.

Les produits d'ensemencement ont été acquis en prix suivants :

18.000 F pour une cartouche de 74 mm d'IAg  
 2.000 F environ pour les cartouches de 40 mm  
 8.500 F pour les cartouches d'urée de 74 mm.

Quant au sel, un fût de 30 kg rendu Ouagadougou, revient à environ 20.000 F.

Nous avons consommé environ 600 cartouches (200 de chaque type) et 3000 kg de sel.

5 - AMELIORATIONS POUR LES ANNEES A VENIR

Il nous faut mener cette campagne sur 3 ans encore, pour ce faire voici les améliorations que nous apporterons à la campagne 1976.

Sur le plan du contrôle, nous allons équiper un bassin de 100 à 200 km<sup>2</sup> très proche de Ouagadougou d'un grand nombre de pluviomètres (maille de 8 km environ) afin d'étudier précisément les possibilités qu'il y a d'atteindre un bassin versant prédéterminé. Apporter une réponse à cette question est du plus grand intérêt pour les zones sahéliennes car le remplissage précoce d'une retenue peut permettre de délester certains pâturages et de faire passer au bétail une période critique.

Nous espérons que le Service Météorologique Nationale recevra à temps le radar météorologique américain du même type que celui installé à Niamey et promis par l'OMM. Ce radar nous permettrait de faire des observations météorologiques très intéressantes et résoudrait les problèmes d'alerte.

Nous soumettons cette année au FAC le problème de l'achat d'un avion. En effet l'avion que nous avons utilisé durant ces deux années est à vendre. Une étude de marché fait espérer 40 % d'économie sur les trois années d'expériences à venir. Cet achat devrait donc permettre de diminuer le coût des campagnes prochaines.

Enfin il faudrait que les organismes concernés par la météorologie apportent au CIEH un appui scientifique plus grand.

.../...

Nous sommes en effet parfaitement conscients du caractère empirique de certaines de nos actions, mais les moyens du CIEH ne lui permettent pas de mener conjointement une campagne scientifique portant sur la physique et la dynamique des formations nuageuses. Nous nous efforçons de rassembler le plus de données météorologiques possibles mais ceci reste bien insuffisant.

Il faudrait donc mettre en place une équipe de spécialistes de la modification du temps qui mènerait en étroite collaboration avec nous mais parallèlement une étude qui viserait à quantifier certains paramètres et les effets de nos traitements sur ces paramètres.

Pour cela en plus de la station de radiosondage qui sera définitivement mise en place à Ouagadougou l'année prochaine, il nous faudrait pouvoir :

- faire des sondages ponctuels dans certains nuages à l'aide de drop-sondes,
- effectuer des comptages de noyaux de congélation et de condensation,
- faire des mesures spectrales des gouttes de pluie pour savoir si nous avons une action sur le diamètre des gouttes et l'intensité des pluies,
- faire des mesures des ascendances dans les nuages et des effets de nos traitements sur ces ascendances,
- enfin il faudrait améliorer le recueil des données télémétriques et surtout l'éventail des satellites et des mesures météorologiques existants car nous ne collectons pour le moment que les photos de la couverture nuageuse.

La mise en place de cette équipe de spécialistes de la modification du temps, nous permettrait de préciser nos connaissances et de définir plus rigoureusement les critères d'intervention. De plus le travail de cette équipe permettrait de collecter des données météorologiques dans la zone intertropicale qui par son caractère original devrait présenter un intérêt mondial.

CONTRIBUTION A L'ANALYSE STATISTIQUE DES EFFETS  
DES OPERATIONS DE PLUIE PROVOQUEE SUR LA PLUVIOMETRIE  
AU COURS DES ANNEES 1974 ET 1975

par Francis FOREST (C.I.E.H.)

PRESENTATION

Une certaine quantité d'informations pluviométriques est dès à présent disponible. Avec le maximum de précaution, une tentative d'analyse statistique des résultats est présentement exposée. Son objectif essentiel est de contribuer à parfaire les conditions d'expérimentation pour les années à venir.

L'ECHANTILLONNAGE

La période où la comparaison est possible a été particulièrement facile à déterminer. En effet, vu les conditions et l'organisation technique de l'expérience, la période s'échelonnant du 8 au 27 septembre est susceptible de faire l'objet d'un test comparatif. Des sorties systématiques de l'avion auraient permis d'étendre l'analyse à d'autres périodes.

Cinq années forment l'échantillon témoin. Il s'agit d'années prises dans le passé climatologique récent, à savoir : 1967, 1968, 1969, 1970 et 1973.

L'information de base étant la pluviométrie décadaire cumulée, soit  $p(i,1)$  pour la période 8 - 17 septembre,  $p(i,2)$  pour la période 18 - 27 septembre, et ce pour le poste pluviométrique indicé  $i$ .

24 postes pluviométriques ont été retenus pour avoir des séries communes d'observation ; ils sont tous situés sur une bande géographique 70 km de large orientée selon le secteur du vent d'altitude dominant. La largeur de la bande a été volontairement limitée pour s'assurer que tous les postes ont été atteints par les mêmes lignes de grain, celles-ci, larges d'environ 100 km apportent en septembre 50 à 60 % de la pluviométrie globale. L'échantillon sera donc considéré comme homogène.

On distinguera trois parties :

- Au vent des opérations d'ensemencement.
- Sous l'effet direct des opérations d'ensemencement.
- Sous le vent des opérations d'ensemencement.

Voir annexe A.

.../...

D'autre part, le nombre d'années témoins a été limité à 5 parce que cette quantité correspond à un degré d'explication suffisant et nous permet d'avoir une image homogène de la situation pluviométrique moyenne attachée au passé climatologique récent de la zone étudiée.

#### LE CHOIX DE LA VARIABLE D'ETUDE

A l'échelon de la période, le recours à l'utilisation des corrélations interpostes s'avérerait peu significatif ( $R^2 = 0,5,06$ ).

Ne disposant pas de sorties systématiques sur les deux années pour la période précédant celle étudiée, l'utilisation de périodes glissantes risque d'apporter plus de confusion que d'explications supplémentaires.

Aussi une méthode d'analyse particulière a été mise au point.

On dispose, nous l'avons dit, des séries pluviométriques  $p(i,1)$  et  $p(i,2)$  pour les 7 années étudiées.

On dispose d'autre part de l'ajustement de telles séries à la loi de PEARSON III pour un grand nombre de postes de la zone étudiée. (Une interpolation a été réalisée pour les autres).

On peut par conséquent définir la variable d'étude suivante :

Soit  $P(i,1)$  et  $P(i,2)$  les niveaux de probabilité théorique auxquels se sont réalisées les pluviométries au cours des décades (1) et (2) pour une année donnée.

Les valeurs prises par ces variables sont susceptibles de faire l'objet d'un test comparatif entre l'échantillon témoin (5 années) et l'échantillon testé (74, 75).

En fait il y a tout lieu de penser, que pour une même année les valeurs de ces variables  $P(i,1)$  et  $P(i,2)$  peuvent être liées ; il est donc nécessaire de réaliser le test comparatif sur une variable intégrant ces deux données. Nous proposons la variable globale suivante construite vectoriellement :

$$P(1,2) = P(i,1) + P(i,2)$$

l'analyse numérique pouvant s'opérer à partir des composantes scalaires du vecteur  $P(1,2)$ .

Avant de procéder à la comparaison, 5 graphiques ont été construits. Ils représentent sous forme cumulée, la distribution des vecteurs  $P(1,2)$ , selon le paramétrage géographique Est-Ouest, lié à la nature du problème étudié. De même les 2 graphiques pour les années 74 - 75 ont été construits (méthode des doubles masses).

#### ANALYSE DES GRAPHIQUES (annexe B)

Celle-ci montre une relative différence entre les années 74 - 75 et les années témoins. En particulier pour l'année 74. On constate d'autre part

.../...

que la partie Ouest de la zone est sujette à d'importantes variations : d'une part, interannuelles mais aussi par rapport à la partie Est de la zone. Ceci étant valable sur les 2 échantillons, des causes météorologiques naturelles seraient à prendre en considération.

L'analyse de ces graphiques et notamment de la distribution des composantes scalaires doit répondre à la question suivante :

Les distributions "tests" font-elles partie, si famille il y a, de la famille constituée par les distributions témoins ? Si non, des causalités nouvelles apparues en 74, 75 doivent être recherchées pour expliquer le changement introduit dans la pluviométrie pour la zone concernée.

L'analyse des composantes scalaires permet d'apporter quelques éléments de réponse à cette question.

Soit le changement de variable suivant :

Si  $P(i,1)$  et  $P(i,2)$  sont les composantes scalaires du vecteur définies dans le domaine  $(0,1)$ .

Soit  $i$  et  $j$  les vecteurs unitaires de valeur 1

Soit un découpage des axes du repère en segments égaux à respectivement  $i$  et  $j$ .

On appelle densité, la variable définie par :

$$d_i = \frac{\text{nombre de projections des vecteurs } P(i,1)}{\text{segment de longueur } i}$$

et respectivement  $d_j$  pour les vecteurs  $P(i,2)$  projetés sur les segments de longueur  $j$ .

Cette variable  $d_i$  (respectivement  $d_j$ ) est un indicateur d'accumulation de points, c'est-à-dire de niveaux de probabilité théorique réalisés pour un nombre variable de postes pluviométriques.

Si  $d$  est élevé : plusieurs postes pluviométriques ont reçu une pluviométrie fortement excédentaire sur une zone géographique restreinte.

Si  $d = 2$ , la pluviométrie a été en moyenne normale pour les 2 postes pluviométriques.

Si  $d < 2$ , la pluviométrie a été déficitaire pour le nombre  $d$  de postes pluviométriques.

Ainsi, en toute logique, la répartition des valeurs de  $d$  en classe (1, 2, 3, etc...) devrait s'ajuster à une loi caractéristique démontrant ainsi la nature du phénomène pluviométrique dans sa répartition géographique.

Pour les années témoins, l'histogramme (fréquence, classe croissante de  $d$ ) donne une distribution ajustable à une loi exponentielle

.../...

L'histogramme pour les années test (annexe C fig 2) donne un ajustement à une loi exponentielle généralisée. (forme en cloche).

Il semble donc que la nature même des distributions soit différente. La valeur médiane est respectivement :

$d$  médiane = 1,6 (témoin) soit probabilité 0,5 pour que  $d \leq 1,6$

$d$  médiane = 2,2 (test) (2,2) soit probabilité 0,5 pour que  $d \leq 2,2$

soit une variation de 37 % indiquant un glissement significatif de la distribution des valeurs de  $d$  vers les classes supérieures.

#### POUR LES ANNEES 74-75

Par suite, expliquer qu'en 1974 et 1975, un nombre important de postes pluviométriques, voisins les uns des autres, ont reçu une pluviométrie anormalement excédentaire, revient à poser le problème. :

1°/ D'une modification naturelle du climat intervenant précisément au cours des années 1974, 1975. Ce à quoi, des études sur les trajectoires privilégiées de la mousson pourraient peut-être apporter des éléments de réponse. Cela étant l'affaire des météorologistes.

2°/ D'une modification artificielle du temps en rapport avec l'opération de pluie provoquée, la suite de notre communication tente de répondre à cette supposition.

#### LOCALISATION ET QUANTIFICATION DE LA MODIFICATION INTERVENUE EN 1974 - 1975

Nous conservons notre variable d'étude appelée densité de projection, soit  $d_i$  et  $d_j$ .

Au lieu d'opérer un dénombrement, par classe croissante de  $d$ , comme pour le test précédent, si nous opérons celui en créant des classes croissantes réalisées en dénombrant et totalisant la valeur des densités observées sur les segments  $i_1, j_1$  classe 1

$i_2, j_2$  classe 2, etc...

nous réalisons implicitement un test comparatif avec paramétrage géographique. Les variations entre l'histogramme témoin et l'histogramme test seront par suite localisées et quantifiables.

#### COMPARAISON DES HISTOGRAMMES (annexe D)

Le témoin (fig. 2) est affecté d'une forme caractéristique dont on peut tirer certaines conséquences. Deux parties distinctes sont en effet remarquables. :

- La partie "Est" relativement homogène, dont le niveau moyen de densité est égal à 2 ; ce qui correspond à une répartition géographique normale de la pluviométrie (probabilité moyenne théorique = 50 %).

.../...

- La partie "Ouest" très irrégulière est affectée d'une densité moyenne anormalement faible :  $d = 1,5$ , soit des probabilités théoriques réalisées en de nombreux postes égales ou supérieures à 60 %.

Ceci, confirmant l'analyse des graphiques, souligne que, depuis au moins 5 - 6 ans, l'activité des lignes de grain semble s'être affaiblie dans la partie ouest. Les récentes études de l'OMM le confirment en montrant que l'est de la zone est sous l'effet d'une trajectoire privilégiée de mousson, ce qui n'est pas vrai pour l'ouest. Par suite, les quantités pluviométriques seraient plus élevées naturellement dans les zones de Diapaga, Fada N'Gourma et ce jusque vers Ouagadougou, (annexe E).

L'hypothèse de la fluctuation de l'activité des lignes de grain n'est donc pas à exclure puisqu'elle apparaît d'une façon significative sur l'échantillon témoin.

L'histogramme test (fig. 1) montre quant à lui une particularité frappante :

- Une densité moyenne maximale correspondant à la zone d'ensemencement  $d = 3$ .
- Une diminution brutale de la densité, à l'ouest de la zone d'excédent traduisant un retour des conditions à peu près normales.

Dans cette partie ouest, les pluviométries sont comparables à celles observées sur le témoin avec toutefois une plus grande irrégularité géographique - (voir annexe F). Cette variation est certainement la remarque la plus importante à retenir. Il paraît difficile d'admettre que les lignes de grain soient les seules causes de cette brutale variation. Le fait qu'il y ait coïncidence avec la zone d'opération pluie est de plus troublant. Enfin, la dépression que l'on remarque "sous le vent" de la zone, était prévisible selon un grand nombre de spécialistes qui affirment avec conviction : "l'excès d'eau est réalisé au détriment de la zone sous le vent".

Il semble donc que le problème soit à demi-résolu :

1°/ Il y a tout lieu de considérer que l'ensemencement des nuages a des effets rapides localisés significatifs sur la pluviométrie.

2°/ Le problème des conséquences que ce genre d'opération entraîne pour les zones sous le vent semble resté posé et c'est celui-ci que devrait approfondir l'expérimentation dans les années à venir.

