

10h 45

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

PRESENTE PAR :

Jean Gérard POUSSI

ANNEE 1989-1990

ETUDE DES RISQUES DE SECHERESSE ET D'INONDATIONS DANS LE BAS-FOND DE GOURGA (BIDI)

Mention :

E. I. E. R.	
Enregistré à l'Arrivée	
le _____	s/N° 95/90

Encadrement
F. FRIGGIT

DEDICACE

À mes parents

Sans leur affection et leur bonne vision de la vie,
j'ignorerais le chemin qui mène à l'instruction.

À mes frères et à ma soeur

Pour leur soutien fraternel.

À tous ceux qui ont participé à ma formation

À tous mes camarades de la dix-neuvième promotion EIER

Je dédie le présent mémoire, fruits de vos efforts.

REMERCIEMENTS

Nous trouvons l'occasion dans ces lignes de remercier :

- Messieurs J.M. LAMACHERE et F. FRIGGIT nos encadreur. Leurs conseils nous ont permis de préciser nos vues quant au sujet.
- Tous les enseignants dont les conseils nous ont été très utiles.
- Les responsables des centres de documentation du CIEH, de la Direction de la Météorologie Nationale, de l'INERA et de l'EIER pour leur bonne compréhension.
- Tous ceux qui n'ont pas été cités, mais qui d'une manière ou d'une autre ont contribué à l'élaboration de ce document.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

BV Bassin Versant

CIEH Comité Inter-états d'Etude Hydrauliques

PEN Plan d'Eau Normal

ORSTOM Office de la Recherche Scientifiques d'Outre Mer

TABLE DES MATIERES

RESUME

INTRODUCTION

Ie PARTIE : CADRE ET CONDITION DE L'ETUDE

CHAP I - LE MILIEU PHYSIQUE

- I.1 Situation géographique
- I.2 Climat
- I.3 Hydrographie

CHAP II - CARACTERISTIQUES GENERALES DU SITE

- II.1 Aménagements réalisés
- II.2 Caractéristiques du bassin versant

IIe PARTIE : DONNEES GENERALES DE L'AMENAGEMENT DANS LE BAS-FOND

CHAP I - DONNEES AGRONOMIQUES

- I.1 Type de culture
- I.2 Surfaces cultivées inondables
- I.3 Accidents probables en cours de
végétation
- I.4 Besoins en eau du riz

CHAP II - CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES

- II.1 Caractéristiques de la digue
filtrante
- II.2 Caractéristiques du barrage

IIIe PARTIE : ANALYSE HYDROLOGIQUE

CHAP I - HYDROLOGIE STATIQUE

- I.1 Précipitations

CHAP II - HYDROLOGIE DU BAS-FOND

- II.1 Etude des crues de la rivière Aoto
- II.2 Paramètres hydrologiques de la crue
décennale
- II.3 Conclusion de l'étude hydrologique

IVe PARTIE : SYNTHESE DES RISQUES DE SECHERESSE
ET D'INONDATION

CHAP I -INTRODUCTION

CHAP II -LES RISQUES DE SECHERESSE

CHAP III -LES RISQUES D'INONDATION

III.1 Etude hydrologique des risques
d'inondation

III.2 Risques agronomiques d'inondation

III.3 Conclusion

CHAP IV -SIMULATION DU PASSAGE DE LA CRUE
DE FREQUENCE DECENNALE

CONCLUSION GENERALE

BIBLIOGRAPHIE

RESUME

Le présent mémoire élabore ^{à partir} ~~à la base~~ de données hydrologiques, les risques de sécheresse et d'inondation dans le bas-fond de la rivière Aoto à GOURGA.

Les cultures en place (riz) sont exposées aux aléas climatiques notamment à l'action des précipitations.

Il convenait au préalable d'établir à partir de certaines mesures, les paramètres hydrologiques du site d'étude.

Une première étude a donc permis de quantifier les pluies de fréquences rares. Les méthodes utilisées sont celles de l'hydrologie statistique.

Ensuite, de la relation pluie-débit, nous obtenons les caractéristiques de ~~la~~ crue de fréquence ^{proche de la fréquence} décennale. Celle-ci a un débit qui paraît variable en fonction de la période à laquelle elle surviendrait.

écrit Il a été établi que les risques majeurs sont à craindre du côté de la sécheresse car les apports sont aléatoires.

écrit Les risques d'inondation resteront minimes si la gestion de l'ouvrage évacuateur est rigoureusement suivie.

De fait, les cultures ne sont pratiquement pas en danger si cet évènement rare venait à arriver (Crue Décennale).

INTRODUCTION

Les projets de développement rural sont de nos jours essentiels à l'amélioration des conditions de vie des masses paysannes de nos pays.

Cet aspect majeur est justifié surtout dans les régions Sahéliennes.

Effectivement, la pluviométrie y est souvent irrégulière dans le temps et dans l'espace.

Cela rend, sinon impossible, du moins difficile la pratique de certaines cultures.

Au Burkina-Faso, en particulier dans sa région Nord l'essentiel des projets d'aménagement sont relatifs au stockage de l'eau de pluie et à l'amélioration des méthodes de cultures.

Le bas-fond de GOURGA (région de BIDI) a dans ce cadre, bénéficié de la construction d'ouvrages permettant l'étalement de crues, ceci dans le but :

- de stocker de l'eau un minimum de temps en saison sèche
- de favoriser la pratique de cultures de submersion (riz).

Ce dernier volet engendre indubitablement des conséquences post-aménagement. On est alors amené à se poser certaines questions relatives aux risques encourus par les cultures pratiquées dans le bas-fond.

~~L'irrégularité des pluies nous permet d'affirmer que~~ ^L Ces risques se situent au niveau de la sécheresse (pluies insuffisantes pour satisfaire les besoins des cultures) et des inondations (immersion prolongée des cultures).

La présente étude s'articule autour du thème "Etude des risques de sécheresse et d'inondation dans le bas-fond de GOURGA (région de BIDI)".

Les inondations et les sécheresses sont les principaux événements extrêmes en hydrologie. Une inondation peut être définie comme un ~~écoulement qui recouvre les berges d'une rivière.~~
submersion de zones habituellement exondées.

généralisation de la notion de sécheresse
Le terme sécheresse est plus difficile à définir. Il est évident que la sécheresse est due à une longue période sans pluie, mais cette absence de pluie a une signification différente suivant le régime climatique. Pour un certain climat, plusieurs mois sans pluie constituent une sécheresse sévère alors que pour un autre ceci peut être un événement normal (saison "d'hiver" en savane).

Etudier ces risques sous entend mesurer leur impact. Cela dans le but de trouver les solutions appropriées en vue d'une exploitation rationnelle des aménagements.

Ce mémoire sera articulé comme suit :

- Dans une première partie nous présenterons sommairement le milieu physique de la zone d'étude ; ensuite nous donnons les caractéristiques générales du site.

- La deuxième partie fournit les données relatives à l'aménagement du bas-fond.

- La troisième partie nous permet grâce à l'analyse hydrologique, de dégager les résultats nécessaires à la caractérisation des risques.

Elle traite deux chapitres :

- .le premier concerne l'hydrologie *statistique* ;
- .le deuxième parle de l'hydrologie du bas-fond étudié.

- La quatrième partie tentera à la lumière des résultats hydrologiques et agronomiques, de caractériser les risques de sécheresse et d'inondations dans le bas fond ; puis nous simulons le passage de la crue de fréquence décennale.

La conclusion générale traite des moyens et perspectives de lutte contre les risques.

Ière PARTIE

CADRE ET CONDITION DE L'ETUDE

CHAPITRE I : LE MILIEU PHYSIQUE.

I.1 Situation géographique

La province du YATENGA dans le NORD-OUEST du BURKINA a pour principal centre urbain OUAHIGOUYA (à 200 Km de OUAGADOUGOU). Le village de BIDI est situé à 35 Km au NORD-OUEST de ce centre et à environ 21 Km au NORD-EST de THIOU (chef lieu de préfecture). De nombreux quartiers dont celui de GOURGA composent ce village. (cf fig.1)

I.2 Climat*

Le climat de GOURGA est du type soudano-sahélien, avec une saison de pluie de Mai à Octobre et une saison sèche de Novembre à Avril.

I.2.1 Les précipitations

La pluviométrie répond de façon probable aux mêmes critères que celle de la région du YATENGA. Entre autre nous pouvons citer son caractère aléatoire tant inter-annuel qu'inter-mensuel. on ne dispose pas d'une longue série de mesure de pluie à

GOURGA. Les données sont relatives à une période d'observations de cinq ans, si bien que la moyenne indiquée n'a ^{pas une} ~~aucune~~ grande signification (cf fig.2). Les mois les plus pluvieux sont les mois de Juillet et d'Août. A titre indicatif nous présentons la pluviométrie annuelle de THIOU de 1965 à 1988 (cf fig.3).

NOTE * Les données climatiques sont celles de la station climatologique de NAYIRI, situé à environ 3 Km de GOURGA.

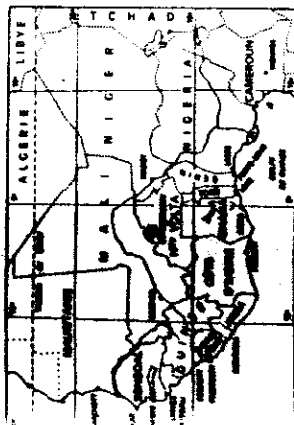
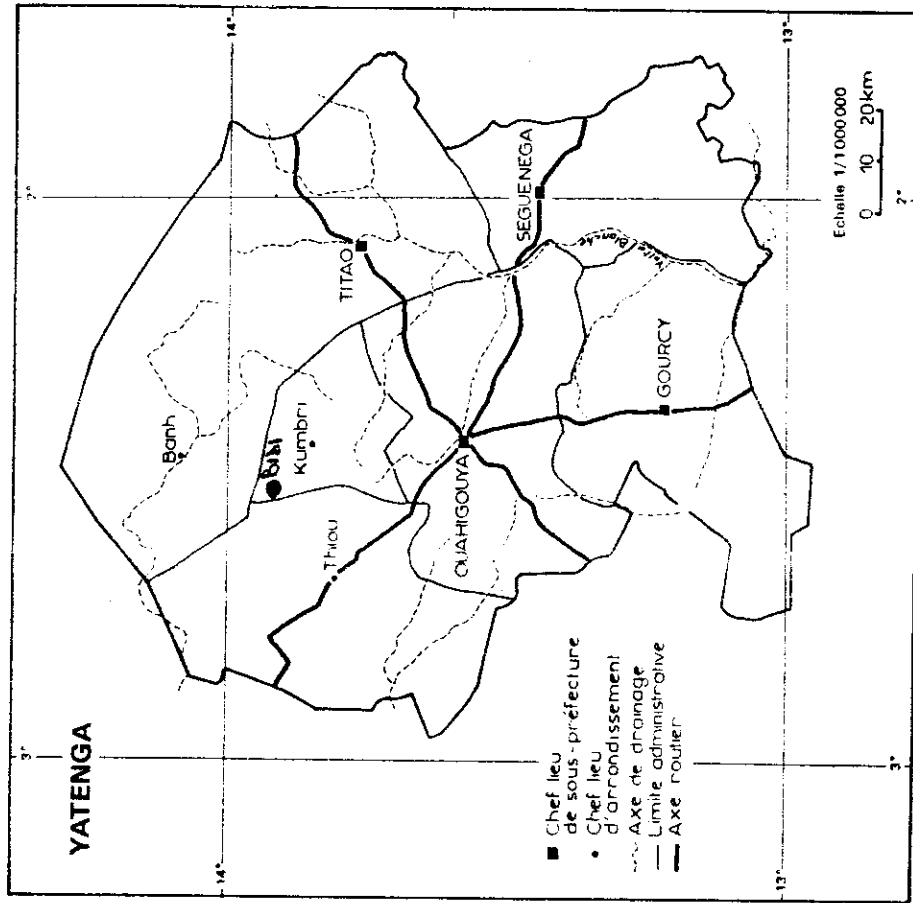
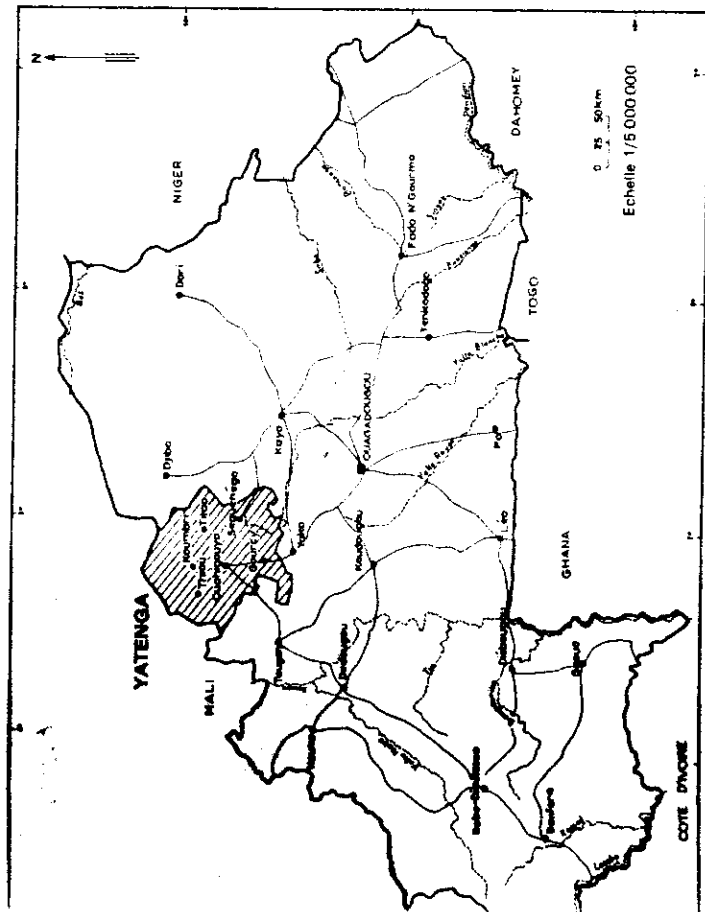


fig.1 SITUATION



préciser l'origine du document (ouvrage)

fig.2 BIDI-GOURGA

PLUIES ANNUELLES A GOURGA(1985-1989)

