

BURKINA FASO

La Patrie ou la Mort, Nous Vaincrons !

**MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE, SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE DE OUAGADOUGOU

**INSTITUT DES SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES
(IN.S.HU.S.)**

DEPARTEMENT DE GEOGRAPHIE

OPTION : GEOGRAPHIE PHYSIQUE

MEMOIRE DE MAITRISE

ETUDE HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU MASSILI A LOUMBILA: LA CRUE EXCEPTIONNELLE de Septembre 1986

Présenté par : **Adrien Stanislas ADJIVON**

Sous la Direction de :

Jean-Pierre TRIBOULET

Ingénieur Hydrologue au CIEH

Guy NEUVY

Maître de Mémoire :

Année 1990-1991

D E D I C A C E

Je dédie ces pages à l'enfant Morel, à sa mère
Marie-Claire ADJIVON et à Madame Pierrette LAWSON née
ADJIVON.

R E M E R C I E M E N T S

Qu'il me soit permis de remercier très sincèrement Monsieur Jean-Pierre TRIBOULET, Ingénieur Hydrologue au C.I.E.H. (Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques) d'avoir accepté très aimablement de diriger ce travail et de le mener à bien. Je salue sa disponibilité entière et sa compréhension toute particulière.

Dans le même ordre d'idée, je tiens à remercier le Professeur Guy NEUVY, directeur du présent mémoire pour ses conseils et sa disponibilité. Je loue sa détermination à diriger et à mener toujours à bien les mémoires de maîtrise. Mes remerciements vont aussi à Monsieur Christophe SANOU, Assistant à l'Université de OUAGADOUGOU.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tout le personnel de la D.I.R.H. (Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques), en particulier aux Camarades Sibiri TRAORE, ex-directeur, Jean-Pierre MIHIN et tous les techniciens dont la disponibilité a permis le bon déroulement de mon stage.

Mes remerciements sont également adressés aux dactylographes Jeanne BOUGMA, Séraphine COMPAORE et Georges ZOUNGRANA.

J'adresse aussi mes remerciements aux familles LAWSON, ADJIVON, AFOUTOU et NAGO pour leurs soutiens matériel, financier, moral et éducationnel durant ces longues années d'étude.

Enfin, je n'oublierais pas tous ceux qui, d'une manière ou d'une autre, de près ou de loin, ont contribué à la réussite du présent mémoire. Qu'ils soient sincèrement remerciés.

I

S O M M A I R E

| | <u>Pages</u> |
|---|--------------|
| <u>INTRODUCTION</u> | 1 |
| <u>A/ PRESENTATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN</u> | |
| I - LES ELEMENTS NATURELS DU BASSIN VERSANT DU MASSILI | |
| A LOUMBILA | 4 |
| 1. <u>Les aspects géologiques</u> | 4 |
| 1.1. Généralités sur la géologie du Burkina Faso. | 4 |
| 1.1.1. Le socle Précambrien | 4 |
| 1.1.2. La couche sédimentaire | 5 |
| 1.2. Présentation géologique du bassin versant du Massili à LOUMBILA | 5 |
| 2. <u>Le relief</u> | 7 |
| 2.1. La topographie du bassin | 7 |
| 2.2. La géomorphologie du bassin | 14 |
| 2.2.1. L'altimétrie et l'hypsométrie | 14 |
| 2.2.2. La morphologie du bassin | 15 |
| 3. <u>Le réseau hydrographique</u> | 16 |
| 4. <u>Le contexte pédologique du bassin</u> | 17 |
| 4.1. Les sols ferrugineux tropicaux | 17 |
| 4.2. Les sols hydromorphes minéraux et les sols minéraux bruts | 19 |
| 5. <u>Le couvert végétal</u> | 20 |
| 5.1. La végétation | 20 |
| 5.2. L'influence de la végétation sur l'écoulement | 21 |
| 6. <u>L'hydrogéologie</u> | 23 |
| 6.1. Les nappes aquifères des alluvions | 23 |
| 6.2. Les nappes aquifères des altérites | 23 |

II

| | |
|--|----|
| 6.3. Les nappes aquifères des fissures et des fractures | 23 |
| 6.4. Les forages et les puits | 24 |
| II - LE DEVELOPPEMENT SOCIO-ECONOMIQUE | 25 |
| 1. <u>Les aspects socio-économiques</u> | 25 |
| 2. <u>Les voies de communication</u> | 27 |
| 3. <u>Les activités agricoles</u> | 28 |
| 3.1. L'agriculture | 28 |
| 3.2. Les cultures maraîchères et irriguées | 29 |
| 3.2.1. Cas du barrage de DONSE | 29 |
| 3.2.2. Cas du barrage de PABRE | 31 |
| 3.3. La pêche | 32 |
| B/ <u>CARACTERISTIQUES HYDROMETEOROLOGIQUES</u> | 33 |
| III - LES ELEMENTS DU CLIMAT | 34 |
| 1. <u>Le mécanisme du climat</u> | 35 |
| 2. <u>Le cycle de l'eau</u> | 36 |
| 3. <u>La température, l'humidité et la tension</u> | 37 |
| 3.1. Les températures | 37 |
| 3.2. L'humidité et la tension | 41 |
| 3.2.1. L'humidité | 41 |
| 3.2.2. La tension | 44 |
| 4. <u>L'insolation et l'évaporation</u> | 48 |
| 5. <u>Les précipitations</u> | 49 |
| 5.1. Le régime pluviométrique dans la région de OUAGADOUGOU | 52 |
| 5.1.1. La répartition des pluies mensuelles | 53 |
| 5.1.2. La variation des pluies annuelles . | 57 |

III

| | |
|---|------------|
| 5.1.3. La répartition statistique des pluies annuelles | 60 |
| 5.2. Les données pluviométriques sur le bassin. | 60 |
| 5.2.1. Le réseau de pluviomètres | 62 |
| 5.2.2. Les précipitations journalières maximales | 62 |
| 5.2.3. Les pluies moyennes sur le bassin . | 65 |
| IV - <u>HYDROLOGIE</u> | 72 |
| 1. <u>Données hydrauliques et hydrométriques</u> | 72 |
| 1.1. Historique et équipement hydraulique | 72 |
| 1.1.1. Historique du barrage de LOUMBILA | 72 |
| 1.1.2. Equipement hydraulique du bassin | 73 |
| 1.1.3. Caractéristiques des déversoirs du barrage | 73 |
| 1.1.4. Courbes caractéristiques de la retenue. | 78 |
| 1.2. Observations limnimétriques | 80 |
| 1.3. Mesures débitométriques | 85 |
| 1.3.1. Jaugeages | 85 |
| 1.3.2. Courbe d'étalonnage | 88 |
| 1.3.3. Débits journaliers | 90 |
| 2. <u>Caractéristiques de l'écoulement mensuel et annuel</u> | 91 |
| 2.1. Ecoulement mensuel | 91 |
| 2.2. Ecoulement annuel | 98 |
| 3. <u>Caractéristiques des crues</u> | 104 |
| 3.1. Rappel de définitions | 104 |
| 3.1.1. Caractéristiques d'un hydrogramme de crue | 104 |
| 3.1.2. Quelques exemples d'hydrogrammes | 105 |
| 3.2. Débits journaliers maxima annuels | 105 |

IV

| | |
|---|-----|
| 3.2.1. Echantillon | 110 |
| 3.2.2. Analyse statistiques | 111 |
| | |
| IV - LA CRUE EXCEPTIONNELLE DE SEPTEMBRE 1986 | 118 |
| 1. <u>Présentation de l'évènement</u> | 118 |
| 2. <u>Données pluviométriques</u> | 119 |
| 3. <u>Données hydrométriques</u> | 126 |
| 4. <u>Analyse de la crue</u> | 129 |
| | |
| <u>C O N C L U S I O N</u> | 135 |
| <u>B I B L I O G R A P H I E</u> | 136 |

LISTE DES TABLEAUX

| Tableaux : | <u>Pages</u> |
|---|--------------|
| 1 : Caractéristiques morphologiques du bassin versant du Massili à LOUMBILA | 11 |
| 2 : Démographie du bassin | 26 |
| 3 : Moyennes des températures à la station de OUAGADOUGOU - 1951-1980 | 39 |
| 4 : Moyennes des humidités à la station de OUAGADOUGOU 1952-1981 | 42 |
| 5 : Moyennes des tensions à la station de OUAGADOUGOU 1971-1985 | 45 |
| 6 : Moyennes de l'insolation et de l'évaporation à la station de OUAGADOUGOU | 47 |
| 7 : Précipitations mensuelles sur 30 ans | 50 |
| 8 : Hauteurs et nombre de jours pluvieux à la station de OUAGADOUGOU - 1951-1981 | 51 |
| 9 : Précipitations annuelles sur les mois les plus pluvieux | 52 |
| 10 : Précipitations annuelles - 1952-1989 | 58 |
| 11 : Situation géographique des postes du bassin | 62 |
| 12 : Précipitations journalières maximales - 1952-1989 .. | 63 |
| 13 : Calcul des coefficients de THIESSEN | 68 |
| 14 : Calcul des coefficients de THIESSEN (suite) | 68 |
| 15 : Calcul de la pluie moyenne annuelle | 69 |
| 16 : Calcul de la pluie moyenne annuelle (suite) | 70 |
| 17 : Liste des barrages du bassin versant de LOUMBILA et leurs caractéristiques | 75 |
| 18 : Volumes cumulés | 76 |
| 19 : Rendement de l'évacuateur de crues | 79 |

VI

| | |
|---|-----|
| 20 : Barrage de LOUMBILA : Barème Hauteur - Volume et Hauteur - Surface | 81 |
| 21 : Liste des jaugeages | 86 |
| 22 : Volumes mensuels observés au site de LOUMBILA | 92 |
| 23 : Taux journaliers moyens d'évaporation | 94 |
| 24 : Volumes prélevés par l'ONEA à LOUMBILA | 95 |
| 25 : Volumes d'apports mensuels dans le barrage de LOUMBILA reconstitués | 96 |
| 26 : Volumes d'apports mensuels moyens sur deux périodes | 97 |
| 27 : Caractéristiques de l'écoulement annuel sur le bassin | 99 |
| 28 : Statistiques des caractéristiques de l'écoulement annuel | 104 |
| 29 : Débits moyens journaliers de crue reconstitués | 112 |
| 30 : Débits moyens journaliers reconstitués (suite) | 113 |
| 31 : Débits moyens journaliers maxima annuels sur 23 ans | 114 |
| 32 : LOUMBILA : Débits journaliers maxima annuels classés | 116 |
| 33 : Liste des pluviomètres dans le bassin en 1986 | 120 |
| 34 : Pluies journalières mesurées entre le 15 Août et le 30 Septembre 1986 sur le bassin | 123 |
| 35 : Pluie cumulée par période entre le 15 Août et le 30 Septembre 1986 | 124 |
| 36 : Hauteurs d'eau et débits déversés en Août 1986 | 127 |
| 37 : Hauteurs d'eau et débits déversés en Septembre 1986 | 128 |
| 38 : Caractéristiques du ruissellement | 132 |
| 39 : Comparaison des crues du 2/9/61 et du 6/9/86 | 133 |

VII

LISTE DES FIGURES

| Figures : | <u>Pages</u> |
|---|--------------|
| 1 : Bassin de LOUMBILA - Rectangle équivalent | 12 |
| 2 : Répartition altimétrique et courbe hypsométrique du bassin versant du Massili à LOUMBILA | 13 |
| 3 : Courbe des températures et des précipitations | 40 |
| 4 : Graphique des humidités exprimées en % : 1952-1981 . | 43 |
| 5 : Courbe de tension de la station de OUAGADOUGOU (1971-1985) | 46 |
| 6 : Courbe d'insolation et d'évaporation synoptique de OUAGADOUGOU - AEROPORT | 46 |
| 7 : Bilan hydrique à la station synoptique de OUAGADOUGOU - AEROPORT | 54 |
| 8 : Précipitations annuelles (1952-1981) | 55 |
| 9 : - Classement de la précipitation du mois de Juillet 1952-1989 | 55 |
| 10 : Classement de la précipitation du mois d'Août 1952-1989 | 56 |
| Classement de la précipitation du mois de Septembre 1952-1989 | 56 |
| 11 : Variation des précipitations annuelles de 1952-1989 à OUAGADOUGOU - AEROPORT | 59 |
| 12 : Classement de la précipitation annuelle 1952-1989 .. | 61 |
| 13 : Courbe des volumes d'eau de tous barrages du bassin versant de LOUMBILA | 77 |
| 14 : Réservoir de LOUMBILA : courbe Hauteur - Surface ... | 82 |
| 15 : Barrage de LOUMBILA : courbe Hauteur - Volume | 83 |
| 16 : Courbe d'étalonnage du déversoir de l'ancien barrage à LOUMBILA : 1956-1970 | 87 |

VIII

| | |
|---|-----|
| 17 : Barrage de LOUMBILA : courbe d'étalonnage des déversoirs : 1985-1986 | 89 |
| 18 : Bassin de LOUMBILA : Evolution de la précipitation annuelle (Pm), de la lame d'écoulement (Le) et du coefficient d'écoulement (Ke) | 101 |
| 19 : Bassin de LOUMBILA : Relation entre la lame d'écoulement annuel et la précipitation annuelle moyenne sur le bassin | 102 |
| 20 : Massili à LOUMBILA : Débits journaliers 1957, 1960, 1961, 1964, 1965, 1967 | 106 |
| 21 : Débits journaliers maxima à LOUMBILA : 1956-1969, 1980-1989 - Ajustement d'une loi de FRECHET | 117 |
| 22 : Hydrogramme de crue déversée à LOUMBILA en Septembre 1986 | 130 |

IX

LISTE DES CARTES

| Cartes : | <u>Pages</u> |
|---|--------------|
| 1 : Géologie du bassin versant du Massili à LOUMBILA ... | 6 |
| 2 : Bassin versant du Massili à LOUMBILA | 8 |
| 3 : Pédologie du bassin versant du Massili à LOUMBILA | 18 |
| 4 : Position des pluviomètres à long terme dans les alentours du bassin versant du Massili à LOUMBILA .. | 64 |
| 5 : Polygones de THIESSEN des pluviomètres à long terme. | 67 |
| 6 : Situation des barrages du bassin versant du Massili à LOUMBILA | 74 |
| 7 : Polygones de THIESSEN du réseau de pluviomètres sur le bassin de LOUMBILA en 1986 | 121 |
| 8 : Pluies du 5 Septembre 1986 mesurées sur le bassin de LOUMBILA | 125 |

I N T R O D U C T I O N

Nos travaux portent sur l'étude du régime hydrologique du bassin versant du Massili à LOUMBILA. Cette étude présente un intérêt particulier pour la région de OUAGADOUGOU au plan social, industriel et commercial car le barrage de LOUMBILA est la source principale d'approvisionnement en eau de la capitale. Il est donc indispensable de connaître les caractéristiques hydrologiques du bassin versant, et en particulier le régime des apports annuels et des crues, car ces éléments sont essentiels pour l'étude des différentes possibilités d'exploitation de la réserve en eau.

La crue exceptionnelle de Septembre 1986 enregistrée au déversoir du barrage de LOUMBILA a retenu notre attention parce que son analyse permet de mieux cerner les conditions de ruissellement du bassin à l'occasion des averses importantes et par là préciser les débits de crue à prendre en compte pour le dimensionnement des déversoirs.

Le MASSILI est l'un des affluents de la rive droite (ex-Volta Blanche). Il coule sur une longueur de 20 km à l'Est de OUAGADOUGOU. Pour plus de précision, il est franchi par la route OUAGADOUGOU - KAYA au PK 20 sur le barrage de LOUMBILA. Le bassin versant du Massili à LOUMBILA fait partie du grand bassin versant de la Volta située au centre du pays

et s'étendant sur 164.000 km² sur le territoire national. Il englobe une multitude de petits bassins. Les plus importants sont :

- le bassin de DONSE de 175 km²
- le bassin de FABRE de 210 km²
- le bassin de KAMBOINSE de 125 km².

Pour mener à bien les études physiques et hydrométriques, nous avons effectué un stage à la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques (D.I.R.H.). Ce stage nous a donné l'occasion de faire différentes sorties sur le terrain et d'acquérir quelques connaissances sur les techniques hydrométriques.

Comme nous l'avons signalé, la présente étude s'articule autour de deux parties :

- * Présentation géographique du bassin.
- * Caractéristiques hydrométéorologiques du bassin de LOUMBILA.

A - PRESENTATION GEOGRAPHIQUE DU BASSIN

I - LES ELEMENTS NATURELS DU BASSIN VERSANT DU MASSILI A LOUMBILA

1. Les aspects géologiques

1.1. Généralités sur la géologie du Burkina Faso

Le Burkina Faso s'étend sur trois grands ensembles géologiques de l'Ouest africain. Le socle précambrien métamorphique et éruptif occupe les trois quarts du pays : ensuite viennent les couches sédimentaires des bordures orientales et Nord orientales. Depuis le précambrien, les mouvements tectoniques sont demeurés insignifiants.

Dans l'ensemble, les roches sont anciennes et consolidées donnant parfois des reliefs arrasés ; ceci donne des éléments d'explication à la platitude du relief burkinabè.

1.1.1. Le socle précambrien

Ancien d'un milliard d'années, le socle précambrien comprend les roches granitiques, en majeure partie des granites syntectoniques traversés par de nombreux petits batholites et des roches métamorphiques plissées précambriennes. Sur ce socle précambrien se développe le bassin versant du Massili à LOUMBILA. Il est recouvert par des couches sédimentaires à la suite de toute la dynamique atmosphère - morphologie.

1.1.2. La couche sédimentaire

Comme nous l'avons signalé plus haut, la couche sédimentaire repose sur le socle. Dans sa partie Nord, le Burkina Faso renferme la série sédimentaire du système voltaïen et au Sud-Ouest le plus vaste ensemble sédimentaire.

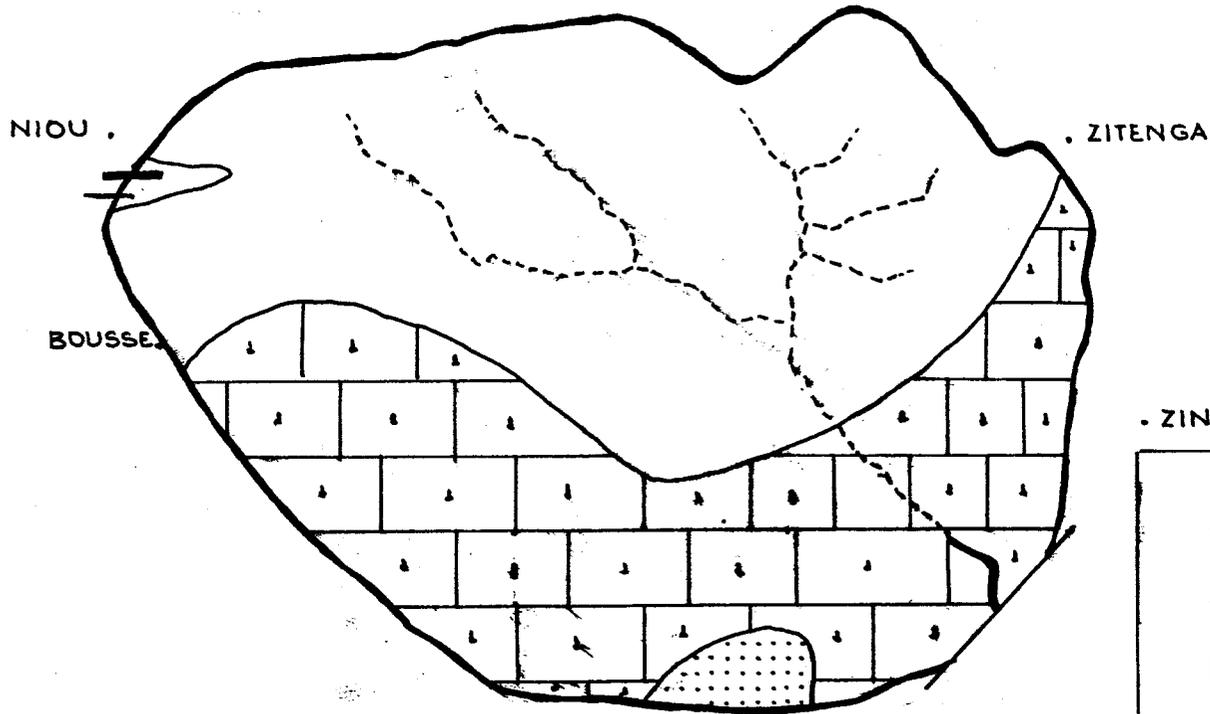
A ces formations infracambriennes et primaires, s'ajoutent les formations tertiaires et celles qui sont plus récentes. Le Burkina Faso, pays soudano-sahélien, est le domaine par excellence des alternances entre chaleur et humidité, cause de formation des vastes domaines de cuirasses qu'il connaît.

Aujourd'hui apparaissent des alluvions récentes tout le long des rivières et barrages. C'est après ce bref aperçu géologique général que nous abordons ci-après la géologie du bassin versant.

1.2. Présentation géologique du bassin versant du Massili à LOUMBILA

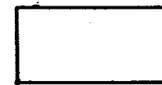
Pour présenter la géologie du bassin, il est nécessaire de se référer à la carte géologique de la feuille de OUAGADOUGOU. Le bassin repose sur un substratum imperméable de granite - gneiss précambrien qui est recouvert par endroit d'une épaisse couche d'altération latéritique (cf. carte n° 1).

Carte n°1: GEOLOGIE DU BASSIN VERSANT DU MASSILI A LOUMBILA

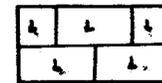


. ZINIARE

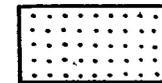
LEGENDE



Texture d'ensemble porphyroïde



Granite Calco-alcolin.



Migmatite.



Filon de quartz



Schiste

Source : BRGM

Dans la partie Nord de ce bassin se trouve une prédominance de granite syntectonique à texture porphyroïde. D'après KLEIN (1964), ce granite ne diffère du granite calco-alcalin à biotite que par la présence de gros phéno-cristaux de microline rose ou blanc pouvant atteindre 10 cm.

Au cours des observations sur le terrain, nous sommes arrivés à dénombrer une multitude de cuirasse et de débris de cuirasse. Ceci nous a permis de comprendre la théorie de cuirassement.

Ces observations sur la structure ne laissent aucun espoir de découvertes de nappes souterraines de grande importance, ce que nous allons expliquer dans le chapitre concernant l'hydrogéologie du bassin versant. Seuls les matériaux de décomposition pourront constituer les maigres réserves d'eau que l'on trouve aujourd'hui dans le bassin.

2. Le relief

2.1. La topographie du bassin

A l'aide de la carte topographique au 1/200.000ème, nous avons pu délimiter le bassin versant (cf. carte n° 2). Le planimétrage nous a permis de tracer la courbe hypsométrique. Cet exercice amène aux divers calculs morphologiques, hypsométriques et altimétriques du bassin.

* Superficie du bassin : 2002 km²

* Coefficient de compacité ou Coefficient de forme de GRAVELUS : il est donné par la formule suivante :

$$C = 0,282 \times P/\sqrt{S}$$

où P est le périmètre stylisé du bassin en km

S la superficie en km².

* Longueur du rectangle équivalent : elle est donnée par la formule suivante (figure n° 1) :

$$L = \frac{C\sqrt{S}}{1,128} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{1,128^2}{C^2}} \right)$$

où L est exprimé en km.

* Indice globale de pente

Il se calcule à partir des altitudes occupant 5 à 95 % de la superficie totale du bassin sur la courbe de répartition hypsométrique. Il est donné par la formule :

$$I_g = \frac{D}{L} = \frac{H(5\%) - H(95\%)}{L}$$

où I_g est exprimé en m/km

D est la dénivelée en m

L la longueur du rectangle en m.