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE A. : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'ECHANTILLONNAGE.
- ANNEXE B. : STRUCTURE GRAPHIQUE DE LA DISTRIBUTION INTERPERIODIQUE DES NIVEAUX DE PROBABILITE THEORIQUE REALISES
- 1967, 68, 69, 70, 73      échantillon "témoin"
  - 1974 - 1975              échantillon "test".
- ANNEXE C. : MISE EN EVIDENCE DES MODIFICATIONS PLUVIOMETRIQUES
- ANNEXE D. : LOCALISATION DES MODIFICATIONS PLUVIOMETRIQUES.
- ANNEXE E. : LES TRAJECTOIRES PRIVILEGIEES DE LA MOUSSON EN HAUTE-VOLTA (source OMM).
- ANNEXE F. : RESULTATS PLUVIOMETRIQUES (pluviométrie    décadaire)

ANNEXE A

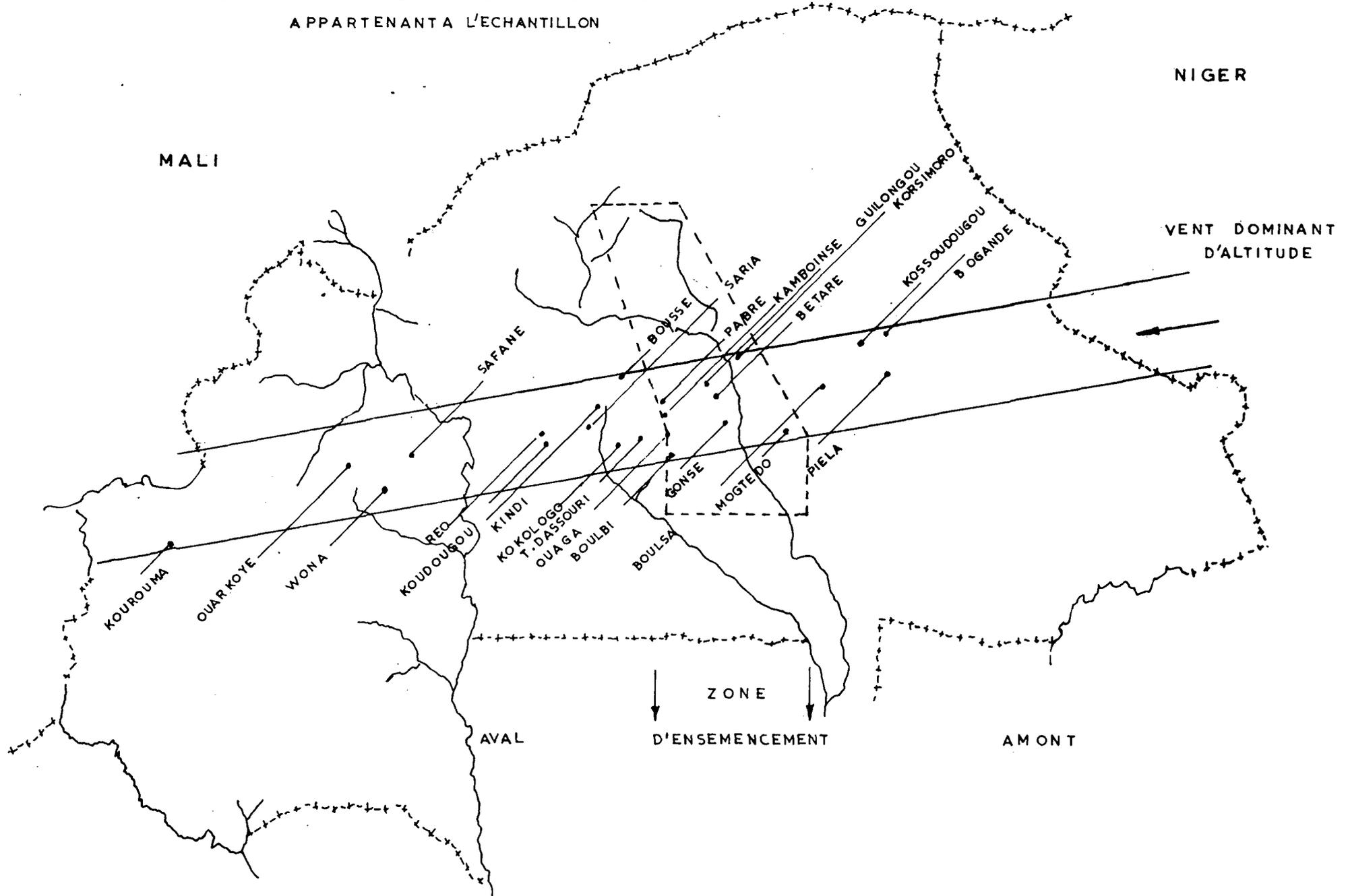
SITUATION GEOGRAPHIQUE DE L'ECHANTILLONNAGE

Du fait qu'un grand nombre de postes n'ont pas de relevés communs pour les années étudiées, la spatialisation n'est pas très homogène. On ne pourra donc pas attacher la même représentativité à tous les postes pluviométriques. Par suite, une extrapolation des résultats au niveau économique serait dangereuse à cause de cette irrégularité.

Le dossier complet de l'étude statistique prend en compte 2 bandes géographiques supplémentaires, l'une juxtaposée au nord de la présente, l'autre respectivement au sud. Leur étude revêt un intérêt complémentaire en raison du nombre non négligeable d'opérations d'ensemencement qui y ont été effectuées.

Enfin, le CIH a procédé en 1974 à l'implantation de postes pluviométriques supplémentaires dont il n'a pu être tenu compte pour l'analyse statistique. Les graphiques de l'annexe F tiendraient compte de ces relevés supplémentaires - (doubles masses 1974 - 1975).

REPARTITION GEOGRAPHIQUE DES POSTES PLUVIOMETRIQUES  
APPARTENANTA L'ECHANTILLON



ANNEXE BSTRUCTURE GRAPHIQUE DE LA DISTRIBUTION INTERPERIODIQUE  
DES NIVEAUX DE PROBABILITE THEORIQUE REALISEE AU COURS  
DES ANNEES ETUDIEESAnalyse des graphes témoins

La forme de la courbe indique le niveau d'homogénéité de la répartition de la pluie au cours des deux décades consécutives.

La présence d'oscillations (67, 70, 73) traduit la fluctuation spatiotemporelle de l'activité des lignes de grain d'une décade à l'autre pour une zone géographique donnée. Ainsi une forme de compensation intervient au cours de la décade (2) alors que la pluviométrie, en ce lieu considéré, au de la décade (1) avait été globalement déficitaire. Ce rattrapage pourrait constituer d'ailleurs en pluie de type orageuse (cumulonimbus) correspondant aux masses d'eau tombée au cours de la période précédente dans la zone située plus au vent. (Situation observée au cours des OPP 74 et 75).

La courbe pour 1968 traduit par contre un accident climatique encore plus remarquable : sur toute la partie ouest de l'échantillon, l'activité des lignes de grain a été particulièrement faible au cours d'une décade, alors que la répartition de la pluie a été homogène sur toute la partie centre et Est. On retrouve ici l'hypothèse météorologique des trajectoires privilégiées de la mousson (annexe E).

La courbe pour 69, traduit une répartition homogène sur l'ensemble des deux périodes. La décade (1) ayant reçu une pluviométrie légèrement excédentaire par rapport à la "normale".

En ce qui concerne notre étude, l'analyse des courbes nous permet de dire :

- que la zone géographique correspondant à l'OPP n'est naturellement pas affectée d'incidents climatiques, isolés et remarquables, (hormis les oscillations observées sur l'ensemble de l'échantillon (70, 73)) et forme un ensemble homogène avec la partie Est de l'échantillon ;

- que par contre la partie Ouest (à partir de Saria) apparaît soumise à des variations inter périodiques importantes, dans le sens d'une pluviométrie plutôt faible pour l'une ou l'autre des décades étudiées, et ce comparativement à la partie Est (graphe 68).

À partir de ces observations, l'examen des graphiques de l'échantillon test nous amène à tirer les remarques suivantes :

1°/ La courbe (1974) est affectée d'une forme remarquable traduisant :

- une pluviométrie globalement élevée (points rapprochés)
- une modification importante intervenue au cours de l'une des périodes, et même des deux, signifiée par :

.../...

ANNEXE B (suite)

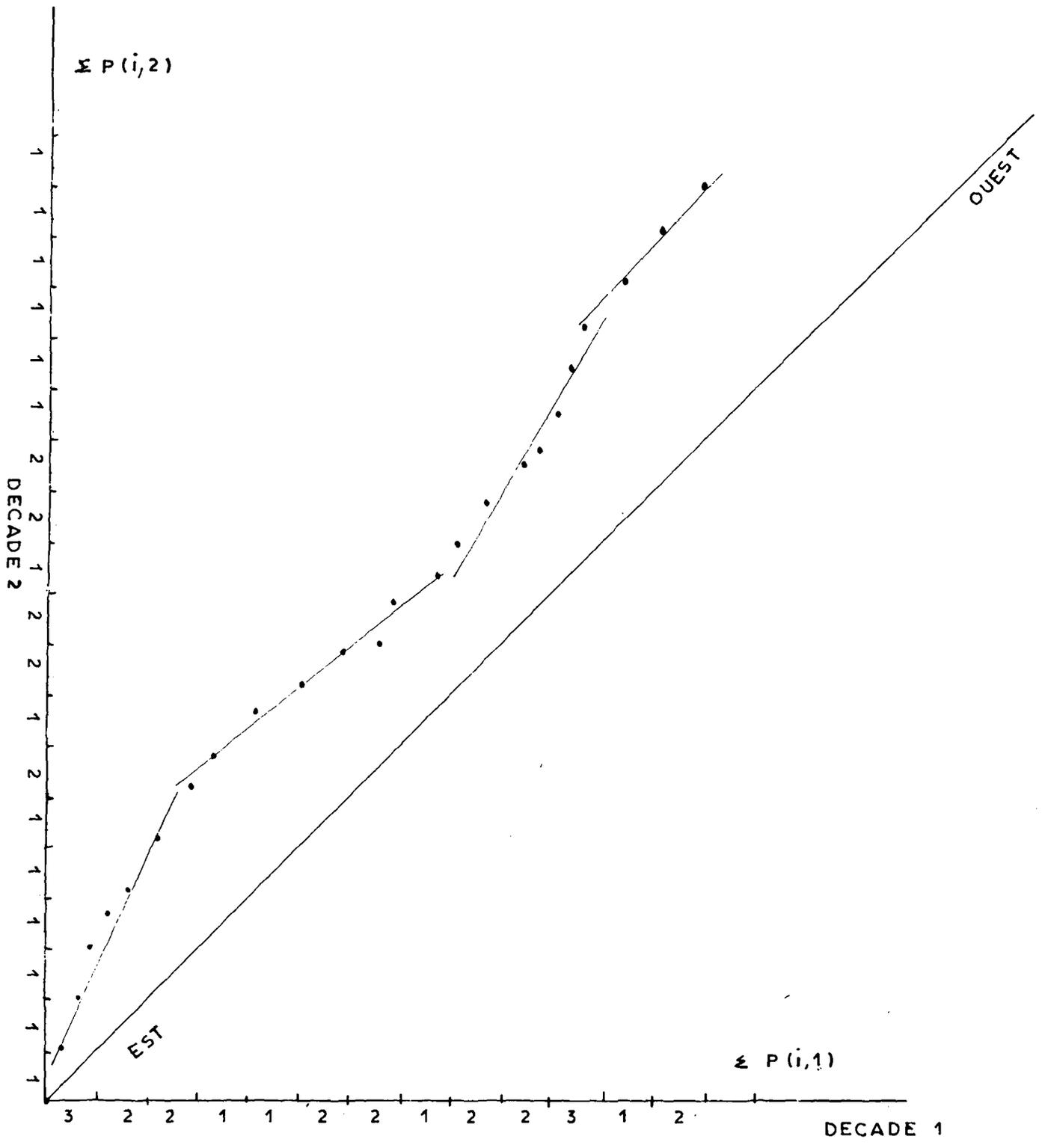
- la modification de la courbure
- la présence de points très rapprochés dans la zone de Ouagadougou (pluviométrie excédentaire au cours des deux décades simultanément).

En annexe suivante, l'analyse des composantes scalaires sous la forme d'un comptage des projections sur un segment unitaire ( $i = j = 1$ ) nous permet de préciser le type de modifications obtenues.

Par contre l'année 1975 ne donne <sup>pas</sup> de modifications remarquables, à l'exception de quelques points rapprochés dans la zone de Ouagadougou.

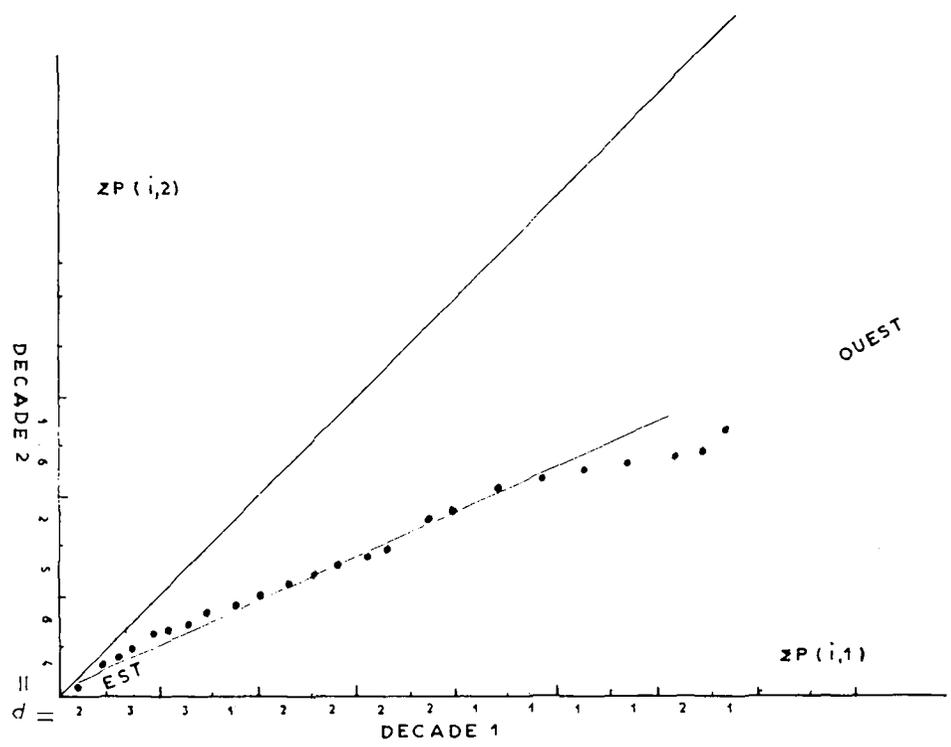
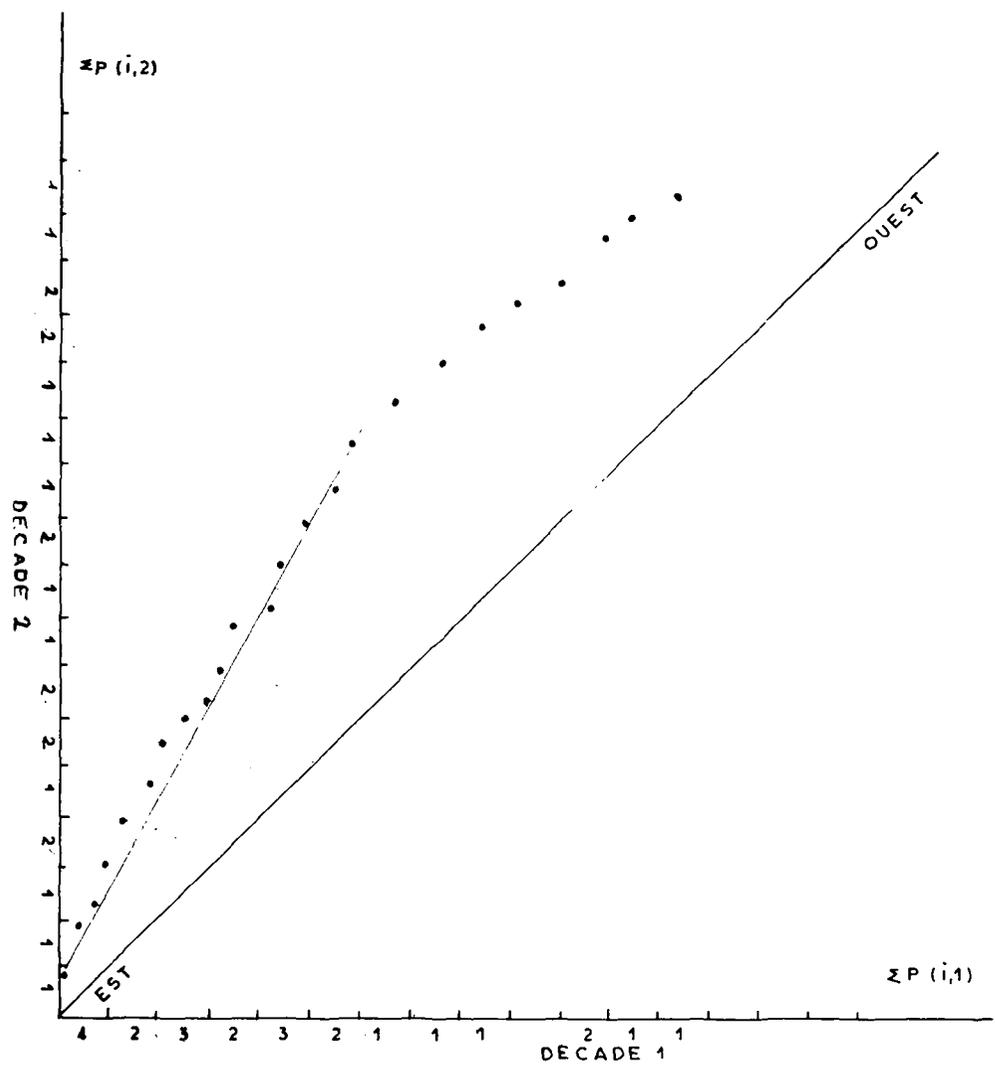
# VARIATION PLUVIOMETRIQUE INTERPERIODIQUE