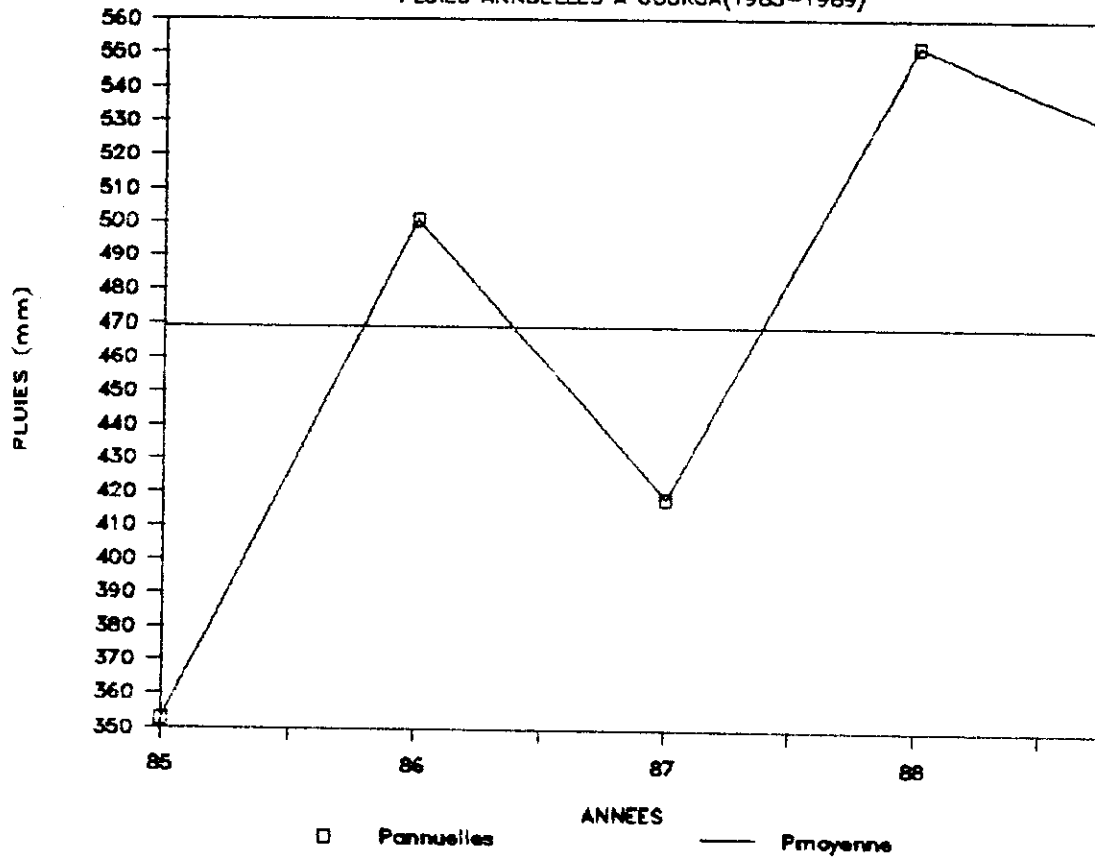
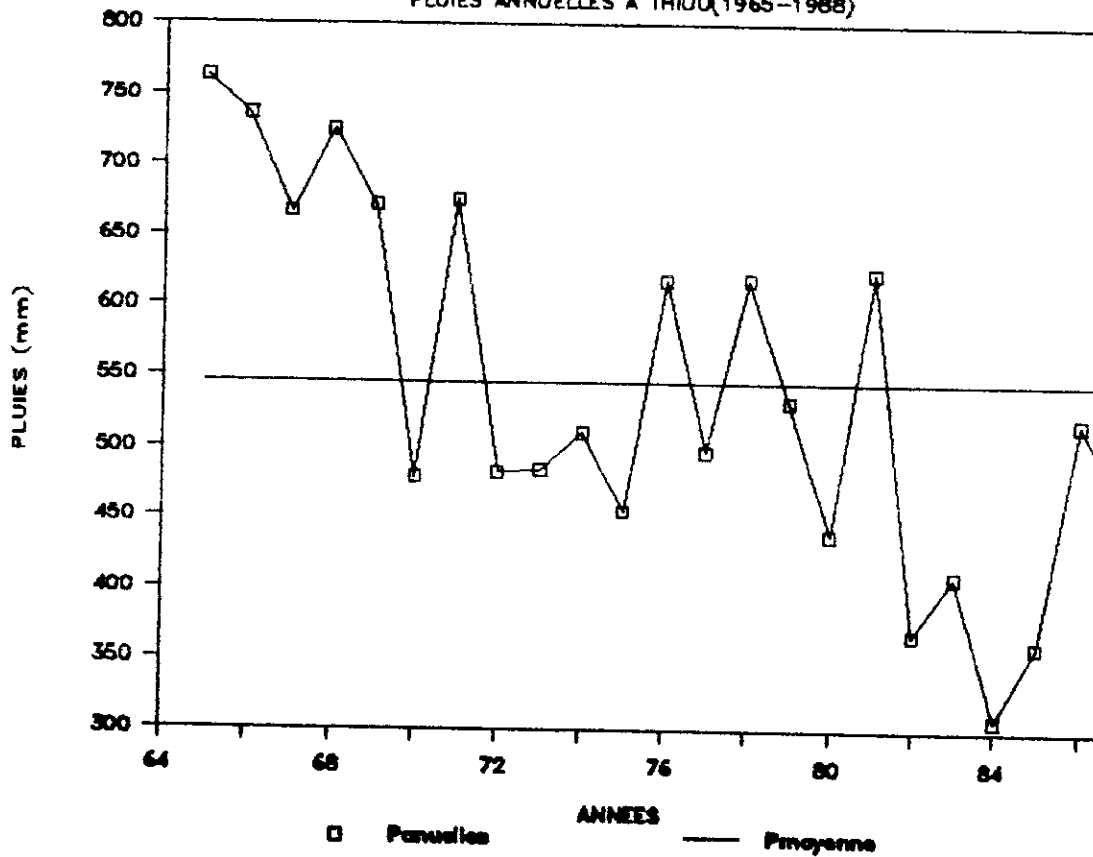


fig.3 THIOU

PLUIES ANNUELLES A THIOU(1965-1988)



I.2.2 Les températures

Sur la même période de cinq ans la température moyenne annuelle à GOURGA est de l'ordre de 35° à 36°. Les maxima mensuels (avril-mai) atteignent 41°. Les minima (janvier) varient dans la plage de 12° à 14°.

I.2.3 Les vents

Les vitesses des vents mesurées de 1987 à 1989 varient de 2.54 m/s à 0.96 m/s.

I.2.4 Evaporation et Evapotranspiration.

Mesurée au bac COLORADO, l'évaporation moyenne journalière présente des valeurs minimales en Août-Septembre (6 à 8 mm/j) et des valeurs maximales en Mars-Avril-Mai (12 à 17 mm/j).

Des mesures d'évaporation au bac flottant (1989 uniquement) réalisées sur le barrage de GOURGA fournissent aussi des valeurs indicatives. On a observé une évaporation moyenne de 5.6 mm/j en Août et de 7.3 mm/j en Septembre.

L'évapotranspiration potentielle sera assimilée à celle de OUAHIGOUYA faute de données sur le site. Cette dernière est pour les cinq dernières, maximale et proche de 8 mm/j en Avril-Mai ; elle est minimale et proche de 5 mm/j en Août.

I.3 Hydrographie

Le réseau hydrographique se limite à une rivière principale qui est temporaire : la rivière Aoto caractérisée par un lit mineur peu marqué. Celle-ci draine les eaux de ruissellement et de pluie du bassin versant et tarit en début de saison sèche.

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES GENERALES DU SITE.

II.1 Aménagements réalisés

De nombreuses études ont permis de constater du fait de la mauvaise pluviométrie :

- sur les
sables fins*
- Que les zones de versant sont peu propices à des exploitations agricoles (mauvaises récoltes).
 - Que le bas-fond de la rivière Aoto convient à plusieurs types de cultures.

Des aménagements ont été réalisés particulièrement à GOURGA dans le but d'exploiter ce bas-fond. Ceux-ci concernent la construction de prime abord d'une digue filtrante, puis d'un petit barrage à l'aval de cette dernière.

Ces ouvrages permettent le contrôle de l'onde de crue de la rivière. Les buts de cette maîtrise de l'écoulement des eaux sont essentiellement :

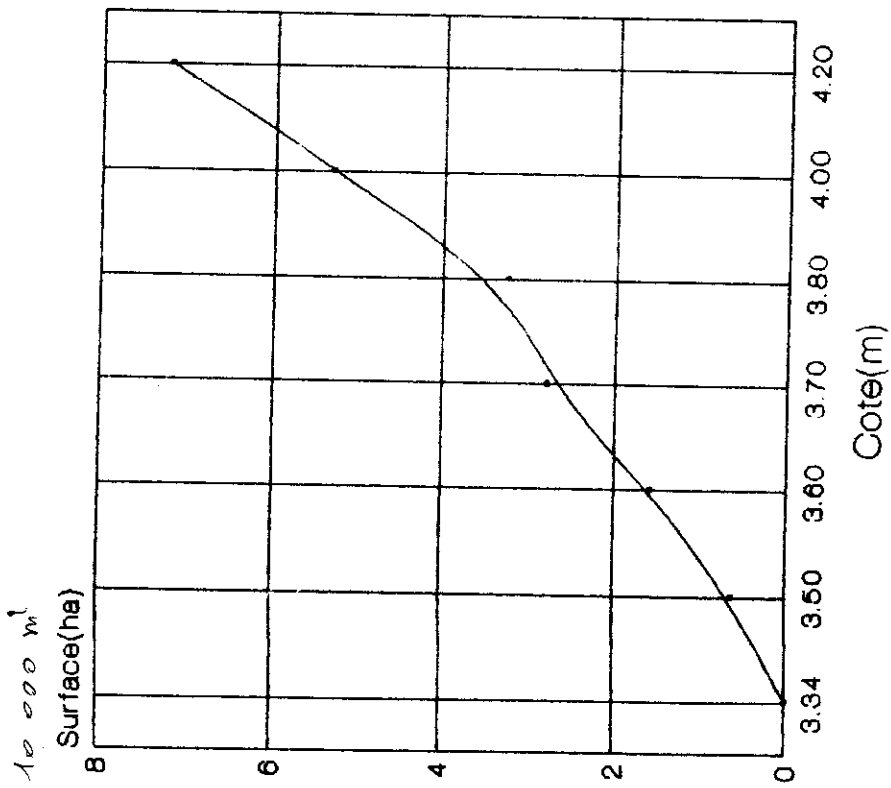
- la mise en place de cultures de riz sur les berges inondées;
- la mobilisation de la ressource eau de manière superficielle (stockage dans la cuvette) et souterraine (réalimentation des nappes).

Les deux ouvrages sont en gabions permettant le déversement des crues excédentaires sur les digues. Le barrage possède en plus une passe par batardage progressif.

Les figures 4,5,6,7 fournissent les relations cotes de remplissage-surface du plan d'eau ou volume d'eau stocké.