* Indice de pente de ROCHE

Il est calculé par l'expression

$$I_p = L \sum \sqrt{S_i} D_i$$

où I_p est exprimé en m/km

S_i est la fraction de superficie partielle de dénivelée en km²

D_i est la fraction de superficie en m².

* Altitude médiane

A l'aide de la courbe hypsométrique, on détermine l'altitude médiane qui correspond à l'abscisse 50 % de la superficie totale.

* Altitude moyenne

Elle est donnée par l'ordonnée moyenne de la courbe hypsométrique.

Tous ces paramètres topographiques sont rassemblés dans le tableau 1.

Abréviations :

S_i = Superficie partielle

A = Superficie totale du bassin versant

C_u = Superficie cumulée

A_i = Superficie partielle relative = S_i/A

D_i = Dénivelée par tranche d'altitude.

Résultats de l'étude hypsométrique

| | |
|------------------------------------|------------------------|
| Altitude minimale approximative | : 250 m |
| " maximale approximative | : 330 m |
| " moyenne approximative | : 290 m |
| " médiane approximative | : 310 m |
| " de 95 % de la superficie totale | : 282 m |
| " de 5 % de la superficie totale | : 337 m |
| Surface A du bassin | : 2002 km ² |
| Périmètre P stylisé | : 180 km |
| Coefficient de forme de GRAVELUS K | : 1,13 |

**TABEAU 1 : CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DU BASSIN VERSANT
DU MASSILI A LOUMBILA**

| Tranche d'altitude (m) | Superficie S_i (km ²) | Superficie C_n (km ²) | S_i / A (%) | C_n (%) | $\frac{S_i}{A_i} = \frac{---}{A}$ | D_i (m) | $A_i D_i$ (m) | $\sqrt{A_i D_i}$ |
|------------------------------|---|---|------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|------------------|------------------|
| 320 à 350 | 657,9 | 657,9 | 32,86 | 32,86 | 0,3286 | 30 | 9,86 | 3,1401 |
| 280 à 320 | 1309,1 | 1967 | 65,39 | 96,25 | 0,6539 | 40 | 26,16 | 5,1147 |
| 250 à 280 | 35,0 | 2002 | 1,75 | 100 | 0,0175 | 30 | 0,53 | 0,7280 |
| Total | 2002 | | 100 | | 1,000 | | | 8,9828 |

Fig. 1 BASSIN DE LOUMBILA
RECTANGLE EQUIVALENT

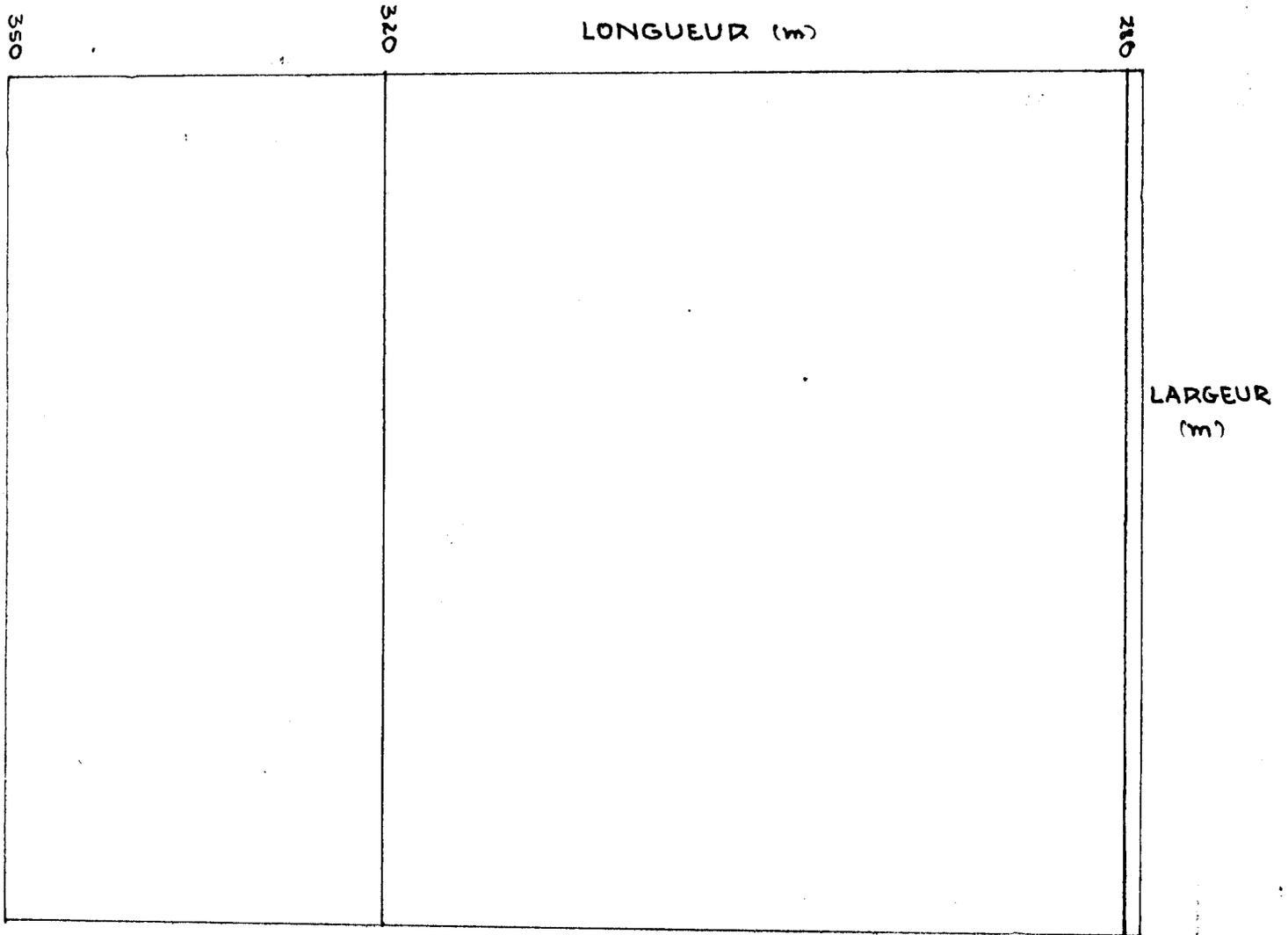
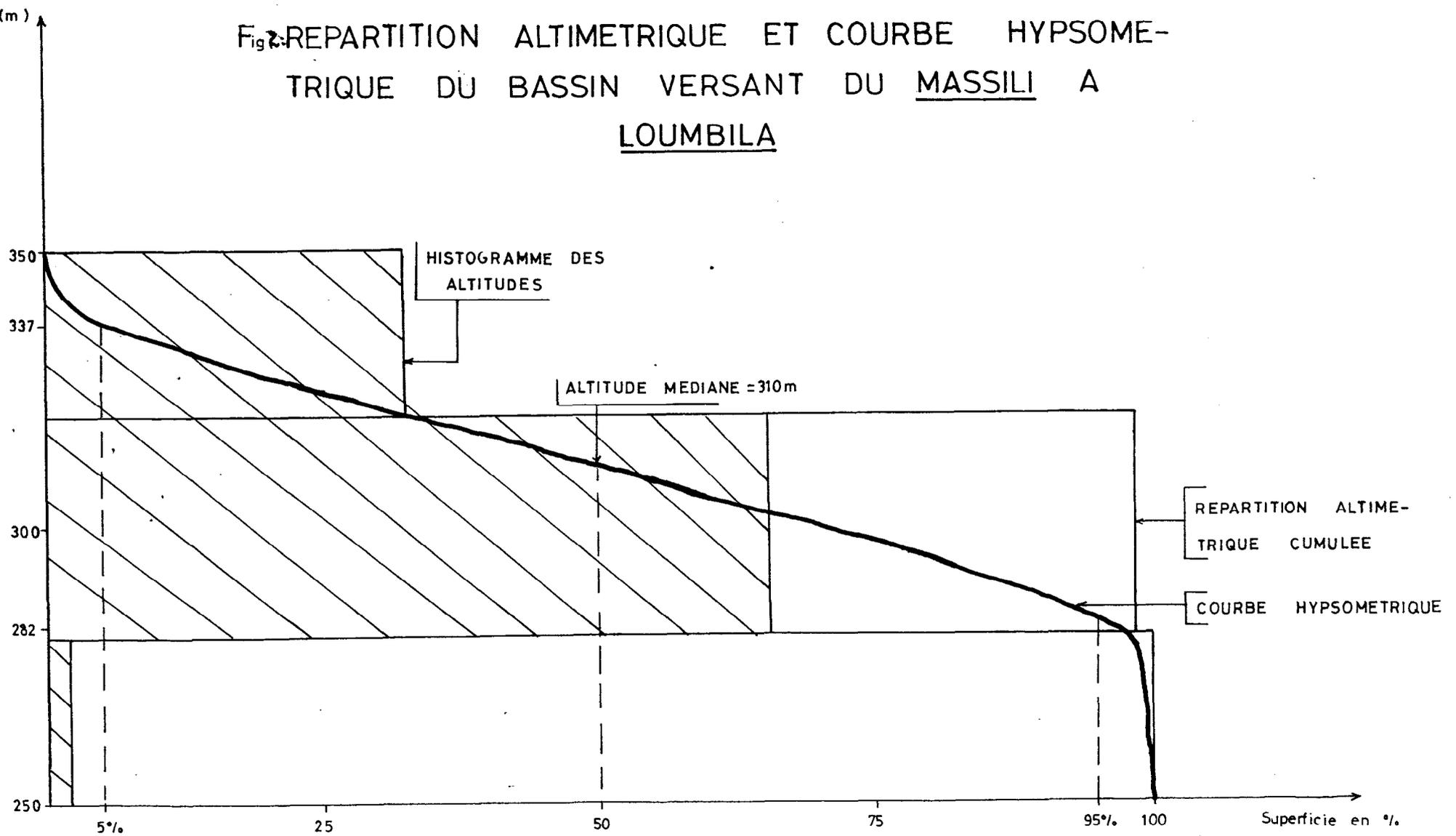


Fig. 2: REPARTITION ALTIMETRIQUE ET COURBE HYSOMETRIQUE DU BASSIN VERSANT DU MASSILI A LOUMBILA



| | |
|------------------------------------|-------------|
| Longueur L du rectangle équivalent | : 51,14 km |
| Largeur l du rectangle équivalent | : 38,86 km |
| Indice de pente de ROCHE I_p | : 1,25 m/km |
| Indice de pente global I_g | : 1,08 m/km |

2.2. La géomorphologie du bassin versant

2.2.1. Les résultats altimétriques et hypsométriques

Nous signalons que des études ont déjà été faites par KLEIN (1964) sur ce sujet. Elles donnent des résultats un peu différents des nôtres pour certains paramètres.

Pour plus de précision, nous signalons que dans nos travaux de recherches altimétrique et hypsométrique nous avons considéré le bassin versant réel qui est la surface limitée par la ligne de partage des eaux de ruissellement de telle sorte qu'en tout point de cette surface toute quantité d'eau suivant la déclivité naturelle puisse parvenir à l'exutoire du bassin, lieu de passage obligé des eaux de ruissellement avant qu'elles ne sortent du bassin. Ce qui nous a amené après nos opérations à une superficie totale de 2002 km² et d'un périmètre de 180 km, alors que KLEIN donnait 2120 km² et 188 km respectivement.

Sur la carte topographique au 1/200.000ème que nous avons utilisée, il y a seulement deux courbes de niveau : 320 et 280. Dans le document de KLEIN cité plus haut, il en trouve quatre : 310, 300, 290 et 270. Ce qui lui donne après les différents calculs un indice de pente global de 1,0 m par

kilomètre. Ce résultat est peu différent de 1.08 m/km que nous avons trouvé.

L'étude morphologique du bassin versant du Massili à LOUMBILA nous a amené après la délimitation et le planimétrage à diviser la superficie en trois tranches d'altitude : entre 320 et 350 (32,86 %), entre 280 et 320 (65,25 %) et entre 250 à 280 (1,75 %). Il en ressort que ce bassin a un coefficient de compacité de 1,13 traduisant ainsi la forme pas très allongée du bassin. En effet, plus l'indice s'écarte de 1,0, plus la forme du bassin est allongée. Les pentes ne sont pas très fortes dans l'ensemble, comme le confirme l'indice de pente global de 1,08 m/km.

2.2.2. La morphologie du bassin

Le bassin versant du Massili à LOUMBILA est partie intégrante des bassins versants de OUAGADOUGOU. Ces derniers font partie d'une vaste pénéplaine qui couvre tout le Centre et le Nord du Burkina Faso avec une variation d'altitude qui voisine 80 mètres.

Il repose sur une pénéplaine dont les variations d'altitudes sont de 40 mètres (280 à 320 m). Ce relief constitué de vieux matériaux rigides auxquels on a donné le nom de socle ancien très atténué ne présente que de molles ondulations, avec quelques buttes latéritiques qui accidentent parfois le paysage dans le Nord-Est et le Nord-Ouest. Ces quelques buttes rompent la monotonie du paysage

morphologique. Elles ont pour la plupart un profil trapézoïdal classique.

En outre, la pente du Massili n'est pas cependant négligeable. Les roches en place sont souvent recouvertes d'une épaisse couche d'altération et n'affleurent pas à la suite du décapage des couches superficielles par l'érosion. Ces couches d'altération sont l'œuvre des eaux d'infiltration qui par leur composition chimique contribuent à cette dynamique.

Le réseau hydrographique est en voie de dégradation. Les talwegs sont peu marqués, souvent encombrés de végétation et bordés de plaines d'inondation qui amortissent très sensiblement l'écoulement des crues, ceci donnant précisément cette caractéristique géomorphologique de la plaine inondable (Carte des provinces géomorphologique - réseau hydrographique).

3. Le réseau hydrographique

Le bassin versant du Massili à LOUMBILA est un sous-bassin du NAKAMBE. Le fleuve NAKAMBE qui se poursuit sur le nom de Volta Blanche au GHANA coule du Nord-Nord-Ouest au Sud-Sud-Est. Il n'est pas permanent : la durée de l'écoulement s'étale de Mai à Décembre.

Après la saison d'écoulement, il reste de l'eau stagnante dans le lit du fleuve dans des mares isolées. La pente du NAKAMBE est faible, de l'ordre de 0,2 mètres par

kilomètre en moyenne. Les affluents principaux en rive gauche sont : le Bombori et le Dougoula-Moundi et en rive droite le Fendage, le Bonweba, le Koulipédé et le Massili.

C'est sur ce dernier qu'a été construit le barrage de LOUMBILA. A l'aide de la carte topographique à l'échelle d'1/200.000ème, nous avons constaté que le bassin est constitué dans son ensemble de bras temporaires où l'écoulement n'est apparent que pendant la saison pluvieuse. Cependant au cours de la saison sèche, le réseau hydrographique étant bien mise en évidence par la végétation ripicole dense qui forme des galeries.

Le relief étant atténué, ceci explique en grande partie que le réseau hydrographique soit peu marqué.

4. Le contexte pédologique du bassin versant de LOUMBILA

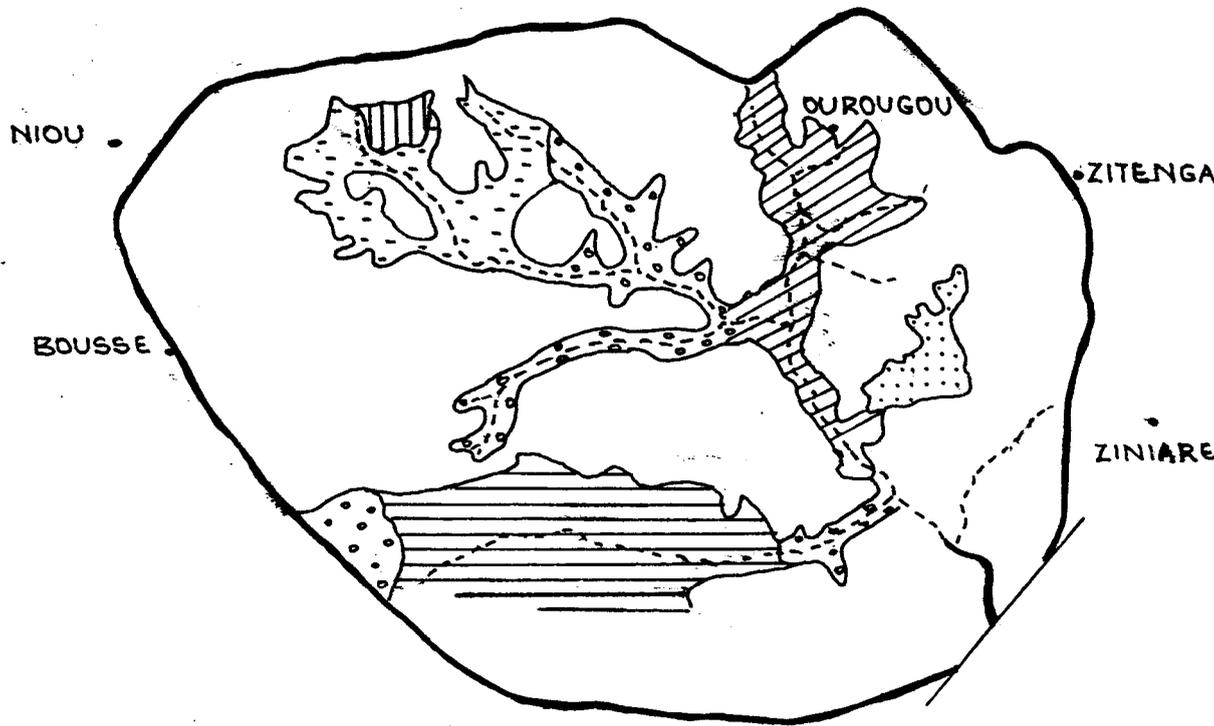
A l'aide de la carte pédologique de reconnaissance à 1/500.000ème de POTTIER (1982) et suite aux investigations sur le terrain, nous constatons que le bassin se trouve en totalité dans l'ensemble des sols ferrugineux tropicaux (cf. carte pédologique du bassin n° 3).

4.1. Les sols ferrugineux tropicaux

Ces sols présentent des degrés de lessivage différents. Ceci nous amène à distinguer dans un premier temps des sols lessivés qui se répartissent en 3 familles :

Carte n° 3

PÉDOLOGIE DU BASSIN VERSANT DU MASSILI A LOUMBILA



LEGENDE

-  Lithosol sur cuirasse ferrugineuse 1/8
-  Sols ferrugineux tropicaux sur matériaux limono-argileux.
-  Association à sols peu évolués hydromorphe sur matériaux gravillonneux
-  Sols peu évolués hydromorphes sur matériaux caillouteux.
-  Sols à Pseudogley
-  Sols hydromorphes sur matériaux argilo-sableux
-  Lithosols remaniés

Source: Carte pédologique de la H.V (Centre-Sud)

- la famille sur matériaux érodés qui constitue des sols graveleux. Elle couvre environ les 50 % du bassin de LOUMBILA ;

- la famille sur matériaux dérivés des roches schisteuses birrimiennes ou des roches cristallines post-birrimiennes ;

- la dernière famille provient des roches cristallines post-birrimiennes.

Après cette famille, nous distinguons des sols lessivés ou peu lessivés qui sont souvent des sols argilo-sableux. Enfin viennent des sols ferrugineux à hydromorphie de profondeur. Ces derniers sols sont des sols argilo-sableux beiges. Ils constituent le substratum sur lequel reposent les retenues d'eau dans le bassin, telles que celles des barrages de LOUMBILA, de DONSE, de PABRE, etc..

4.2. Les sols hydromorphes minéraux et les sols minéraux bruts

Les sols hydromorphes minéraux sont des sols à gley et pseudo-gley d'ensemble. On y distingue aussi des sols limono-argileux où le pourcentage de limon est nettement supérieur. Quant aux sols minéraux bruts, ils sont essentiellement des sols bruts d'érosion. Après le décapage des couches superficielles par l'eau de ruissellement, le sol mis à nu est qualifié de squelettique.

Au cours d'une de nos sorties sur le terrain, nous avons identifié au Nord-Est des débris de cuirasses. Mais notre attention a surtout été retenue par la prédominance dans le bassin des sols argilo-sableux ; ils sont pour la plupart imperméables. Ceci freine sans doute l'infiltration hypodermique et accentue le ruissellement superficiel. Cette situation favorise le remplissage des retenues d'eau si la pente est importante.

Malheureusement, le bassin connaît une faible pente comme nous l'avons signalé dans les chapitres précédents. KLEIN (1964) souligne qu'une faible pente générale entraîne un mauvais drainage. C'est en effet l'une de nos remarques faites sur le terrain.

5. Le couvert végétal

L'étude du couvert végétal dans le cadre d'une telle recherche est très importante car le couvert végétal joue un rôle selon sa densité sur l'écoulement des eaux de surface.

5.1. La végétation

Compris dans la bande de 700 à 950 mm de pluie par an, le bassin versant fait partie du domaine soudanien du type septentrional dans son ensemble. Cette zone fait transition avec le domaine sahélien.

Suivant le taux de recouvrement, il se dresse une végétation arborée couvrant toute la zone étudiée avec un tapis graminéen plus ou moins continu. Nous avons aussi la présence des andropogonées (Andropogon sp). Le développement de ce tapis graminéen est extrêmement rapide. Il atteint 2 à 3 mètres de haut à la fin de la saison des pluies et a une importance non négligeable sur l'hydrologie du bassin en freinant ainsi le ruissellement.

En dehors de ce tapis, on dénombre après l'abattement de certaines espèces végétales, le Karité (Butyrospermum parkii) et le Néré (Parkia biglobosa), les arbres de 7 à 8 mètres de haut étant les plus abondants. Le bassin est également une zone de baobabs. Dans le Nord du bassin, vers les régions de GARITENGA et de TOEGEN où le climat est plus sec, apparaissent des épineux : Acacia seyal et Accacia macrostachya ainsi que des palmiers rochers.

Compte tenu des phénomènes de la désertification, la région de PABRE connaît un excellent domaine de plantation de tecks.

Cette diversité de la végétation offre des influences diverses sur l'écoulement des eaux de surface.

5.2. Influence de la végétation sur l'écoulement

Le rôle de la végétation dans le bilan hydrique des sols a fait l'objet d'études aussi nombreuses que variées. Le

phénomène est très complexe et peut se résumer grossièrement de la façon suivante :

- * pompage au niveau des racines : pour qu'il soit possible, il faut que la force de succion des racines soit supérieure à la force de succion du sol ;

- * ascension dans la plante par capillarité jusqu'aux stomates des feuilles qui évaporent. Entre-temps, une partie de l'eau a été utilisée pour la croissance de la plante.

L'influence de la végétation sur l'évapotranspiration se manifeste à l'échelle macroscopique en rapport avec des surfaces étendues sur lesquelles poussent un grand nombre de variétés. C'est ainsi que le bassin connaît sur sa superficie une évaporation très importante.

Le Burkina Faso faisant partie de la zone sub-aride, l'influence de la végétation n'est pas toujours bénéfique surtout dans le cas des nappes d'eau de surface et souterraines. Les arbres consomment beaucoup d'eau qui pourrait être utilisée utilement. La végétation arborée et herbacée dans le bassin versant a une influence mécanique sur l'écoulement d'autant plus grande que le tapis est plus dense.

Tous ces éléments physiques du bassin sont commandés par le climat.

6. L'hydrogéologie du bassin

Le bassin versant du Massili à LOUMBILA fait partie de l'ensemble dénommé plateau Mossi. On y distingue trois aquifères différents.

6.1. Les nappes aquifères des alluvions

Les nappes aquifères des alluvions sont d'une extension limitée et parfois tarissent au cours de la saison sèche. Souvent ces nappes sont perchées.

6.2. Les nappes aquifères des altérites

Comme nous l'avons signalé dans la partie géologique, le bassin est couvert dans son ensemble par des altérites. C'est là qu'on trouve ce type de nappe aquifère. Cette nappe se situe dans les couches d'altération et se caractérise par une porosité assez importante mais aussi par une perméabilité faible.