ANNEE 1973 (témoin)



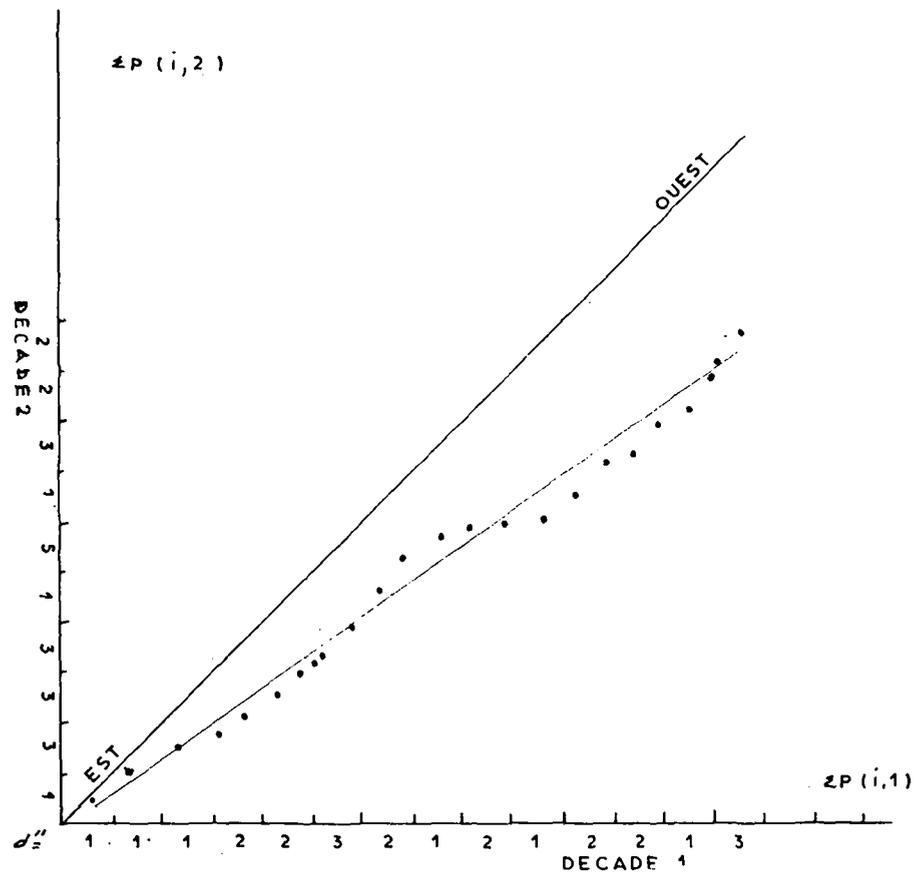
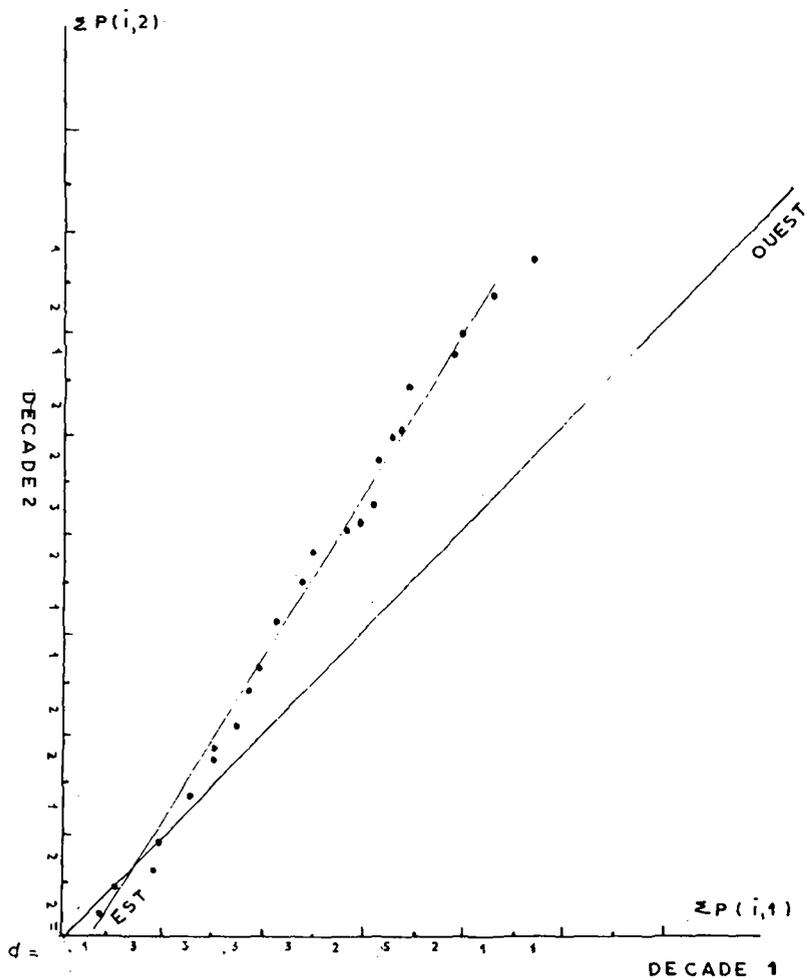
ANNEE 1968 (témoin)

ANNEE 1967 (témoin)



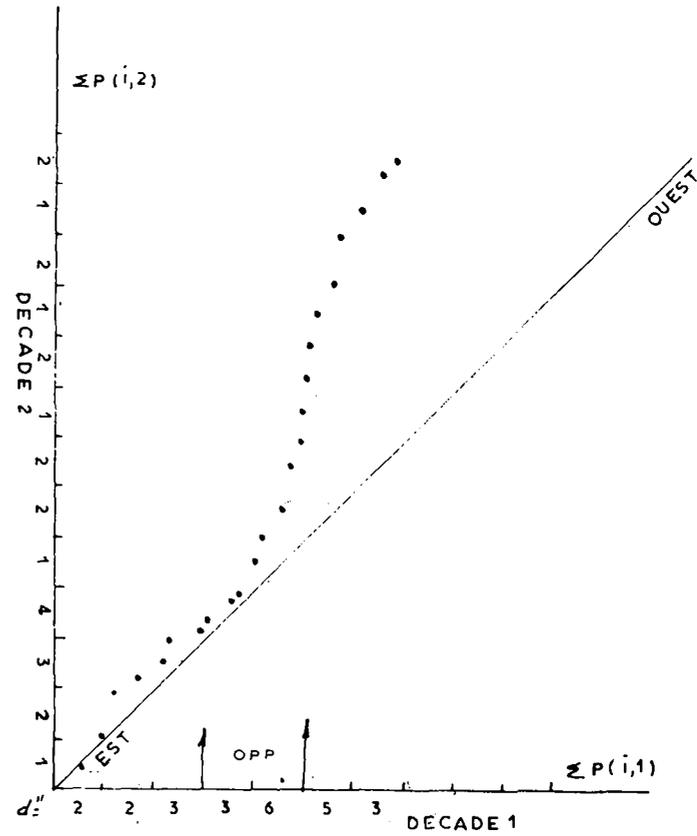
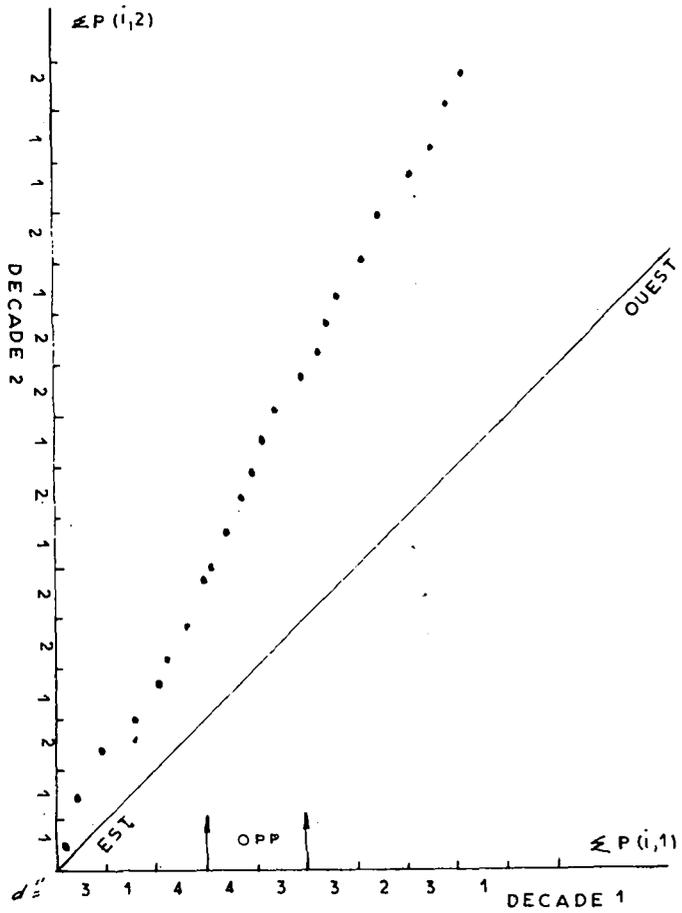
ANNEE 1969 (témoin)

ANNEE 1970 (témoin)



ANNEE 1975 (test)

ANNEE 1974 (test)



ANNEXE C

MISE EN EVIDENCE DES MODIFICATIONS PLUVIOMETRIQUES

La variable d'étude est : d = densité de projections observées par segment unitaire sur l'un et l'autre axe pour les 2 échantillons.

Signification de la variable

On opère le rangement par classe de densité croissante.

Aux valeurs de d correspondent les niveaux de probabilité théorique suivant :

d = 1	valeur	de	P(i,1) ou P(i,2)	proche de 1 (100 %)
d = 2	valeurs moyennes	de	P(i,1) ou P(i,2) P(i+1,1) ou P(i+1,2)	proche de 0,5 (50 %)
d = 3	valeurs moyennes de		P(i,1) ou P(i,2) P(i+1,1) ou P(i+1,2) P(i+2,1) ou P(i+2,2)	moyennes de 0,33 (33 %)

etc...

Une valeur élevée de d indique donc une accumulation de postes pluviométriques voisins ayant reçu une pluviométrie d'autant plus élevée.

Les résultats :

Echantillon témoin (fig. 1)

CLASSE DENSITE	1	2	3	4	5	6	TOTAL
Probabilité théorique moyenne (%)	100%	50%	33%	25%	20%	16%	
Dénombrement	59	47	16	3	3	2	130
Fréquence (%)	45	36	12	2,6	2,6	1,8	

.../...

ANNEXE C (suite)

Echantillon test (fig. 2)

CLASSE DENSITE	1	2	3	4	5	6	TOTAL
Probabilité théorique moyenne (%)	100%	50%	33%	25%	20%	16%	
Dénombrement	15	17	8	3	1	1	45
Fréquence (%)	32	38	18	7	2,5	2,5	100 %

D'après l'analyse des histogrammes, l'hypothèse d'un ajustement des distributions observées à la loi exponentielle généralisée apparaît plausible. Ceci ne fait pas l'objet de notre démonstration.

Nous retiendrons la variation sur la valeur médiane, caractéristique de la modification intervenue au sein de l'échantillon test par rapport à l'échantillon témoin.

Echantillon témoin

d (médiane) = 1,6 soit probabilité = 0,5 pour que d = 1,6.

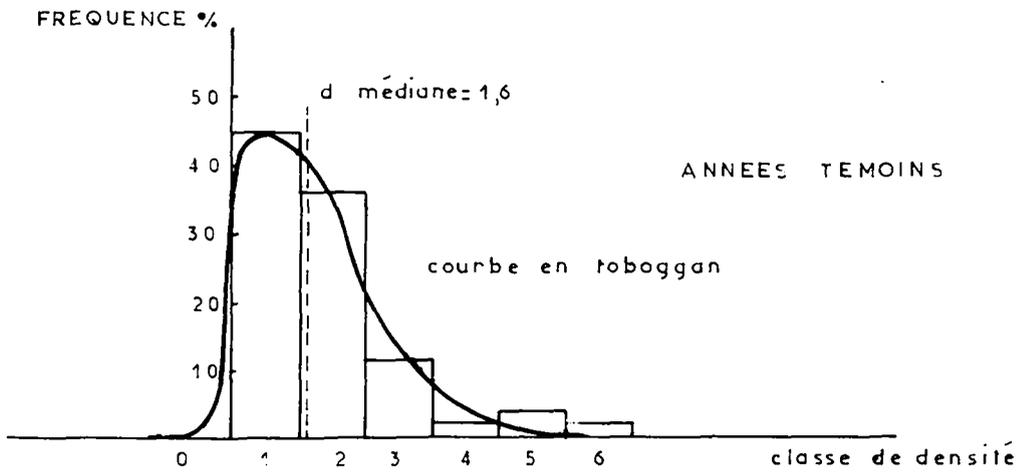
Echantillon test

d (médiane) = 2,2 soit probabilité = 0,5 pour que d = 2,2

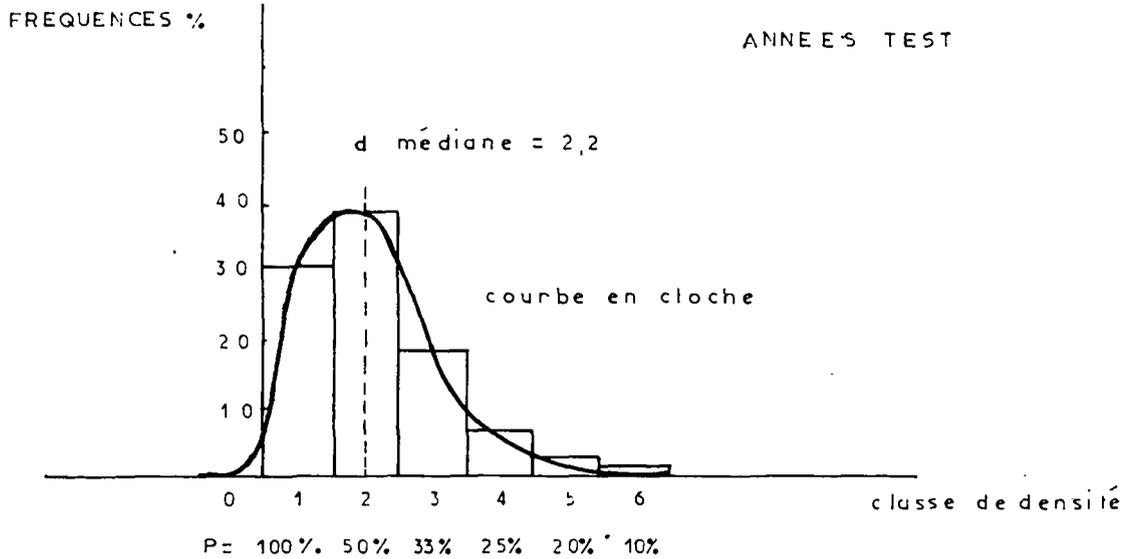
soit une variation significative de 37 % sur la valeur médiane, caractérisant une modification du climat sur une zone géographique intervenue :

- dans le sens d'une pluviométrie excédentaire,
- au cours de l'une ou l'autre des 2 périodes,
- ou bien au cours des deux simultanément.