fig.4 BIDI-GOURGA

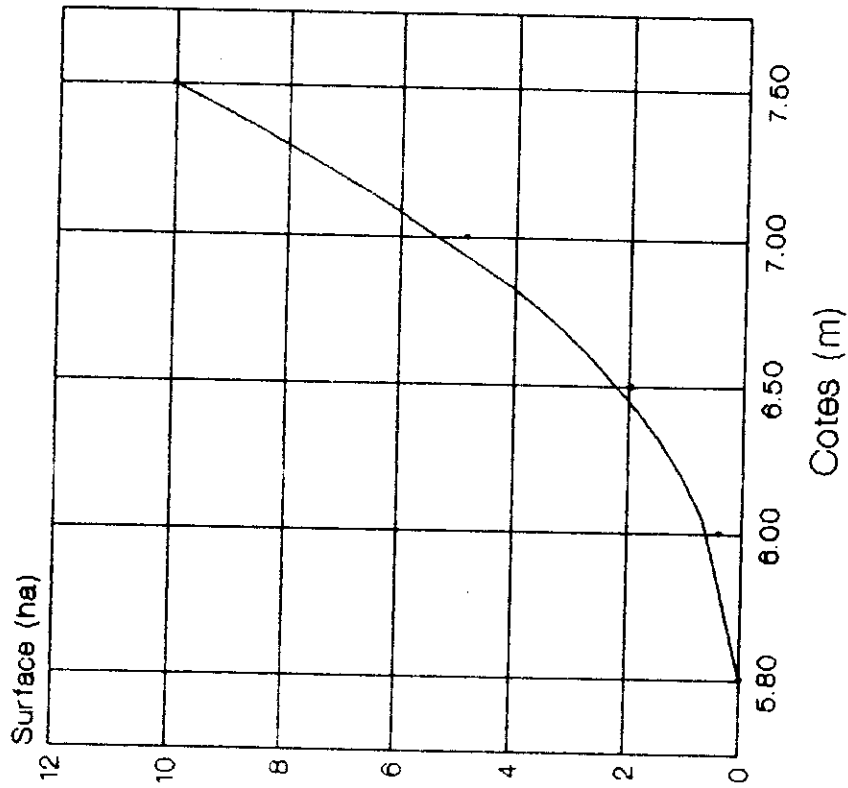
RELATION COTE/SURFACE



DIGUE FILTRANTE

fig.5 BIDI-GOURGA

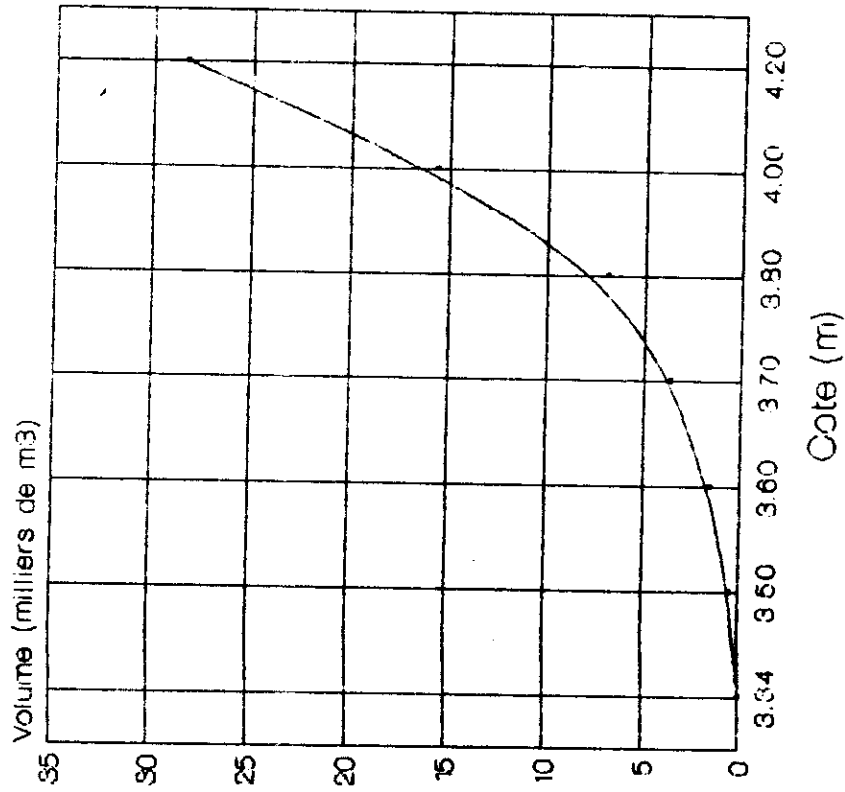
RELATION COTE/SURFACE



BARRAGE

fig.6 BIDI-GOURGA

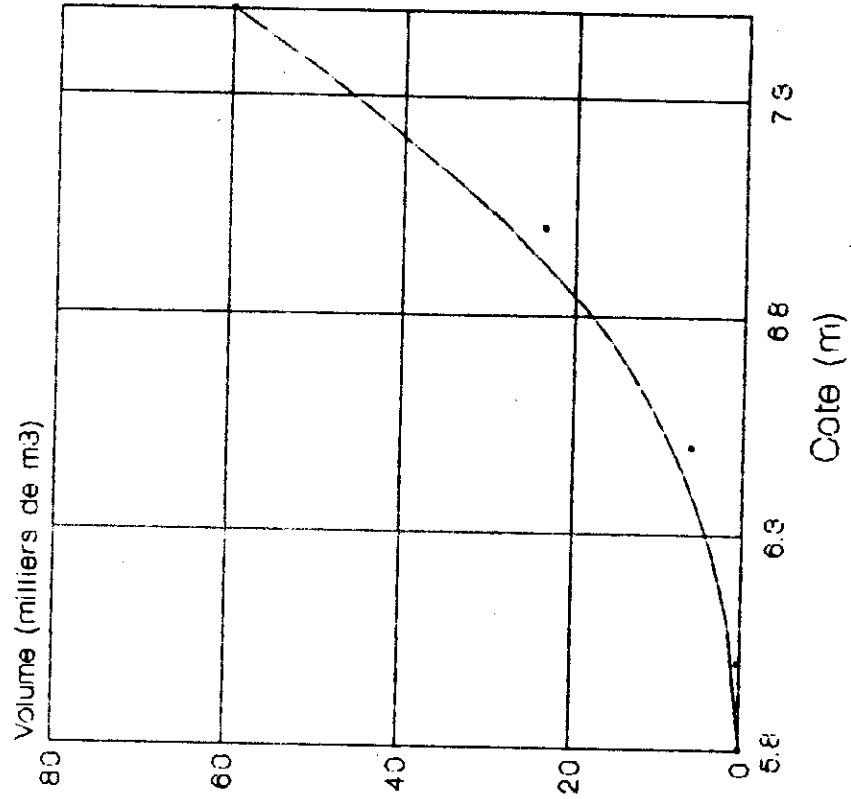
RELATION COTE/VOLUME



DIGUE FILTRANTE

fig.7 BIDI-GOURGA

RELATION COTE/VOLUME



BARRAGE

II.2 Caractéristiques du bassin versant*

II.2.1 Superficie et périmètre

La superficie du bassin versant à son exutoire (barrage) est estimée à 53 Km². Son périmètre est de l'ordre de 34 Km.

II.2.2 Pente

L'indice global de pente défini par l'ORSTOM (PUECH et CHABI-GONNI, 1982) comme étant le rapport $IG = \Delta H / L$ a été calculé.

Sa valeur est $IG = 3m/Km$.

La classe de pente est donc R_2 (pentes faibles).

II.2.3 Perméabilité

La perméabilité d'un sol est sa caractéristique essentielle vis à vis du ruissellement. Sa quantification est difficile du fait de l'hétérogénéité des bassins versants naturels.

L'étude citée ci-dessus définit aussi cinq (5) classes de pentes en P , suivi d'un indice.

Les constatations sur le terrain nous donne la possibilité de classer la pente du bassin versant à titre indicatif.

La classe P_2 (bassins imperméables avec quelques zones perméables de faible étendue ou bassins homogènes presque imperméables) correspond à notre vision.

* Sources-Cartes IGB au 1/50 000^e. Région de Gourcy.

II^{eme} PARTIE

DONNEES GENERALES DE L'AMENAGEMENT DANS LE BAS-FOND

CHAPITRE I : DONNEES AGRONOMIQUES.

I.1 Type de culture

I.1.1 Cycle végétatif

Sur le site, en amont de la digue filtrante et du barrage on pratique la culture du riz.

L'aménagement du bas-fond permet de reproduire artificiellement les inondations naturelles provoquées par les crues de la rivière Aoto. On favorise par cette technique, l'étalement de la crue et l'infiltration des eaux dans le bas fond. Le ruissellement des eaux est donc freiné.

Les paysans cultivent une variété de riz à cycle court. Les informations prises sur place nous permettent d'estimer la longueur du cycle à 90 jours.

La variété prend le nom de "RIZ GHANA".

Ce sont les seules informations dont nous disposons sur l'espèce cultivée. Cela nous amène à faire les considérations théoriques qui suivent.

I.1.2 Vitesse de croissance des plants.

La croissance du riz est fonction de la variété cultivée et des conditions de développement de la plante. Dans de bonnes conditions de développement, on peut faire les estimations suivantes :

Age de la plante	Taille de la plante
1 mois	20cm
2 mois	80cm

(J.P DOBELMAN 1976)

* Nom attribué à la variété de riz cultivée par les paysans

N.B La phase critique dans le développement de la plante est celle de l'épiaison-floraison. Elle intervient généralement après le deuxième mois de croissance (J.P DOBELMANN, 1976).

I.2 Surfaces cultivées inondables.

L'analyse topographique des surfaces cultivées inondables après aménagement agricole du bas-fond est résumée ci-dessous.

Elle nous permet de définir en fonction d'une cote du terrain naturel, la superficie cultivée inondable en dessous de celle-ci. (cf fig 8,9)

Tableaux hypsométriques des surfaces cultivées.

a = cote

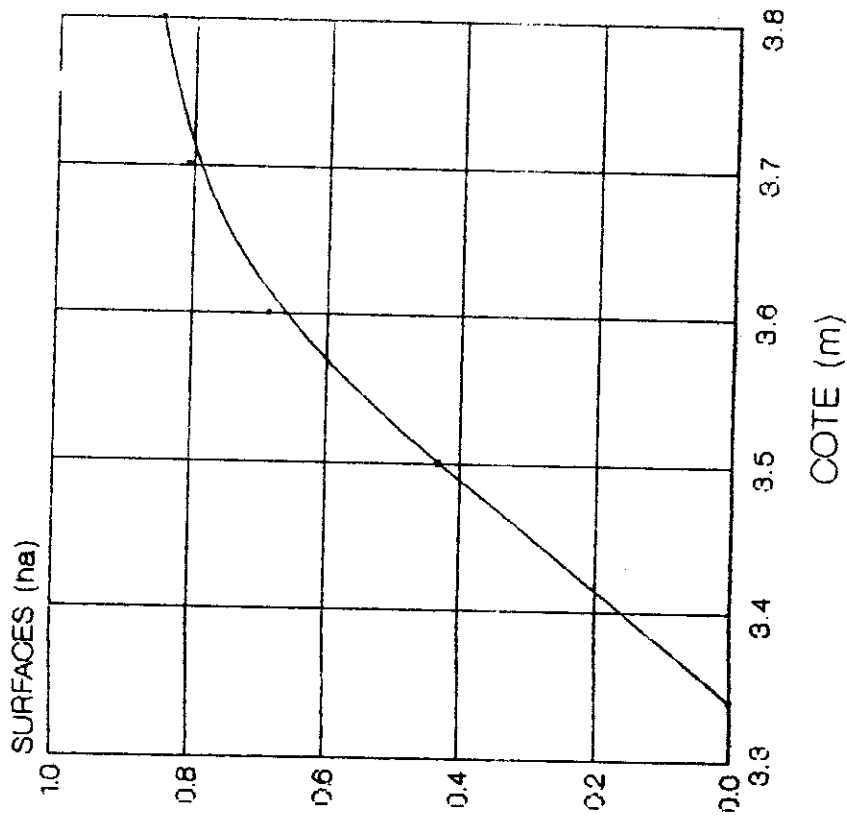
DIGUE

Cote (m)	Surface cultivée (ha)	Pourcentage (%)
a < 3.50	0.432	47.16
a < 3.60	0.688	75.11
a < 3.70	0.808	88.21
a < 3.80	0.848	92.58
a < 4.00	0.904	98.69
a < 4.20	0.916	100.00

BARRAGE

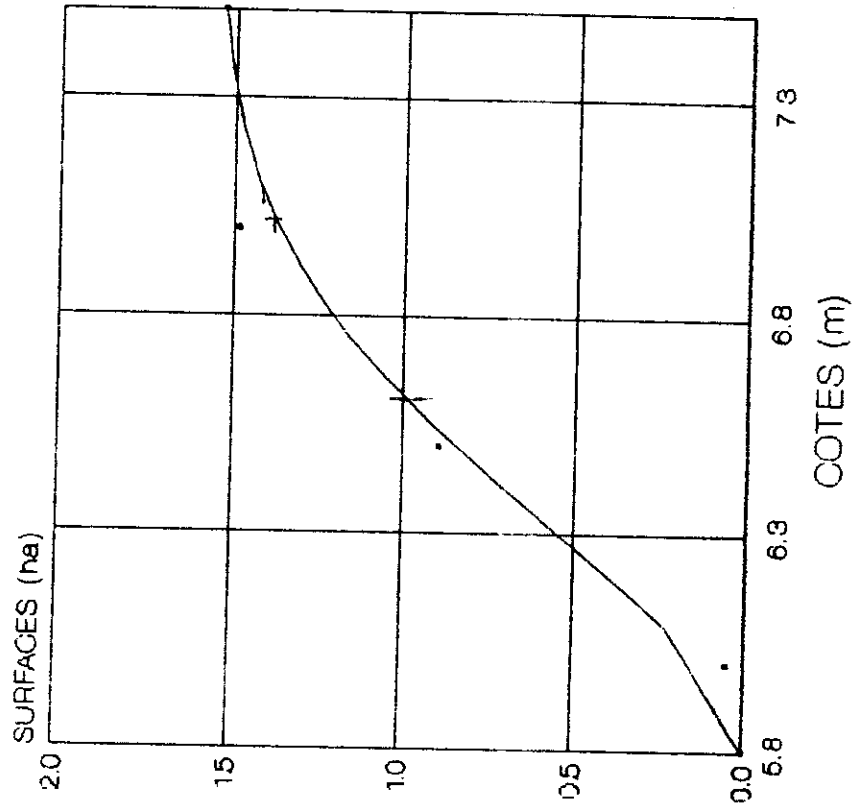
Cote (m)	Surface cultivée (ha)	Pourcentage (%)
a < 6.00	0.0512	3.34
a < 6.50	0.8932	58.34
a < 7.00	1.4820	96.80
a < 7.50	1.5308	100.00

fig.8 BIDI-GOURGA
HYPSOMETRIE DES SURFACES
CULTIVEES INONDABLES



DIGUE FILTRANTE

fig.9 BIDI-GOURGA
HYPSOMETRIE DES SURFACES
CULTIVEES INONDABLES



BARRAGE

I.3 Accidents probables en cours de végétation.

I.3.1 Destruction par inondation

La durée de la résistance du riz à la submersion est en moyenne conforme à ce qui suit (J.P DOBELMANN, 1976) :

Levée à 1 mois.....	36 heures
1 mois à 2 mois.....	72 heures
2 mois à 3 mois.....	8 jours
3 mois à 4 mois.....	8 à 9 jours

De manière générale, le riz craint beaucoup plus l'excès d'eau que le manque d'eau.

Une submersion totale prolongée entraîne la mort du riz dans les délais cités ci-dessus. Il suffit néanmoins de quelques centimètres (5 à 10) de feuilles restant à l'air libre pour que la plante soit à l'abri de l'asphyxie. Par contre les panicules des fleurs submergées deviennent stériles (J.P. DOBELMANN, cité).

I.3.2 Destruction par échaudage

Suivant la nature du sol et principalement sa capacité de rétention, accessoirement suivant la variété, le riz peut résister à d'assez longues périodes de sécheresse pendant la floraison.

Mais dès la sortie des panicules (et probablement avant), une alimentation hydrique déficiente cause la stérilité des épillets ; c'est l'échaudage, commun à toute céréale souffrant de la sécheresse au moment de la fécondation (J.P. DOBELMANN).

I.3.3 Verse des cultures

Une forte pluie engendre sûrement de forts courants d'eau. Ces derniers peuvent coucher les plants qui ont beaucoup de mal à se redresser par la suite. On constate alors des cassures et des retards de végétation. C'est la verse des cultures.

I.4 Besoins en eau du riz

q

gasp 12

- 11 -
manque

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES OUVRAGES.

II.1 Caractéristiques de la digue filtrante

Une digue filtrante est un ouvrage utilisé dans les aménagements de conservation des eaux et de sols.