6.3. Les nappes aquifères des fissures et des fractures

Les aquifères du socle fracturé profonds sont discontinus. Ils se situent dans le substratum cristallin. Leur existence dépend de la porosité et de la perméabilité des roches provoquées par des fractures et des fissures du socle.

Les deux derniers aquifères peuvent être considérées comme des nappes phréatiques inhomogènes. Ces aquifères sont alimentés pendant la saison des pluies. Le niveau piézométrique des aquifères au niveau des altérites et des fissures et fractures est fonction de la topographie. Ce niveau est de 10 à 35 m dans le sol. Seulement le niveau piézométrique de la nappe aquifère des alluvions est peu profond.

6.4. Les forages et les puits

Les forages atteignent tous la roche saine du substratum et captent l'eau de l'aquifère des fissures et fractures. Leur profondeur varie de 20 à 60 m sous le sol. On y distingue surtout des forages dans les roches granitoïdes.

Quant aux puits modernes, ils captent l'eau de la nappe des altérites souvent dans la zone de transition entre les altérites et la roche-mère. Les puits modernes sont accompagnés de ceux traditionnels (cas du village de DONSE et du village de LOUMBILA). Ces puits traditionnels et les puisards sont creusés jusqu'à la rencontre d'une nappe car aucune étude n'est faite par les paysans pour savoir les possibilités d'avoir de l'eau très rapidement.

II. LE DEVELOPPEMENT SOCIO-ECONOMIQUE

Comme tout bassin versant, celui du Massili à LOUMBILA est d'une importance socio-économique capitale pour la population qui est dans sa totalité rurale. Cette étude nous amènera à étudier en premier lieu les aspects démographiques.

1. Aspects socio-économiques

L'étude socio-économique ne peut pas se faire sans se référer au substratum sur lequel elle s'effectuera. Ce substratum est la population qui est dans son ensemble rurale. Pour cela nous nous sommes intéressés au dernier recensement effectué au Burkina Faso, celui de 1985.

Les résultats concernant notre bassin versant se résument dans le tableau n° 2 et portent surtout sur les chef-lieux de départements. Ce choix a été fait parce que le bassin englobe bien les chef-lieux et non toutes les régions dans lesquelles ils se trouvent.

Sur les 304.265 habitants que compte la province d'Oubritenga, le bassin englobe près de 70 % de ce total, soit environ 21.300 habitants. Pour une superficie de 2002 km², la densité de population est de 10,6 hbt/km². Cette population se trouve dispersée à l'échelle du bassin. Mais

TABLEAU 2 : DEMOGRAPHIE DU BASSIN

| Chef-lieux | Effectifs (hbts) | | |
|------------|------------------|----------|---------|
| | Total | Masculin | Féminin |
| PABRE | 2391 | 1104 | 1287 |
| DAPELOGO | 2050 | 908 | 1147 |
| BOUSSE | 5451 | 2526 | 2925 |
| LAY | 5542 | 2563 | 2979 |
| TOEGUEN | 2835 | 1279 | 1556 |
| LOUMBILA | 1727 | 847 | 880 |
| TOTAUX | 19296 | 9222 | 10074 |

| | Total | Masculin | Féminin |
|-------------|--------|----------|---------|
| Pourcentage | 6,34 % | 3,03 % | 3,31 % |

N.B. : Population totale de la Province d'OUBRITENGA :
304.265 hbts

néanmoins elle est groupée tout autour des petits barrages précisément aux chef-lieux.

Ce bref constat permettra de faire par la suite une corrélation entre la démographie autour des petits barrages et les activités qui s'y déroulent.

2. Les voies de communication

A l'aide de la carte topographique au 1/200.000ème, nous sommes arrivés à faire un rapprochement avec nos appréciations sur le terrain. Nous avons identifié deux axes routiers de praticabilité permanente. Ils constituent à l'échelle du bassin les axes principaux. Un troisième axe principal longe l'Ouest du bassin en se dirigeant vers la région de ZINIARE.

Tous ces axes convergent vers OUAGADOUGOU et cela constitue sans doute un élément important pour les paysans pour écouler leurs produits. Au cours de nos enquêtes, un paysan Mossi du nom de GNELEGNONGAN Antoine, jardinier, nous confirmait une telle idée.

A part ces axes, la topographie du terrain a permis la création d'une multitude de pistes plus ou moins larges, praticables aussi par les véhicules. Tout ceci montre que le bassin versant de LOUMBILA est grandement ouvert au "monde extérieur".

Ces différentes voies de communication font du bassin une zone où se développent particulièrement les cultures maraichères, les cultures irriguées et le développement des activités surtout agricoles.

3. Les activités agricoles

Le bassin versant de LOUMBILA se trouvant sur le plateau Mossi, il connaît certaines habitudes culturelles. Viennent s'ajouter à ces dernières d'autres pratiques agricoles et la pêche.

3.1. L'agriculture

Le bassin versant se trouve, comme nous l'avons dit plus haut, compris dans la bande de 700 - 950 mm de pluie par an. Avec une température moyenne de 28°C, ce bassin est surtout le siège de la céréaliculture. Cette culture se pratique sur un sol plus ou moins nu parce que le couvert végétal s'est vu détruit par l'action anthropique laissant place aux cultures de mil associées avec l'arachide et par endroit de tomates.

Mais néanmoins, il reste sur le terrain le Néré (Parkia biglobosa). Ce couvert est parsemé des cases. Les paysans, après les récoltes laissent les tiges de mil sur le sol en attendant la prochaine saison pluvieuse pour leur décomposition.

Cette agriculture est associée par endroit à l'élevage. Mais cette association agriculture - élevage n'est pas répandue. C'est ainsi que dans le village de LOUMBILA nous avons remarqué cette association, avec la fertilisation du sol par les excréments des animaux.

3.2. Les cultures maraîchères et irriguées

Les cultures maraîchères sont beaucoup développées tout autour des petits barrages se trouvant dans le bassin versant. Les plus importantes sont celles développées autour du barrage de DONSE, de PABRE, de KAMBOINSE et dans le thalweg à l'aval du barrage de LOUMBILA pendant la saison sèche. Un périmètre d'une quarantaine d'hectares est aussi irrigué à partir d'une station de pompage sise en rive droite de la retenue de LOUMBILA.

3.2.1. Cas du barrage de DONSE

Le barrage de DONSE, sur le plan socio-économique, est plus exploité que le barrage de LOUMBILA en matière agricole. L'eau de ce dernier est en effet prioritairement destinée à l'approvisionnement de OUAGADOUGOU.

A l'aval de ce barrage, s'intensifient les cultures irriguées, la riziculture et le haricot vert. A notre passage en Février 1990, l'aval était occupé par la culture du haricot vert. Cette activité est supervisée et dirigée par le CRPA (Centre Rural de Promotion Agricole) et le Projet Sensibilisation. L'animateur qui était sur le terrain nous

disait ceci : «Pour réaliser de tel projet, il est prévu l'aménagement de 60 hectares. Mais aujourd'hui nous n'utilisons que 30 hectares». Il continue toujours en disant : «Cette évaluation a été faite sans tenir compte des potentialités hydrologiques du barrage et des aspects financiers disponibles». Ces potentialités ne permettent pas de cultiver plus de 30 hectares.

Ce sont ces problèmes qui amènent le CRPA à n'utiliser que les 30 hectares. Un autre problème est que l'arrosage des cultures développées en aval se fait en ouvrant plus de deux fois dans la semaine les vannes. Ce qui, à chaque opération, diminue le volume d'eau dans le barrage.

En amont, se développent des cultures maraîchères dirigées par les paysans. Cette culture occupe tout le pourtour de la réserve d'eau. Les paysans cultivent de la tomate qui se consomment très bien par les burkinabè et les togolais qui viennent l'acheter. Au cours de nos enquêtes, il ressort qu'ils ont aujourd'hui des problèmes de commercialisation et de stockage.

Une critique qui a été confirmée par les paysans se dégage de cette pratique culturelle. Chaque année, les paysans remuent la terre pour fabriquer des planches. La pédologie autour de la retenue prend un aspect "meuble". Ceci donne naissance à un grave inconvénient pendant la saison pluvieuse, car cette masse de terre est entraînée dans la cuvette par l'eau qui ruisselle, provoquant ainsi l'envasement du barrage. Ce phénomène constitue sans doute

une des sources de diminution du volume d'eau. Nous pensons que si des mesures socio-techniques étaient prises, les 60 hectares pourraient être facilement irrigués en aval sans réhausser le barrage.

3.2.2. Cas du barrage de FABRE

La construction de ce barrage est l'initiative du Père MARKATOS en 1915 dans le but de faire des cultures irriguées pour la consommation du Petit Séminaire se trouvant à 300 mètres du barrage.

A l'aval de ce barrage se développent la pisciculture, les cultures maraîchères et une grande surface d'arbres fruitiers dans laquelle poussent des manguiers, des orangiers, des citronniers et autres arbres fruitiers.

Comme nous l'avons dit, une grande partie de cette récolte est destinée à la consommation et une infime partie à la vente pour payer les travailleurs nous le dit le Père SAPED. Excepté cet aspect consommation, le barrage de FABRE revêt une importance sur le plan socio-économique.

A l'amont du barrage, se développent partout des cultures maraîchères, mais de moindre importance que celles du barrage de DONSE. Il se pose aussi le même problème d'envasement.

En dehors de ces deux principaux barrages, nous notons un léger développement des cultures maraîchères autour

du barrage de KAMBOINSE et dans l'ancien thalweg du Massili à l'aval du barrage de LOUMBILA.

3.3. La pêche

Les différents barrages se trouvant dans le bassin versant du Massili à LOUMBILA devraient être le siège par excellence de la pêche. Mais ce qui n'est pas le cas. Des activités de pêche se font dans les barrages de PABRE, de DONSE, de KAMBOINSE à des périodes données avec la permission du chef du village. Seul le barrage de LOUMBILA, suivant nos enquêtes est à l'échelle du bassin le domaine de la pêche. Elle reste primaire parce que cette activité se limite à la plonge des pêcheurs dans l'eau et la pratique à la ligne.

B - CARACTERISTIQUES HYDROMETEOROLOGIQUES

III. LES ELEMENTS DU CLIMAT

Le climat est défini par l'ensemble des phénomènes météorologiques qui caractérisent l'état moyen de l'atmosphère et son évolution en un lieu donné. Tous les éléments du temps (pression atmosphérique, température, évaporation, humidité, insolation, précipitations, vents, tension, etc.) sont généralement donnés par des tableaux de statistiques moyennes et extrêmes.

Selon la classification de R. MOLLARD, le Burkina Faso est divisé en trois grandes zones climatiques :

- la zone de climat Nord soudanien concernant les régions situées entre $11^{\circ}30'$ et 14° de latitude Nord. Le bassin versant du Massili à LOUMBILA compris entre $12^{\circ}30'N$ et $12^{\circ}45'N$ fait bel et bien partie de cette zone climatique ;

- la zone de climat Sud soudanien concernant les régions situées au Sud de $11^{\circ}30'$ de latitude Nord ;

- enfin vient la zone de climat sahélien concernant les régions situées au Nord du 14ème parallèle.

Retenons que les pluies, principal agent du bilan hydrique, connaissent une variabilité à l'échelle journalière, décadaire, mensuelle. Cette variabilité est importante dans la zone du climat Nord soudanien où se situe précisément le bassin versant du Massili à LOUMBILA.

1. Mécanisme du climat

Le Burkina Faso, pays situé à l'intérieur du continent africain, ne subit pas d'influence directe de l'anticyclone des Açores. Mais le temps sur le pays est conditionné par la position, les mouvements, l'affaiblissement ou le renforcement des anticyclones saharien et austral. Le bassin versant de LOUMBILA est soumis à ces deux forces rivales.

Les masses d'air dirigées sur le pays par ces deux centres d'action ont des origines et des caractéristiques différentes et, suivant la prédominance de l'une ou de l'autre, les flux d'air intéressant la région sont secs (harmattan en provenance de l'anticyclone saharien) ou humide (mousson en provenance de l'anticyclone austral).

L'harmattan est suivi de l'alizé boréal. Ils soufflent de Novembre à Février suivant la direction NE - SW. L'harmattan souffle de préférence au milieu de la journée et l'alizé boréal dans la nuit.

Quant à la mousson, elle souffle de l'Ouest ou du Sud-Ouest en refoulant l'harmattan en altitude.

L'étude du climat sera faite à partir des données recueillies par la Direction de la Météorologie à la station synoptique de OUAGADOUGOU, poste proche de LOUMBILA. Toutes les observations utilisées portent sur 30 ans. de 1951-1980.

2. Le cycle de l'eau

A la surface des nappes d'eau, l'action combinée du soleil et du vent permet aux molécules d'eau de se dégager de l'emprise des molécules voisines et de pénétrer dans l'atmosphère. Ce phénomène est l'évaporation.

Ce phénomène est accentué par le rôle des végétaux. Les végétaux à la surface de la terre puisent l'eau nécessaire à leur activité biologique dans le sol et dans les nappes d'eau souterraines ; une partie de cette eau est transformée en vapeur par les plantes ou les animaux : c'est l'évapotranspiration.

L'atmosphère a une capacité limitée de teneur en vapeur d'eau. Cette capacité est appelée la tension de vapeur. Tout dépassement de cette teneur limite en vapeur d'eau de l'atmosphère entraîne l'accumulation des molécules d'eau autour des particules solides soit dans l'atmosphère, soit au niveau du sol : c'est la condensation.

Elle est remarquable car les gouttes se regroupent. Les nuages sont formés de gouttes et gouttelettes d'eau soit de cristaux de glace aux dimensions très variées. Lorsque les gouttes grossissent, la force des courants ascensionnels n'est plus suffisante pour maintenir les gouttelettes d'eau en suspension dans l'air ; celles-ci retombent à la surface de la terre sous forme de pluie. Ce sont les précipitations.

Cette quantité d'eau, en arrivant à la surface de la terre, peut rester sur place et constituer des réserves sous forme liquide : mares, flaques, plans d'eau, etc.. Les précipitations peuvent également s'écouler à la surface du sol, c'est le ruissellement, ou bien pénétrer dans le sol, c'est l'infiltration.

Par le ruissellement à la surface du sol, les eaux se rassemblent dans des chenaux, les ruisseaux, les rivières et les fleuves qui conduisent celles-ci jusqu'à la mer, à l'océan, aux réservoirs de plus faible capacité (étangs et lacs).

Cette étude du cycle de l'eau nous donne une idée sur les liaisons entre évaporation et pluviométrie. Elle s'avère nécessaire pour le reste de l'étude.

3. Les températures - l'humidité - la tension

3.1. Les températures

Le bassin versant de LOUMBILA est compris entre 12°30'N et 12°45'N. Ce qui lui confère une moyenne thermique donnée.

La température, premier élément météorologique, a une influence capitale sur tous les phénomènes climatologiques. Elle permet avec la pluviométrie de sérier les différentes zones de climats.

Les températures de 1951 à 1980 de la station synoptique de OUAGADOUGOU sont rassemblées dans le tableau n° 3. Ce tableau nous a permis d'analyser l'évolution de la température à l'aide de la figure n° 3 et de calculer les différents paramètres caractéristiques :

- Moyennes mensuelles et annuelles des températures maximales journalières (Tmax).

- Moyennes mensuelles et annuelles des températures minimales journalières (Tmin).

- Moyennes mensuelles et annuelles

$$T_{\text{moy}} = \frac{T_{\text{max}} + T_{\text{min}}}{2}$$

- Amplitudes thermiques moyennes mensuelles et annuelles :

$$T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$$

Ces données météorologiques ont permis de tracer les courbes thermiques moyennes sur 30 ans sur lesquelles on distingue, à l'intérieur du cycle annuel, trois périodes de températures :

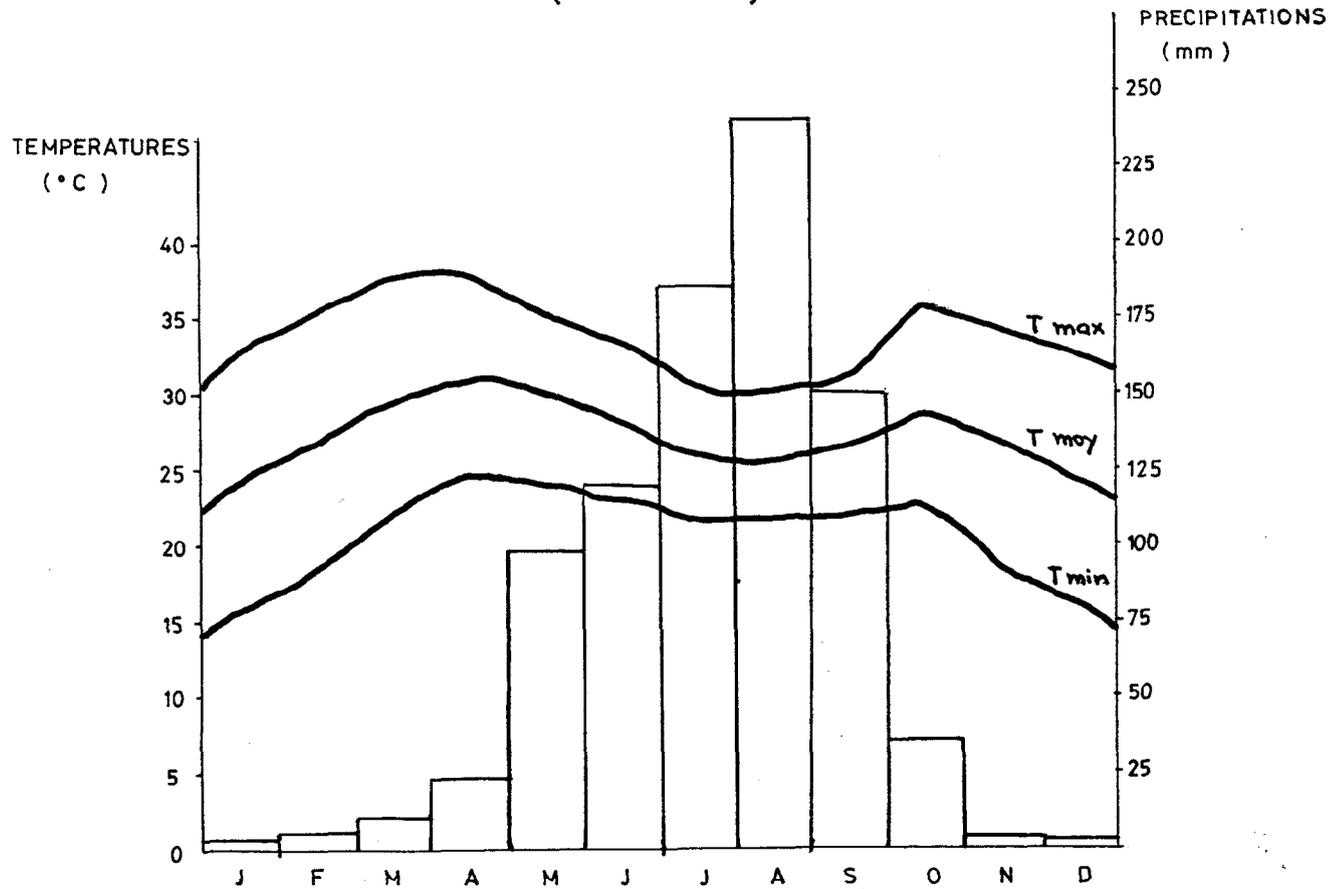
- la première où la température s'élève jusqu'à 37,6°C de Janvier à Avril. Elle correspond à la période de la saison chaude ;

**TABLEAU 3 : MOYENNES DES TEMPERATURES (EN °C) DE LA STATION DE
OUAGADOUGOU - AEROPORT 1951 - 1980**

| STATION de OUAGADOUGOU | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Moyenne annuelle |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| T _x | 32,4 | 35,3 | 37,3 | 37,6 | 35,9 | 33,9 | 30,6 | 30,6 | 31,5 | 35,5 | 34,9 | 32,8 | 34,1 |
| T _n | 15,87 | 18,41 | 22,33 | 24,93 | 24,47 | 22,72 | 21,64 | 21,74 | 21,75 | 22,50 | 18,89 | 16,32 | 20,96 |
| $T_m = \frac{T_x + T_n}{2}$ | 24,25 | 26,83 | 29,79 | 31,29 | 30,15 | 26,32 | 26,12 | 26,15 | 26,79 | 28,98 | 26,88 | 24,55 | 27,50 |

T_x : Température maximale
T_n : Température minimale
T_m : Température moyenne

Fig 3 : COURBE DES TEMPERATURES ET DES PRECIPITATIONS
OUAGA (1951-1980)



Echelles:

1cm — 5°C

1cm — 25mm

- elle diminue laissant place à la deuxième période où la température descend jusqu'à 30,5°C correspondant à la période pluvieuse ;

- et enfin la troisième qui correspond à une légère diminution jusqu'au mois de Décembre où l'on observe l'harmattan. Les températures minimales les plus basses apparaissent en Décembre. La température maximale de Décembre (32,8°C) est supérieure à celles de Juillet (30,6°C), Août (30,6°C) et Septembre (31,2°C).

Nous pensons que dans le cadre de notre étude certains mois seront pris en compte. Les mois qui correspondent aux fortes évaporation et évapotranspiration.

3.2. Humidité - Tension

3.2.1. Humidité

Les observations d'humidité utilisées portent sur une période de 30 ans (1952-1981). C'est à partir de ces données que nous avons établi le tableau n° 4 donnant les humidités maximales (Ux), minimales (Un)

$$\text{et moyennes (U}_m = \frac{U_x + U_n}{2})$$

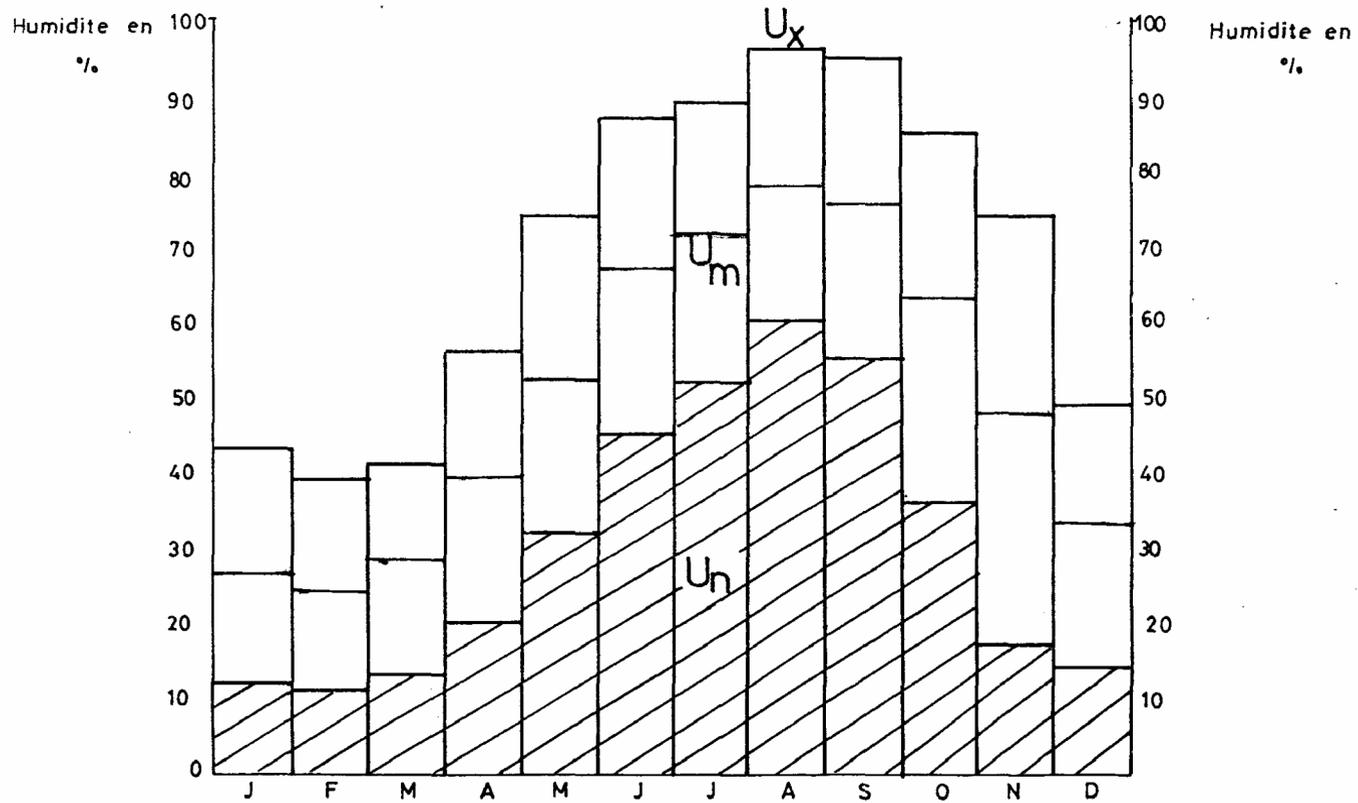
De ce tableau et de la figure n° 4, il en ressort que l'humidité relative (hygrométrie) est très importante. Elle atteint 96 % pour l'humidité maximale moyenne et 78 %

**TABEAU 4 : MOYENNES DES HUMIDITES DE LA STATION DE OUAGADOUGOU
EXPRIMEES EN % 1952 - 1981**

| STATION de OUAGADOUGOU | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Moyenne annuelle |
|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---------------------|
| U _x | 43 | 39 | 41 | 56 | 74 | 87 | 89 | 96 | 95 | 85 | 75 | 49 | 69 |
| U _n | 12 | 11 | 13 | 20 | 32 | 45 | 52 | 60 | 55 | 38 | 17 | 14 | 31 |
| U _m | 27 | 25 | 28 | 36 | 53 | 66 | 70 | 76 | 75 | 60 | 46 | 31 | 50 |

U_x : Humidité maximale en %
 U_n : Humidité minimale en %
 U_m : Humidité moyenne en %

Fig 4 : GRAPHIQUE DES HUMIDITES EXPRIMEES EN % : 1952- 1981



U_x : HUMIDITE MAXIMALE

U_m : HUMIDITE MOYENNE

U_n : HUMIDITE MINIMALE

pour l'humidité moyenne. Ces différents maxima d'humidité se remarquent au mois d'Août. Elle varie avec la pluviométrie car pendant ce même mois, nous avons une pluviométrie importante de 241,6 mm.