MODIFICATION DE LA PLUVIOMETRIE



Probabilité théorique de réalisation



ANNEXE D

LOCALISATION DES MODIFICATIONS PLUVIOMETRIQUES

Le classement des densités de projection par ordre croissant et continu, selon l'axe géographique, Est-Ouest définit pour les 2 échantillons, les distributions suivantes :

Résultats

Segment (i = j) =	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
<u>DENOMBREMENT</u>																			
Echantillon témoin (5 graphiques)	20	25	24	19	22	21	18	14	15	14	12	9	11	8	3	2	2	1	1
Echantillon test (2 graphiques)	7	6	12	12	12	12	8	6	4	3	4	2	4	11	2	0	0	0	0

.../...

ANNEXE D (suite)

- La distribution test (fig. 1) revêt des caractéristiques remarquables, dont une oscillation de forte amplitude liée à la zone d'ensemencement.

- La distribution témoin (fig. 2), peut être représentée par une droite d'équation  $y = ax + b$ . Ceci traduit un gradient "naturel" dans la répartition de la pluviométrie, laquelle s'est réalisée suivant des probabilités théoriques d'autant plus élevées que l'on se trouve à l'Ouest dans l'échantillon. Ceci est un indice dont il faudrait tenir compte au cours des expérimentations à venir. Il serait ainsi intéressant de réaliser l'année 1976 un glissement de la zone de traitement, d'environ 50 kilomètres vers l'Ouest et ce, pendant au moins 2 années. Ceci permettrait de tester avec précision l'efficacité de l'opération pluie dans la mesure où l'on parviendrait à "combler" le déficit relatif observé depuis au moins 5 années dans la zone de Koudougou.

Le problème sera alors de montrer si un effet dépressif est oui ou non créé plus à l'Ouest.

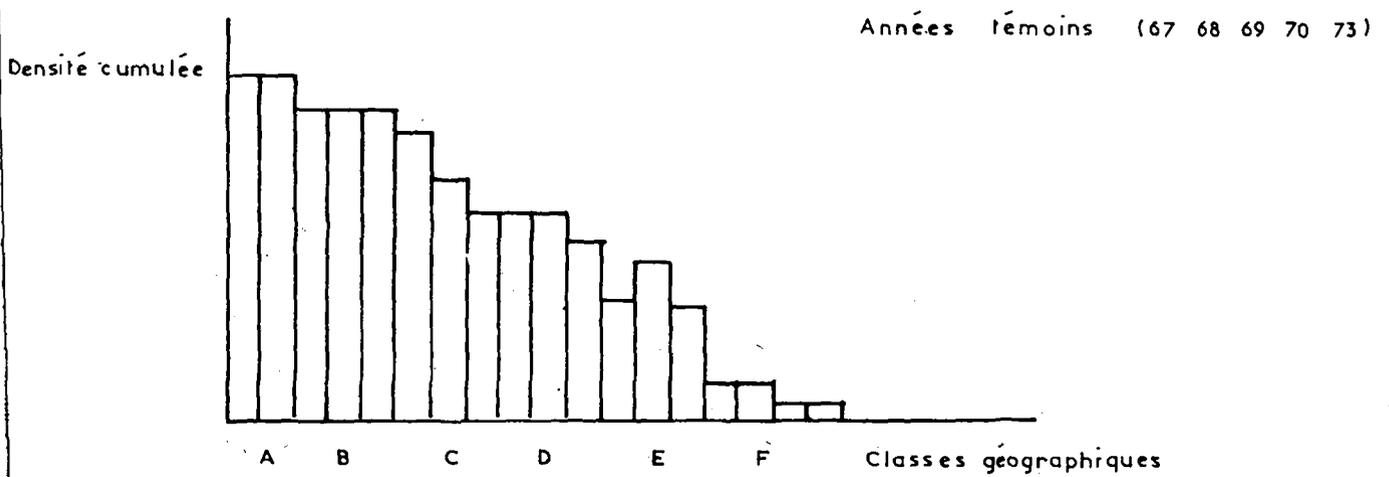
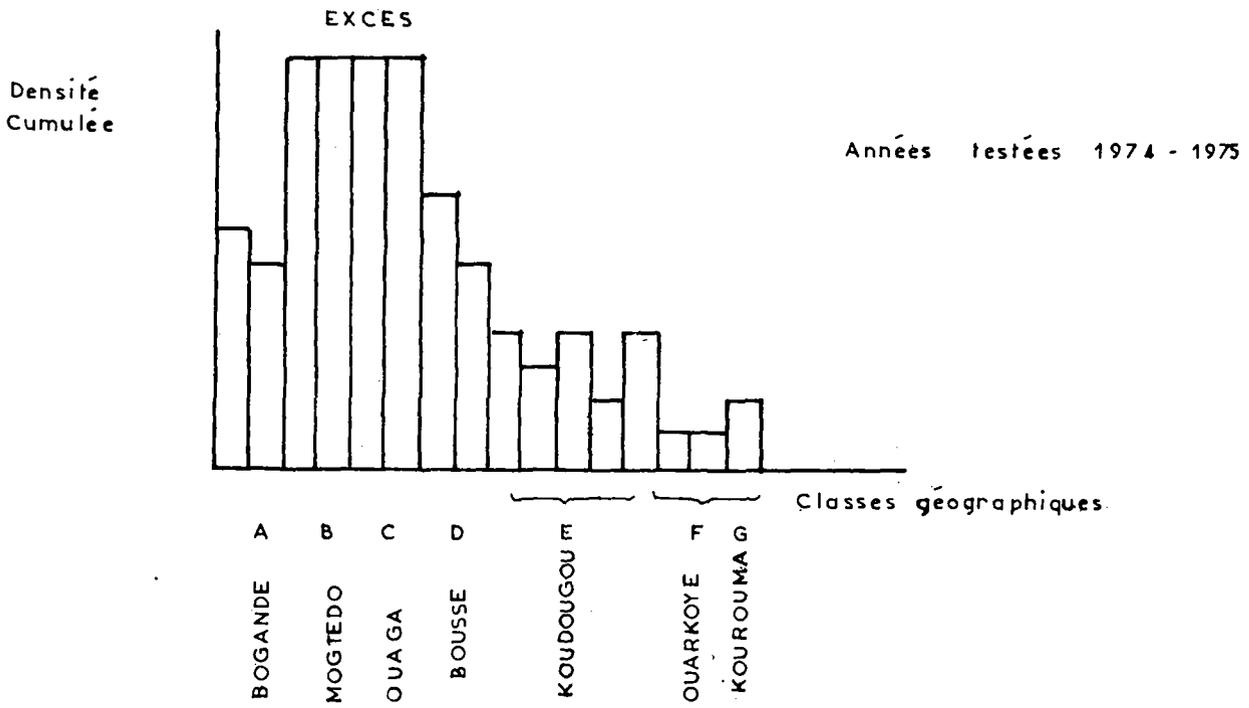
L'analyse pour chacune des décade (1) et (2), 1974 et 1975 des vecteurs  $P(i,1)$  et  $P(i,2)$  montre, (voir graphiques ci-joints des simples masses).

1°/ Que les variations les plus importantes ont eu lieu au cours de la période du 8 au 17 Septembre.

2°/ Que les résultats obtenus en 1975 sont moins remarquables. Notamment en ce qui concerne la période du 18 au 27 Septembre 1975 (peu de variation constaté sur le graphique), époque où le traitement de plusieurs lignes de grains n'a pu être réalisé pour indisponibilité pratique de l'avion. Ceci expliquerait l'importance de l'ensemencement des lignes de grains sur la qualité des résultats statistiques obtenus.

LOCALISATION DES VARIATIONS PLUVIOMETRIQUES

ANALYSE DES HISTOGRAMMES



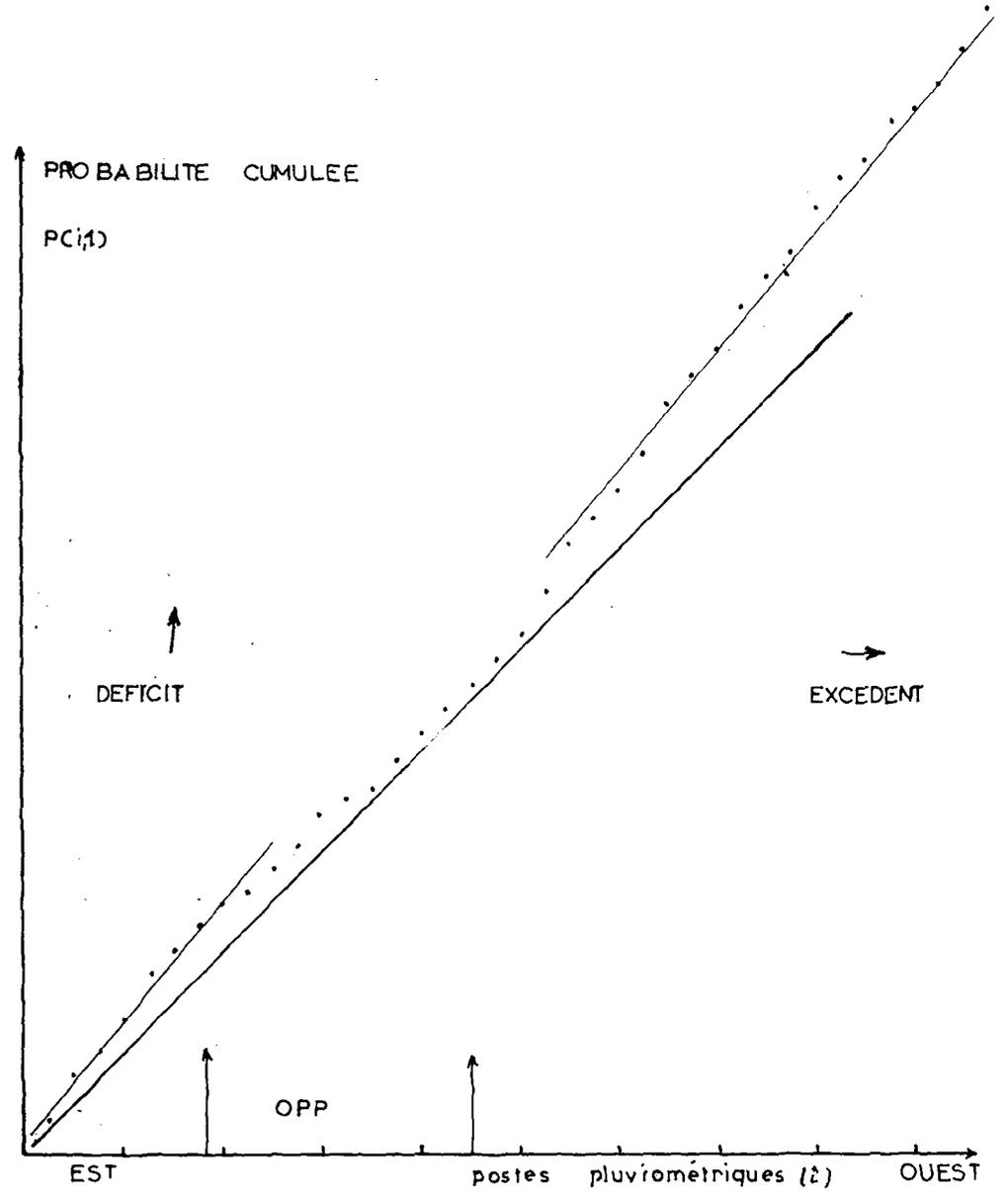
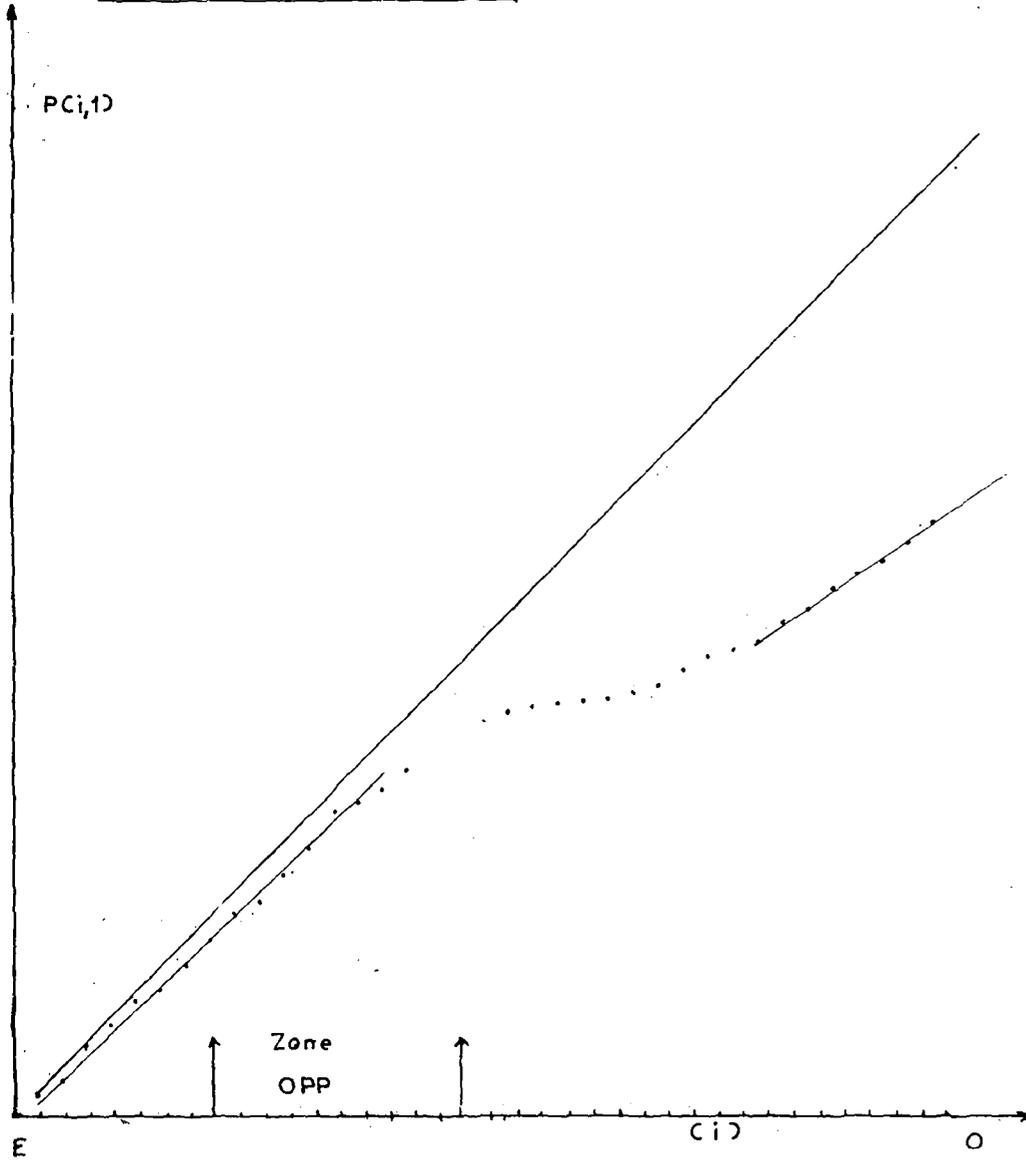
LOCALISATION DES MODIFICATIONS  
PLUVIOMETRIQUES