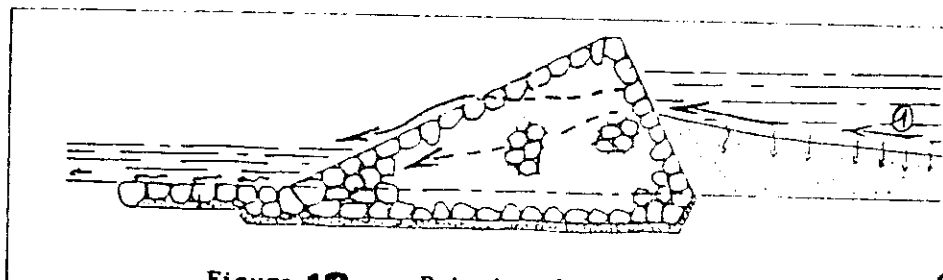


Figure 10 - Principe de fonctionnement d'une digue filtrante

(coupe en travers) (source AFV¹⁰)

-  - L'eau de crue est freinée et est retenue quelques heures après la pluie.
-  - Les particules solides transportées par l'eau se déposent en une terrasse de sédimentation : un sol se recrée.
-  - L'eau stagnante s'infiltre dans le sol et recharge sa réserve utile.
-  - Le drain de pied est prolongé sur le talus amont. On le prolonge chaque année avant la saison des pluies (sur le talus non colmaté par la terrasse). Il intercepte et dévie les écoulements à travers la digue. En augmentant le parcours à travers la digue, il ralentit donc la vidange de la retenue temporaire.
-  - L'eau en excès filtre dans le massif d'enrochement où elle perd sa force érosive avant d'être évacuée vers l'aval où une autre digue l'attend.

A GOURGA la digue filtrante colmatée à sa base est réalisée en gabions. Ce type d'ouvrage admet un déversement.

II.1.1 Dimensions. Cotes importantes

La digue a une longueur totale de 70m. Notons néanmoins que les paysans ont disposé à chacune de ses extrémités, des pierres libres. La longueur finale de la digue après cette opération est de l'ordre de 90m.

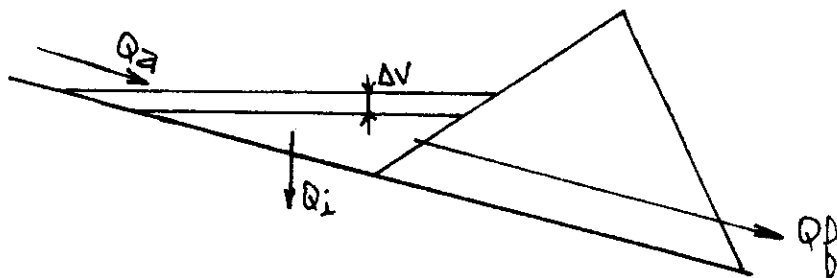
Sa hauteur est 0.70m au dessus du lit mineur de la rivière.

Si on considère que l'horizontalité de sa crête reste quasi constante dans le temps, la cote de déversement se situe à 3.75 m environ. En réalité, plusieurs facteurs physiques modifient cette horizontalité.

II.1.2 Fonctionnement hydraulique

Le plan d'eau arrive à l'amont de la digue, filtre à travers celle-ci, s'infiltre et s'évapore. Si la crue est forte il y a aussi déversement.

Nous négligeons l'infiltration (les sols en place sont argileux).



$$Q_a - (Q_i + Q_f) = \Delta V / \Delta T$$

$$Q_i = 0 \text{ d'où } Q_f = Q_a - \Delta V / \Delta T$$

Q_a est le débit arrivant en amont de la digue.

Q_i le débit d'infiltration à l'amont de la digue.

Q_f le débit de filtration à travers la digue.

ΔV la variation de volume stocké derrière la digue pendant ΔT l'intervalle de temps.

Les limnigraphes placés en amont et en aval de la digue filtrante permettent d'établir une relation entre les hauteurs d'eau à l'amont et les débits évacués.

Il faut distinguer deux cas :

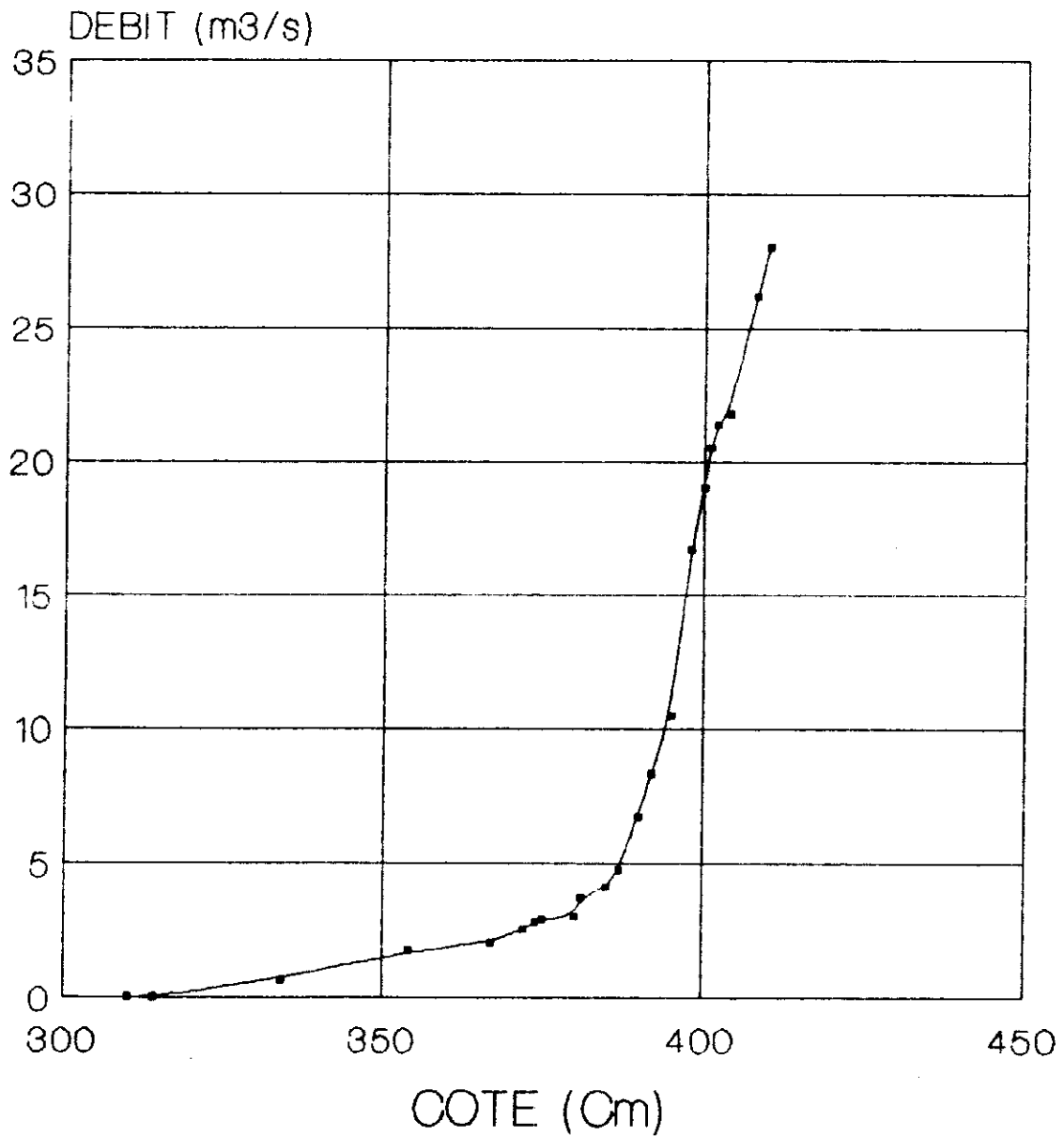
- le niveau d'eau n'atteint pas la cote de déversement : les débits évacués sont ceux qui filtrent au travers de la digue ;

- le niveau d'eau est supérieur à la cote de déversement : on prend alors en compte les débits déversés et filtrés.

On établit ainsi la courbe Q écoulé=f (cote amont) (cf.fig.11).

fig.11 BIDI-GOURGA

Q ECOULE=f(COTE AMONT)



DIGUE FILTRANTE

II.2 Caractéristiques du barrage

II.2.1 Dimensions-côtes importantes

La digue du barrage à une hauteur de 1.70m au dessus du lit mineur de la rivière.

La crête de cette digue est arasée à la cote 7.50. Sa longueur est de 104m.

II.2.2 Evaluation des débits écoulés à l'exutoire du barrage

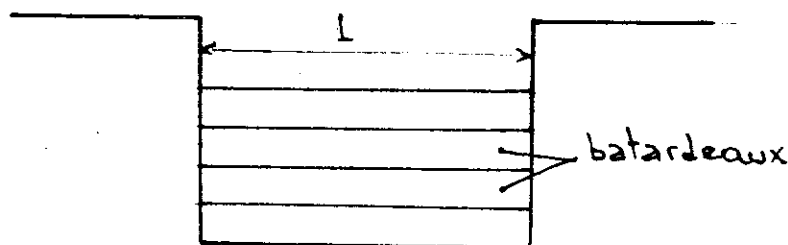
Les mesures effectuées au niveau du barrage n'offrent pas une possibilité d'établissement d'une courbe de débit écoulé.

Comme alternative nous nous référons aux formules théoriques (M. CARLIER, 1972).

En l'absence de déversement sur la digue, les excédents de crues sont évacués à l'aide d'une passe par batardeage progressif. Une série de batardeaux de 15cm chacun est installée en fonction de l'évolution des cultures en amont du barrage.

On a une passe de 2m de largeur arasé à la cote 6.00m.

La configuration de celle-ci est la suivante :



Cet ouvrage se comportera comme un déversoir mince paroi avec contraction latérale.

La formule utilisée est la suivante=

$$Q = mLH\sqrt{2GH} \text{ (M. CARLIER cité, pages 193 et 197)}$$

- Q. Débit écoulé
- m . Coefficient de débit (m=0.40 en première approche)
- L . Largeur de déversement
- H . Charge sur les batardeaux
- G . Accélération de la pesanteur

La gestion des batardeaux suit un schéma précis. L'évacuation des débits est donc fonction de cette gestion.

En début de saison des pluies la passe est complètement ouverte.

En fin de saison, elle est entièrement fermée.

Le débit déversé sur les batardeaux est fonction de cette gestion.

A la montée du plan d'eau (fortes crues), l'évacuation des eaux se fait d'une part par la passe, d'autre part, par déversement sur la digue.

Notons cependant qu'aucun déversement n'a été constaté ces dernières années.

La digue se comportera comme un déversoir à seuil large.

La formule de déversement est donnée ci-dessous.

$$Q = 0.385 L H \sqrt{2GH} \quad (\text{M. CARTIER cité, page 208})$$

- Q . Débit déversé sur la digue
- L . Longueur de la digue (L=104m)
- H . Charge sur la digue
- G . Accélération de la pesanteur.