Ceci nous amène à observer que l'humidité varie en fonction de la pluviométrie. L'évolution de l'humidité est contraire à celle de la température décrite dans le chapitre précédent car le mois d'Août est aussi un mois de faible température (30,6°C).

3.2.2. La tension

La tension est un paramètre qui entre dans le concept de définition du climat. A la station synoptique, elle se mesure toutes les trois heures. Le relevé de ce paramètre a commencé en 1971, ce qui fait qu'on a une période restreinte d'observations de 15 ans (1971 à 1985).

Nous avons d'abord déterminé les tensions moyennes à chaque heure de relevé (0 h, 3 h, 6 h, ...) et ceci pour chaque mois, avant de procéder au calcul des tensions moyennes mensuelles (tableau n° 5).

Ce tableau nous conduit à observer que les tensions sont importantes au mois de Mai jusqu'au mois d'Octobre avec une moyenne maximale de 26,7 millibars (mois d'Août). Ces résultats montrent que la tension suit le même sens évolutif que les précipitations (figure n° 5).

**TABEAU 5 : MOYENNES DES TENSIONS DE LA STATION SYNOPTIQUE DE
OUAGADOUGOU 1971 - 1985**

| STATION de OUAGADOUGOU | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------------------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| 0 heure | 8.5 | 9.0 | 11.8 | 17.8 | 22.2 | 25.6 | 25.0 | 27.2 | 27.2 | 23.2 | 12.8 | 9.2 |
| 3 heures | 8.2 | 8.6 | 11.7 | 18.6 | 22.8 | 25.6 | 24.7 | 26.7 | 26.5 | 23.4 | 12.7 | 8.9 |
| 6 heures | 7.9 | 8.4 | 12.1 | 19.5 | 23.3 | 25.6 | 24.3 | 26.4 | 26.1 | 23.6 | 12.8 | 8.6 |
| 9 heures | 6.3 | 6.8 | 11.1 | 19.5 | 23.0 | 25.1 | 24.1 | 26.3 | 25.2 | 23.8 | 10.8 | 6.9 |
| 12 heures | 6.3 | 6.8 | 10.6 | 17.3 | 21.9 | 24.5 | 24.0 | 26.5 | 26.3 | 22.1 | 9.8 | 6.8 |
| 15 heures | 6.8 | 7.3 | 10.5 | 15.5 | 20.4 | 23.9 | 23.7 | 26.3 | 25.9 | 20.3 | 9.6 | 7.3 |
| 18 heures | 8.1 | 8.3 | 10.8 | 15.8 | 20.2 | 24.1 | 23.8 | 26.4 | 26.5 | 21.5 | 11.7 | 8.9 |
| 21 heures | 8.9 | 9.4 | 12.3 | 17.3 | 21.6 | 25.4 | 24.9 | 27.5 | 27.5 | 22.5 | 12.4 | 9.4 |
| Moyennes | 7.6 | 8.1 | 11.4 | 17.6 | 21.3 | 24.9 | 24.3 | 26.7 | 26.5 | 22.6 | 11.6 | 8.3 |

Unité : millibar

Fig 5: COURBE DE TENSION DE LA STATION DE OUAGADOUGOU 1971-1985

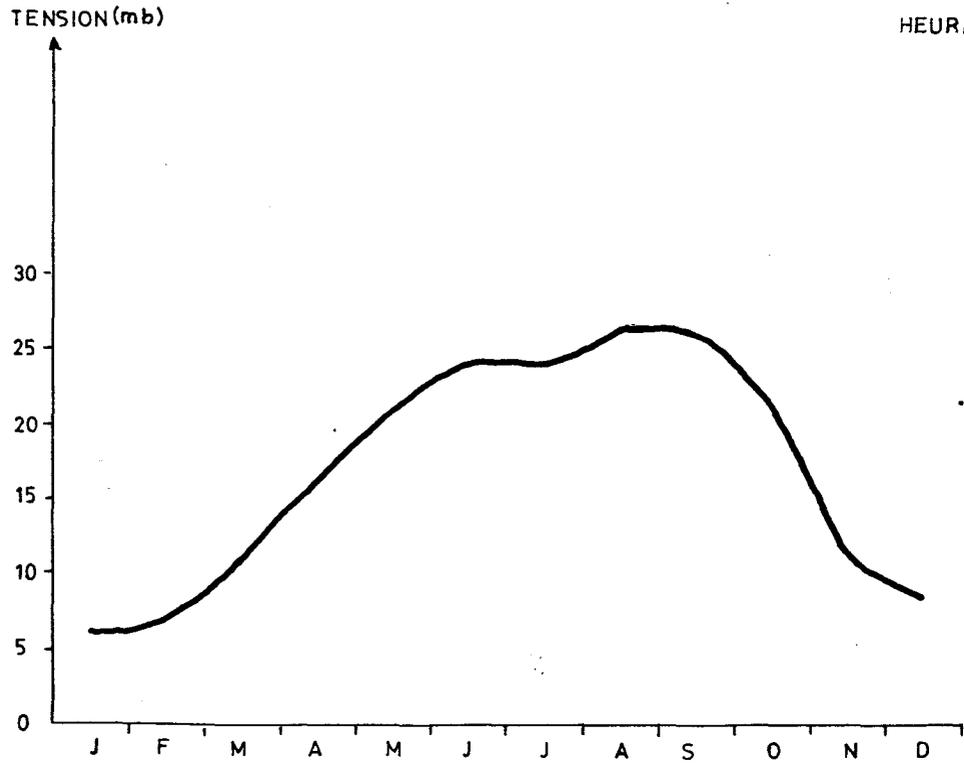
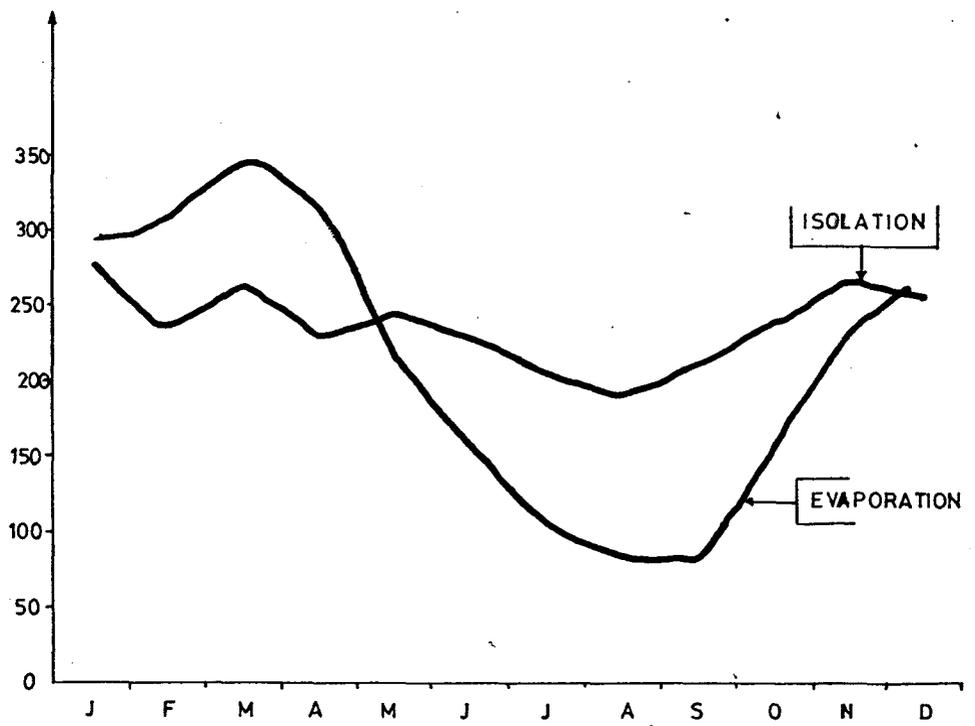


Fig 6: COURBE D'INSOLATION ET D'EVAPORATION DE LA STATION DE OUAGADOUGOU 1952-1982

HEURES



TABEAU 6 : MOYENNES DE L'INSOLATION ET DE L'EVAPORATION A LA STATION DE OUAGADOUGOU

| STATION de OUAGADOUGOU | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Moyenne annuelle |
|---|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|
| INSOLATION PICHE 1/10 mm 1952-1981 | 372 | 231 | 261 | 226 | 241 | 224 | 209 | 188 | 213 | 237 | 270 | 259 | 236 |
| EVAPORATION PICHE 1/10 mm 1952-1981 | 2480 | 307 | 349 | 309 | 219 | 160 | 105 | 078 | 077 | 153 | 234 | 265 | 251 |
| EVAPORATION BAC "A" 1/10 mm 1968 - 1982 | 280 | 277 | 336 | 326 | 271 | 254 | 194 | 169 | 173 | 218 | 227 | 220 | 244 |

4. Insolation et Evaporation

Sur tout le territoire du Burkina Faso, l'évaporation est mesurée à chaque poste climatologique à l'aide de deux appareils, à savoir : l'évaporomètre PICHE et le BAC évaporatoire de "Classe A". L'insolation est quant à elle mesurée avec l'héliographe de CAMPBELL. Ces instruments ont permis d'avoir les données à la station synoptique de OUAGADOUGOU. Elles couvrent une période de 30 ans (1952-1981) pour l'insolation et l'évaporation mesurée par le Piche ; et 1968 à 1982 pour l'évaporation BAC A.

Ces deux paramètres sont intimement liés. Ceci se remarque très facilement sur le tableau 6. On remarque une forte insolation suivie d'une forte évaporation pour les mois d'Octobre jusqu'en Mai. Pour une insolation de 276 heures, l'évaporation atteint 295 mm pour le Piche et 260 mm pour le BAC A. Les mois où l'évaporation n'est pas forte sont ceux compris entre Juin et Septembre inclus (figure n° 6).

Ces données varient dans le même sens que les différentes températures citées dans le tableau 3 et varient aussi en sens inverse de la pluviométrie. Pour plus de précision, l'évaporation mensuelle moyenne maximale s'observe en Mars avec une insolation forte.

Ces paramètres évoluent dans l'espace et dans le temps. C'est ainsi que nous avons constaté que l'évaporation moyenne croît du Sud vers le Nord du bassin et bien sûr dans le même sens que la latitude.

L'évaporation constitue un facteur très important dans l'appréciation du bilan hydrologique d'un bassin versant. En effet la formule de PENMAN appliquée au calcul de l'évaporation de l'eau libre avec les données du poste synoptique de OUAGADOUGOU conduit à une évaporation moyenne de 2120 mm sur une période de 21 ans d'observation. Cette valeur est comparable à celle obtenue pour le Tchad d'après PENMAN.

5. Les précipitations

5.1. Régime pluviométrique dans la région de Ouagadougou

Contrairement à l'évaporation, la pluviométrie est le principal agent de la morphogenèse au Burkina Faso et le principal élément positif du bilan hydrique. Pour apprécier cette dernière, nous avons été amenés à prendre les données de la station synoptique de OUAGADOUGOU - AEROPORT. Elles s'étalent sur 30 ans, de 1952 à 1981 (tableau n° 7). Nous avons pu établir les précipitations moyennes mensuelles et le nombre de jours pluvieux correspondant (tableau n° 8).

Comme nous l'avons signalé plus haut, la pluviométrie évolue en sens inverse de l'évaporation. Le tableau n° 9 nous donne les mois les plus pluvieux qui se situent entre Mai et Septembre avec une pluviométrie moyenne maximale de 241,6 mm (mois d'Août) et un nombre de jours pluvieux égal à 18 jours en moyenne.

**TABLEAU 7 : PRECIPITATIONS MENSUELLES SUR 30 ANS
A OUAGADOUGOU AEROPORT - 1952 - 1981**

| Année | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---------|---|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 1952 | | | - | 9,9 | 58,1 | 95,8 | 157,1 | 208,3 | 237,5 | 16,2 | - | - |
| 1953 | | | - | 6,1 | 241,8 | 93,9 | 207,6 | 248,1 | 59,6 | 26,5 | 0,7 | - |
| 54 | | | 9,1 | 36,1 | 117,3 | 163,6 | 204,3 | 265,9 | 130,0 | 50,3 | - | - |
| 55 | | 2,0 | 11,3 | 5,3 | 131,7 | 136,6 | 239,9 | 159,4 | 258,3 | 105,9 | - | - |
| 56 | | 27,5 | 27,2 | 34,7 | 114,4 | 186,7 | 250,1 | 258,1 | 182,9 | 20,3 | - | - |
| 57 | | | - | 32,1 | 170,5 | 150,0 | 162,2 | 234,2 | 197,5 | 28,6 | 3,3 | - |
| 58 | | | 12,8 | 8,2 | 29,1 | 143,0 | 122,3 | 231,6 | 168,0 | 9,7 | 3,5 | - |
| 59 | | 0,4 | - | 6,2 | 131,4 | 144,1 | 114,6 | 482,6 | 101,5 | 9,6 | - | - |
| 60 | | | 53,4 | 22,3 | 89,8 | 96,2 | 215,2 | 159,5 | 140,4 | 33,1 | 13,3 | 9,6 |
| 61 | | | 9,8 | 5,1 | 14,0 | 164,5 | 145,0 | 181,0 | 184,8 | - | - | - |
| 62 | | | - | 22,7 | 85,2 | 204,1 | 201,6 | 452,5 | 164,3 | 39,0 | 13,7 | - |
| 63 | | | - | 30,5 | 44,3 | 85,4 | 144,0 | 218,7 | 77,8 | 58,1 | - | - |
| 64 | | | - | 54,0 | 92,8 | 157,2 | 191,5 | 319,7 | 261,0 | 13,2 | - | 13,8 |
| 65 | | | - | 10,2 | 134,7 | 59,4 | 224,1 | 225,3 | 172,4 | 25,9 | - | - |
| 66 | | | - | 35,7 | 48,8 | 133,2 | 90,7 | 175,1 | 105,3 | 55,0 | 4,4 | - |
| 67 | | 1,1 | - | 7,3 | 73,6 | 83,9 | 163,2 | 275,6 | 139,7 | 19,4 | 0,6 | - |
| 68 | | 5,7 | 11,4 | 21,7 | 89,9 | 94,9 | 183,6 | 163,2 | 137,8 | 52,2 | - | - |
| 69 | | - | 28,5 | 14,3 | 81,2 | 123,8 | 220,0 | 344,7 | 208,4 | 24,4 | - | - |
| 70 | | - | - | 1,5 | 121,8 | 62,0 | 217,1 | 162,4 | 133,1 | 30,9 | - | - |
| 71 | | - | 6,0 | 58,5 | 37,4 | 61,7 | 264,5 | 215,9 | 161,1 | - | - | 3,7 |
| 72 | | - | - | 57,0 | 110,3 | 261,7 | 187,4 | 183,0 | 170,3 | 90,3 | - | - |
| 73 | | 12,8 | - | 79,5 | 52,5 | 76,1 | 244,0 | 179,6 | 90,9 | 10,5 | - | - |
| 74 | | | 0,8 | 0,1 | 74,6 | 89,6 | 166,3 | 360,5 | 198,5 | 33,7 | - | - |
| 75 | | | - | 2,7 | 193 | 129,6 | 292,4 | 223,3 | 71,7 | 16,3 | - | - |
| 76 | | | 19,8 | 4,5 | 111,6 | 163,1 | 202,0 | 254,6 | 223,4 | 124,0 | - | - |
| 77 | | | 4,9 | 0,5 | 68,6 | 66,5 | 66,4 | 310,7 | 83,0 | 54,7 | - | - |
| 78 | | | 3,1 | 96,2 | 75,0 | 90,3 | 137,7 | 136,9 | 152,0 | 23,0 | - | - |
| 79 | | | 6,2 | 9,3 | 50,9 | 86,0 | 187,9 | 157,8 | 181,6 | 27,1 | 25,8 | - |
| 80 | | | - | 13,2 | 29,2 | 133,4 | 134,6 | 205,7 | 86,2 | 40,9 | - | - |
| 81 | | | - | 30,6 | 85,3 | 80,0 | 198,1 | 211,8 | 103,7 | 1,1 | - | - |
| Moyenne | - | 1,7 | 6,8 | 22,9 | 92,1 | 120,5 | 185,2 | 243,5 | 152,0 | 37,8 | 2,2 | 1,0 |
| Maxi | - | 37,5 | 53,4 | 79,5 | 241,8 | 204,1 | 250,1 | 482,6 | 261,0 | 105,9 | 13,7 | 13,8 |
| Mini | - | 0,4 | 0,8 | 0,1 | 14,0 | 61,7 | 90,7 | 157,8 | 59,6 | 1,1 | 0,6 | 3,7 |

**TABLEAU 8 : HAUTEUR ET NOMBRE DE JOURS PLUVIEUX ENTRE 1952 - 1981
A LA STATION SYNOPTIQUE DE OUAGADOUGOU**

| STATION de OUAGADOUGOU | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Moyenne du cumul |
|-------------------------------------|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|------------------------|
| Pluviométrie (mm) 1952 - 1981 | 0,2 | 1,7 | 6,8 | 22,9 | 92,1 | 120,5 | 185,2 | 243,5 | 152,0 | 37,8 | 2,1 | 1,0 | 865,9 |
| Nombre de jours pluvieux | - | - | - | 4 | 10 | 11 | 14 | 18 | 13 | 4 | - | - | - |

**TABEAU 9 : PRECIPITATIONS ANNUELLES SUR LES MOIS LES PLUS
PLUVIEUX JUILLET - AOÛT - SEPTEMBRE : 1952 -1989
OUAGA - AERO**

| Années | Juillet | Août | Septembre | Années | Juillet | Août | Septembre |
|--------|---------|-------|-----------|--------|---------|-------|-----------|
| 1952 | 157,1 | 206,3 | 237,5 | 1972 | 167,4 | 183,0 | 170,3 |
| 1953 | 207,6 | 248,1 | 59,6 | 1973 | 244,0 | 179,6 | 90,9 |
| 1954 | 204,3 | 265,9 | 103,0 | 1974 | 166,3 | 360,3 | 198,5 |
| 1955 | 226,9 | 159,4 | 258,3 | 1975 | 292,4 | 223,6 | 71,7 |
| 1956 | 250,1 | 256,1 | 182,9 | 1976 | 202,0 | 254,6 | 223,4 |
| 1957 | 162,2 | 234,2 | 197,5 | 1977 | 66,4 | 310,7 | 83,0 |
| 1958 | 112,3 | 281,8 | 166,0 | 1978 | 137,7 | 186,9 | 152,0 |
| 1959 | 114,8 | 482,6 | 101,5 | 1979 | 196,0 | 157,8 | 181,6 |
| 1960 | 215,2 | 159,5 | 140,4 | 1980 | 134,6 | 205,7 | 66,2 |
| 1961 | 145,8 | 181,0 | 184,6 | 1981 | 198,1 | 211,6 | 103,7 |
| 1962 | 201,6 | 452,6 | 164,3 | 1982 | 105,6 | 139,4 | 73,3 |
| 1963 | 144,0 | 218,7 | 77,8 | 1983 | 191,6 | 205,0 | 109,3 |
| 1964 | 191,5 | 319,7 | 261,0 | 1984 | 167,2 | 122,3 | 103,7 |
| 1965 | 224,1 | 225,5 | 172,4 | 1985 | 192,3 | 154,6 | 163,0 |
| 1966 | 90,7 | 175,1 | 105,3 | 1986 | 160,7 | 197,8 | 165,4 |
| 1967 | 163,2 | 275,6 | 139,7 | 1987 | 146,3 | 221,9 | 131,2 |
| 1968 | 193,6 | 165,2 | 137,8 | 1988 | 161,9 | 263,8 | 88,7 |
| 1969 | 220,0 | 344,7 | 206,4 | 1989 | 233,5 | 305,3 | 112,4 |
| 1970 | 217,1 | 162,4 | 133,1 | | | | |
| 1971 | 224,3 | 192,6 | 149,1 | | | | |

De Janvier à Avril, il n'y a que des traces. La pluviométrie prend la même courbe que les températures dans son ensemble. Les précipitations et l'évaporation constituent l'essentiel des apports et des pertes du bilan hydrique. Une représentation graphique à la même échelle de la pluviométrie et de l'évaporation potentielle pour chaque mois donne une idée de la valeur du bilan hydrique (figure n° 7). Ce bilan est positif pour les mois de Juillet - Août - Septembre et négatif pour le reste de l'année.

5.1.1. Répartition des pluies mensuelles

Pour apprécier la répartition mensuelle des pluies sur le bassin, nous avons considéré les mois les plus pluvieux du Burkina Faso - qui sont Juillet, Août, Septembre. Le poste synoptique de OUAGADOUGOU, poste proche du bassin a permis d'avoir toutes les valeurs.

Nous sommes passés au calcul des moyennes arithmétiques des trois mois sur une période de 1952 à 1989 (tableau n° 9).

Au mois de Juillet, la pluviométrie atteint dans 24 % des cas pluviométrie allant de 200 mm à 225 mm (figure n° 9). Cette figure présente une certaine homogénéité.