ANNEXE D

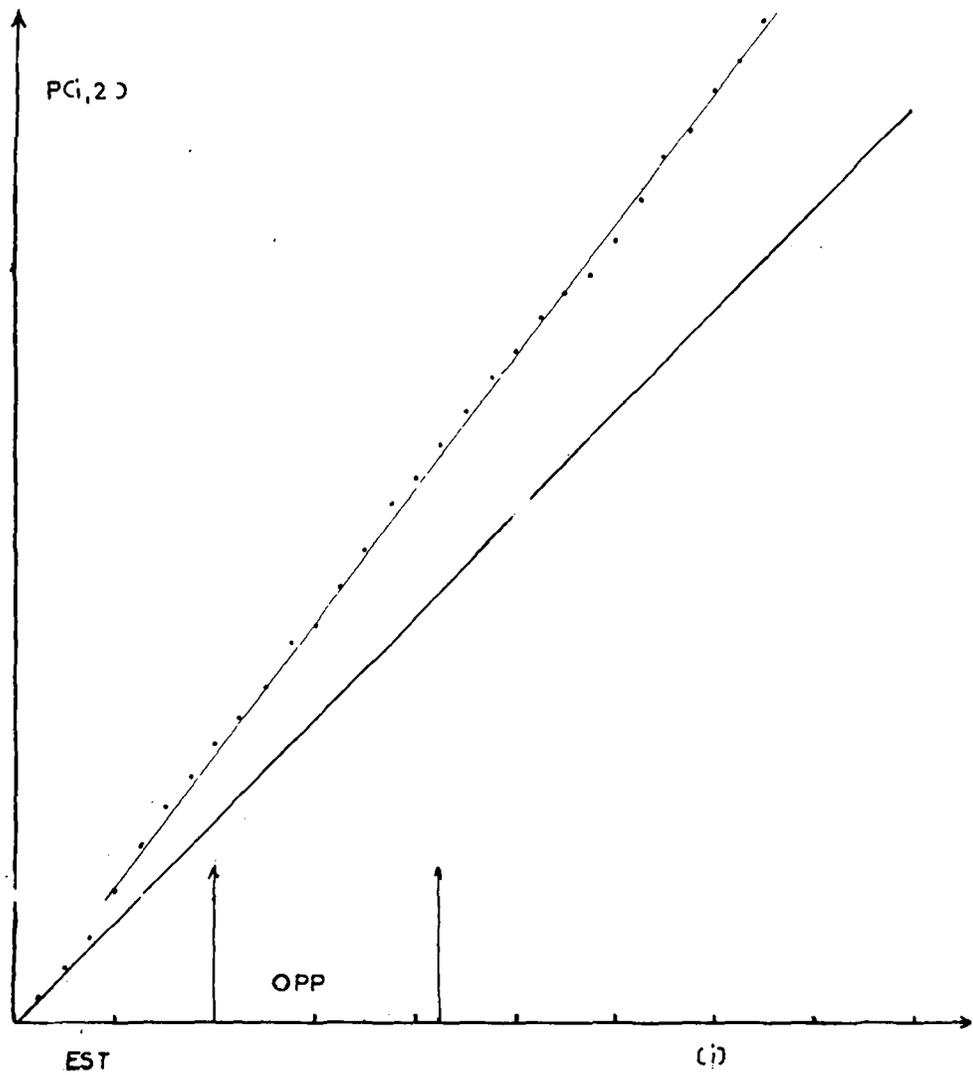
ANNEXE D

8 au 17 Septembre 1974

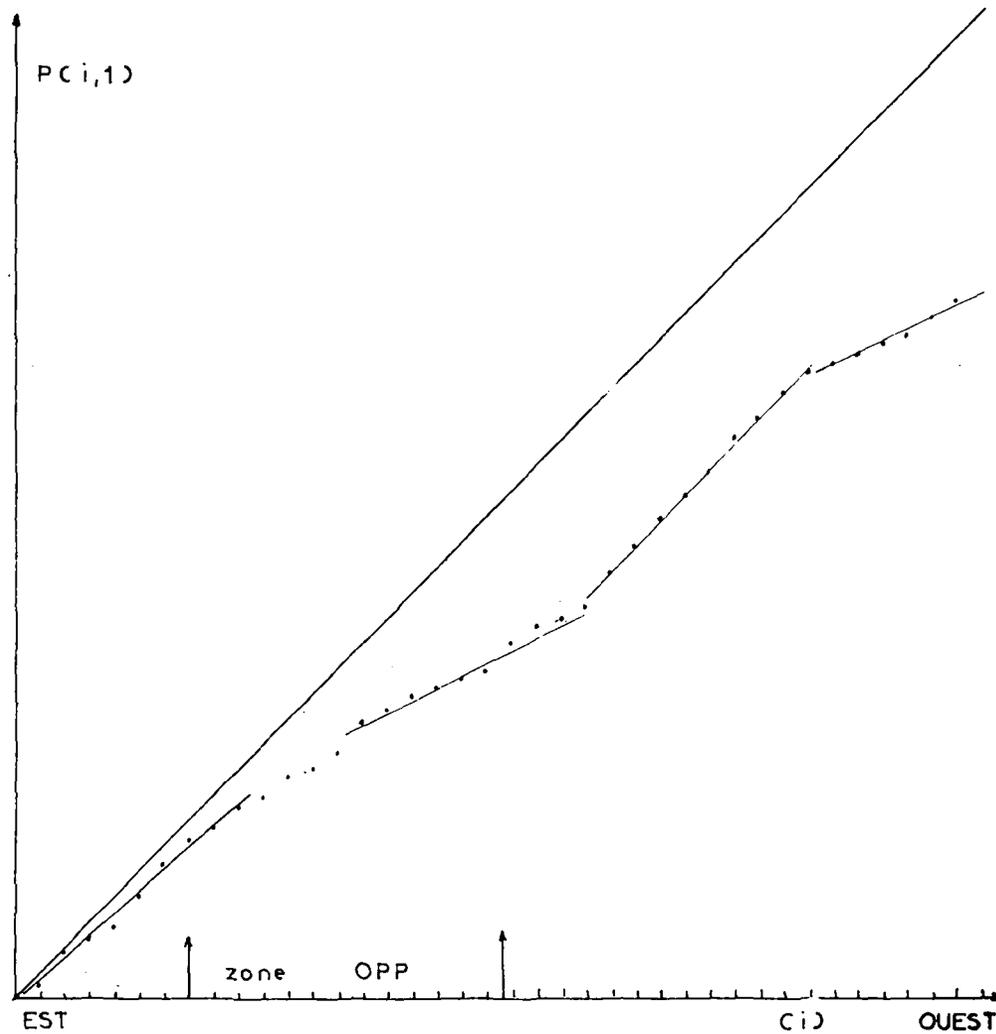
18 au 27 Septembre 1974



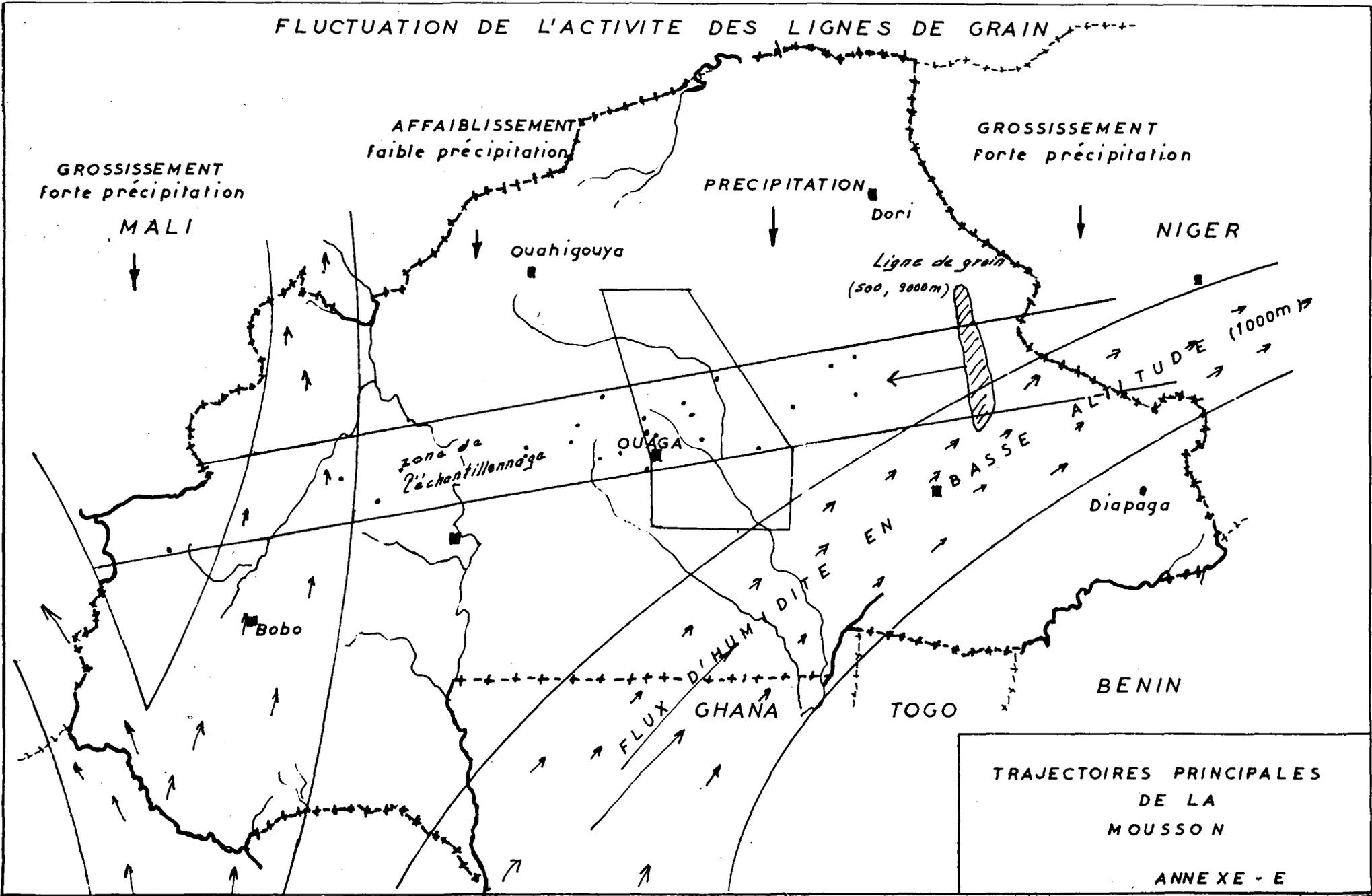
18 au 27 Septembre 1975



8 au 17 Septembre 1975



# FLUCTUATION DE L'ACTIVITE DES LIGNES DE GRAIN



TRAJECTOIRES PRINCIPALES DE LA MOUSSON  
ANNEXE - E

A N N E X E F.

Relevé de pluviométrie décadaire  
et probabilité théorique.

Echantillon Témoin

Année 1967

	8 - 17 Septembre		18 - 27 Septembre	
	p(i,1)	P(i,1)	p(i,2)	P(i,2)
: PENLA	: 75,2 mm	: 3 %	: 86,9 mm	: 5 %
: BOGANDI	: 74,4 mm	: 10 %	: 36,3 mm	: 30 %
: KOSSOUDOU	: 57,2 mm	: 25 %	: 56,5 mm	: 17 %
: BOUISA	: 43,7 mm	: 35 %	: 59,6 mm	: 15 %
: MOGHEDC	: 65,9 mm	: 35 %	: 52,3 mm	: 25 %
: KORSIMORO	: 60,5 mm	: 25 %	: 109,1 mm	:
: GUILONGOU	: 68,0 mm	: 40 %	: 61,0 mm	: 15 %
: GOMBE	: 57,1 mm	: 50 %	: 73,2 mm	: 15 %
: BEBARE	: 57,4 mm	: 45 %	: 53,7 mm	: 20 %
: GUAGADJUGOU	: 40,2 mm	: 70 %	: 34,8 mm	: 5 %
: KALBOINGSI	: 62,2 mm	: 47 %	: 56,0 mm	: 20 %
: DOULBI	: 36,9 mm	: 75 %	: 62,5 mm	: 15 %
: BABRE	: 51,7 mm	: 60 %	: 70,5 mm	: 10 %
: T.-DASSOURI	: 56,2 mm	: 65 %	: 68,7 mm	: 25 %
: BOUSSE	: 64,6 mm	: 20 %	: 73,9 mm	: 5 %
: KINDI	: 46,7 mm	: 60 %	: 46,0 mm	: 25 %
: KOKOLOGO	: 68,0 mm	: 35 %	: 36,5 mm	: 35 %
: GARIA	: 36,5 mm	: 80 %	: 23,4 mm	: 75 %
: KOUDJUGOU	: 32,9 mm	: 90 %	: 54,4 mm	: 25 %
: RHO-AGRE	: 27,9 mm	: 95 %	: 80,1 mm	: 10 %
: SAFANE	: 27,5 mm	: 95 %	: 92,1 mm	: 5 %
: NOVA	: 30,4 mm	: 95 %	: 77,4 mm	: 20 %
: OUAKOYE	: 22,8 mm	: 98 %	: 31,0 mm	: 45 %
: KOUROUA	: 60,6 mm	: 35 %	: 51,0 mm	: 45 %
:	:	:	:	:

A N N E X E F (suite)

Relevé de pluviométrie décadaire  
et probabilité théorique

Echantillon témoin

Année 1968

	8-18 Septembre		18-27 Septembre	
	p(i,1)	p(i,1)	p(i,2)	p(i,2)
PIELA	72,2mm	15 %	3,2mm	95 %
BOGANDE	67,5mm	20 %	0,2mm	99 %
KOSSOUDOUGOU	57,7mm	25 %	21,1mm	45 %
BOULSA	126,4mm	10 %	5,9mm	90 %
MOGTEDO	69,6mm	30 %	16,9mm	80 %
KORSIMORO	36,1mm	60 %	9,5mm	85 %
GUILONGOU	74,1mm	20 %	9,8mm	85 %
GONSE	52,9mm	50 %	30,6mm	40 %
BETARE	52,7mm	40 %	37,9mm	35 %
OUAGADOUGOU	76,4mm	25 %	18,1mm	65 %
KAMBOINSE	96,2mm	20 %	12,8mm	80 %
BOULBI	40,8mm	72 %	45,2mm	30 %
PABRE	81,8mm	15 %	6,4mm	90 %
T. DASSOURI	49,9mm	55 %	17,4mm	70 %
BOUSSE	45,0mm	65 %	16,5mm	70 %
KINDI	75,2mm	30 %	14,9mm	90 %
KOKOLOGO	35,9mm	85 %	17,1mm	85 %
SARIA	32,8mm	90 %	31,1mm	60 %
KOUDOUGOU	42,4mm	75 %	46,2mm	35 %
REO-AGRI.	19,5mm	98 %	43,3mm	40 %
SAFANE	15,0mm	99 %	12,1mm	90 %
WOWA	87,0mm	30 %	43,2mm	45 %
OUARKOYE	35,1mm	90 %	51,0mm	40 %
KOUROUMA	41,0mm	80 %	76,7mm	25 %

A N N E X E F.

Relevé de pluviométrie décadaire  
et de probabilité théorique

Echantillon Témoin.

Année 1969.