fig.12 DEBITS EVACUES A L'EXUTOIRE
DU BARRAGE

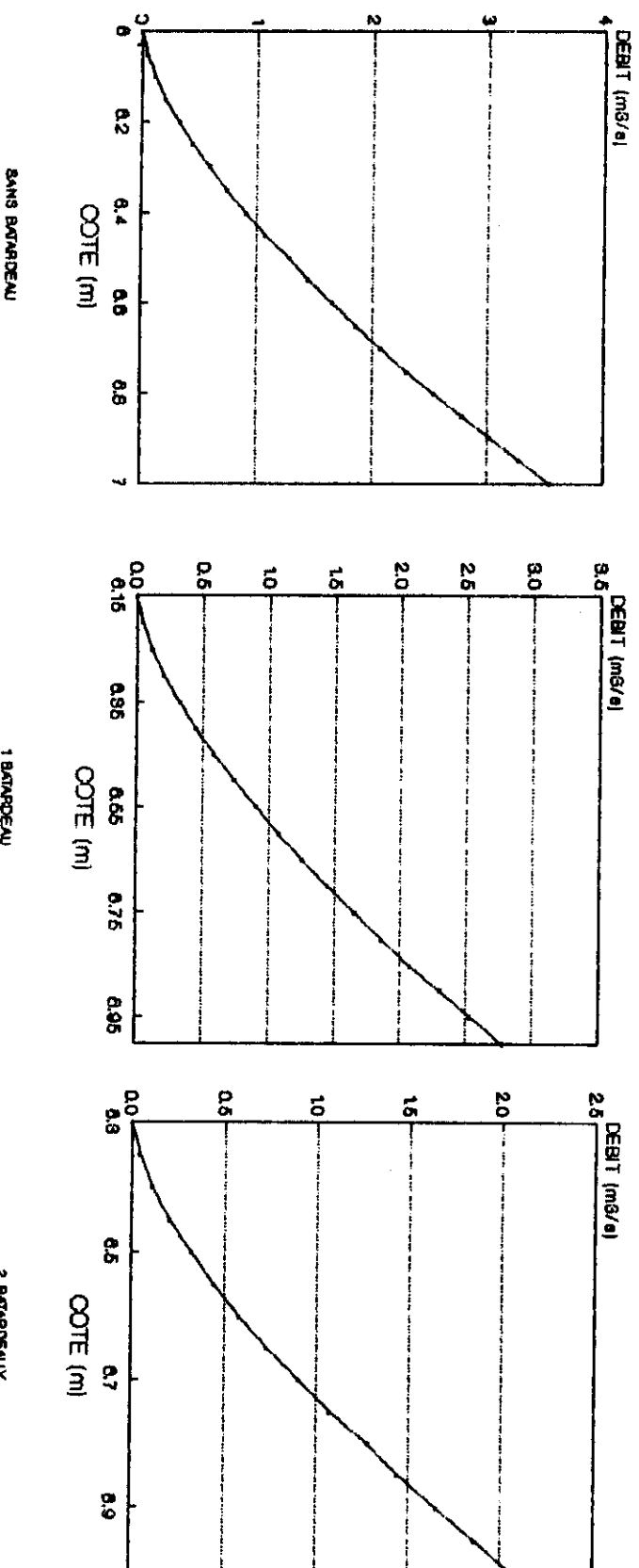


fig.12

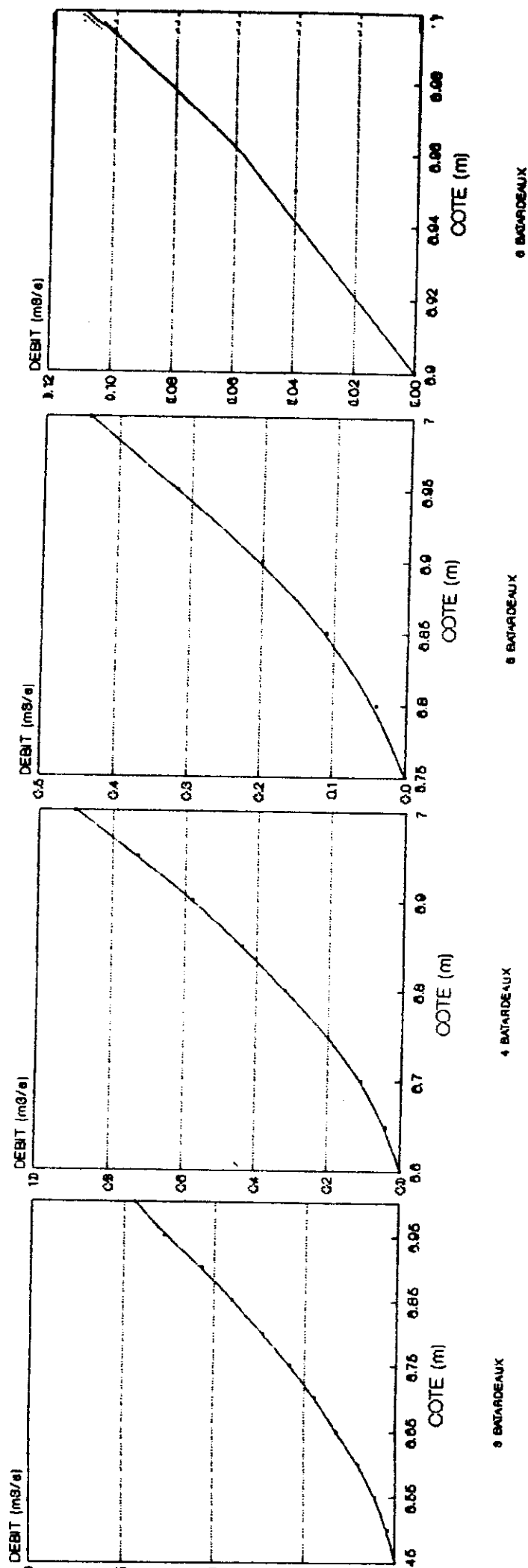
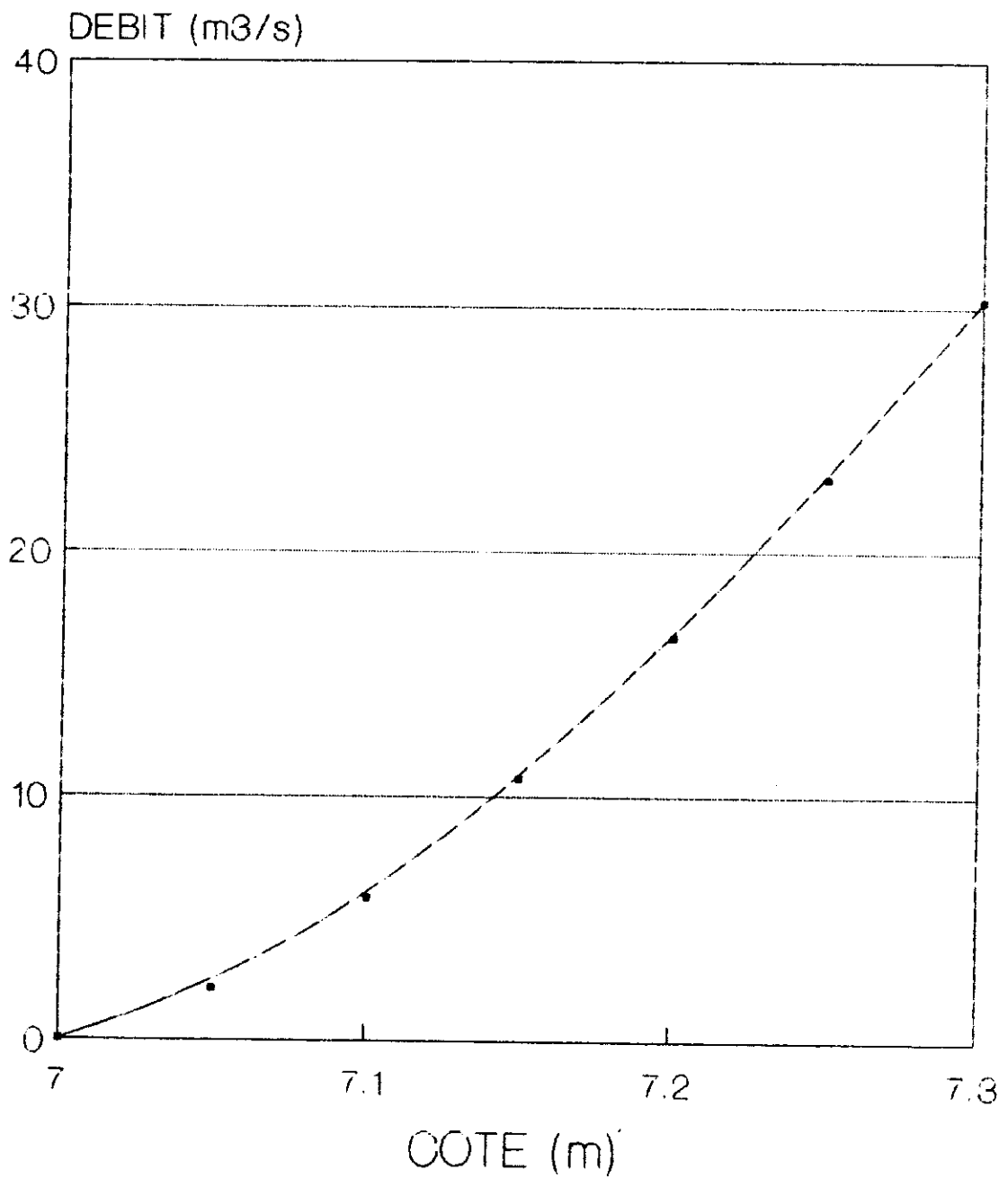


fig.12 BIDI-GOURGA



DEVERSEMENT SUR LA DIGUE

IIIème PARTIE

ANALYSE HYDROLOGIQUE

CHAPITRE I : HYDROLOGIE STATISTIQUE

I.1 Précipitations

Les observations de pluies à GOURGA donnent les valeurs de la pluviométrie sur une période de cinq ans.

Une analyse statistique sur les cinq années de mesures ne donnera pas des résultats significatifs. Nous prenons en compte les données de la station de Thiou (OUAHIGOUYA) qui nous permettent d'estimer celles de GOURGA sur une assez longue période (extension de données).

On peut en effet penser que les mesures des deux stations voisines sont interdépendantes.

La méthode utilisée est celle des régressions. L'importance des données a nécessité l'utilisation de l'ordinateur pour les calculs. (Logiciels HYDSTAT, LOTUS 123).

a. Etude statistique de la pluviométrie annuelle à THIOU

quel intérêt!

Nous avons ajusté l'échantillon de pluies annuelles à une loi normale (loi de GAUSS).

On obtient :

Taille de l'échantillon	:	24
Valeur maximale	:	763.2
Valeur minimale	:	308.5
Moyenne X_{24}	:	545.7
Variance	:	17424.6
Ecart type S_{24}	:	132.0

Cette ajustement est valable pour un intervalle de confiance à 80% (sur les 24 valeurs, 21 sont dans la bande de confiance. Le pourcentage effectif de confiance est de 87.5%).

L'analyse fréquentielle donne les résultats suivants :

FREQUENCE	A N N E E	PLUIE (mm)
0.1	Décennale sèche	376.7
0.2	Quinquennale sèche	434.8
0.8	Quinquennale humide	656.6
0.9	Décennale humide	714.7

b. Etude statistique de la pluviométrie annuelle à GOURGA

X_k = Observations à THIOU pour les quatre années communes (1985-1988).

Y_k = Observations à GOURGA pour les quatre années communes (1985-1988).

La régression linéaire effectuée donne ce qui suit :

$$k = 4$$

Equation de la droite $Y_{\text{estimé}} = 0.6112 X + 144.6$

Coefficient de corrélation $r = 0.955$

L'échantillon ainsi estimé représente 25 valeurs (1965 à 1990).

- Gain de précision (E)

$E = 1 + (1 - K/N) ((1 - (K-2)r^2) / (K-3))$ n = nombre de mesures à THIOU.

$$E = 1 + (1 - 4/24) ((1 - 2(0.955)^2) / 1)$$

$$E = 0.313$$

Le poids auquel correspond la série étendue est $n' = K/E$

$n' = 4/0.313 \# 13$ ans

Nous effectuons ensuite un ajustement à la loi normale des pluies de GOURGA (pluies estimées).

Le test de confiance à 80% révèle que l'ajustement est valable.

Les résultats sont :

Taille de l'échantillon	:	24
Valeur maximale	:	611.6
Valeur minimale	:	333.3
Moyenne	:	476.9
Variance	:	6932.3
Ecart type	:	82.3

FREQUENCE	A N N E E	PLUIE (mm)
0.1	Décennale sèche	370.3
0.2	Quinquennale sèche	406.9
0.8	Quinquennale humide	546.8
0.9	Décennale humide	583.5

quel intérêt ?

c. Etude statistique de la pluviométrie mensuelle à GOURGA

Seuls les mois de culture seront pris en compte dans cet étude (mois de Juillet, Août, Septembre).

Les mêmes opérations que pour les pluies annuelles donnent ce qui suit:

- Mois de Juillet

FREQUENCE	PLUIE
0.1	109.8
0.2	115.0
0.5	125.0*
0.8	134.9
0.9	140.1

- Mois d'Août

FREQUENCE	PLUIE (mm)
0.1	82.2
0.2	114.1
0.5	175.0*
0.8	235.8
0.9	267.7

- Mois de Septembre

FREQUENCE	PLUIE (mm)
0.1	39.9
0.2	65.8
0.5	115.2*
0.8	164.5
0.9	190.4

d. Etude statistique des pluies journalières maximales

Les données dont nous disposons ne permettent pas de faire une régression en vue de l'extension des valeurs de GOURGA.

Nous prendrons en compte les relevés de THIOU (1965-1984).

On obtient :

Moyenne : 56.9

Ecart type : 21.0

Médiane : 53.7

FREQUENCE	A N N E E	HAUTEUR DE P.J.M (mm)
0.1	Décennale sèche	30.2
0.2	Quinquennale sèche	37.2
0.8	Quinquennale humide	75.9
0.9	Décennale humide	90.7

* Nom attribué à la variété de riz cultivée par les paysans
N.B La phase critique dans le développement de la plante est celle de l'épiaison-floraison. Elle intervient généralement après le deuxième mois de croissance (J.P DOBELMANN, 1976).

CHAPITRE II : HYDROLOGIE DU BAS FOND

II.1 Etude des crues de la rivière Aoto

II.1.1 Paramètres hydrométriques des crues

Une étude des crues sur un bassin consiste à mettre en relation les chutes de pluies observées sur le bassin (pluie moyenne et intensité de pluie) et les hydrogrammes de crues générées par ces pluies.

Cela représente sur les 5 années d'observations une quantité importante de données à analyser.

Pour notre étude, nous faisons cette analyse pour les fortes pluies observées de 1986 à 1989.

Les données de pluies moyennes sur le bassin de GOURGA sont fournies.

Il s'agit alors de déterminer les paramètres hydrométriques des crues à savoir :

. le débit de base en début de crue (Qbd) : débit observé avant la montée de la crue.

. le débit de base en fin de crue (Qbf) : débit observé en fin de crue.

. le débit maximum de crue : débit le plus fort de la crue.

. le temps de base de la crue : temps qui sépare le début de la fin de la crue.

. le temps de montée de la crue (TM) : temps qui sépare le début de la crue de la pointe de crue.

. le volume de base (VB) : volume écoulé complémentaire du volume de crue.

$$VB = \frac{(Qbf + Qbd) \times TM}{2}$$

. le volume écoulé (VE) : intégrale de la fonction $Q=F(T)$ sur le temps de base.

. le volume de crue (VC) ou volume ruisselé: différence entre le volume écoulé et le volume de base.

. le débit moyen (QM) : $QM=VE/TB$

. la lame de crue (LC) : hauteur d'eau moyenne sur le bassin équivalent au volume de crue.

$$\underline{LC=VC/S}$$

"S" étant la surface du bassin

Pour établir la relation pluie-débit, il faut aussi prendre en considération l'état du bassin au moment où survient l'averse génératrice du crue.

L'indice de saturation (IH) des sols paraît être le meilleur paramètre.

Ne disposant pas de mesure de cet indice, nous considérons trois périodes représentant sûrement des indices de saturation différents.

- Mois de Juillet : début de saison de pluie. IH est minimum.
- Mois d'Août : milieu de saison de pluie. IH est moyen.
- Mois de Septembre: fin de saison de pluie. IH est maximum.

Enfin, dans le but de fournir une estimation de la crue de fréquence décennale, nous définissons le coefficient de forme de la crue :

$$\underline{CF=Q_{max}/QM}$$

Nous dégageons trois formes principales d'hydrogrammes tenant compte de l'indice de saturation des sols (fig 13,14,15). Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Hydrogramme de début de saison de pluie.