Au mois d'Août, la pluviométrie entre 150 mm et 225 mm est la plus fréquente et représente 53 % des cas (figure n° 10). C'est le mois le plus arrosé. Si la pluviométrie est

Fig 7: BILAN HYDRIQUE À LA STATION SYNOP-
TIQUE DE OUAGADOUGOU - AEROPORT

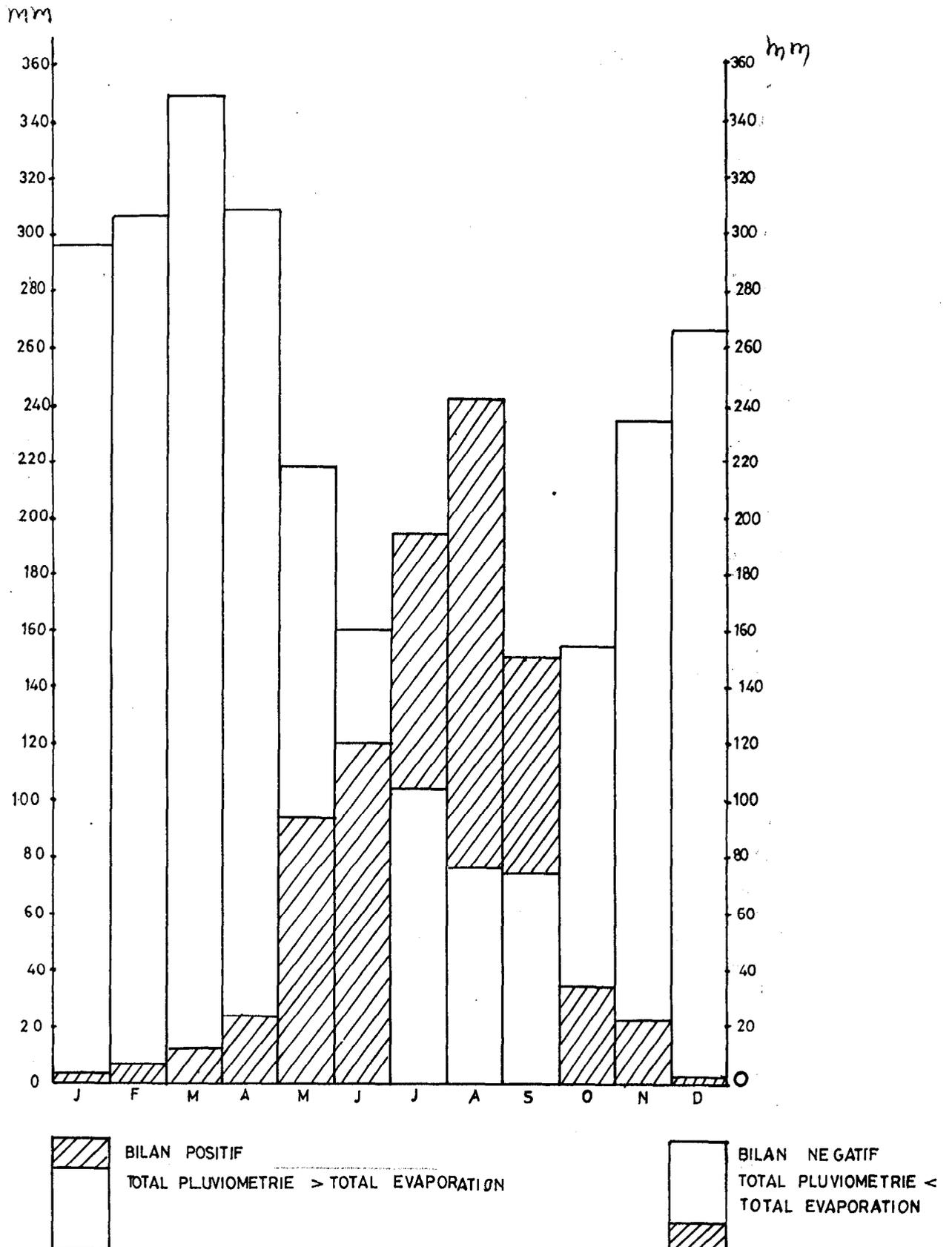
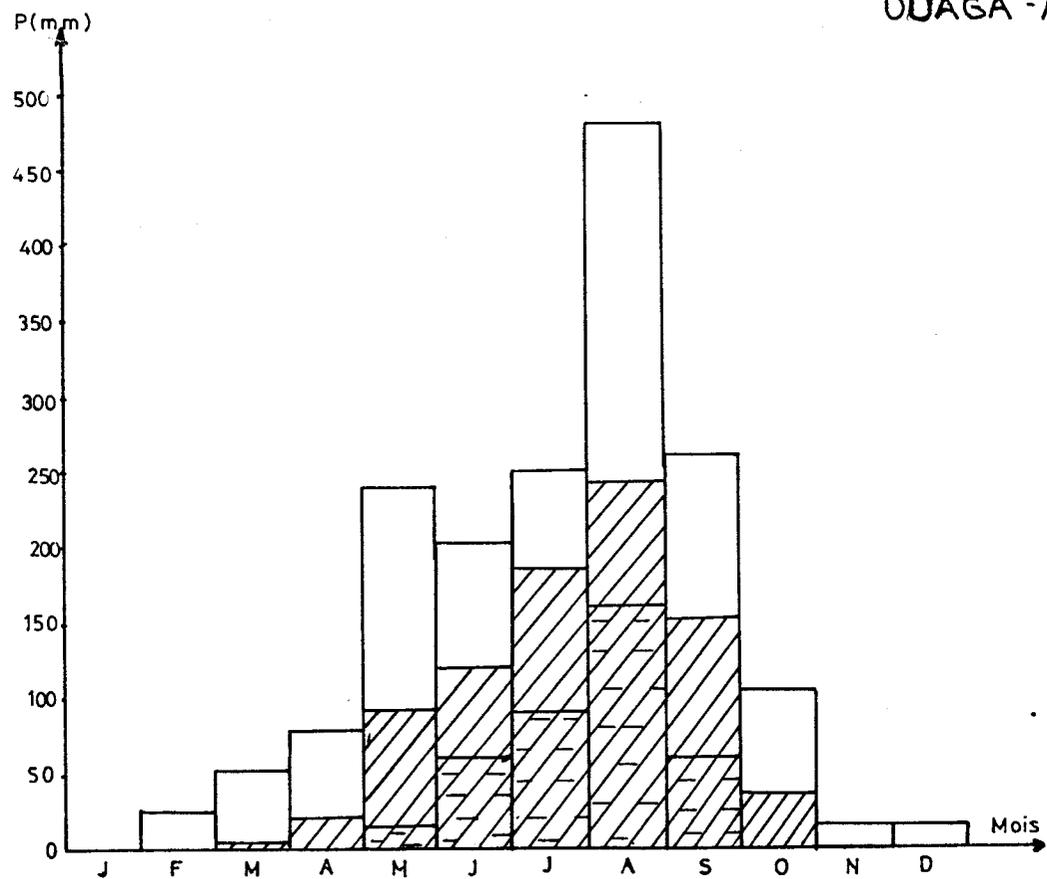
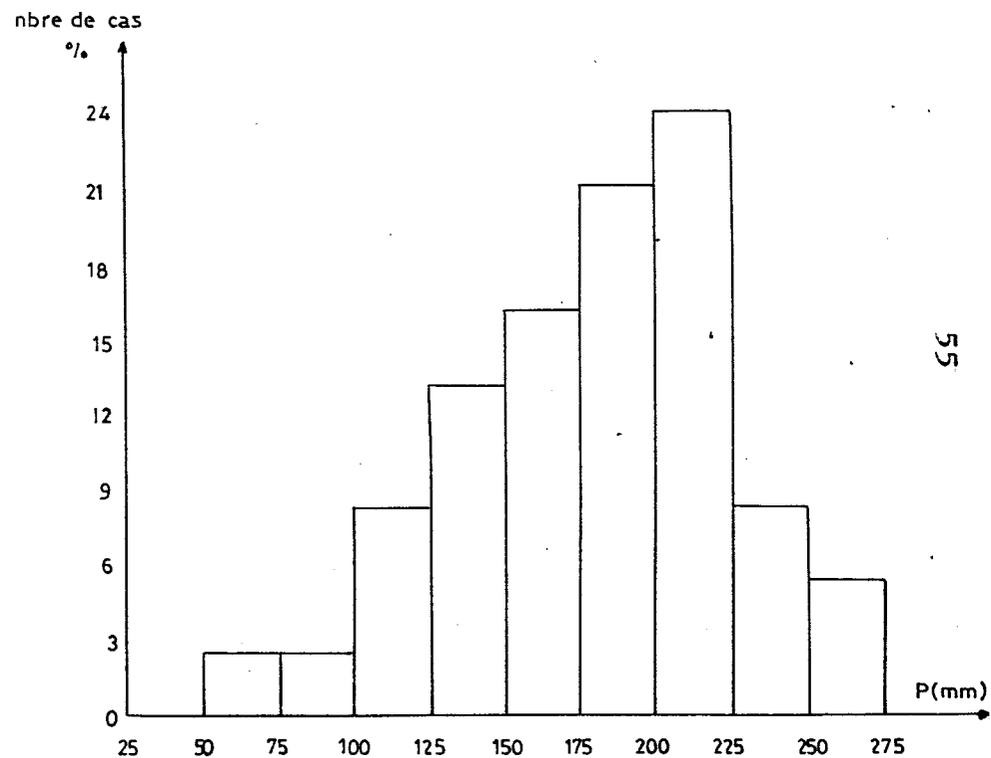


Fig 8 : PRECIPITATIONS ANNUELLES 1952-1981



maxi
 moyenne
 mini

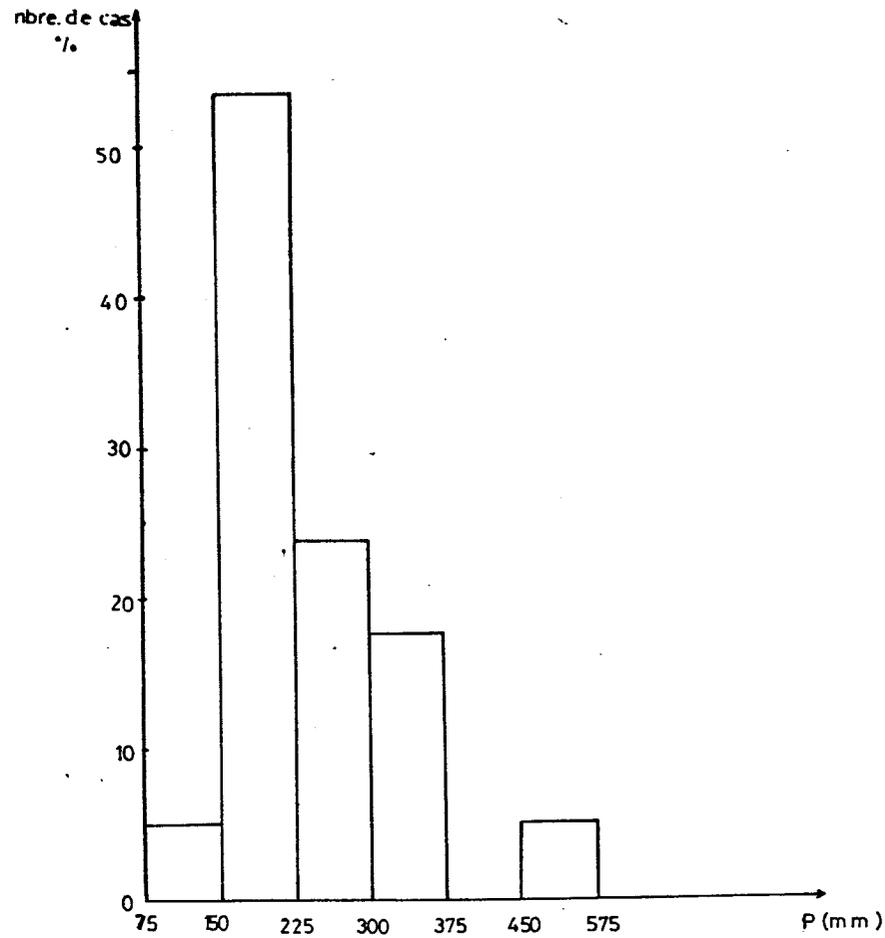
Fig 9 : CLASSEMENT DE LA PRECIPITATION
DU MOIS DE JUILLET
1952-1989



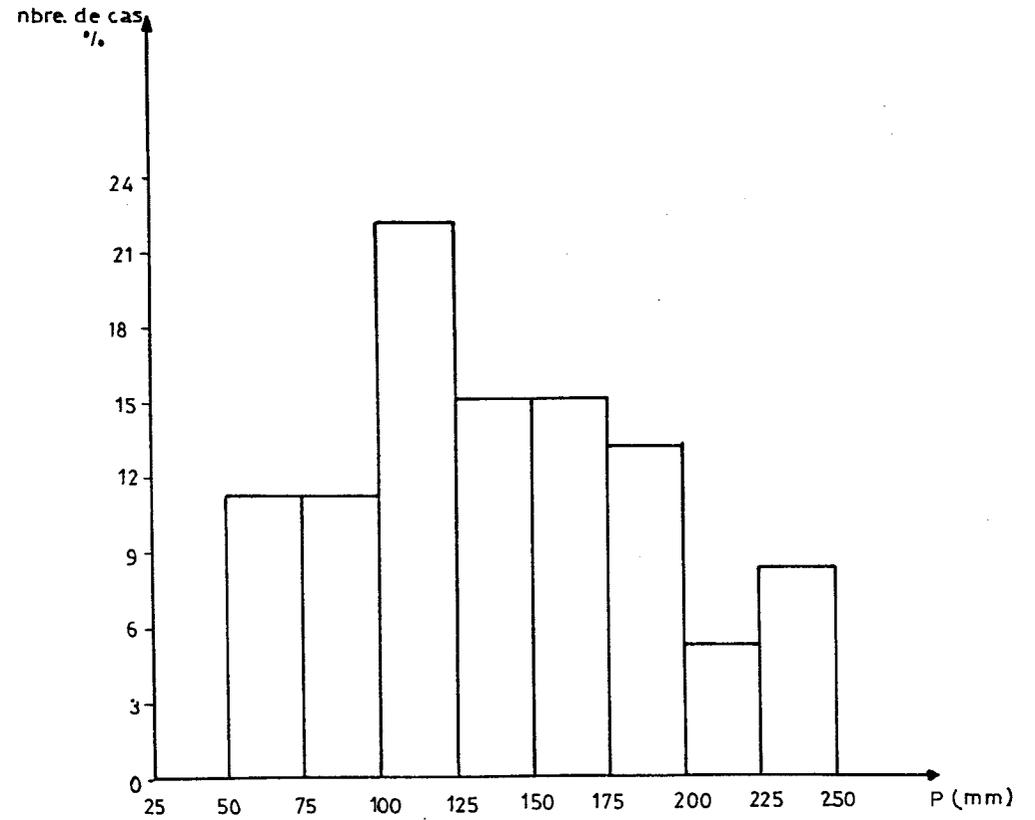
55

Fig 10:

CLASSEMENT DE LA PRECIPITATION ANNUELLE DU MOIS D'AOUT (1952-1989)



CLASSEMENT DE LA PRECIPITATION DU MOIS DE SEPTEMBRE; 1952-1989



importante sur l'ensemble du bassin, on assiste en général au déversement des barrages.

Le mois de Septembre représente le mois de précipitations moindres, avec 100 mm à 125 mm dans 22 % des cas (figure n° 10).

En dehors de ces données statistiques, il reste le problème de répartition des pluies et l'impact du milieu physique sur l'écoulement. Ces phénomènes physiques décrits dans les chapitres précédents réagissent chacun à sa manière. Le relief agit directement sur la vitesse de l'écoulement par le truchement des pentes. Une pente forte est donc susceptible d'engendrer une forte vitesse d'écoulement. Notons que les pentes dans le bassin versant du Massili à LOUMBILA ne sont pas négligeables.

5.1.2. Variation des pluies annuelles

L'étude des pluies annuelles a porté sur les données de la station synoptique de OUAGADOUGOU récapitulées dans le tableau n° 10.

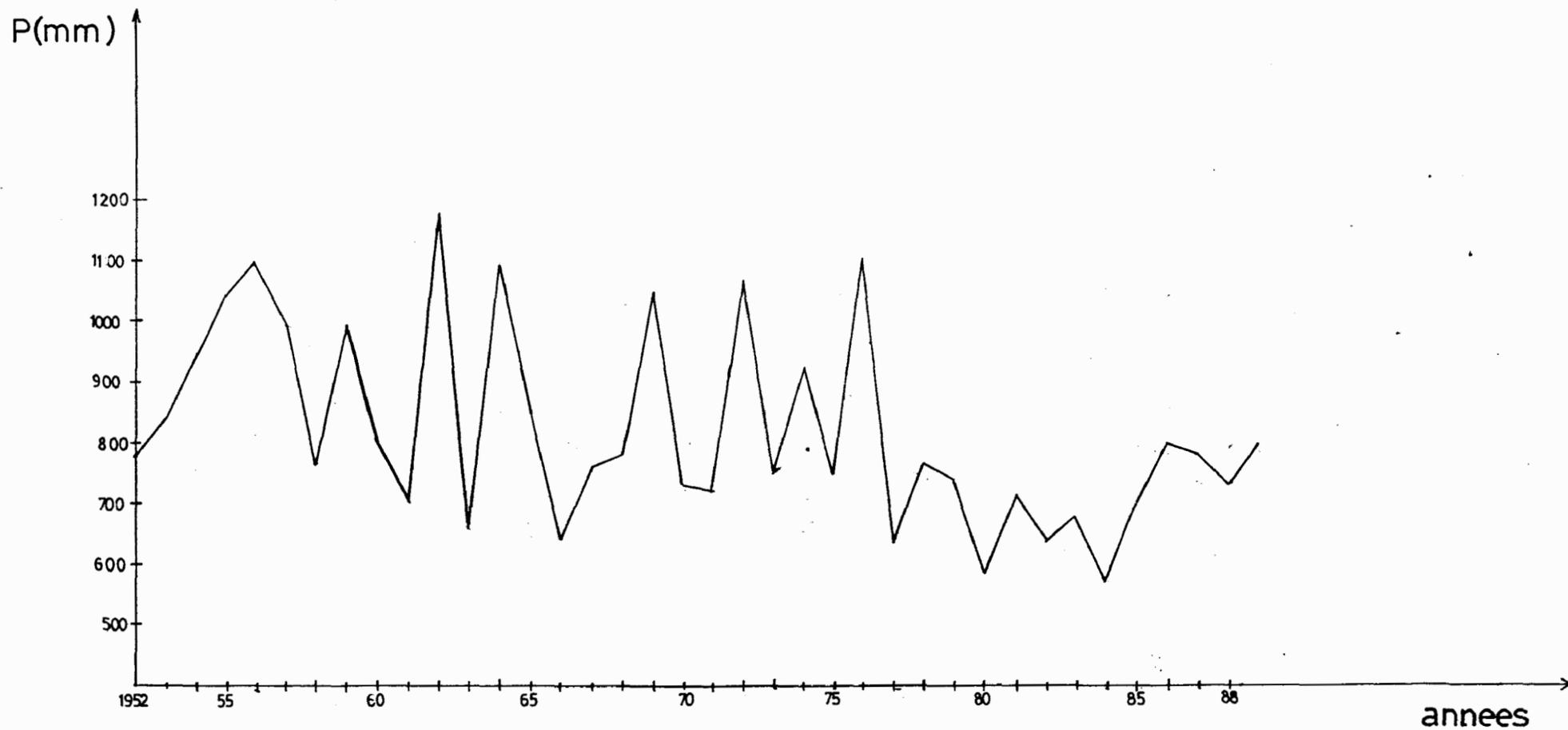
La figure n° 11 correspondante montre la variation des précipitations annuelles. De 1952 à 1989, la pluviométrie diminue progressivement. Ceci est probablement dû aux différents phénomènes physiques et météorologiques qui font actuellement l'objet de recherche (rejets thermiques, modification de la couche d'ozone, désertification, effet de serre).

**TABLEAU 10 : PRECIPITATIONS ANNUELLES : 1952 - 1989
OUAGA - AERO**

| Année | P _{annuelle} | Année | P _{annuelle} | Année | P _{annuelle} |
|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|
| 1952 | ≥ 780,9 | 1965 | 852,2 | 1978 | 764,2 |
| 1953 | 864,3 | 1966 | 648,1 | 1979 | 740,6 |
| 1954 | 949,6 | 1967 | 764,4 | 1980 | 593,2 |
| 1955 | 1040,4 | 1968 | 773,6 | 1981 | 713,6 |
| 1956 | 1102,0 | 1969 | 1045,3 | 1982 | 634,7 |
| 1957 | 993,4 | 1970 | 728,8 | 1983 | 674,6 |
| 1958 | 766,4 | 1971 | 726,4 | 1984 | 571,4 |
| 1959 | 990,6 | 1972 | 1060,0 | 1985 | 689,2 |
| 1960 | 803,5 | 1973 | 745,9 | 1986 | 794,1 |
| 1961 | 705,0 | 1974 | 924,1 | 1987 | 784,5 |
| 1962 | 1183,2 | 1975 | 755,6 | 1988 | 735,0 |
| 1963 | 656,8 | 1976 | 1106,2 | 1989 | 797,0 |
| 1964 | 1103,2 | 1977 | 635,3 | | |

P_{annuelle} : Précipitation annuelle en mm

Fig 11: VARIATION DES PRECIPITATIONS ANNUELLES DE 1952 - 1989
DUAGA - AERO



La plus forte pluviométrie (1175 mm) est obtenue en 1962. De cette date jusqu'à 1976, la pluviométrie oscille plus ou moins entre 950 mm et 1100 mm. La baisse pluviométrique est observée à partir de 1977 jusqu'à nos jours en oscillant entre 550 mm à 800 mm. La plus basse valeur a été observée en 1984 avec 571,4 mm.

5.1.3. Répartition statistique des pluies annuelles

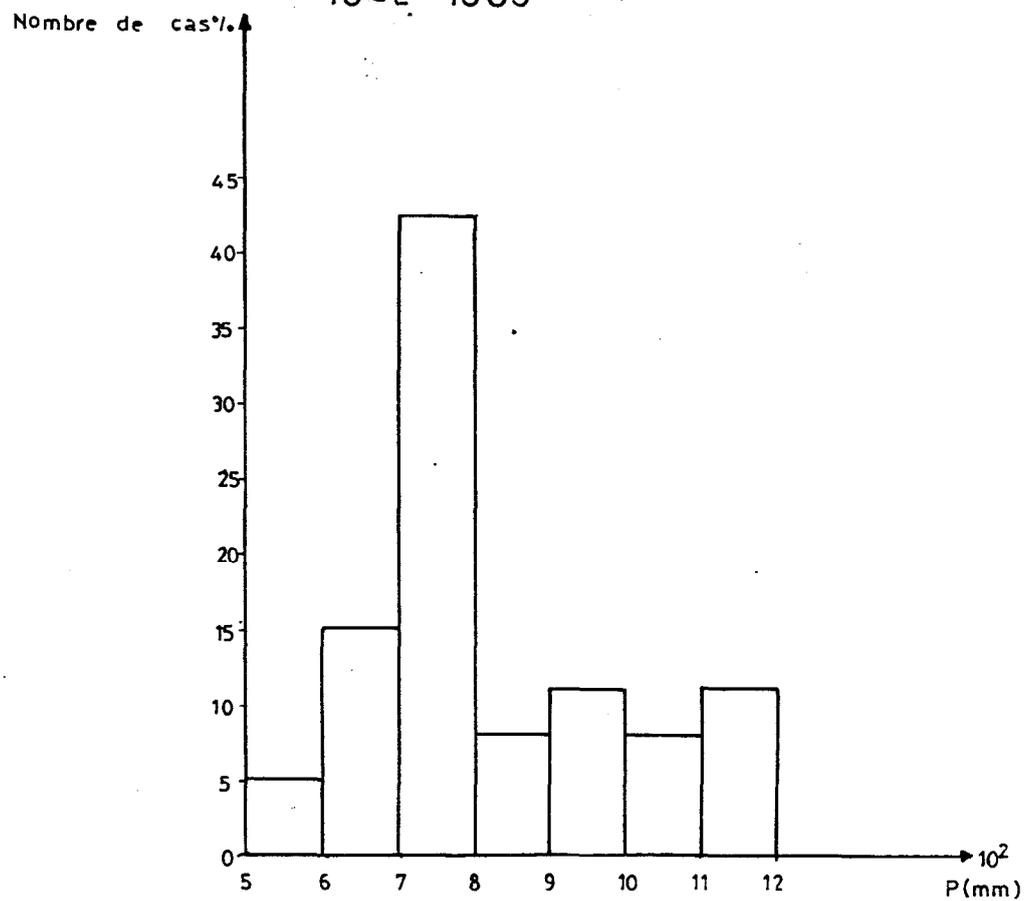
La figure n° 12 représente l'histogramme des pluies annuelles pour la période 1952-1989. Sur un échantillon de 38 années, on remarque que la pluviométrie annuelle se situe dans 43 % des cas entre 700 et 800 mm. Les autres classes se partagent les autres valeurs en effectifs sensiblement uniformes autour de 10 %.