	8-17 Septembre		18-27 Septembre	
	p(i,1)	P(i,1)	p(i,2)	P(i,2)
! PIELA	! 18,2 mm	! 75 %	! 30,3 mm	! 45 %
! BOGANDE	! 51,9 "	! 30 "	! 22,6 "	! 50 "
! KOSSOUDOUGOU	! 16,9 "	! 80 "	! 34,0 "	! 35 "
! BOULSA	! 94,1 "	! 7 "	! 15,8 "	! 65 "
! MOGTEDO	! 42,3 "	! 65 "	! 7,8 "	! 95 "
! KORSIMORO	! 36,3 "	! 50 "	! 14,3 "	! 70 "
! GUILONGOU	! 49,4 "	! 35 "	! 16,0 "	! 65 "
! GONSE	! 76,9 "	! 20 "	! 11,5 "	! 70 "
! BETARE	! 77,7 "	! 22 "	! 24,7 "	! 50 "
! OUAGADOUGOU	! 75,1 "	! 28 "	! 7,1 "	! 90 "
! KAMBOINSE	! 55,5 "	! 50 "	! 12,1 "	! 80 "
! BOULBI	! 82,7 "	! 20 "	! 18,6 "	! 65 "
! PABRE	! 43,5 "	! 70 "	! 34,3 "	! 40 "
! T.-DASSOURI	! 69,2 "	! 30 "	! 51,2 "	! 20 "
! BOUSSE	! 118,1 "	! 5 "	! 38,9 "	! 35 "
! KINDI	! 80,4 "	! 20 "	! 9,3 "	! 90 "
! KOKOLOGO	! 78,5 "	! 25 "	! 38,5 "	! 45 "
! SARIA	! 94,0 "	! 15 "	! 81,3 "	! 10 "
! KOUDOUGOU	! 19,9 "	! 95 "	! 27,5 "	! 65 "
! REO-AGRI	! 89,5 "	! 15 "	! 22,6 "	! 75 "
! SAFANE	! 37,0 "	! 90 "	! 25,3 "	! 70 "
! WONA	! 85,4 "	! 28 "	! 61,1 "	! 27 "
! OUARKOYE	! 137,1 "	! 7 "	! 35,1 "	! 55 "
! KOUROUMA	! 47,3 "	! 70 "	! 31,3 "	! 65 "

A N N E X E F. (Suite)

Relayé de pluviométrie décadaire  
et probabilité théorique

Echantillon Témoin.

Année 1970.

	8 - 17 Septembre		18 - 27 Septembre	
	$p(i,1)$	$P(i,1)$	$p(i,2)$	$P(i,2)$
: BIEBA	: 17,5 mm	: 75 %	: 17,8 mm	: 55 %
: BOGANDE	: 16,5 "	: 80 "	: 16,3 "	: 60 %
: KOSSOUDOUGOU	: 8,1 "	: 90 "	: 20,5 "	: 50 "
: BOULSA	: 15,7 "	: 85 "	: 53,7 "	: 25 "
: MOGTEDO	: 66,3 "	: 35 "	: 46,1 "	: 35 "
: KORSIMORO	: 33,1 "	: 60 "	: 28,1 "	: 45 "
: GUILCHOU	: 45,3 "	: 50 "	: 21,0 "	: 60 "
: GONSE	: 63,2 "	: 35 "	: 67,0 "	: 15 "
: BETARE	: 89,5 "	: 15 "	: 55,3 "	: 18 "
: OUAGADOUGOU	: 44,3 "	: 65 "	: 40,9 "	: 30 "
: KAMBOINSE	: 41,1 "	: 65 "	: 12,2 "	: 75 "
: BOULBI	: 62,7 "	: 50 "	: 16,0 "	: 70 "
: PABRE	: 31,4 "	: 80 "	: 32,4 "	: 40 "
: T.-DASSOURI	: 47,9 "	: 60 "	: 56,4 "	: 15 "
: BOUSSE	: 24,1 "	: 75 "	: 101,3 "	: 2 "
: KINDI	: 41,1 "	: 75 "	: 105,1 "	: 3 "
: KOKGLOGO	: 50 "	: 60 "	: 34,4 "	: 50 "
: SARIA	: 48,3 "	: 60 "	: 26,4 "	: 70 "
: KOUDOUGOU	: 61,0 "	: 45 "	: 28,4 "	: 65 "
: REG-AGRI	: 43,6 "	: 75 "	: 53,9 "	: 30 "
: SARANE	: 60,8 "	: 45 "	: 24,5 "	: 70 "
: NOWA	: 149,5 "	: 5 "	: 83,0 "	: 20 "
: OUARKOYE	: 40,8 "	: 70 "	: 30,0 "	: 65 "
: KOUROUHA	: 19,2 "	: 90 "	: 99,7 "	: 12 "
:	:	:	:	:

A N N E X E P.

Année 1973.

Relevé de pluviométrie décadaire  
et de probabilité théorique.

	8-17 Septembre		18-27 Septembre	
	p(i,1)	P(i,1)	p(i,2)	P(i,2)
! PIELA	! 56,2 mm	! 25 %	! 0 mm	! 100 %
! BOGANDE	! 85,9 "	! 14 "	! 12,6 "	! 65 "
! KOSSOUDOUGOU	! 69,9 "	! 17 "	! 26,7 "	! 40 "
! BOULSA	! 44,9 "	! 55 "	! 3,0 "	! 99 "
! MOGTEDO	! 60,6 "	! 40 "	! 0,5 "	! 99 "
! KORSIMORO	! 47,7 "	! 35 "	! 12,8 "	! 75 "
! GUILONGOU	! 32,2 "	! 64 "	! 7,8 "	! 80 "
! GONSE	! 42,6 "	! 70 "	! 21,0 "	! 55 "
! BETARE	! 50,1 "	! 32 "	! 18,0 "	! 60 "
! OUAGADOUGOU	! 43,2 "	! 70 "	! 16,3 "	! 70 "
! KAMBOINSE	! 21,2 "	! 90 "	! 55,5 "	! 20 "
! BOULBI	! 39,7 "	! 70 "	! 7,0 "	! 90 "
! PABRE	! 25,8 "	! 90 "	! 25,0 "	! 50 "
! T.-DASSOURI	! 36,9 "	! 80 "	! 17,7 "	! 65 "
! BOUSSE	! 76,6 "	! 25 "	! 9,0 "	! 85 "
! KINDI	! 74,2 "	! 30 "	! 17,9 "	! 85 "
! KOKOLOGO	! 28,7 "	! 82 "	! 53,7 "	! 30 "
! SARIA	! 48,9 "	! 65 "	! 21,9 "	! 75 "
! KOUDOUGOU	! 44,5 "	! 65 "	! 9,7 "	! 95 "
! REO-AGRI	! 84,0 "	! 20 "	! 8,7 "	! 97 "
! SAFANE	! 114,8 "	! 15 "	! 6,7 "	! 98 "
! WONA	! 43,7 "	! 80 "	! 7,3 "	! 98 "
! OUARKOYE	! 48,4 "	! 70 "	! 9,3 "	! 95 "
! KOUROUMA	! 37,8 "	! 82 "	! 10,5 "	! 15 "

A N N E X E F.

Relevé de pluviométrie de  
Probabilité théorique

Année 1974.

	Sorties OPP le				8 - 17 Septembre	
	8	10	13	14	p(i,1)	P(i,1)
PIELA					30,5	55
BOGANDE					40,5	40
KOSSOUDOUGOU					56,1	25
BOULSA					49,2	50
MOGTEDO			OPP		51,9	50
KORSIMORO			OPP	OPP	84,9	10
GUILONGOU		OPP	OPP	OPP	43,7	65
GONSE		OPP	OPP		87,7	15
BETARE			OPP		58,1	45
OUAGADOUGOU	OPP		OPP		89,0	15
KAMBOINSE	OPP	OPP	OPP	OPP	70,0	40
BOULBI	OPP		OPP	OPP	85,3	20
PABRE	OPP	OPP		OPP	64,0	45
T.-DASSOURI	OPP				90,2	20
BOUSSE				OPP	93,3	15
KINDI					88,9	15
KOKOLOGO					144,0	
SARIA					101,3	10
KOUDOUGOU					149,8	
REC-AGRI					138,1	15
SAFANE					80,1	30
WONA					119,2	15
OUARKOYE					63,9	45
KOUROUMA					61,0	45



A N N E X E F

Année 1975

8 - 17 Septembre

	Sorties OPP les									p(i,1)	p(i,1)
	8	9	10	11	12	13	15	16	17		
PIELA										71,1	18
BOGANDE										67,3	20
KOSSOUDOU										29,0	55
BOULSA										35,8	65
MOGTEDO								OPP		51,3	50
KORSIMORO	OPP	OPP								63,8	22
GUILONGOU	OPP	OPP					OPP			58,9	45
GONSE	OPP	OPP						OPP		63,8	40
BETARE	OPP	OPP					OPP			93,7	15
OUAGADOUGOU	OPP	OPP	OPP	OPP	OPP	OPP				65,1	35
KAMBOINSE	OPP	OPP		OPP	OPP		OPP		OPP	75,9	30
BOULBI			OPP	OPP	OPP					77,2	30
PABRE				OPP			OPP		OPP	97,5	15
T. DASSOURI			OPP	OPP						80,6	25
BOUSSE										52,6	60
KINDI										68,1	35
KOKOLOGO										85,7	20
SARIA										80,5	25
KOUDOU										55,8	50
REO-AGR.										67,9	40
SAFANE										53,9	65
WOWA										76,1	45
OUARKOYE										80,1	35
KOUROUMA										85,7	35

ANNEXE F.

Année 1975.

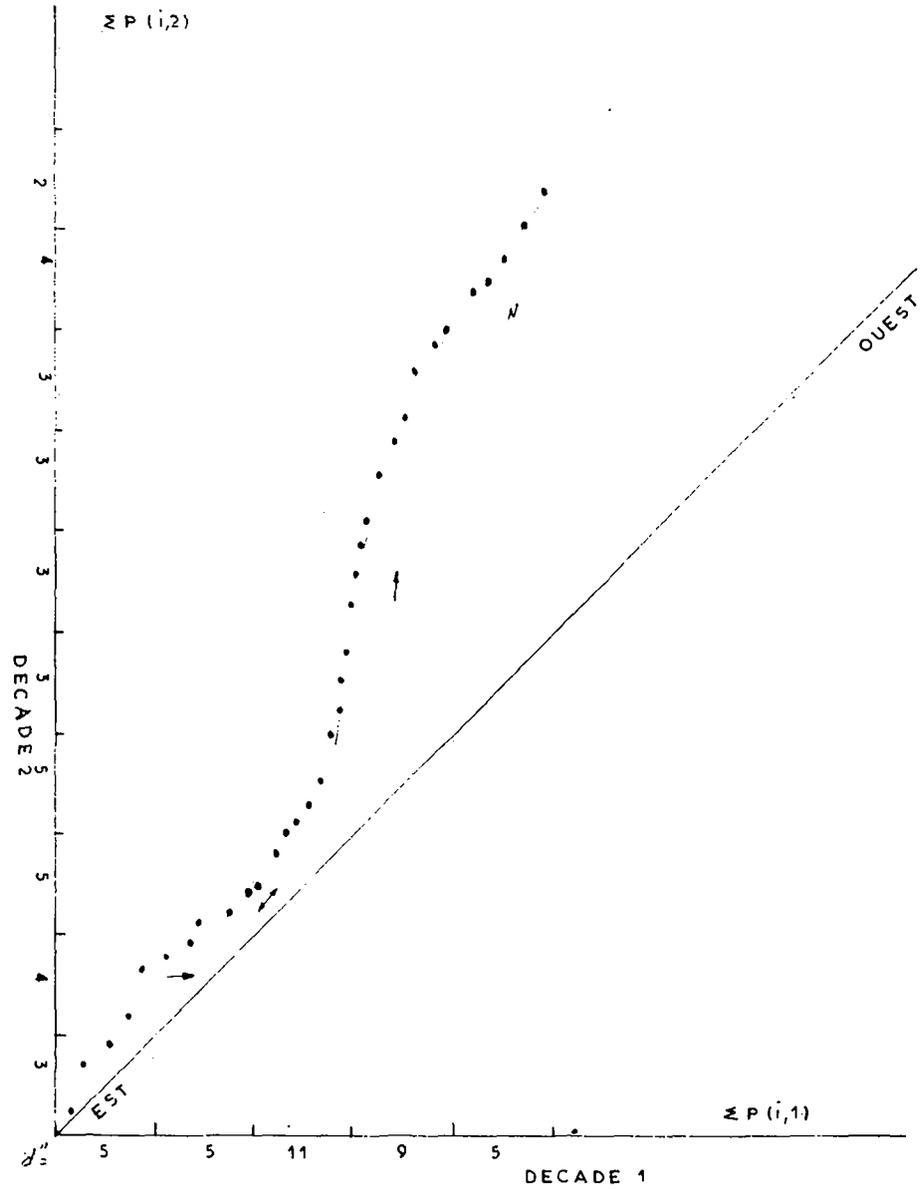
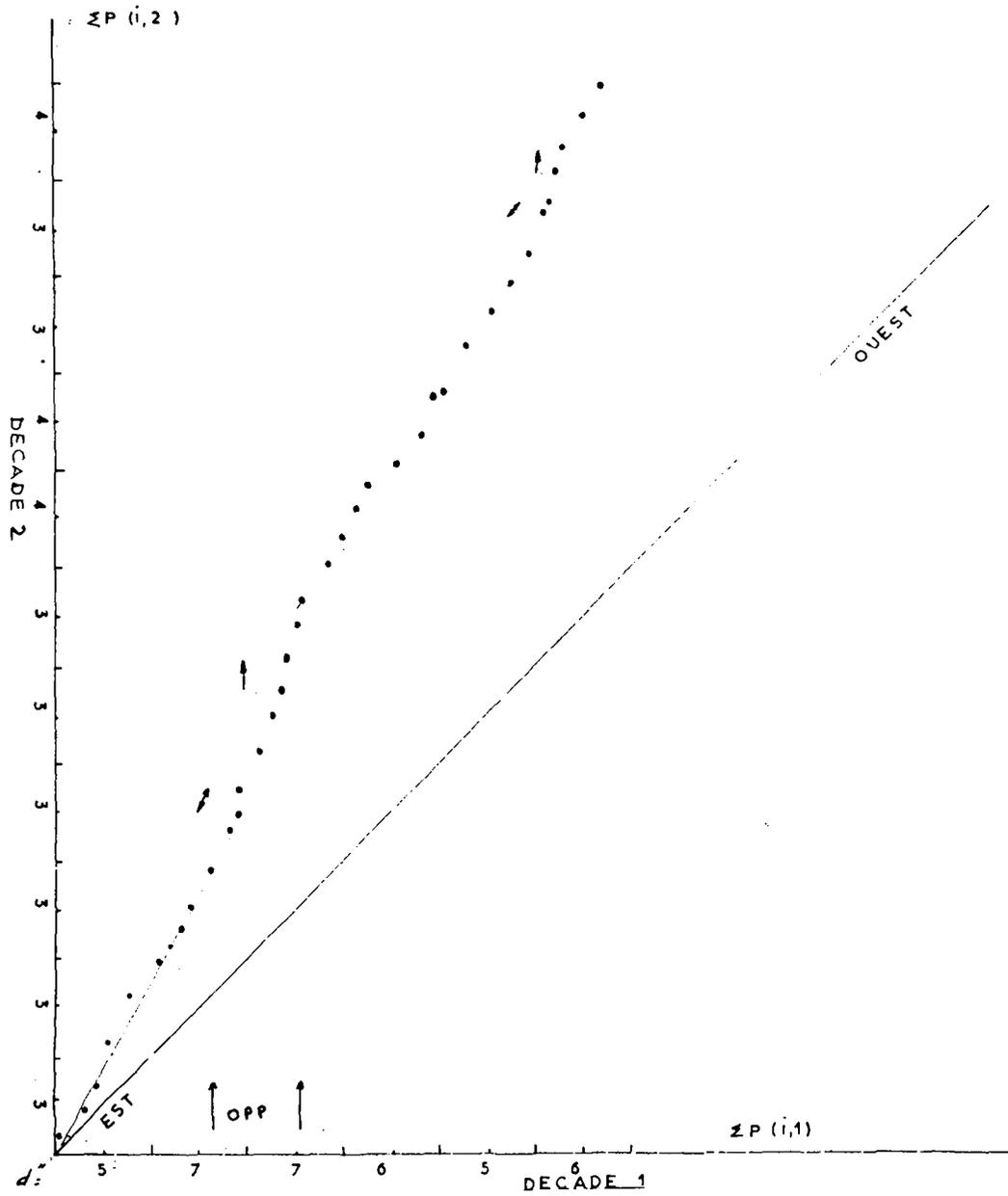
	Sorties OPP le						18-27 Septembre	
	18	19	20	21	24	27	p(i,2)	P(i,2)
PIBIA							22,0	40 %
BOGARDÉ							6,1	95 %
KOËBOUDOUGOU							4,9	95 %
BOULSA							43,5	50 %
KOCTÉDO		OPP				OPP	16,3	70 %
KORSINGRO				OPP			26,3	50 %
GUILLONGOU				OPP			14,2	70 %
CONGÉ				OPP	OPP	OPP	0,3	90 %
BETARE				OPP			39,6	30 %
OUAGADOUGOU	OPP		OPP	OPP	OPP		12,2	80 %
KAMBOINGÉ	OPP			OPP			13,1	75 %
BOULBI		OPP	OPP	OPP			26,7	50 %
PABRE	OPP			OPP			23,4	60 %
E.-DASSOURI							15,1	70 %
BOUSSÉ							15,3	70 %
KIMBI							27,7	50 %
KOHOLGGO							27,7	65 %
SARIA							37,5	50 %
KOUBOUGOU							26,0	70 %
REO-AGRI							19,5	90 %
SAPANE							27,5	80 %
WOMA							46,6	50 %
OUARKOYE							17,0	85 %
KOUBOUMA							27,7	75 %