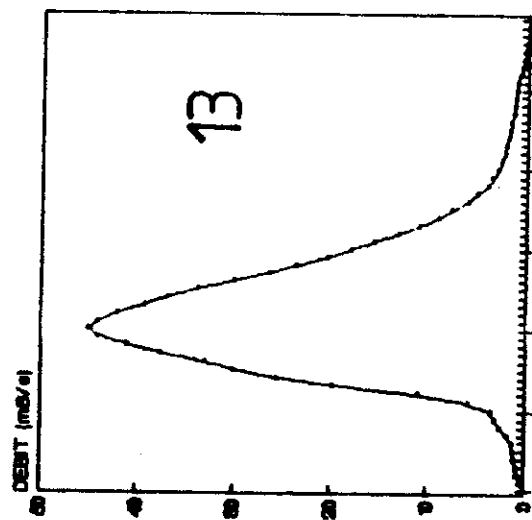
TM = 3 à 4 heures

TB = 8 à 15 heures

CF = 2.6

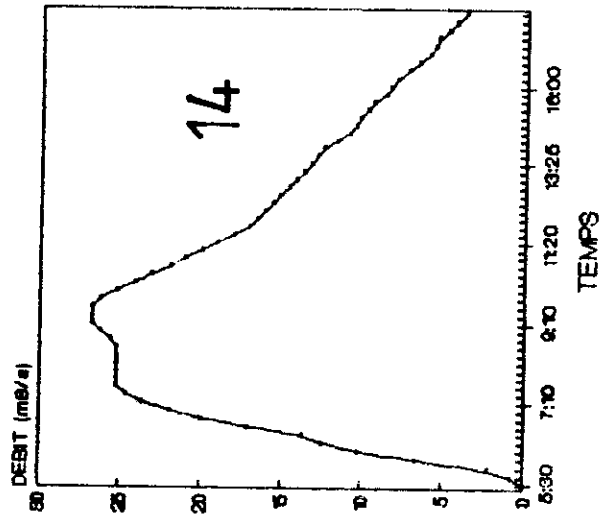
fig 13,14,15

FORMES DES HYDROGRAMMES DE CRUES



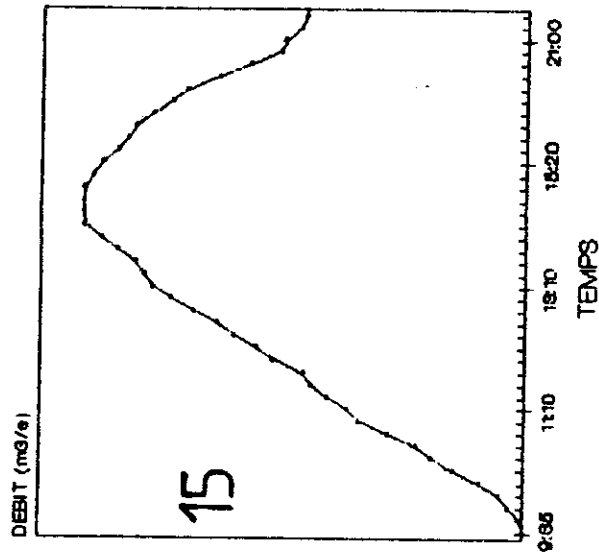
TEMPS

DEBUT SAISON DES PLUIES



TEMPS

M-SAISON DES PLUIES



FIN DE SAISON DES PLUIES

Hydrogramme de mi-saison de pluie.

TM = 4 à 9 heures

TB = 15 à 23 heures

CF = 2.3

Hydrogramme de fin de saison de pluie

TM = 5 heures

TB = 15 à 26 heures

CF = 2

II.1.2 Relation entre lame de crue (LC) et pluie moyenne sur le bassin versant.

En fonction de l'indice de saturation des sols, nous établissons la relation citée. Cela n'est qu'une estimation du fait du nombre peu important des crues analysées (fig16).

Pour ces relations, nous faisons la supposition que, passé un seuil de pluie donné et en fonction de l'indice d'humidité des sols, le bassin se comporte de façon identique à la courbe enveloppe des ruissellements maximaux. Dans tous les cas, cette courbe est assimilée à une droite.

La vérification de cette hypothèse n'est possible qu'après une analyse précise des événements exceptionnels.

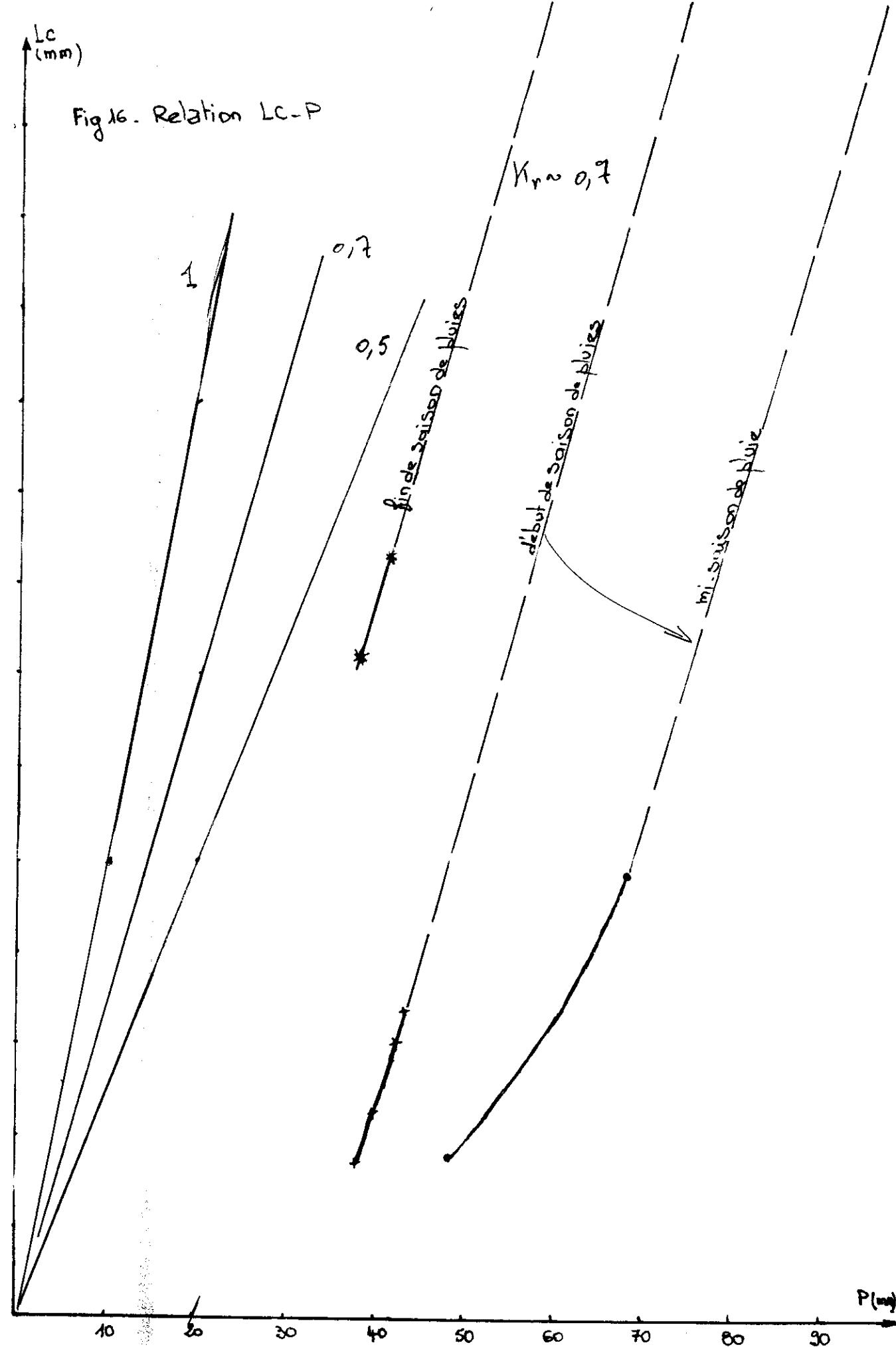
Nous nous situerons dans le contexte de cette hypothèse pour notre étude.

II.1.3 Relation pluie moyenne-débit de base

Le débit de base en début de crue (Qbd) est nul pour la majorité des hydrogrammes observés. Pour la crue décennale, il ne serait pas préjudiciable de prendre en compte cette valeur nulle.

Le débit de base en fin de crue (Qbf) varie en fonction de la pluie moyenne. Cette variation est peu sensible pour les crues provoquées par des averses de 30 à 50mm.

Fig 16. Relation LC-P



La valeur Q_{bf} estimée pour la crue du 14-9-87 est de l'ordre de $2.8\text{m}^3/\text{s}$ pour $P=67.6\text{mm}$.

On peut considérer que pour la crue décennale Q_{bf} sera de l'ordre de $3\text{m}^3/\text{s}$.

II.1.4 Estimation du temps de base de la crue (TB)

Les temps de base constatés sont variables pour des hauteurs de pluies différentes et des indices de saturation différents.

On constate que cette variabilité est surtout marquée pour les différents stades de saison des pluies.

Ce n'est pas une justification
Dans tous les cas une valeur de 30 heures paraît être une estimation valable ; ceci pour ne pas rendre maximum les débits moyens estimés.
A titre de comparaison, l'étude RODIER-AUVRAY (RODIER et AUVRAY, Juillet 1965) fournit une estimation de $TB = 34$ heures pour le bassin versant ($S=53\text{Km}^2$, pente R_2).

II.1.5 Coefficient de forme (CF)

Les coefficients de forme trouvés varient de 0.8 à 2.04 avec cependant la majorité groupée dans l'intervalle (2, 2.84).

Nous considérons la valeur la plus forte ($CF=2.84$).

II.2 Paramètres hydrologiques de la crue decennale.

Nous avons estimé l'averse décennale à la valeur 90.7mm.

Comme dans le document cité au II.1.4 , nous estimons que la crue décennale est engendrée par l'averse décennale.

Pour la valeur de pluie ci-dessus et en tenant compte des résultats de l'étude des hydrogrammes exceptionnels, on arrive aux conclusions suivantes : (voir tableau).

En mi saison, la valeur de la crue décennale paraît être surestimée. C'est une conséquence du manque de données importantes dans l'établissement de la relation pluie-lame de crue (relation LC-P).

La méthode RODIER-AUVRAY nous fournit une valeur comparative:

$Q_{10}=39.2\text{m}^3/\text{s}$ avec un coefficient de ruissellement $K_r=37\%$.

II.3 Conclusion de l'étude hydrologique

Les différentes relations établies nous permettent d'avoir un certain nombre de données hydrologiques sur le bas-fond étudié. Quoiqu'il faut une série importante de mesures pour arriver à une conclusion fiable, les estimations faites apportent des résultats exploitables.

La suite de la présente étude prend en compte ces valeurs préétablies.

P = 90.7mm										
PERIODE	LC	Vc=S*LC 10 ³ m ³	TB (h)	Qbd m ³ /s	Qbf m ³ /s	VB 10 ³ m ³	VE 10 ³ m ³	QM m ³ /s	CF	Qmax m ³ /s
Début saison de pluie	26	1378	30	0	3	162	1216	11.3	2.84	32.1
Mi-saison de pluie	49.8	2639.4	30	0	3	162	2477.4	24.4	2.84	69.3
Fin saison de pluie	24.5	1298.5	30	0	3	162	1136.5	12.02	2.84	34.1

IVème PARTIE

SYNTHESE DES RISQUES DE SECHERESSE ET D'INONDATION

CHAPITRE I : INTRODUCTION

Comme nous l'avons signalé à l'avance, les cultures sont exposées aux vices de la nature. Entre autres la sécheresse et l'inondation portent sûrement le plus de préjudices à celles-ci.

Les données établies nous permettent de caractériser ces risques au regard de l'évolution des plants.

CHAPITRE :II LES RISQUES DE SECHERESSE

Le manque d'eau entraîne dans tous les cas le flétrissement et, par la suite la mort des plants de riz.

Il faut alors établir un parallèle entre les besoins en eau du riz et les apports pluviométriques. Ce dont on est sûr, c'est que le bas-fond bénéficie d'un minimum de pluviométrie même en année sèche. On est alors amené à se poser la question suivante : les pluies satisfont-elles les besoins des cultures ?

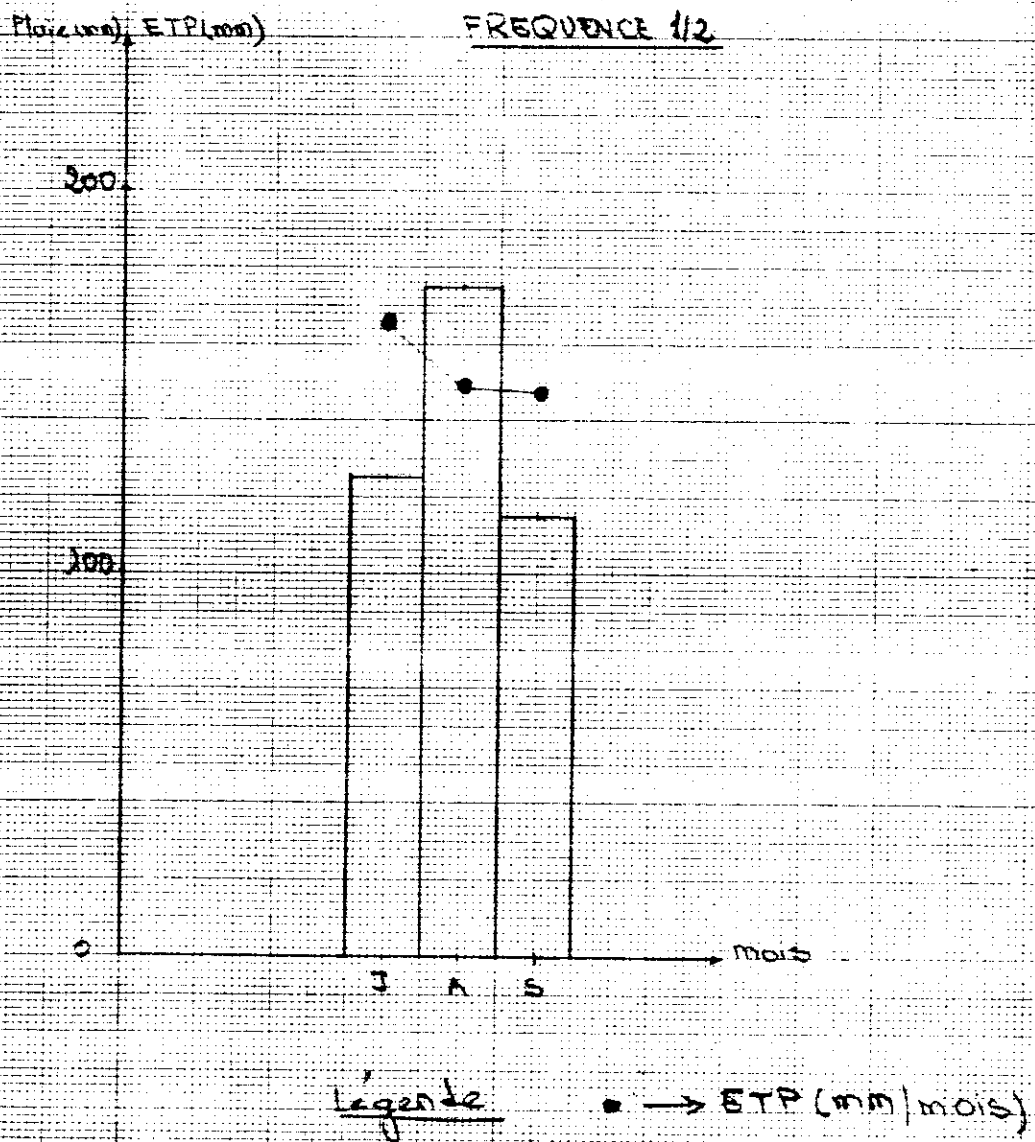
Il s'agit alors de voir jusqu'à quel seuil cette satisfaction se fait. Nous notons cependant les difficultés au niveau de l'appréciation de la capacité de rétention des sols du bas-fond et de la vitesse d'infiltration de la pluie sur sol sec et sol déjà humecté.