5.2. Les données pluviométriques sur le bassin

La connaissance du régime pluviométrique est fondamentale pour l'étude hydrologique du bassin versant. Fort heureusement, la pluie est un facteur climatique en général assez bien connu à partir des mesures faites sur de longues périodes.

Après avoir présenté le réseau des postes pluviométriques nous allons successivement analyser les différentes caractéristiques utiles, soit les précipitations journalières, mensuelles et annuelles.

Fig 12: VARIATION DE LA PRECIPITATION ANNUELLE
1952-1989 (N: 38)



5.2.1. Le réseau de pluviomètres

Le réseau de pluviomètres de longue durée exploités par la Direction de la Météorologie n'est pas dense. On ne dénombre que trois pluviomètres au sein du bassin et un seul à la périphérie immédiate. La carte n° 4 et le tableau n° 11 précisent la situation de ces postes.

TABLEAU 11 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DES POSTES DU BASSIN

| Postes | Coordonnées | | Année d'installation |
|-------------|-------------|---------|-------------------------|
| | x | y | |
| BOUSSE | 1°50'W | 12°38'N | 1960 |
| PABRE | 1°34'W | 12°35'N | 1954 |
| KAMBOINCE | 1°32'W | 12°27'N | 1954 |
| GUILONGOU** | 1°18'W | 12°37'N | 1955 |

** Poste très proche du bassin versant.

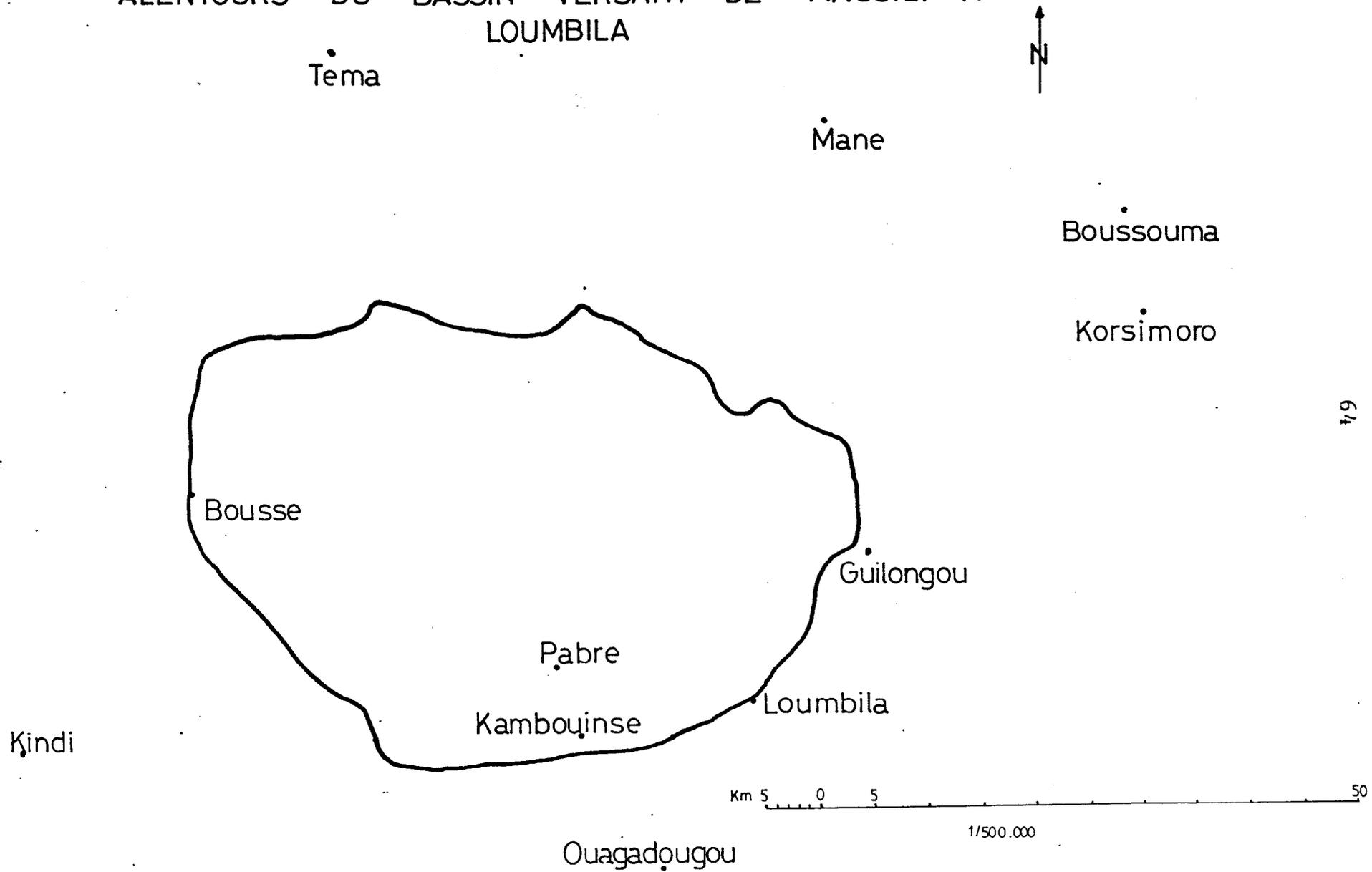
5.2.2. Précipitations journalières maximales

Les précipitations journalières maximales annuelles sont intéressantes à considérer en hydrologie car elles donnent l'ordre de grandeur des averses génératrices des crues sur le bassin. Les données relevées aux 4 postes du bassin pour la période 1952-1989 sont listées dans le tableau n° 12. On constate que la hauteur moyenne de l'averse maximale annuelle est importante et que les plus fortes valeurs observées approchent 120 mm.

TABLEAU 12 : PRECIPITATIONS JOURNALIERES MAXIMALES

| Postes Années | BOUSSE P ₁ mm | PABRE P ₂ mm | KAMBOINCE P ₃ mm | GUILONGOU P ₄ mm |
|------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1952 | | | | |
| 1953 | | | | |
| 1954 | | 60 | 70 | |
| 1955 | | 77 | 57 | 79 |
| 1956 | | 67 | 70 | 99 |
| 1957 | | 53 | 73 | 40 |
| 1958 | | 63 | 74 | 60 |
| 1959 | | 107 | 75 | 115 |
| 1960 | 51 | 70 | 57 | 52 |
| 1961 | 42 | 105 | 112 | 70 |
| 1962 | 67 | 76 | 66 | 60 |
| 1963 | 51 | 78 | 44 | 66 |
| 1964 | 54 | 71 | 80 | 46 |
| 1965 | 61 | 57 | 89 | 61 |
| 1966 | 58 | 61 | 73 | - |
| 1967 | 61 | 89 | 89 | 123 |
| 1968 | 71 | 52 | 64 | 104 |
| 1969 | 62 | 61 | 50 | 57 |
| 1970 | 73 | 64 | 39 | 37 |
| 1971 | 75 | 35 | 41 | 80 |
| 1972 | 60 | 58 | 59 | 38 |
| 1973 | 75 | 58 | 71 | 35 |
| 1974 | 88 | 77 | 54 | 65 |
| 1975 | 90 | 91 | 71 | 47 |
| 1976 | 51 | 52 | 50 | 55 |
| 1977 | 64 | 68 | 56 | 64 |
| 1978 | 53 | 80 | 55 | 81 |
| 1979 | 45 | 52 | 45 | 38 |
| 1980 | 35 | 39 | 57 | 66 |

Carte 4: POSITION DES PLUVIOMETRES A LONG TERME DANS LES
ALENTOURS DU BASSIN VERSANT DE MASSILI A
LOUMBILA



5.2.3. Les pluies annuelles moyennes sur le bassin

A l'aide de la carte topographique au 1/500.000, nous avons pu construire la carte du bassin équipée de tous les postes pluviométriques de longue durée. Les données pluviométriques considérées portent essentiellement sur une période de 34 ans. Cette période est divisée en 2 sous-périodes :

- période de 1956 - 1960
- période de 1961 - 1989.

Le découpage est fonction de la disponibilité des données qui varie en fonction du poste.

Cette méthode nous conduit progressivement au calcul des pluies moyennes sur le bassin. La pluie moyenne sur une surface donnée (bassin versant par exemple) pour l'évènement pluviométrique considéré est la hauteur moyenne des pluies de l'évènement sur la surface.

Pour calculer cette pluie moyenne, on dispose de plusieurs méthodes : la méthode arithmétique, la méthode des isohyètes et celle des polygones de THIESSEN. Chacune d'elles révèle une particularité.

Dans le cadre de la présente étude, nous choisissons la méthode des polygones de THIESSEN. Elle consiste tout d'abord à localiser dans et autour du bassin tous les pluviomètres permanents de longue durée. Par la

méthode de THIESSEN, nous avons pu trouver quatre principales superficies S1, S2, S3, S4 (carte n° 5).

Une étude plus fine nous amène à constater qu'entre les années 1956 - 1960, le poste de BOUSSE n'existait pas. Donc, pour uniformiser nos résultats, nous avons appliqué les données de PABRE (poste le plus près de BOUSSE) au polygone de BOUSSE.

En 1961, BOUSSE connaît l'installation d'un poste pluviométrique. A cet effet, nous distinguons 4 superficies S1, S2, S3, S4 correspondant aux 4 pluviomètres P1, P2, P3, P4.

Comme nous l'avons dit plus haut, le planimétrage conduit à l'obtention des différentes superficies partielles permettant de calculer le coefficient de THIESSEN donné par la formule suivante :

$$xi = \frac{\sum Si}{S}$$

Si : superficie partielle planimétrée

S : superficie totale du bassin = 2002 km²

Après les différentes opérations, les résultats sont consignés dans les tableaux n° 13 et 14.

Ces démarches conduisent au calcul des pluies moyennes sur les 34 ans en pondérant chaque valeur annuelle

Carta n° 5 : POLYGONES DE THIESSEN DES PLUVIOMETRES
A LONG TERME

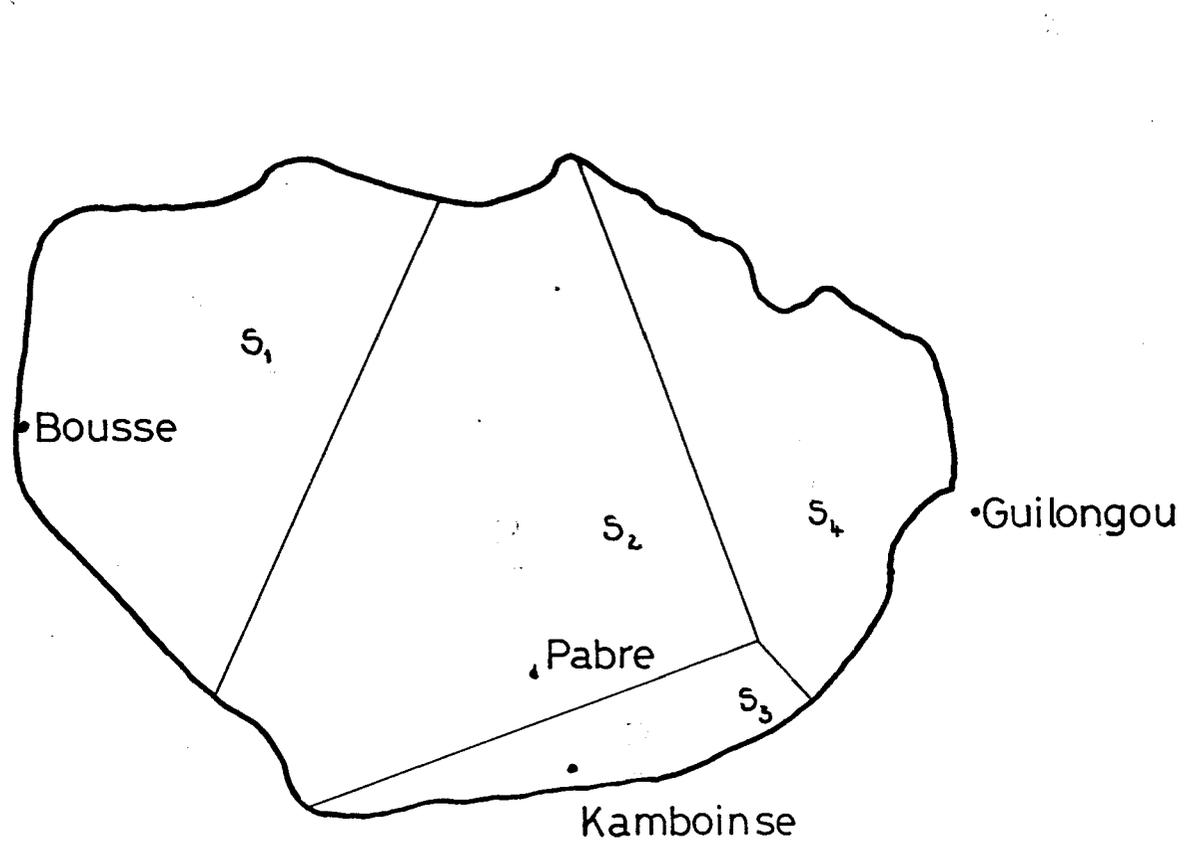


TABLEAU 13 : CALCUL DES COEFFICIENTS DE THIESSEN 1959 - 1960

| Postes | BOUSSE + PABRE | KAMBOINCE | GUILONGOU |
|----------------------------------|----------------|-----------|-----------|
| Superficie (km ²) | 1480,5 | 145,0 | 376,5 |
| X _i | 0,7395 | 0,0724 | 0,1180 |

TABLEAU 14 : CALCUL DES COEFFICIENTS DE THIESSEN
1961 - 1989 (SUITE)

| Postes | BOUSSE | PABRE | KAMBOINCE | GUILONGOU |
|----------------------------------|--------|--------|-----------|-----------|
| Superficie (km ²) | 597,5 | 883,0 | 145,0 | 376,5 |
| X _i | 0,2984 | 0,4410 | 0,0724 | 0,1880 |

TABLEAU 15 : CALCUL DE LA PLUIE MOYENNE ANNUELLE (mm)

| Années | $S_1 + S_2$ | S_x | S_z | Pluies moyennes sur le bassin |
|-------------------------|-------------|--------|--------|-------------------------------|
| Coefficient de THIESSEN | 0,7395 | 0,0724 | 0,1880 | |
| 1956 | 853,5 | 914,1 | 923,1 | 870,9 |
| 1957 | 715,5 | 828,7 | 703,0 | 721,2 |
| 1958 | 775,2 | 823,3 | 822,5 | 787,4 |
| 1959 | 808,4 | 802,2 | 721,8 | 790,5 |
| 1960 | 828,6 | 803,9 | 1050,3 | 865,4 |

TABLEAU 16 : CALCUL DE LA PLUIE MOYENNE ANNUELLE (mm)

| Années | S ₁ BOUSSE | S ₂ PABRE | S ₃ KAMBOINCE | S ₄ GUILONGOU | Pluies moyennes sur le bassin |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| Coefficient de THIESSEN | 0,2984 | 0,4410 | 0,0724 | 0,1880 | |
| 1961 | 729,7 | 760,5 | 822,1 | 802,6 | 763,4 |
| 1962 | 797,0 | 1091,0 | 1091,3 | 1033,7 | 992,2 |
| 1963 | 693,2 | 790,1 | 716,2 | 641,1 | 727,5 |
| 1964 | 783,1 | 927,9 | 802,3 | 676,8 | 828,2 |
| 1965 | 832,4 | 740,8 | 821,7 | 841,0 | 792,5 |
| 1966 | 564,7 | 803,4 | 1010,6 | (100,6) | 644,5 |
| 1967 | 691,3 | 811,9 | 992,4 | 979,0 | 820,0 |
| 1968 | 864,7 | 718,0 | 915,1 | 769,8 | 785,5 |
| 1969 | 739,8 | 869,8 | 682,5 | 763,0 | 797,0 |
| 1970 | 769,0 | 865,6 | 834,4 | 649,9 | 793,6 |
| 1971 | 559,0 | 538,1 | 577,1 | 756,4 | 588,0 |
| 1972 | 636,2 | 774,3 | 864,5 | 674,4 | 720,4 |
| 1973 | 719,8 | 678,9 | 742,0 | 509,1 | 663,4 |
| 1974 | 684,7 | 741,0 | 834,4 | 812,8 | 744,3 |
| 1975 | 807,3 | 878,2 | 792,1 | 509,1 | 781,0 |
| 1976 | 838,1 | 901,2 | 912,7 | 812,8 | 866,3 |
| 1977 | 654,0 | 677,6 | 633,8 | 654,5 | 662,7 |
| 1978 | 736,1 | 764,7 | 795,2 | 880,4 | 779,8 |
| 1979 | 696,0 | 762,0 | 761,1 | 650,2 | 722,3 |
| 1980 | 585,4 | 725,6 | 835,7 | 851,5 | 715,0 |
| 1981 | 852,5 | 596,8 | 701,6 | 607,4 | 709,2 |
| 1982 | 443,2 | 598,2 | 725,7 | 669,9 | 574,4 |
| 1983 | 554,1 | 670,0 | 663,4 | 640,7 | 629,1 |
| 1984 | 477,9 | 526,4 | 414,0 | 435,3 | 486,4 |
| 1985 | 487,8 | 594,8 | 573,6 | 599,1 | 561,9 |
| 1986 | 757,8 | 845,8 | 796,8 | 681,0 | 784,6 |
| 1987 | 670,8 | 692,8 | 588,5 | 620,5 | 664,8 |
| 1988 | 546,4 | 806,2 | 890,6 | 759,3 | 725,6 |
| 1989 | 579,6 | 633,1 | 771,1 | 642,5 | 625,8 |

d'un poste donné avec le coefficient de THIESSEN correspondant. Ces résultats sont inscrits dans les tableaux n° 15 et 16.

Pour calculer la pluie moyenne interannuelle sur le bassin du Massili à LOUMBILA, on procède de la manière suivante :

$$\begin{array}{r}
 \hline
 : \quad \Sigma \text{ Pluies moyennes} \quad : \\
 : \quad P_m = \text{-----} \quad : \\
 : \quad \quad \quad n \quad \quad \quad : \\
 \hline
 \end{array}$$

n = 34 ans

$$P_m = \frac{24\,987,8}{34} = 734,9 \text{ mm}$$

IV. HYDROLOGIE

1. Données hydrauliques et hydrométriques

1.1. Historique et équipement hydraulique

1.1.1. Historique du barrage de LOUMBILA

Le barrage de LOUMBILA est situé sur le Massili, à l'intersection de la route OUAGADOUGOU - KAYA (PK 20, coordonnées 12°29'N de latitude et 01°24'W de longitude).

Le premier barrage de faible capacité (10 Mm³, déversoir à la côte 272,88 m) a été construit en 1956. En 1970, la capacité a été portée à 32 Mm³ par la construction d'une nouvelle digue, qui est celle en place aujourd'hui, et d'un nouveau déversoir (côte 278,20 m). Enfin en 1984, le réhaussement du déversoir inférieur à la côte 278,43 m a permis de stocker 4 Mm³ supplémentaires.

La station de pompage qui refoule l'eau sur Ouagadougou est insérée dans le corps du barrage. Une autre station de pompage située en rive droite de la retenue est utilisée pour fournir l'eau à un périmètre d'irrigation d'environ 40 ha.

Deux déversoirs situés à l'extrémité gauche de la digue constituent le dispositif d'évacuation des crues. La route longe le barrage à son pied aval et emprunte le bassin de dissipation des déversoirs.

1.1.2. Equipement hydraulique du bassin

Le bassin versant du Massili en amont du barrage de LOUMBILA est équipé de nombreux petits barrages dont les plus anciens datent du début du siècle (carte n° 6). Les caractéristiques des retenues sont données dans le tableau n° 17. Les plus importantes dépassant 1 million de m³ sont celles de PABRE, DONSE et GASKE. Les autres ne stockent que quelques dizaines à quelques centaines de milliers de m³.

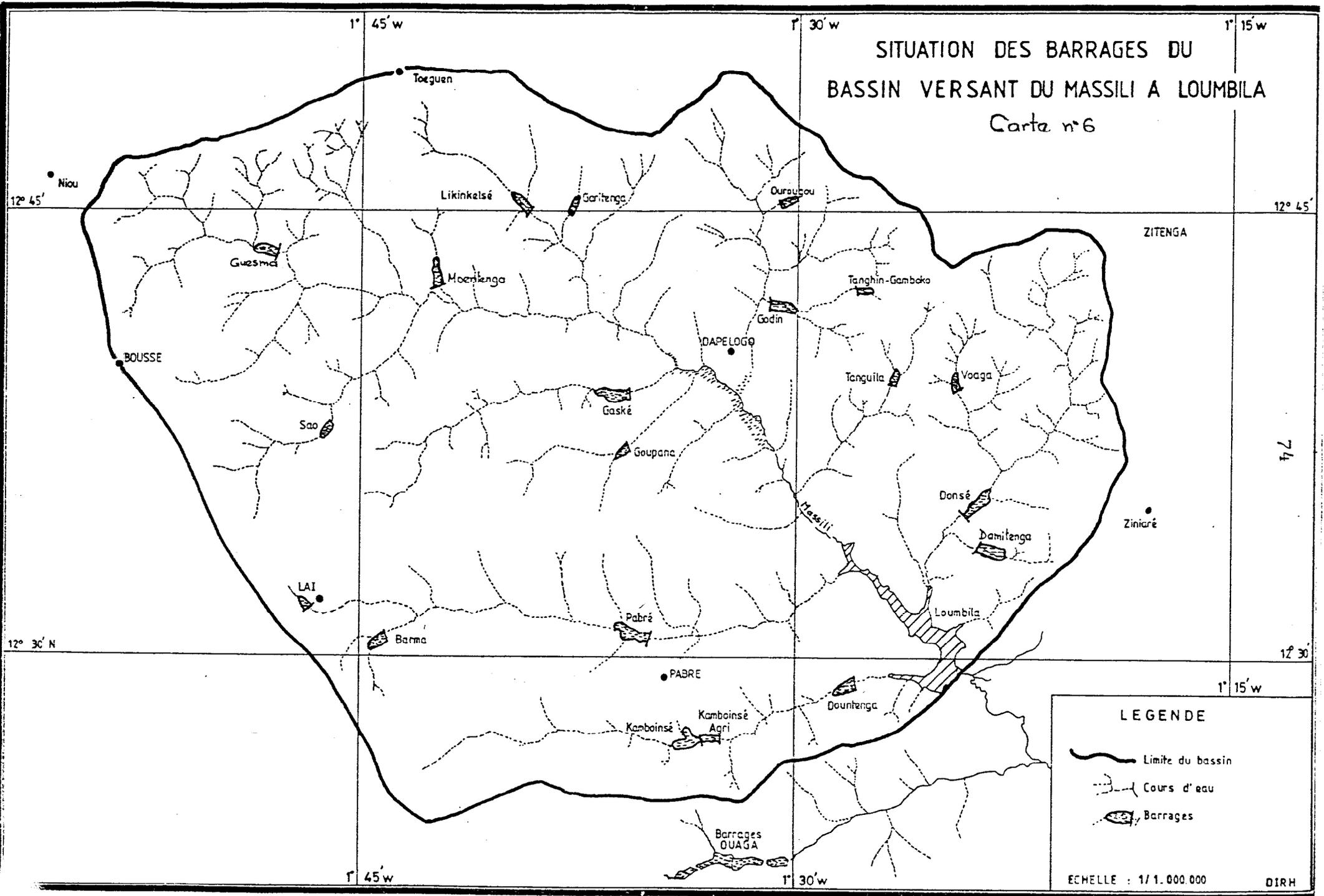
A l'heure actuelle, les petites retenues situées en amont de la retenue de LOUMBILA retiennent à pleine capacité un volume total cumulé de 9,3 Mm³. ce qui représente 26 % du volume de LOUMBILA. L'influence de ces ouvrages sur l'hydrologie de la retenue principale n'est donc pas négligeable.