VARIATION PLUVIOMETRIQUE INTERPERIODIQUE

VARIATION PLUVIOMETRIQUE INTERPERIODIQUE

ANNEE 1975 non testé (adjonction des postes CIEH)

ANNEE 1974 non testé (adjonction des postes CIEH)



DOCUMENT DE TRAVAIL POUR UN PROJET D'OPERATION  
"MONEX" EN AFRIQUE

Agence pour la sécurité de la navigation  
aérienne en Afrique et à Madagascar (ASECNA)

Direction de la météorologie

La deuxième session du groupe intergouvernemental de préparation à la Première Expérience Mondiale du GARP\* (PEMG) a noté dans le paragraphe 6.2 de son compte-rendu : "l'importance de la mousson dans la région de l'Ouest Africain, qui est aussi un problème d'envergure pour cette partie des tropiques". Elle recommande, en conséquence, au Secrétaire Général d'intervenir auprès des membres intéressés pour qu'ils proposent un plan d'organisation d'une expérience du type "MONEX" pendant la PEMG. Ces propositions devraient être présentées d'urgence à la réunion des experts qui se tiendra à Genève en décembre 1975.

Le projet qui est exposé ici pourrait servir de base de discussion en vue de telles propositions. S'y trouvent récapitulés les principaux arguments qui militent en faveur d'une telle expérience et les caractéristiques essentielles de la Mousson Ouest-Africaine. Il en découle un schéma d'opération où figurent des objectifs scientifiques possibles et les moyens à mettre en oeuvre pour tenter de les atteindre.

S'il est nécessaire de mettre en place un certain nombre de moyens supplémentaires, il n'en demeure pas moins que l'intérêt manifesté par les états concernés, la sensibilisation des météorologistes africains aux objectifs poursuivis en commun, et par suite l'attention particulière que tous apporteront à l'exactitude et à la précision des données, spécialement pendant les périodes intensives, assureront, dans une large part le succès d'une telle opération, intégrée dans une vaste expérience mondiale.

I - OPPORTUNITE DE CETTE OPERATION

I-1 Il convient d'abord de noter l'analogie de nature des deux principales moussons du monde : celle des Indes et celle de l'Ouest-africain. Dans les deux cas, l'opposition thermique mer-continent, engendre, pendant l'été boréal, et dans les basses couches atmosphériques, un fort gradient transéquatorial de pression qui provoque un transfert des flux d'alizé de l'hémisphère sud vers l'hémisphère nord, avec accroissement de la convergence au sein de ces flux. Ceux-ci accusent en conséquence, une importante composante de sud et une forte humidité puisée au cours de longs trajets sur des mers chaudes. On sait que de très abondantes précipitations arrosent les régions concernées par les moussons, et que ces deux phénomènes jouent un très grand rôle, par les transferts d'énergie dont ils sont le siège, dans l'équilibre énergétique de la terre.

.../...

---

\* GARP : Global Atmospheric Research Program.

I-2 Mais les deux types de mousson présentent aussi de notables différences dans leurs manifestations. C.S. RAMAGE dans son ouvrage intitulé "Monsoon Meteorology" (Académie Press, NEW-YORK and LONDON), page 102, publie une carte, due à PORTIG (1963), des rapports entre le nombre de jours annuels moyen d'orages et la moyenne annuelle des précipitations (en décimètres), qui permet de constater qu'un noyau de fort indice (16) existe sur l'Afrique de l'Ouest, tandis que le sous-continent indien ne dépasse guère l'indice de 4. Ce qui signifie que les manifestations orageuses de la mousson africaine sont beaucoup plus fréquentes que celles de la mousson indienne, sauf sur la bordure côtière Sud et Sud-Ouest de l'Afrique où cet indice se situe entre 4 et 8. Sur ce littoral Ouest africain (Cameroun compris), il existe donc une mousson présentant les mêmes caractères - peu de manifestations orageuses - que celle des Indes ; tandis qu'à l'intérieur du continent, cette mousson est à l'origine de perturbations (lignes de grains) qui circulent d'Est en Ouest. Ces phénomènes caractéristiques de l'Afrique se transforment souvent en cyclones tropicaux sur l'Atlantique.

Analogie des deux moussons et originalité de celle d'Afrique dans ses effets, justifient l'une et l'autre des efforts de recherche.

I-3 Un des objectifs scientifiques de l'Opération MONEX prévue sur les Indes, est l'étude du Tropical Easterly Jet (T.E.J.), courant de vent d'Est fort, situé entre 200 et 100 mb. Ce "Jet" a pour origine les fortes températures estivales du plateau tibétain que renforce la chaleur latente dégagée en altitude par la mousson indienne. Le schéma de "Jet" emprunté à FLOHN et reproduit en Annexe I, montre que sa "sortie" intéresse l'Afrique Occidentale en période de mousson précisément. On y voit aussi les cellules méridienne (de HADLEY) qu'il engendre : directe sur le S.O. asiatique, indirecte sur l'Afrique. La branche ascendante, au Sud du TEJ, intéresse une bonne partie de la troposphère au-dessus de l'Afrique de la mousson, et y crée donc des conditions favorables à l'accélération de la convection. L'activité de la mousson indienne, par l'intermédiaire de ce TEJ, aurait donc des répercussions sur l'activité des manifestations de la mousson africaine. On a effectivement remarqué qu'une mousson abondante aux Indes correspond à une saison de pluies excédentaires en Afrique Occidentale, tandis qu'une sécheresse sahélienne répond à une saison de faible activité de mousson indienne. L'absence du JET sur l'Afrique Occidentale - donc sa faiblesse - est marquée par un déficit pluviométrique en Afrique de l'Ouest. Ce fut notamment le cas observé en Août 1972 pendant l'expérience ASECNA de Ouagadougou. Des études plus précises sont nécessaires pour établir cette téléconnexion entre les deux moussons.

Il importe d'ajouter qu'un second courant de vents forts d'Est, se situe au-dessus de l'Afrique des moussons, vers 600 mbs, dont on peut attribuer l'existence en été aux fortes températures des reliefs est-saharien. Il devrait lui aussi engendrer des cellules méridiennes dans les basses couches. Mais, comme le montre le schéma de l'Annexe I, l'entrée de l'A.E.J. coïncidant sur une partie de l'Afrique, avec la sortie du T.E.J., il en résulte un système de cellules méridiennes superposées et inversées dont les unes favorisent la convection et les autres la contraignent.

.../...

Sans influence sur l'origine, l'intensité ou les caractéristiques propres de la mousson africaine, il n'est pas douteux que l'existence ou l'absence, les intensités, les positions relatives de ces deux JETS et de leurs cellules méridiennes jouent un rôle dans les manifestations de cette mousson.

I-4 L'expérience atlantique tropicale du GARP (ETGA 1974) a concentré la majeure partie de ses efforts sur la zone océanique au large des côtes Ouest-africaines, et certains chercheurs ont regretté qu'une opération analogue n'ait pu être exécutée sur le continent afin d'y étudier les perturbations d'Est (ligne de grains) qui alimente la mousson. Ne serait-il pas souhaitable de profiter de la PEMG pour combler cette lacune ?

I-5 Les sécheresses récentes, répétées et catastrophiques qui ont sévi sur le Sahel, en particulier, ont incité certains organismes scientifiques, encouragés par l'OMM à se pencher sur ce grave problème. Une opération concertée et internationalement planifiée, liée à la PEMG, ne serait-elle pas la bienvenue en l'occurrence, afin de tenter d'élucider les mystères et les caprices d'une mousson dont l'activité chaque année est si vitale pour les populations sahéliennes.

## II - QUELQUES CARACTERISTIQUES REMARQUABLES DE LA MOUSSON AFRICAINE

Après avoir montré les grands traits de la mousson d'Afrique, il n'est pas sans intérêt d'attirer l'attention sur quelques points de détail pouvant éclairer les objectifs scientifiques proposés à la fin de ce document.

II-1 On présume que la mousson issue de l'Atlantique Sud pénètre sur le continent africain selon des trajets plus ou moins déterminés et plus ou moins connus. Le schéma de différentes branches du flux de mousson n'est proposé en Annexe 2, qu'à titre indicatif. Si des trajets privilégiés existent pour les flux de mousson, il serait du plus haut intérêt de les déceler, d'en connaître les dimensions, les déplacements saisonniers, etc...

II-2 Les caractéristiques de ces flux : humidité, températures, énergies sont aussi mal connues ou en tout cas mal reliées aux manifestations de la mousson. Elles dépendent précisément des trajets parcourus, et notamment des trajets maritimes. Il est certain que les eaux chaudes permanentes de la Côte des Graines (entre Tabou et Cap Verga), celles du golfe de Guinée, et les eaux plus froides de l'Upwelling existant en été entre Tabou et Cotonou, communiquent aux flux de mousson qui les surmontent des humidités et des températures différentes.

II-3 C'est peut-être le flux de mousson abordant l'Afrique par la Côte des Graines qui explique la forte humidité observée dans la basse troposphère au-dessus de la région de Bamako. La carte reproduite en Annexe 3 met en évidence cette anomalie et celle d'un mixing-ratio, à Niamey en Juillet à 850 mb, supérieur à celui d'Abidjan, alors que le flux moyen de mousson, qui alimente Niamey à cette époque passe en principe par Abidjan ! Notons, en passant, que la carte donnée en Annexe 3 est en conformité avec celle plus générale publiée par R.E. NEWELL, J.W. KIDSON, D.G. VINCENT et G.J. BOER dans le volume I de "The general circulation of the tropical atmosphere" qui met en évidence une ceinture zonale de mixing ratio maximum, axée en Juillet sur le 10° Nord dans toute l'épaisseur de la troposphère. L'explication de cette structure n'a pas encore été donnée.

II-4 Des investigations dans les directions précédentes, devraient permettre d'expliquer, au moins en partie, les diverses formes et variations que présente l'activité de la mousson aussi bien sur la bordure côtière qui enregistre des périodes de pluies diluviennes non orageuses intercalées avec des périodes plus particulièrement orageuses, que plus à l'intérieur du continent où les lignes de grains ont un caractère prédominant.

Cette analyse aboutirait sans doute à mieux comprendre l'existence de zones sources de perturbations, dont les plus connues, représentées sur la carte en Annexe 2, se situent l'une dans la région de Birni-Nkôni, Zinder, Kano et l'autre au Nord-Ouest de Bamako, en pleine saison des pluies. La confluence sur ces deux régions de branches de la mousson, aux trajets et aux caractéristiques différents, est peut-être à l'origine de l'activité intermittente de ces zones productrices et exportatrices de lignes de grains.

II-5 Des études succinctes ont montré que les années sèches, donc à saison des pluies déficitaires, coïncident avec des pressions moyennes anormalement basses sur l'ensemble de la partie de l'Afrique intéressée par la mousson. Au contraire les années pluvieuses sont caractérisées par des pressions moyennes anormalement élevées. Les écarts aux valeurs normales mensuelles sont de l'ordre de  $\pm 1$  à  $\pm 1,5$  mb. Ces constatations sur des moyennes mensuelles ou saisonnières semblent bien être corroborées par l'expérience des prévisionnistes africains qui savent qu'une augmentation des pressions par le Sud précède généralement une reprise des activités de la mousson sur le continent. L'activité saisonnière, et les fluctuations de l'Anticyclone de Ste Hélène jouent donc un rôle dans les pulsations de la mousson sur l'Afrique. Une meilleure connaissance de ces éléments ouvrirait des perspectives vers la prévision à plus ou moins long terme des manifestations de la mousson.

### III - CONCLUSION

Les considérations précédentes, auxquelles nous avons ajouté en appendice un schéma d'opération résumant les objectifs scientifiques et les moyens à mettre en oeuvre, n'ont pas la prétention de couvrir tous les buts de recherche que peut suggérer une étude de la mousson dans une opération concertée du type MONEX en Afrique à l'occasion de la PENG. Le présent document voudrait seulement convaincre les chercheurs des pays concernés et les instances planificatrices de la PENG, qu'une opération MONEX africaine, même modeste, serait génératrice d'importants progrès dans la connaissance de la mousson africaine, de ses manifestations et de son rôle dans la circulation générale.

Dans le schéma d'opération, nous proposons l'ouverture, pendant la durée de l'expérience, d'un certain nombre de stations de radiosondage et de radiovent, afin de compléter le réseau existant de la V.M.N. et de mieux quadriller ainsi la région, en particulier le long des trajets supposés de la mousson. L'ensemble du réseau ainsi constitué paraît être le plus raisonnable en vue des objectifs proposés.

Nous proposons aussi la mise en place de deux bateaux équipés en appareils de radiosondage et si possible de mesure de vent en altitude, dans le but d'analyser les caractéristiques des flux de mousson avant leur pénétration sur le continent et de saisir les interactions mer-atmosphère dont ils sont le siège. La réalisation de l'expérience ne devrait pas cependant

dépendre de l'existence de ces bateaux : elle pourrait avoir lieu sans eux. Mais il n'est pas nécessaire d'insister sur la grande utilité de leur présence.

Pour l'expérience ETGA, un pays de la côte occidentale africaine avait proposé un bateau, proposition qui n'eut pas de suite à l'époque, mais qui pourrait peut-être/<sup>être</sup>réconsidérée à l'occasion du présent projet... 1978, dans le golfe de Guinée. Il pourrait être possible d'en profiter pour équiper un bateau de cet organisme à des fins météorologiques.