Cela fait défaut à l'établissement de façon précise du bilan hydrique.

Dans tous les cas, en établissant une comparaison entre les hauteurs de pluies tombées et l'Evapotranspiration Potentielle, on a un indicateur du seuil de satisfaction des besoins en eau des plantes.

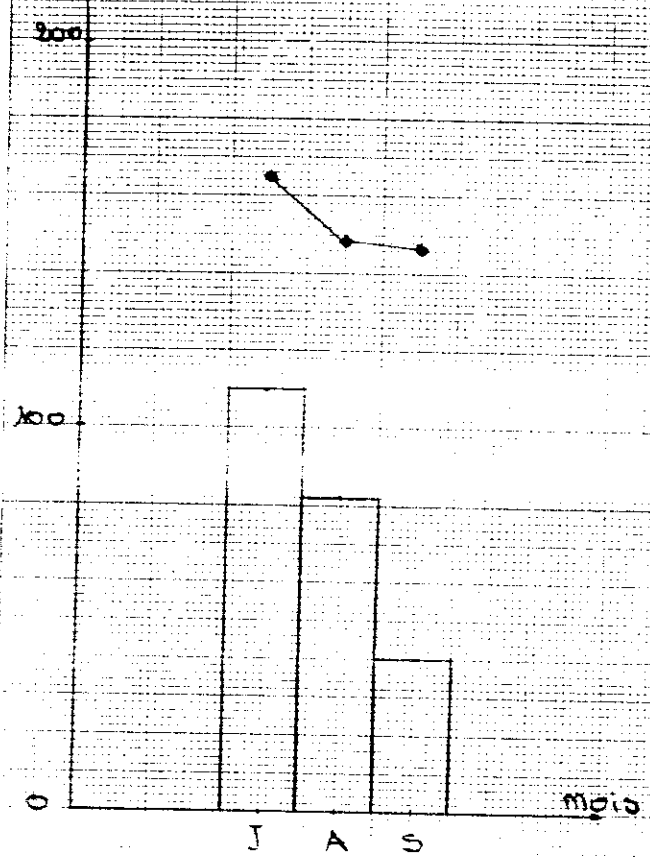
Cela se traduit par les représentations ci-après (cf fig.17).

FIG. 11 FREQUENCE DES PLUIES
MENSUELLES. COMPARAISON
AVEC L'ETP.



Pluie (mm) ETP (mm)

FREQUENCE 1/10



Pluie (mm) ETP (mm)

FREQUENCE 1/5

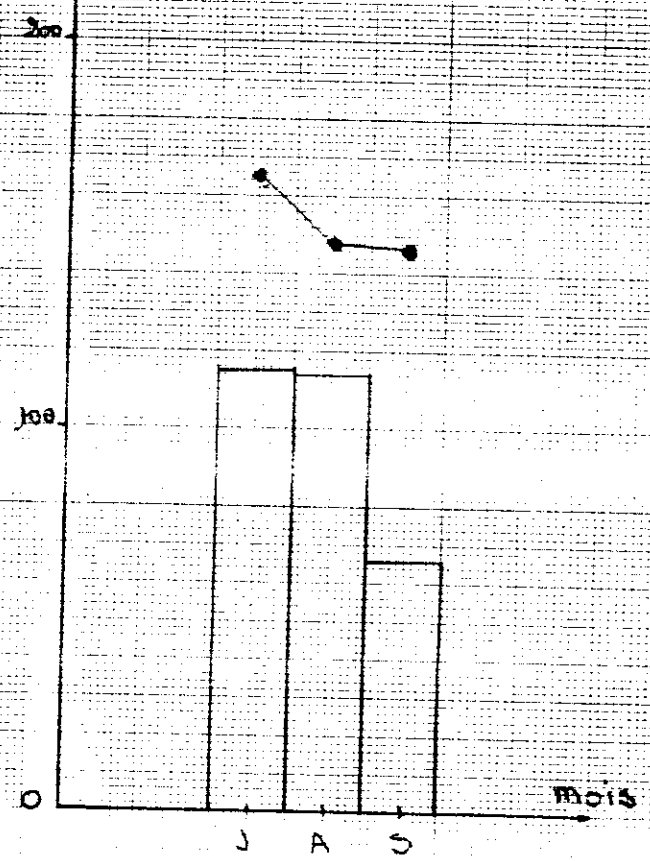
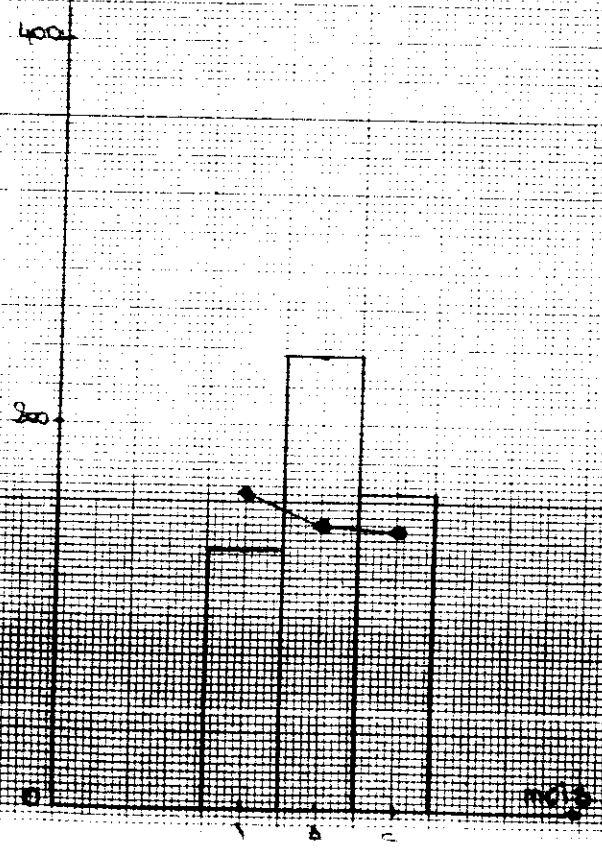


FIG. 17

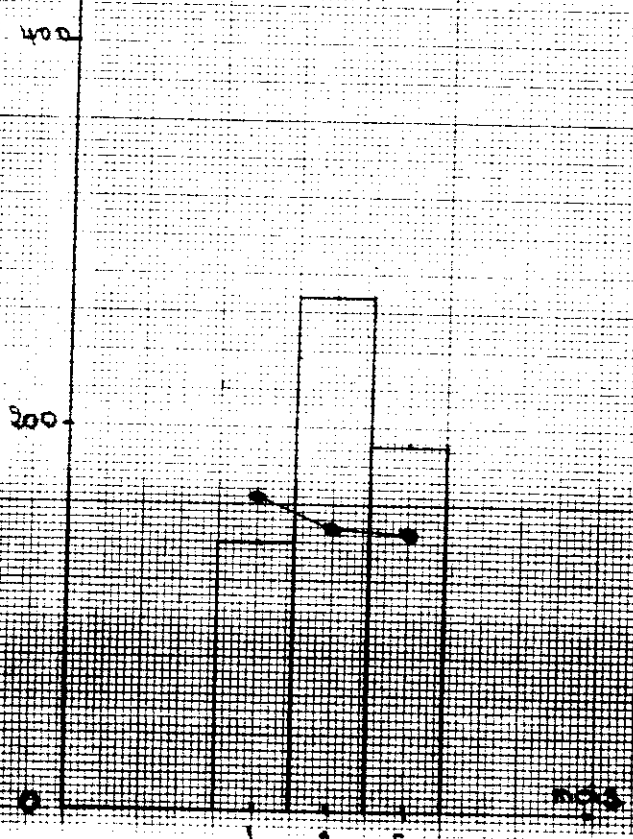
Pluie (mm) ETP (mm)

FREQUENCE 4/5



Pluie (mm) ETP (mm)

FREQUENCE 3/10



Le besoin en eau du riz par rapport à l'ETP ?

II.1 Conséquence de la répartition des pluies

Les graphiques établis montrent qu'en début de culture (juillet), l'Evapotranspiration Potentielle du mois est supérieure aux précipitations.

Pour des fréquences de pluies de 1/10, 1/5, 1/2, 4/5, 9/10, les hauteurs estimées ne représentent que 66.4 à 84.7% de l'ETP moyenne.

Concernant le mois d'Août les précipitations sont supérieures à l'ETP pour une pluviométrie moyenne, quinquennale humide et décennale humide. Par contre les pluies décennale sèche et quinquennale sèche sont nettement inférieures à l'ETP.

Le mois de Septembre connaît des déficits majeurs pour des fréquences 1/10, 1/5 et 1/2. L'ETP est dépassé pour les pluies de fréquence 4/5 et 9/10.

En résumé, le mois de ~~Juillet~~ reste déficitaire quelque soit la pluviométrie. Cet état de faits est préjudiciable au développement des jeunes plants, entravant ainsi le cycle végétatif.

oui Les risques de sécheresse au mois d'Août sont par contre minimes. On a pour ce mois, 1 chance sur 5 de ne pas satisfaire les besoins du riz.

Le mois de Septembre révèle un bilan déficitaire 1 année sur 2. Cela est très préjudiciable au riz qui au début de ce mois, est dans son stade d'épiaison-floraison.

II.2 Analyse des pluies journalières pouvant provoquer une crue

Le bassin versant de la rivière Aoto du point de vue écoulement superficiel, ne répond positivement qu'à une pluie > 30mn (source ORSTOM). Il faut donc une pluie de plus de 30mm pour engendrer une crue.

Il est alors opportun d'analyser les pluies répondant à ce critère.

Nous prenons en compte les données des cinq années considérées au paravant.

La base de notre analyse réside dans la considération des jours pluvieux des mois de Juillet-Août-Septembre.

ANNEE	NOMBRE DE JOURS PLUVIEUX	NOMBRE DE PLUIES >30mm	% DE PLUIES <30mm
1985	36	1	97.22
1986	37	3	91.89
1987	33	2	93.94
1988	40	6	90.00
1989	30	5	83.33

Cette analyse révèle que sur les cinq dernières années 80% au moins des pluies journalières ne provoquent aucune crue.

Cela signifie que les apports d'eau restent insuffisant, dans 80% des cas.

De plus, la majorité des crues est constatée dans les mois de Juillet et d'Août alors que la période cruciale (épiaison-floraison) se situerait plutôt en début septembre.

II.3 Conclusion de la synthèse des risques de sécheresse

Les cultures sont exposées dans tous les cas à des risques importants de sécheresse.

Nous avons vu au cours de l'étude précédente qu'elles subiront les conséquences de celle-ci 1 année sur 2.

On pourra s'attendre donc à avoir de mauvaises récoltes ^{une} ~~chaque~~ saison sur deux.

Ces risques sont d'autant plus marqués car les débuts de saison de pluie paraissent déficitaires (il manquera 15.3 à 33.6% de pluie).

Le bilan global fournit la preuve d'un risque poussé du point de vue sécheresse.

CHAPITRE III : LES RISQUES D'INONDATION

L'inondation des parties en amont de la digue filtrante ou du barrage se traduirait par une chute des rendements des cultures inondées. Une destruction complète des récoltes surviendrait aussi lorsque la submersion se prolonge.

Caractériser les risques d'inondation consiste à effectuer l'analyse de deux types de risques :

- Les risques hydrologiques d'inondation
- Les risques agronomiques de chute de rendement en relation avec la hauteur et la durée de submersion des cultures.

III.1 Etude hydrologique des risques d'inondation

Les causes d'inondation sont essentiellement fonction du ruissellement important sur le bassin versant.

Cela favorise l'arrivée des crues.

Il s'agit alors de faire le bilan des apports et des pertes en eau au niveau de GOURGA.

Les apports concernent les pluies tombées qui ruissellent par la suite.

Les pertes en eau sont données comme suit :

Pertes en eau = Ecoulement à l'exutoire des ouvrages + Volume évaporé + infiltration

Nous avons estimé que l'infiltration à une valeur nulle. L'évaporation moyenne journalière serait de l'ordre de 7mm/j.

A l'arrivée d'une crue, tous ces facteurs rentrent en ligne de compte pour déterminer les hauteurs d'eau à des périodes données.

Les deux zones (amont digue filtrante et amont barrage) ne réagissent sûrement pas de la même manière au passage des crues.

Nous distingueront donc les risques à ces divers niveaux.

III.1.1 Risques hydrologiques d'inondation des cultures situées à l'amont de la digue filtrante.

L'analyse des hydrogrammes prouve qu'on peut s'attendre à des temps de base (TB) de crue égaux au plus à 30 heures.

La durée minimum de résistance du riz à la submersion étant de 36 heures, les cultures ne subiront pas de grands dommages. Les pertes seront peut être dues à la verse probable des plants si les crues ont lieu en Juillet. Par contre les autres périodes (Août, Septembre) sont sans danger.