Le tableau n° 18 et la figure n° 13 permettent de suivre l'évolution chronologique du volume stocké dans les retenues du bassin.

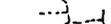
1.1.3. Caractéristiques des déversoirs du barrage de LOUMBILA

Le barrage de LOUMBILA sur le Massili est équipé de deux déversoirs de formes et de côtes distinctes. Ces déversoirs ont pour rôle d'évacuer le trop plein d'eau de la retenue pour protéger la digue dont le sommet est à l'altitude 280,00 m. Les deux déversoirs sont :

SITUATION DES BARRAGES DU
BASSIN VERSANT DU MASSILI A LOUMBILA
Carte n°6



LEGENDE

-  Limite du bassin
-  Cours d'eau
-  Barrages

ECHELLE : 1/1.000.000 DIRH

74

TABLEAU 17 : LISTE DES BARRAGES DU BASSIN VERSANT DE LOUMBILA ET LEURS CARACTERISTIQUES

| Nom du barrage | Départ | Coordonnées | | Volume (m ³) |
|-----------------|--------|-------------|---------|-----------------------------|
| | | X | Y | |
| Kamboincé | 1904 | 1°34'W | 12°28'N | 0,600 |
| Pabré | 1915 | 1°34'W | 12°35'N | 1,000 |
| Goupana | 1930 | 1°35'W | 12°38'N | 0,860 |
| Lay | 1937 | 1°46'W | 12°32'N | 0,300 |
| Voaga | 1949 | 1°24'W | 12°39'N | 0,250 |
| Garitenga | 1960 | 1°38'W | 12°46'N | 0,690 |
| Donsé | 1960 | 1°21'W | 12°34'N | 2,000 |
| Sao | 1978 | 1°50'W | 12°38'N | 0,030 |
| Tanghin-Gambogo | 1980 | 1°29'W | 12°42'N | 0,030 |
| Barma | 1981 | 1°44'W | 12°30'N | 0,040 |
| Ourougou | 1982 | 1°31'W | 12°46'N | 0,040 |
| Loumbila | 1947 | 1°24'W | 12°29'N | 5,56 |
| | 1970 | | | 32,000 |
| | 1984 | | | 36,000 |
| Tanguiga | 1985 | 1°26'W | 12°39'N | 0,300 |
| Godin | 1985 | 1°31'W | 12°42'N | 0,200 |
| Likinkelsé | 1985 | 1°39'W | 12°46'N | 0,250 |
| Damitenga | 1986 | 1°22'W | 12°33'N | 0,450 |
| Guesma | 1987 | 1°49'W | 12°42'N | 0,700 |
| Mohtenga | 1989 | 1°42'W | 12°42'N | 0,200 |
| Gaské | 1989 | 1°35'W | 12°38'N | 1,370 |
| Dountenga | 1989 | 1°28'W | 12°29'N | 0,200 |

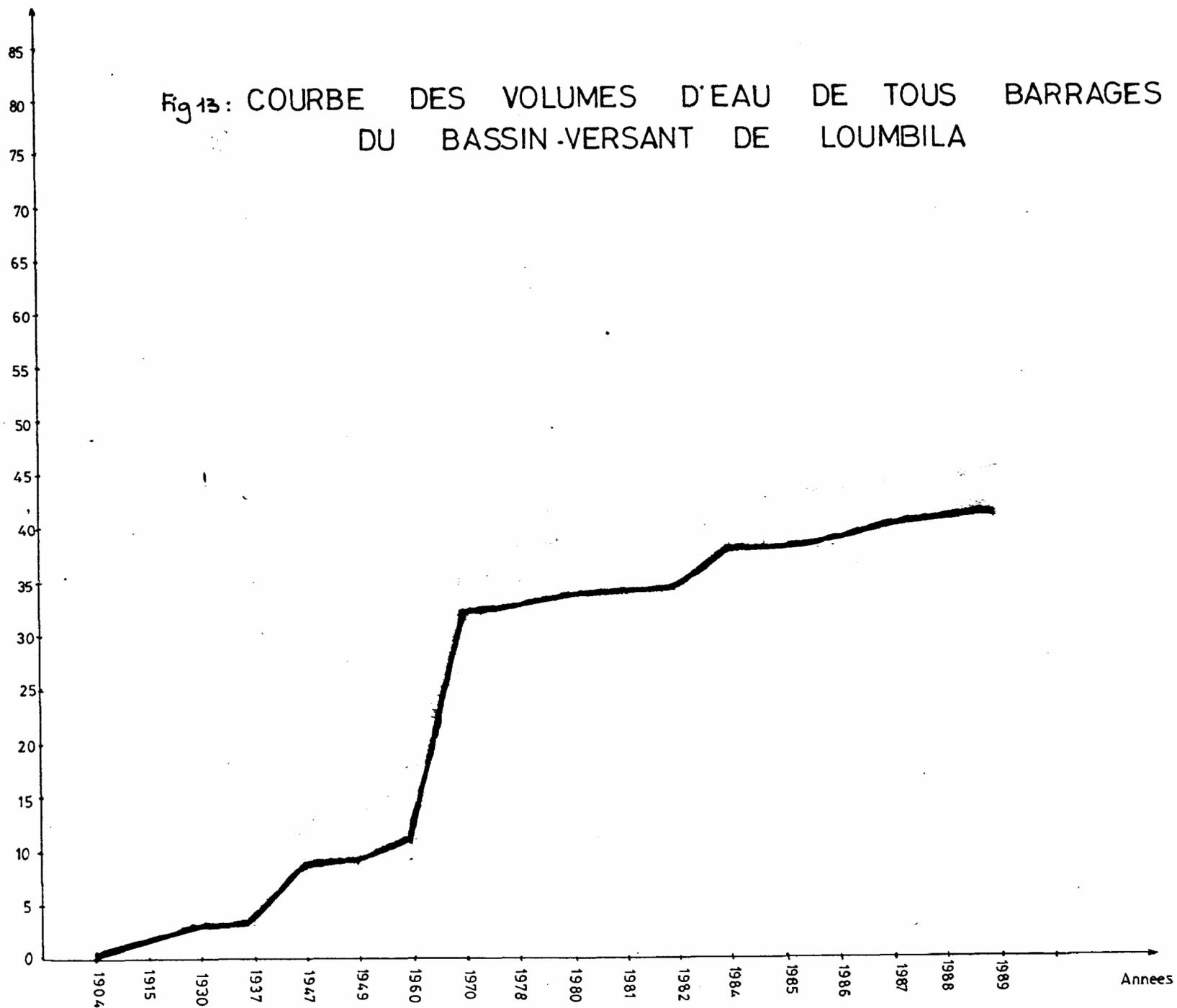
TABLEAU 18 : LES VOLUMES CUMULES

| Années | Barrages | Volumes (M.m ³) | Volumes cumulés (M.m ³) |
|--------|-----------------|--------------------------------|--|
| 1904 | Kamboincé | 0,600 | 0,600 |
| 1915 | Fabré | 1,000 | 1,600 |
| 1930 | Goupana | 0,860 | 2,460 |
| 1937 | Lay | 0,030 | 2,490 |
| 1947 | Loumbila | 5,560 | 8,050 |
| 1949 | Voaga | 0,250 | 8,300 |
| 1960 | Garitenga | 0,690 | 8,990 |
| " | Donsé | 2,000 | 10,990 |
| 1970 | Loumbila | 22,000* | 32,990 |
| 1978 | Sao | 0,030 | 33,020 |
| 1980 | Tanghin-Gambogo | 0,030 | 33,050 |
| 1981 | Barma | 0,040 | 33,090 |
| 1982 | Ourougou | 0,040 | 33,130 |
| 1984 | Loumbila | 4,000* | 37,130 |
| 1985 | Tanguiga | 0,300 | 37,430 |
| " | Godin | 0,200 | 37,630 |
| " | Likinkelsé | 0,250 | 37,880 |
| 1986 | Damitenga | 0,450 | 38,330 |
| 1987 | Guesma | 0,700 | 39,030 |
| 1989 | Mohtenga | 0,200 | 39,230 |
| " | Gaské | 1,370 | 40,600 |
| " | Dountenga | 0,200 | 40,800 |

* Accroissement de la capacité existante.

Volume cumule

Fig 13: COURBE DES VOLUMES D'EAU DE TOUS BARRAGES
DU BASSIN-VERSANT DE LOUMBILA



* le premier est dit déversoir en U ou bec de canard à profil Craeger dont la crête était à la côte 278,20 m. Ce dernier a subi en 1984 une modification lui donnant désormais des crêtes vives et un réhaussement de la côte à 278,43 m. Cette modification augmente de 4 Mm³ le volume d'eau dans la réserve, ce qui fait passer le volume maximal de la réserve de 32,32 millions de m³ à 36 millions de m³. Etant donné que le zéro de l'échelle actuelle est à 272,00 m, les côtes de déversement indiquées ci-dessus sont respectivement 6,20 m et 6,43 m à l'échelle.

* Le second déversoir dit déversoir libre est le plus grand avec une forme rectiligne d'une longueur de 229,43 m et se trouve à la côte 278,80 mètres. Ce déversoir a pour propriété d'évacuer le trop plein si la hauteur d'eau dans la réserve se trouve à 6,80 m par rapport au zéro de l'échelle. La hauteur qui sépare les deux déversoirs est de 0,37 m.

Les caractéristiques des déversoirs du barrage de LOUMBILA sur le Massili présentent un rendement au moment d'évacuer les crues. Les débits évacués pour certaines côtes caractéristiques sont présentés au tableau n° 19. Ces valeurs sont à confirmer par la courbe d'étalonnage obtenue par jaugeages.

1.1.4. Courbes caractéristiques de la retenue de LOUMBILA

Les courbes qui caractérisent la retenue sont celles de la surface du plan d'eau et du volume stocké en

TABLEAU 19 : RENDEMENT DES EVACUATEURS DES CRUES

| Côte de retenue m I.G.N. | Bec de Canard | | Déversoir libre | | Q _{max} (m ³ /s) | Remarque |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|---|------------------------|
| | Hd (m) | Q (m ³ /s) | Hd (m) | Q (m ³ /s) | | |
| 279,40 | 1,20 | 45 | 0,6 | 340 | 365 | Ancienne forme |
| | 1,00 | 35 | 0,6 | 340 | 375 | Nouvelle forme |
| 279,60 | 1,20 | 45 | 0,8 | 535 | 580 | Nouvelle forme |
| 280,00 | 1,60 | 68 | 1,2 | 960 | 1030 | Bord supérieur barrage |

Source : Labmayer International, 1986

fonction de la hauteur d'eau, encore dites "Hauteur - Surface" et "Hauteur - Volume".

Par des travaux de bathymétrie, on obtient la topographie du fond de la cuvette. Après tracé des courbes de niveau et planimétrage de la superficie pour différentes côtes caractéristiques, on peut construire la courbe Hauteur - Surface et déduire de celle-ci par calcul la courbe Hauteur - Volume (figures n° 14 et 15). Le tableau n° 20 donne les barèmes correspondant à ces deux courbes.

1.2. Observations limnimétriques

Les premières lectures d'échelle limnimétriques dans la retenue de LOUMBILA datent de 1956, année de construction du barrage.

De 1961 à 1963, l'ORSTOM a effectué trois campagnes de mesures intensives car le bassin de LOUMBILA faisait partie des bassins expérimentaux suivis par cet organisme à des fins de recherches. A cet effet, un limnigraphe à rotation hebdomadaire a fonctionné pendant les trois saisons des pluies. Par la suite, un autre limnigraphe a été installé le 13 Juin 1964 et son exploitation s'est poursuivie jusqu'en 1967, date à partir de laquelle les lectures d'échelle ont repris jusqu'en 1969.

De 1970, année de construction du nouveau barrage, à 1977, les lectures d'échelle ont été sous la responsabilité de l'Office National des Eaux. Malheureusement, les relevés

TABEAU 20 : BARRAGE DE LOUMBILA - BAREME HAUTEUR-VOLUME ET HAUTEUR-SURFACE

| Altitude (m) | Hauteur à l'échelle (m) | Volume (10 ⁶ m ³) | Surface (ha) |
|-----------------|-------------------------------|---|-----------------|
| 273,00 | 1,00 | 0 | |
| | 1,20 | 0,11 | |
| | 1,40 | 0,29 | |
| | 1,60 | 0,50 | |
| | 1,80 | 0,80 | |
| 274,00 | 2,00 | 1,10 | 150 |
| | 2,20 | 1,50 | |
| | 2,40 | 2,00 | |
| | 2,60 | 2,55 | |
| | 2,80 | 3,17 | |
| 275,00 | 3,00 | 3,90 | 400 |
| | 3,20 | 4,70 | |
| | 3,40 | 5,65 | |
| | 3,60 | 6,75 | |
| | 3,80 | 7,85 | |
| 276,00 | 4,00 | 9,10 | 650 |
| | 4,20 | 10,45 | |
| | 4,40 | 11,90 | |
| | 4,60 | 13,45 | |
| | 4,80 | 15,25 | |
| 277,00 | 5,00 | 17,00 | 950 |
| | 5,20 | 19,05 | |
| | 5,40 | 21,20 | |
| | 5,60 | 23,60 | |
| | 5,80 | 26,20 | |
| 278,00 | 6,00 | 29,10 | 1480 |
| 278,20 | 6,20 | 32,35 | 1650 |
| 278,43 | 6,43 | 36,00 | 1800 |

Fig 14: RESERVOIR DE LOUMBILA
COURBE HAUTEUR-SURFACE.

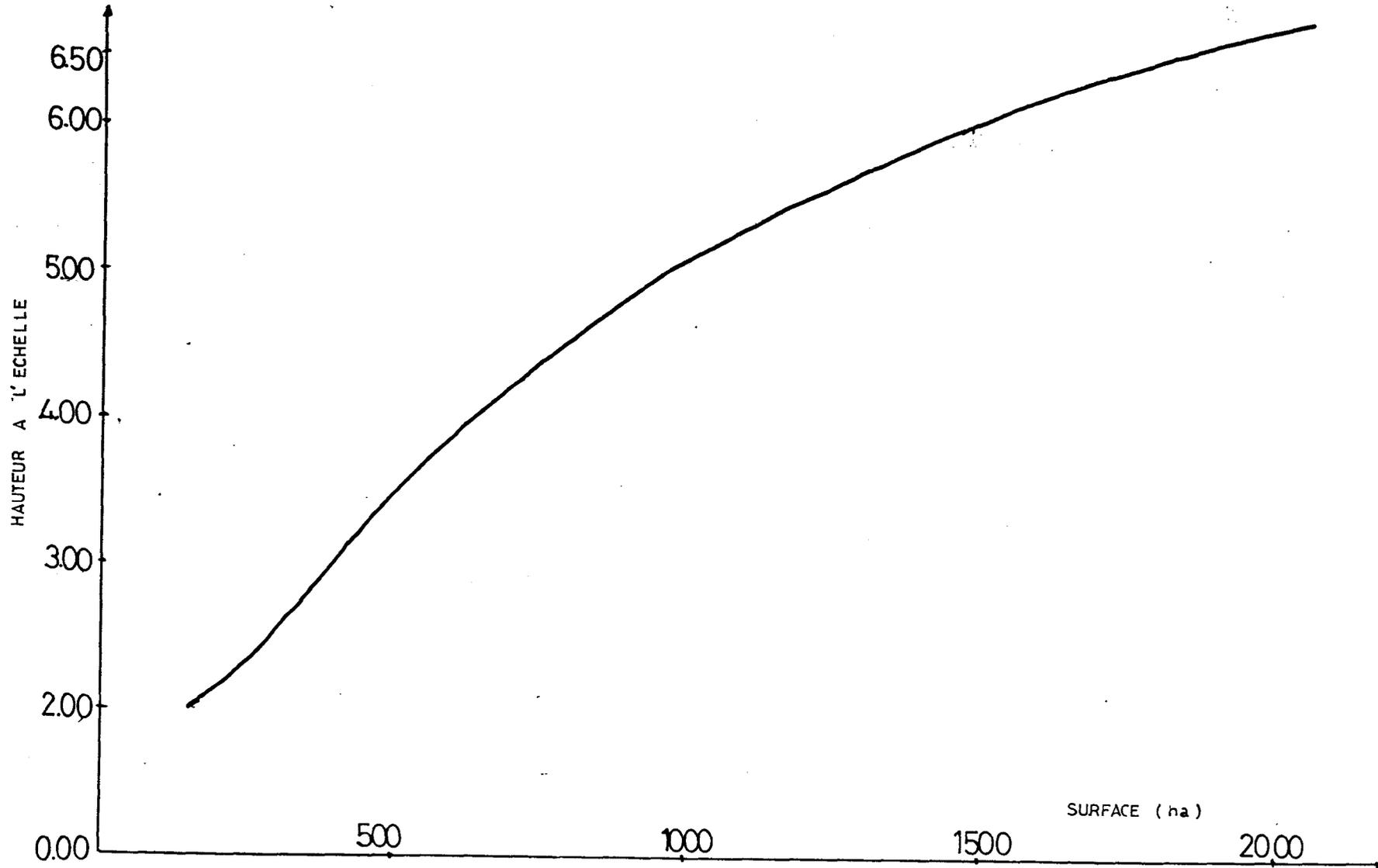
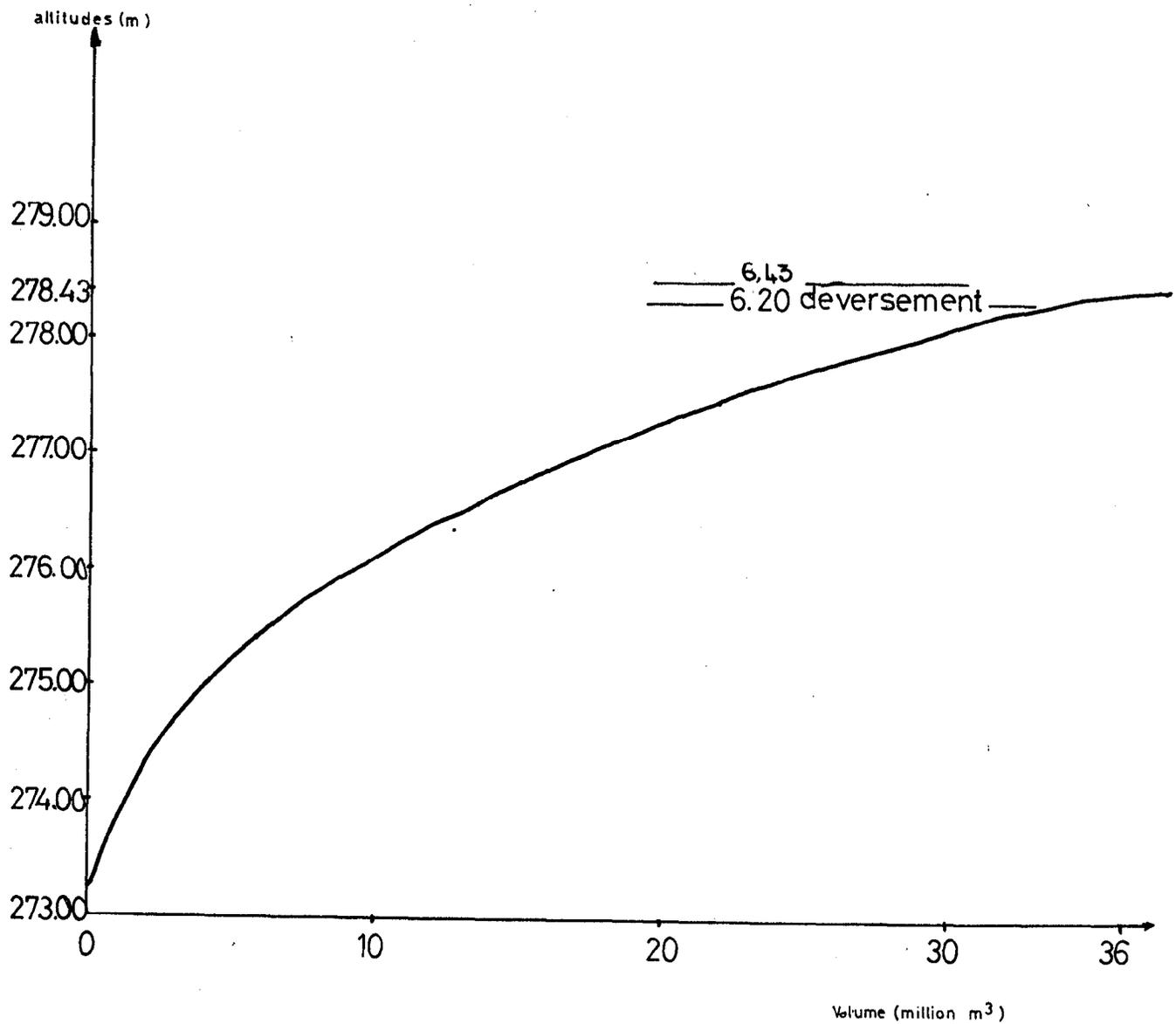


Fig 15: BARRAGE DE LOUMBILA
COURBE HAUTEUR-VOLUME.



quotidiens réguliers n'ont pas été faits. Seules les valeurs des volumes d'apports annuels ont été retrouvées dans un rapport d'étude pour les années 1970 à 1974.

En 1976 et 1979, les lectures sont disponibles mais inexploitablees en raison des erreurs grossières de l'observateur. Ce n'est qu'en Mai 1980 que le Service Hydrologique National, rattaché à l'époque à la Direction de l'Hydraulique et de l'Équipement Rural, a recruté un nouvel observateur et que les lectures de qualité ont repris. Elles sont ininterrompues jusqu'aujourd'hui.

A l'heure actuelle, l'agent permanent de l'Office National des Eaux et de l'Assainissement au site du barrage fait les lectures d'échelle sous la supervision de la Direction de l'Inventaire des Ressources Hydrauliques. La fréquence est de une à deux lectures par jour en saison sèche et de 4 à 6 lectures par jour en période de déversement.

La première échelle de l'ancien barrage installée en 1956 au déversoir était calée de telle sorte que la cote 2.04 m marquait le début du déversement. La cote maximale observée est 3.03 m le 4 Septembre 1961 pour un débit estimé de 169 m³/s.

L'échelle actuelle est composée d'une batterie de plaques émaillées centimétriques fixées sur un fer en U, lui-même scellé sur le mur de l'ouvrage de prise d'eau de la station de pompage. La graduation va de 2.00 à 8.00 m la cote 0.00 correspondant à l'altitude 272.00 m.

Comme cela a déjà été indiqué plus haut, le premier déversoir entre en fonction à la cote 0,43 m et le second à la cote 6,30 m.

La plus haute cote observée depuis 1960 est 7,19 m le 5 Septembre 1986, au cours de la crue qui fait précisément l'objet du dernier chapitre de ce mémoire.

La plus basse cote observée depuis 1960 est 2,40 le 25 Juin 1985 ; la saison des pluies 1984 ayant été très peu abondante, l'alimentation en eau de Ouagadougou pendant la saison sèche 1984-85 avait presque épuisé la réserve.