Enfin notons la contribution considérable qu'apportera à l'expérience l'existence, en particulier, du satellite géostationnaire Météosat.

Il est clair que le plan exposé dans le présent document et son appendice, ne représente qu'une suggestion et qu'il doit être discuté et mis au point tant en ce qui concerne les objectifs à retenir que les moyens à y consacrer.

Un certain nombre de points, tels que les dates et les durées des périodes d'observations intensives, le contrôle, l'échange et le stockage des données, la mise en place éventuelle d'une équipe et d'un centre de direction de l'expérience, etc... ne sont pas abordés ici. Ils devraient faire l'objet de discussions entre experts planificateurs de la PEMG et experts des pays concernés, une fois que le principe de l'expérience en aura été accepté.

Provoquer cette dernière décision est le but principal de ce document.

SCHEMA D'OPERATION  
D'UNE EXPERIENCE MONEX AFRICAINE

I - OBJECTIFS SCIENTIFIQUES

I-1 Détermination des trajets du flux de mousson dans sa pénétration continentale ; étude des intensités et des déplacements dans le temps et dans l'espace des différentes branches de ce flux.

I-2 Etude de l'humidification de cette mousson au cours de ces trajets, de son accumulation sur certaines régions (Bamako par exemple). Etude des interactions mer-atmosphère pendant les trajets océaniques.

I-3 Etude des poussées anticycloniques australes et de leur répercussion sur l'activité de la mousson. Rôle du passage des fronts froids australs, téléconnexions entre variations de pressions de l'Atlantique Sud, (voire du continent sud-américain) et celles du continent africain.

I-4 Mise en évidence des cellules méridiennes engendrées par le TEJ et l'AEJ et des conditions favorables ou défavorables qu'elles apportent aux manifestations de la mousson. Téléconnexion entre l'activité des deux moussons Indienne et Africaine.

I-5 Etude des mécanismes de formation de lignes de grains et de leur structure. Cet objectif peut paraître à certains comme un peu marginal dans une recherche sur le phénomène de mousson proprement dite, mais il peut séduire certaines équipes scientifiques spécialistes de la convection, ou qui désireraient poursuivre des efforts récemment entrepris dans cette direction.

II- MOYENS A METTRE EN OEUVRE

Le réseau existant d'observations en altitude de la V.M.N. sur l'Afrique de l'Ouest figure sur la carte jointe.

Pour atteindre les objectifs proposés, il faut tenir compte des points suivants :

II-1 La station de radiosondage-radiovent de Conakry dispose d'équipements mais ne fonctionne pas . Elle devrait être rendue opérationnelle pendant la durée de l'expérience.

II-2 Les données RS/RW de Lagos, Kano et Tamalé devraient être concentrées.

II-3 Il faudrait prévoir la mise en place d'une station RS/RW à Port-Harcourt (ou Enugu), et une autre à l'intérieur du Nigéria (Makurdi ou Minna par exemple).

II-4 Prévoir également une station RS/RW à Kandi (République Populaire du Bénin), une à Odienne, une autre à Tabou (Côte d'Ivoire).

.../...

En résumé, nous devrions disposer : dans la zone comprise entre les parallèles 3 et 18 N, le méridien 20°E et la côte ouest africaine des stations suivantes :

- 12 stations RS/RW existant déjà, plus 5 stations à créer pendant la durée de l'expérience. En plus il faut ajouter une station RS/RW à Ouagadougou remplaçant dès l'an prochain la station de radiovent.

- 5 stations de radar-vents (y compris Agadez).

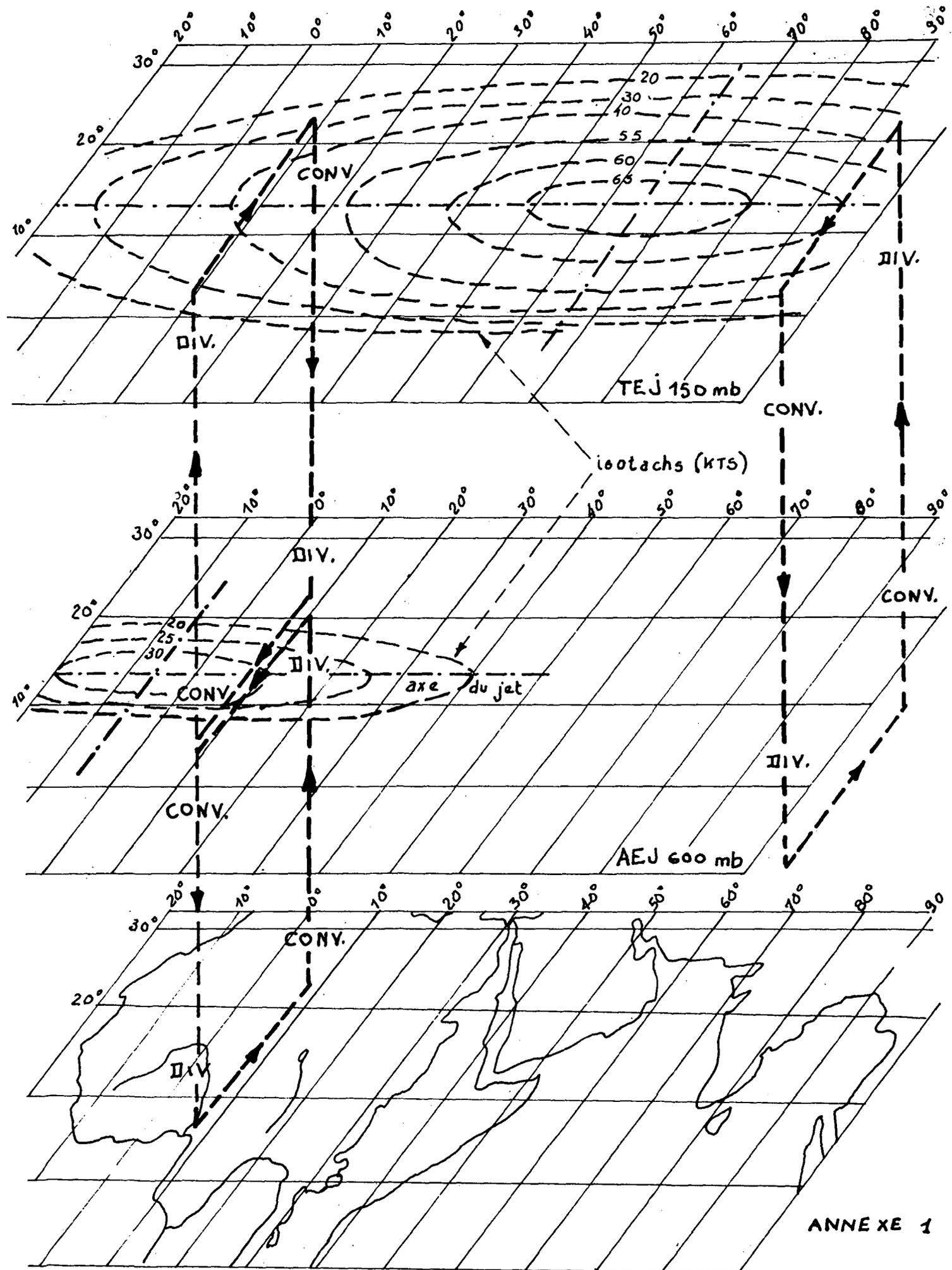
- 32 stations pilote, si les données de Guinée, du Ghana et du Nigéria peuvent être concentrées.

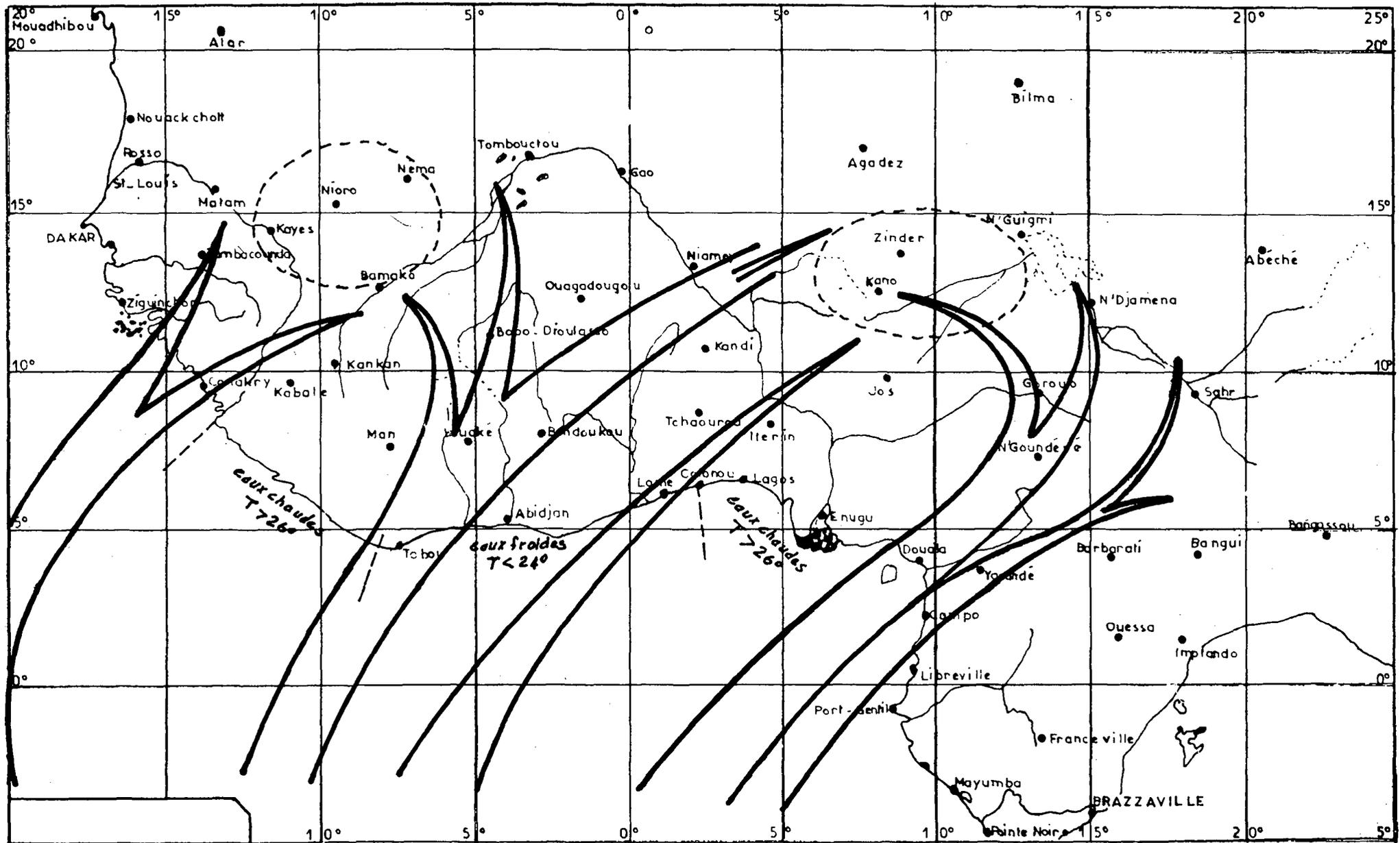
II-5 Ce réseau continental devait être complété par la mise en place de deux bateaux stationnés aux environs des points suivants : 2° N, 3° E et 5° N, 13° W équipés en appareils de radiosondage et si possible de mesure de vent en altitude.

Au cas où on ne disposerait que d'un seul bateau, il faudrait envisager la mise en place d'une station RS/RW à Robertstield.

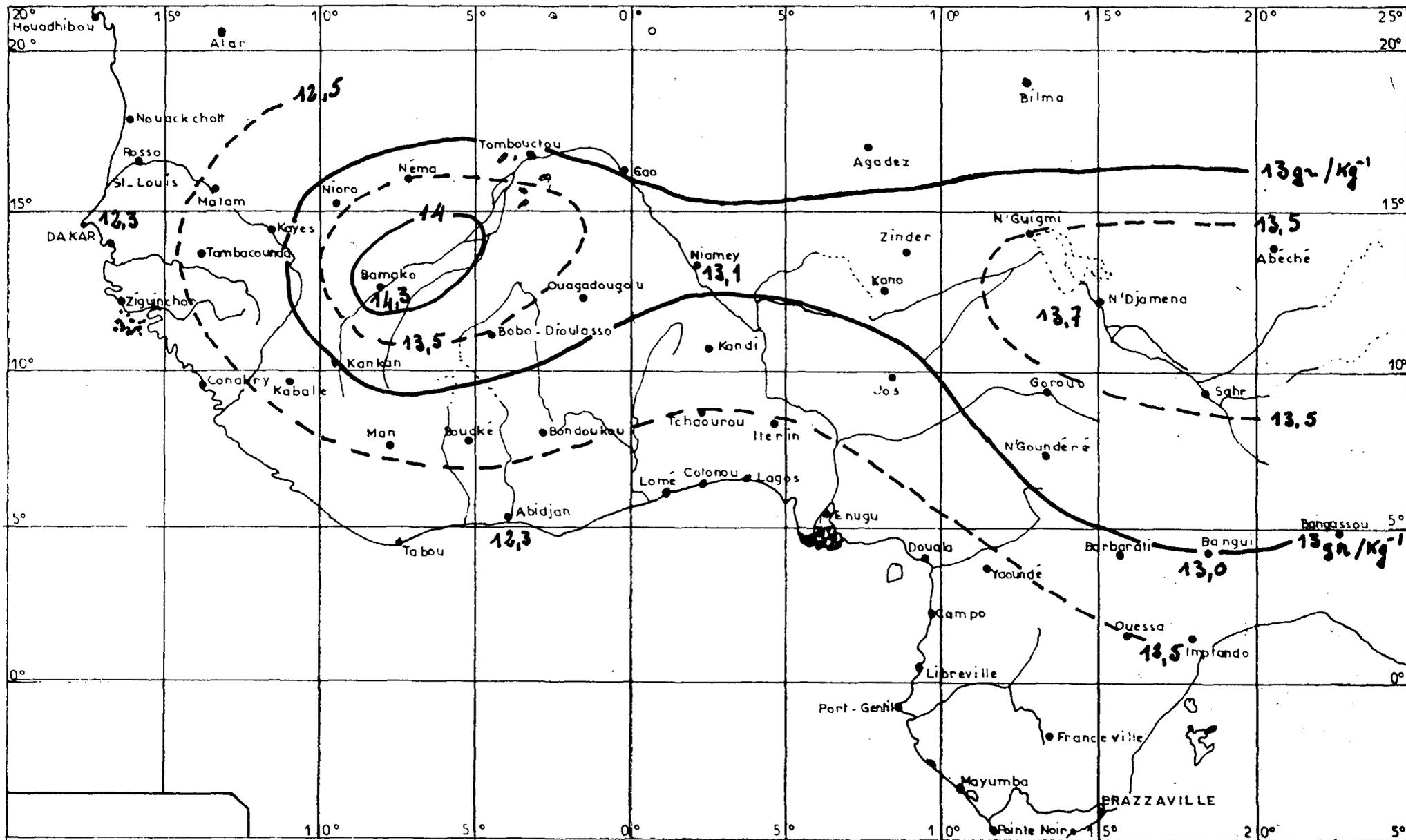
II-6 Enfin, au cas où l'on déciderait de créer une zone d'étude de la convection à l'échelle B, elle pourrait se situer dans la région de Zinder (Niger), et permettre la constitution d'une "boîte" pour des calculs de bilans à 4 stations RS/RW, par exemple avec Kano, Birni-N'Koni, Gusau et Zinder.

Novembre 1975





PRINCIPAUX TRAJETS DE LA MOUSSON



Mixing-ratio ( $\text{gr} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) à 850 mb. en Juillet (moyenne sur 3ans)