II.1.2 Risques hydrologiques d'inondation des cultures situées dans la cuvette du barrage.

L'effet de stockage de l'eau à ce niveau prolonge les durées de submersion. La gestion des batardeaux joue alors un rôle prépondérant.

Le schéma de gestion ainsi que les débits maximums évacués (lorsqu'il n'y a pas déversement sur la digue) figurent dans le tableau ci-dessous.

Date	Niveau batardeaux (m)	Hauteur maxi lame d'eau (m)	QM (m ³ /s)
15 Juillet	6.15	0.85	2.78
31 Juillet	6.30	0.70	2.07
15 Août	6.45	0.55	1.44
31 Août	6.60	0.40	0.90
15 Septembre	6.75	0.25	0.44
30 Septembre	6.90	0.10	0.11

*Vol restant=Vol barrage plein-Vol évacué (si vol évacué<Vpen)
=Vpen (si Vpen<V évacué)

Les débits évacués dans ce cas n'excèderaient pas $2.78 \text{ m}^3/\text{s}$.

En 36 heures, la passe permet d'évacuer 14 256 à 360 288 m^3 d'eau selon le niveau des batardeaux.

Si une crue intervient donc, le volume stocké dans le barrage à sa descente prendra les valeurs comprises entre 1 200 à 19 000.

On peut dresser le tableau suivant.

Qm /s	Volume en 36 heures (m)	Volume au PEN (m)	Volume res- tant dans la cuvette m	Niveau de l'eau dans la cuvette(m)
0.11	14 256	19 000	45 744	7.37
0.44	57 024	13 700	13 700	6.75
0.90	116 640	8 700	8 700	6.60
1.44	186 624	5 000	5 000	6.45
2.07	268 272	2 900	2 900	6.30
2.78	360 288	1 200	1 200	6.15

On voit que c'est dans un seul cas que le plan d'eau sera encore supérieur au niveau des batardeaux au bout de 36 heures (côte 7.37m).

III.2 Risques agronomiques d'inondation

Si l'on met en relation l'évolution des plants, leur durée de résistance à la submersion et les hauteurs d'eau, on peut quantifier les risques agronomiques d'inondation.

Nous distinguons toujours les deux cas.

III.2.1 Risques agronomiques d'inondation des cultures à l'amont de la digue filtrante

La descente rapide des plans d'eau à ce niveau permet d'éviter des troubles au niveau de l'évolution des plants.

III.2.2 Risques agronomiques d'inondation des cultures situées dans la cuvette du barrage.

Les fortes crues sont surtout à craindre en Août. De plus c'est à partir de la fin de ce mois que la position des batardeaux ne permet pas une bonne évacuation des débits.

La taille des plants serait à ce moment :

<u>1er Août</u>	<u>15 Août</u>	<u>31 Août</u>
20cm	49cm	80cm

Les risques se résumeraient donc comme ci-dessous :

Date	1 Août	15 Août	31 Août	15 septembre
Taille des plants (cm)	20	49	80	+ de 80
Plan d'eau maxi (m)	6.30	6.45	6.60	6.75
Surfaces cultivées inondées (ha)	0.50	0.80	1.04	1.23
Cotes des cultures risques (m)	6.10	5.96	5.8	5.8
Surfaces à risques (ha)	0.17	0.04	(-)	(-)
Pourcentage de la récolte détruit(%)	11.10	2.61	(-)	(-)

(-) Pas de risques

Nous constaterons que si le plan d'eau se stabilise aux cotes déterminées par les batardeaux, les risques d'inondation restent acceptables (11.10%), bien que ceux ci provoquent la perte d'une partie de la récolte.

Par contre à la date du 30 septembre les cultures auront atteint une taille maximum. Elles sont alors invulnérables.

III.3 Conclusion

On note que les cultures ne subissent pas de trop, l'effet des inondations.

Quoiqu'un risque minime reste à craindre, celles-ci sont à l'abri des chûtes de rendement dues à la submersion.

Que se passe-t-il

CHAPITRE IV : SIMULATION DU PASSAGE DE LA CRUE DE FREQUENCE DECENNALE

Le débit de crue de fréquence décennale a été estimé lors de l'étude hydrologique.

Nous donnons dans ce qui suit le comportement des ouvrages et le degré de risque d'inondation des plants de riz.

Notons comme auparavant qu'au niveau de la digue filtrante l'évacuation se ferait sans problème. Nous parleront donc du passage de la crue sur le barrage uniquement.

. Crue de début de saison de pluie

Qmax = 32.1 m³/s
VE = 1 216 000 m³
TB = 30 heures

. Crue de mi-saison de pluie

Qmax = 69.3 m³/s
VE = 2 477 400 m³
TB = 30 heures

. Crue de fin de saison de pluie

Qmax = 34.1 m³/s
VE = 1 136 500 m³
TB = 30 heures

Il est à noter que la crue décennale entraîne le remplissage complet et même un débordement sur la digue.

Dans tous les cas cités, et du fait que la digue du barrage admet une lame d'eau déversante importante, les volumes évacués seront très importants.

Il restera alors un volume correspondant au PEN. Ce volume est de l'ordre de 60 000 m³.

On obtient :

Période	Volume stocké (m)	Volume maxi évacué en 36h (m)	Volume res- tant dans la cuvette (m)
Début saison de pluie	60 000	14 256	45 744
Mi-saison de pluie	60 000	186 624	50 000
Fin de saison de pluie	60 000	360 288	19 000

CONCLUSION GENERALE

La présente étude a mis en relief les risques de sécheresse et d'inondations dans le bas-fond de GOURGA.

De cette étude, il ressort que la majorité des risques est lié à la sécheresse. Cela est d'autant plausible que la région étudiée a pour caractéristique principale l'irrégularité de la pluviométrie.

On a effectivement vu que la mauvaise répartition des pluies et leur quantité insuffisante ne permettait pas de satisfaire la demande en eau des plants de riz. De plus la quantité importante de pluies journalières <30mm ne permet pas l'arrivée de crue.

Cette absence d'eau pénalise l'aménagement.

Du point de vue inondation, seul le début du cycle paraît être une période de vulnérabilité. La taille des plants étant minimum, la submersion a une durée supérieure à la durée de résistance des plants à l'inondation.

On peut donc envisager certaines solutions en vue de limiter ces risques. Entre autres, il conviendrait pour limiter le stress auquel sera soumis les cultures, de réaliser une irrigation d'appoint. Dans ce cadre il faudrait favoriser une bonne réalimentation de la nappe phréatique. On pourra ensuite par la réalisation de forages, effectuer des pompages d'eau en vue de combler le déficit d'eau.

Quant aux risques d'inondation, ils pourraient être minimisés par une ouverture complète de la passe jusqu'au 15 Août.

Même en cas de crues successives, les excédents d'eau seront évacués au bout d'un jour.

Le présent mémoire n'a traité les risques de sécheresse et d'inondation dans le bas-fond de GOURGA que de façon sommaire.

Il reste bien sûr évident que les résultats obtenus ne sont pas acquis de façon définitive. Pour parvenir à cet état de faits, il faudrait prendre en compte les observations de plusieurs campagnes, étudier les relations pluies-débits de manière fréquentielle.

Quel autre solution
proposer ?

Cela suppose un nombre important de données à ^{laborer} ~~recueillir~~. En somme, tous les facteurs hydrologiques devraient être pris en compte pour mener à bien cette étude.

Dans le cadre de notre mémoire, nous avons touché les aspects généraux des risques de sécheresse et d'inondation dans le bas-fond de GOURGA.

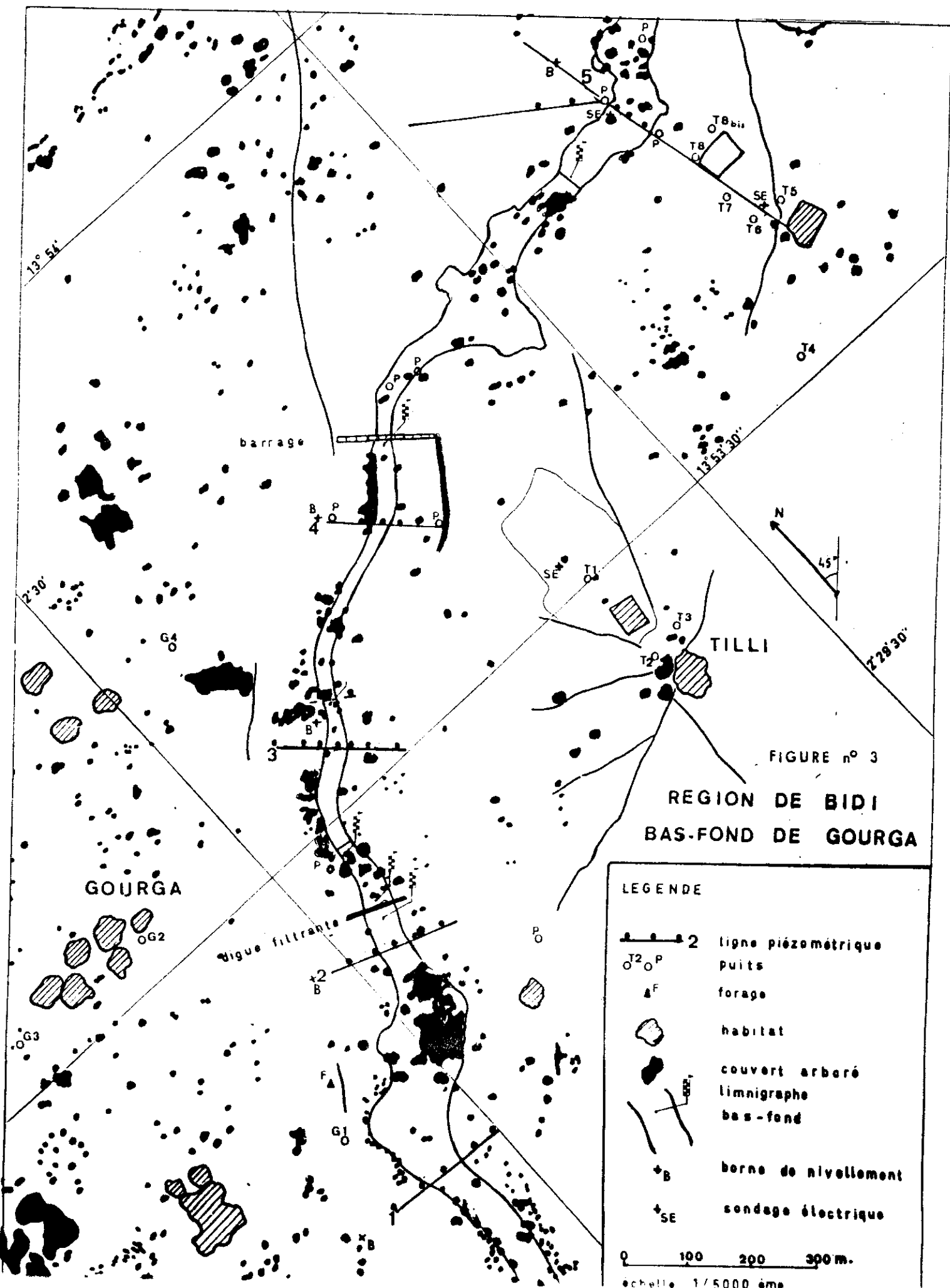
BIBLIOGRAPHIE

- . P. DUBREUIL 1974
Initiation à l'analyse hydrologique (dix exercices suivis de corrigés)
- . G. REMENIERAS 1986
L'hydrologie de l'ingénieur
- . J.P. DOBELMANN
Riziculture pratique-Tome2 (riz pluvial).
- . M. CARLIER 1986
Hydraulique générale et appliquée
- . CIEH-AFPV mai 1987
Les digues filtrantes : aménagement de conservation des eaux et des sols
- . J. RODIER et C. AUVRAY
Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200km² en Afrique occidentale
- .J.P. OUEDRAOGO-Ch. BALDY Avril 1976
Etude Agrométéorologique de la région de Bobo-Bioulasso
- .J.M LAMACHERE Septembre 1984
Etude hydrologique des plaines de Niena-Donkele et Foullasso-Lelasso. Tomes 7 et 8
- J. DAT DE SAINT FOULC Juin 1988
Cours d'hydrologie : Irrigation
- J.G. POUSSI
Rapport de stage -Thème : hydrologie d'un petit bassin versant. Impact sur les cultures.

ANNEXES

ANNEXE 1

DONNEES PHYSIQUES



ANNEXE 2

DONNEES CLIMATOLOGIQUES

PLUIES ANNUELLES A THIOU

ANNEES	PLUIES (mm)
1965	763.2
1966	735.8
1967	666.2
1968	724.3
1969	671.7
1970	478.6
1971	675.6
1972	481.0
1973	484.5
1974	510.6
1975	454.4
1976	618.3
1977	477.2
1978	618.6
1979	531.7
1980	437.9
1981	624.0
1982	567.5
1983	409.9
1984	508.3
1985	360.4
1986	518.4
1987	666.6
1988	690.5

PLUIES ANNUELLES A GOURGA

ANNEES	PLUIES (mm)
1985	352.6
1986	501.0
1987	418.4
1988	552.1
1989	502.1

Région de Bidi

pluies moyennes sur le bassin versant de GOURGA

année	date	$\bar{p}$ pluie moyenne	année	date	$\bar{p}$ pluie moyenne
1986	19/06	24.0	1988	26/04	31.0
	29/06	19.3		16/06	24.7
	08/07	21.1		16/07	18.3
	13/07	43.1		29/07	16.2
	27/07	24.1		1/08	37.0
	07/08	22.4		5/08	26.1
	12/08	18.1		15/08	43.1
	14/08	22.1		18/08	35.2
	22/08	48.3		25/08	58.0
	05/09	19.8		31/08	30.2
	11/09	21.8		3/09	20.4
1987	24/07	33.2	1989	8/07	22.9
	26/07	39.6		30/07	47.2
	28/07	37.6		4/08	25.4
	30/07	42.4		8/08	36.1
	18/08	19.4		14/08	22.6
	30/08	27.2		16/08	27.3
	4/09	24.7		19/08	40.8
	5/09	13.3		6/09	25.5
	14/09	67.6			
	26/09	42.5			