1.3. Mesures débitométriques

1.3.1. Jaugeages

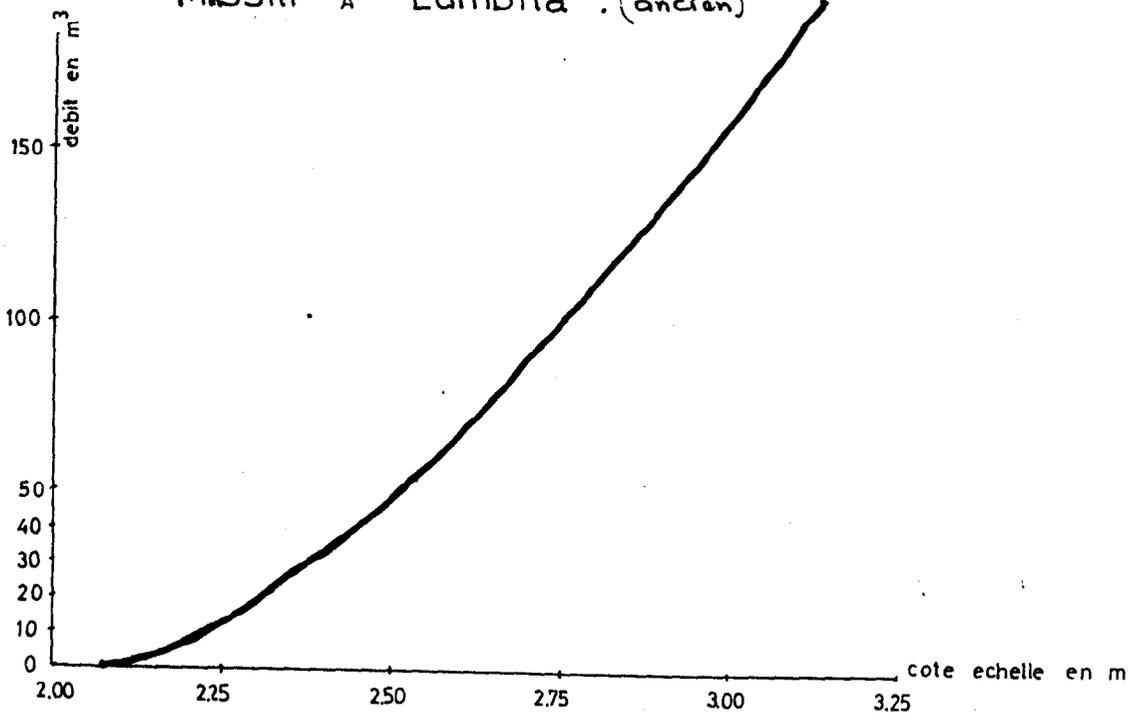
Huit jaugeages de 0,157 m³/s à 79 m³/s ont permis de définir la première courbe d'étalonnage de l'ancien déversoir jusqu'à la cote 2,66 m. Cette courbe représentée à la figure n° 16, a été utilisée pour calculer les débits déversés jusqu'en 1970.

La première année de déversement au cours de la dernière décennie est 1985. La liste des jaugeages donnée au tableau n° 21 commence donc cette année au cours de laquelle dix jaugeages ont permis d'étalonner le déversoir en bec de canard.

TABLEAU 21 : LISTE DES JAUGEAGES

| Numéros | Date | Hauteur d'eau (m) | Débit Q (m ³ /s) |
|---------|----------|----------------------|--------------------------------|
| 01 | 07-08-85 | 6,53 | 2,91 |
| 02 | 07-08-85 | 6,53 | 2,89 |
| 03 | 08-08-85 | 6,55 | 3,25 |
| 04 | 12-08-85 | 6,49 | 1,47 |
| 05 | 06-09-85 | 6,72 | 15,4 |
| 06 | 11-09-85 | 6,58 | 4,82 |
| 07 | 12-09-85 | 6,58 | 4,83 |
| 08 | 19-09-85 | 6,52 | 1,93 |
| 09 | 25-09-85 | 6,455 | 0,43 |
| 10 | 25-09-85 | 6,455 | 0,37 |
| 11 | 19-08-86 | 6,50 | 1,47 |
| 12 | 02-09-86 | 6,60/6,61 | 7,17 |
| 13 | 06-09-86 | 7,00/7,17 | 143 |
| 14 | 06-09-86 | 7,00 | 74,6 |
| 15 | 08-09-86 | 7,00/6,98 | 70,6 |
| 16 | 10-09-86 | 6,83 | 24,8 |
| 17 | 12-09-86 | 6,58 | 4,76 |
| 18 | 12-09-86 | 6,58 | 4,53 |
| 19 | 12-09-89 | 6,58 | 4,76 |

Fig 16 : COURBE D'ETALONNAGE DU DEVERSOIR DU BARRAGE DU
Missili A Lumbila . (ancien)



Au cours de la grande crue de Septembre 1986, huit nouveaux jaugeages ont permis d'extrapoler la courbe vers les hauteurs d'eau importantes dépassant 7,00 m à l'échelle, alors que les deux déversoirs étaient en fonctionnement. Sur le tableau n° 19, on constate pour certains jaugeages que la côte comprend deux valeurs. En effet, comme les jaugeages de crues durent plusieurs heures, la côte du plan d'eau mesurée à l'échelle varie entre le début et la fin du jaugeage.

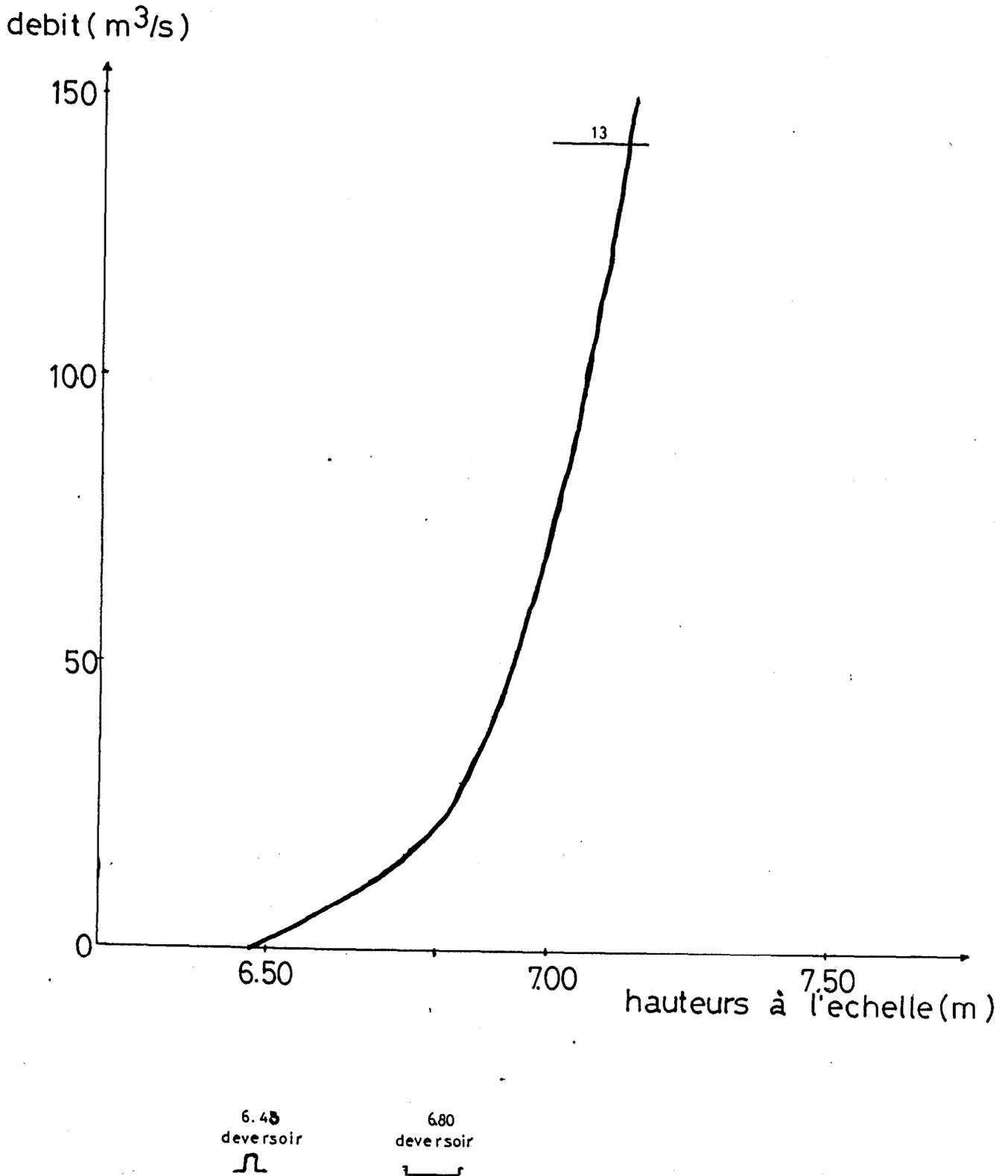
Les jaugeages sont faits au moulinet sur perche et à gué pour les faibles débits, et sur saumon et en bateau pneumatique pour les gros débits. La section de mesure est située à l'aval des déversoirs, dans le chenal d'évacuation et dans la zone inondée lorsque le grand déversoir fonctionne.

Le plus fort débit jaugeé est 143 m³/s le 6 Septembre 1986, pour une côte variant en décrue de 7,17 à 7,00 m.

1.3.2. Courbe d'étalonnage

La courbe d'étalonnage des déversoirs actuels, représentée à la figure n° 17 donne la relation entre la hauteur d'eau à l'échelle et le débit total déversé. Sur cette courbe on distingue deux tronçons distincts, le premier de 6,43 à 6,80 m correspondant au déversement par le seul déversoir en bec de canard, le second au delà de 6,80 m correspondant au déversement par les deux ouvrages évacuateurs.

Fig 17: BARRAGE DE LOUMBILA
 courbe d'etalonnage des déversoirs
 1985 - 1986 .



L'extrapolation au delà de la cote 7,00 m n'est cependant pas très précise par manque de jaugeages.

1.3.3. Débits journaliers

En période de déversement, la détermination des débits journaliers est faite à l'aide de la courbe d'étalonnage présentée précédemment. Le débit journalier est la moyenne des débits instantanés (entre 2 et 6 valeurs par jour).

En période de remplissage de la retenue avant déversement, la détermination des débits n'est pas aussi directe. Il faut en effet au préalable traduire en volumes stockés les côtes du plan d'eau, calculer les différences entre les volumes successifs pour avoir les volumes d'apports journaliers, lesquels divisés par le temps donnent les débits moyens journaliers.

L'ORSTOM a utilisé cette procédure pour présenter les tableaux de débits journaliers à LOUMBILA dans la Monographie du fleuve Volta. Elle sera également utilisée plus loin au paragraphe 3.2 pour reconstituer les débits journaliers maxima annuels de la période 1980-1989.

2. Caractéristiques de l'écoulement annuel et mensuel

2.1. Ecoulement mensuel

Les données de base pour étudier l'écoulement mensuel sont les débits moyens mensuels, eux-mêmes calculés à partir des débits journaliers.

Comme cela a déjà été mentionné plus haut, la première série de débits disponibles couvre la période de mars 1956 à février 1970. Le tableau n° 22 présente les volumes d'apports mensuels au site de Loumbila calculés à partir des débits mensuels reconstitués par ORSTOM (1977).

A partir de 1970, les observations de hauteurs d'eau dans le nouveau réservoir de Loumbila ne sont pas disponibles dans les archives du Service Hydrologique. Pourtant des observations ont dû être faites puisque HENRY (1975) donne une évaluation de l'écoulement annuel de 1970 à 1974. Il y a ensuite une lacune complète de 1974 à 1979.

A partir de 1980, on dispose à nouveau des données de hauteurs d'eau dans la retenue qui permettent de suivre la variation du volume d'eau stockée dépendant d'une part des apports naturels du bassin et des pluies directes, et d'autre part de l'évaporation et des prélèvements par pompage. Bien que plusieurs de ces paramètres soient connus avec une précision médiocre, il est possible d'écrire pour un intervalle de temps, qui peut être le mois par exemple, le bilan de la retenue.

On présente ci-après la méthode employée par le CIEH pour effectuer ce bilan et reconstituer ainsi les volumes d'apports mensuels dans la retenue. Le bilan traduit l'état de la réserve à la fin de l'intervalle compte tenu de l'état initial, des volumes entrants et des volumes sortants. L'équation du bilan est la suivante :

$$VE = V1 + V2 - VS$$

avec V1 volume initial
 V2 volume final
 VE volume entrant
 VS volume sortant

TABLEAU 22 : VOLUMES MENSUELS OBSERVES AU SITE DE LOUMBILA
 EN MILLIONS DE M3

| Année | Avr. | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Total saison |
|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-----------------|
| 1956 | 0,00 | 0,04 | 3,73 | 4,55 | 6,67 | 8,50 | 0,00 | 23,49 |
| 1957 | 0,00 | 3,75 | 1,02 | 4,04 | 1,23 | 0,97 | 0,02 | 11,03 |
| 1958 | 0,00 | 0,00 | 1,35 | 1,70 | 52,23 | 6,14 | 0,07 | 61,49 |
| 1959 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,33 | 37,50 | 4,35 | 0,08 | 42,26 |
| 1960 | 0,00 | 0,36 | 1,49 | 9,99 | 19,34 | 11,85 | 0,07 | 43,10 |
| 1961 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 1,69 | 14,95 | 84,24 | 0,06 | 100,94 |
| 1962 | 0,00 | 1,41 | 3,50 | 0,94 | 17,17 | 28,25 | 1,81 | 53,08 |
| 1963 | 0,00 | 0,00 | 0,53 | 3,29 | 3,83 | 0,27 | 0,00 | 7,92 |
| 1964 | 1,90 | 0,00 | 3,34 | 7,02 | 24,45 | 59,36 | 5,30 | 101,37 |
| 1965 | 0,00 | 0,00 | 0,44 | 1,75 | 12,19 | 23,95 | 1,06 | 39,39 |
| 1966 | 0,00 | 0,00 | 3,45 | 1,10 | 5,41 | 6,84 | 0,27 | 17,07 |
| 1967 | 0,00 | 0,00 | 1,09 | 3,48 | 54,91 | 16,38 | 1,30 | 77,16 |
| 1968 | 0,00 | 1,04 | 0,13 | 5,87 | 0,90 | 7,31 | 0,00 | 15,25 |
| 1969 | 0,00 | 0,00 | 0,90 | 4,53 | 9,08 | 12,42 | 0,05 | 26,98 |
| Moy. | 0,14 | 0,47 | 1,71 | 3,59 | 18,56 | 19,35 | 0,72 | 44,32 |

Chaque élément du bilan se détermine comme suit :

- $V_1 = f(h_1)$, h_1 étant la côte dans la retenue à l'état initial et $f(h_1)$ la courbe hauteur - volume.
- $V_2 = f(h_2)$, h_2 étant la côte dans la retenue à la fin de l'intervalle de temps.
- VE est le volume entrant pendant l'intervalle de temps qui se décompose en deux termes :

$$VE = V_p + V_{eb}$$

- . avec V_p le volume de pluie directe sur la retenue égale à la hauteur de pluie multipliée par la superficie moyenne du lac pendant l'intervalle,
- et V_{eb} le volume d'écoulement du bassin, grandeur précisément recherchée.

- VS est le volume de sortie qui se décompose en trois termes :

$$VS = V_e + V_s + V_d$$

- . avec V_e le volume évaporé qui est égal au taux journalier moyen d'évaporation multiplié par le nombre de jours de l'intervalle et par la superficie moyenne du lac pendant l'intervalle ;
- V_s le volume soutiré par pompage ; on dispose des données de volumes mensuels d'exhaure des années 1986 à 1988 relevés par l'ONEA ; on peut utiliser ces valeurs pour les années suivantes sans trop d'erreur ;

Vd le volume déversé par le déversoir en bec de canard ou par les deux déversoirs selon la côte, obtenu en intégrant sur l'intervalle de temps les débits instantanés déversés (calculés avec la courbe d'étalonnage des déversoirs déjà présentée).

Le calcul de reconstitution des volumes d'apports mensuels a été fait pour dix (10) années consécutives de 1980 à 1989. La date de départ correspond au moment où la côte dans la retenue est la plus basse, en général en mai ou en juin. La fin de l'écoulement intervient en septembre ou en octobre.

Les taux d'évaporation journaliers moyens adoptés sont les suivants :

TABLEAU 23 : TAUX JOURNALIERS MOYENS D'EVAPORATION

| | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre |
|------|-----|------|---------|------|-----------|---------|
| mm/j | 6 | 6 | 5 | 4 | 4 | 6 |

Les pluies mensuelles sur la retenue ont été obtenues par moyenne entre les pluies mesurées à GUILONGOU et à PABRE, ou prises égales à celle de DONSE-Mission quand elles sont disponibles.

Les volumes prélevés fournis par l'ONEA sont les suivants :

TABLEAU 24 : VOLUMES PRELEVES PAR L'ONEA A LOUMBILA

| en 1000 m3 | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre |
|---------------|-----|------|---------|------|-----------|---------|
| 1986 | 516 | 597 | 484 | 455 | 417 | 476 |
| 1987 | 574 | 565 | 546 | 520 | 518 | 490 |
| 1988 | 564 | 703 | 589 | 582 | 524 | 500 |

Les calculs effectués par le CIEH selon la méthode ci-dessus résumée donne les volumes d'écoulement mensuels présentés dans le tableau n° 25 suivant. Il faut souligner que la précision de cette reconstitution n'est pas très grande, surtout pour les mois de fin de saison des pluies alors que le réservoir est plein. En effet une petite variation du niveau d'eau correspond alors à un volume d'eau important.

TABLEAU 25 : VOLUMES D'APPORTS MENSUELS DANS LE BARRAGE DE
LOUMBILA RECONSTITUES

| Année | Avr. | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Total saison |
|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-----------------|
| 1980 | 0,00 | 0,00 | 3,12 | 7,62 | 27,23 | 0,00 | 0,00 | 27,97 |
| 1981 | 0,00 | 0,00 | 1,12 | 7,61 | 14,78 | 9,28 | 0,00 | 32,79 |
| 1982 | 0,00 | 0,83 | 0,55 | 1,59 | 13,30 | 0,71 | 0,00 | 16,98 |
| 1983 | 0,00 | 0,00 | 6,14 | 11,72 | 8,19 | 0,19 | 2,41 | 28,65 |
| 1984 | 0,00 | 0,00 | 1,39 | 3,02 | 1,99 | 7,77 | 0,00 | 14,17 |
| 1985 | 0,00 | 0,00 | 3,07 | 28,40 | 8,52 | 15,87 | 0,00 | 55,86 |
| 1986 | 0,00 | 0,00 | 13,81 | 6,81 | 10,01 | 45,67 | 0,00 | 76,30 |
| 1987 | 0,00 | 0,00 | 16,93 | 4,73 | 7,90 | 0,00 | 1,29 | 30,85 |
| 1988 | 0,00 | 0,00 | 1,53 | 2,19 | 21,64 | 1,92 | 0,00 | 27,28 |
| 1989 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 18,20 | 28,90 | 4,40 | 0,00 | 51,50 |
| Moy. | 0,00 | 0,08 | 4,77 | 9,19 | 14,25 | 8,58 | 0,37 | 37,24 |

Pour les deux périodes de données disponibles, soit 1956-1969 pour les données ORSTOM, et 1980-1989 pour les données reconstituées par CIEH, les volumes d'apports mensuels moyens ont été calculés. Le tableau n° 26 suivant permet d'apprécier les différences entre les régimes des deux périodes.

TABLEAU 26 : VOLUMES D'APPORTS MENSUELS MOYENS SUR DEUX
PERIODES 1956-69 ET 1980-89 EN Mm3

| Année | Avr. | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Total saison |
|---------------|------|------|------|-------|-------|-------|------|-----------------|
| 1956- 1969 | 0,14 | 0,47 | 1,71 | 3,59 | 18,56 | 19,35 | 0,72 | 44,32 |
| 1980- 1989 | 0,00 | 0,08 | 4,77 | 9,19 | 14,25 | 8,58 | 0,37 | 37,24 |

De ce tableau ressortent des constatations intéressantes. Globalement, l'écoulement annuel diminue de 16 % entre la première période et la deuxième. Ceci reflète directement l'évolution de la pluviométrie moyenne sur le bassin. Les quatorze premières années correspondent à la période humide avant la période de sécheresse actuelle qui a commencé au début des années soixante-dix.

La répartition mensuelle de l'écoulement a aussi subi une évolution. Au cours de la période récente, les écoulements sont plus précoces, surtout en juin et juillet. Ceci peut provenir d'un accroissement des pluies de ces deux mois au cours de la période récente. Une autre explication provient aussi du fait de la modification de la couverture du bassin. En raison de la dégradation du couvert végétal, les premières pluies ont tendance à mieux ruisseler en début de saison.

Ensuite, la diminution de l'écoulement en août, alors que la végétation atteint son développement maximal pour les deux périodes, s'explique par la diminution des pluies de ce mois entre les deux périodes. Des études ont en effet montré que la diminution du total annuel de précipitation au cours de la dernière décennie est en grande partie due à celle du mois d'août.

Enfin, la diminution importante de l'écoulement du mois de septembre confirme que la fin de la saison des pluies est plus précoce au cours de la dernière période. Comme l'on constate également que les écoulements d'avril et mai ont pratiquement disparu dans la deuxième période, on peut conclure que la période d'écoulement a tendance à raccourcir de façon significative.

2.2. Ecoulement annuel

En regroupant les valeurs des volumes d'apports annuels issues des deux tableaux précédents, on obtient la série présentée dans le tableau n° 27 suivant.

Ce tableau fait apparaître les valeurs de cinq années supplémentaires (1970-1974) qui ont été tirées de la documentation (HENRY, 1975). Dans ce même tableau, les volumes ont été convertis en lames d'écoulement annuel Le (mm) afin de pouvoir être directement comparées aux valeurs de précipitation totale annuelle moyenne sur le bassin. Ces dernières ont été obtenues au paragraphe 5.2.3 du chapitre

**TABLEAU 27 : CARACTERISTIQUES DE L'ECOULEMENT ANNUEL
SUR LE BASSIN DE LOUMBILA**

| Années | V _a Mm ³ | L _a mm | P _a mm | K _a % | |
|--------|-----------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--|
| 1956 | 23,5 | 11,7 | 871 | 1,3 | 1956 - 1969 moyennes n = 14 V _a = 44,3 Mm ³ L _a = 22,1 mm P _a = 799 mm K _a = 2,7 % |
| 1957 | 11,0 | 5,5 | 721 | 0,8 | |
| 1958 | 61,5 | 30,7 | 787 | 3,9 | |
| 1959 | 42,3 | 21,1 | 791 | 2,7 | |
| 1960 | 43,1 | 21,5 | 865 | 2,5 | |
| 1961 | 100,9 | 50,4 | 763 | 6,6 | |
| 1962 | 53,1 | 26,5 | 992 | 2,7 | |
| 1963 | 7,9 | 3,9 | 728 | 0,5 | |
| 1964 | 101,4 | 50,6 | 828 | 6,1 | |
| 1965 | 39,4 | 19,7 | 793 | 2,5 | |
| 1966 | 17,1 | 8,5 | 645 | 1,3 | |
| 1967 | 77,2 | 38,6 | 820 | 4,7 | |
| 1968 | 15,3 | 7,6 | 786 | 1,0 | |
| 1969 | 27,0 | 13,5 | 797 | 1,7 | |
| 1970 | (41,0) | 20,5 | 794 | 2,6 | |
| 1971 | (52,0) | 26,0 | 588 | 4,4 | |
| 1972 | (18,0) | 9,0 | 720 | 1,3 | |
| 1973 | (16,0) | 8,0 | 663 | 1,2 | |
| 1974 | (30,0) | 15,0 | 744 | 2,0 | |
| 1980 | 38,0 | 19,5 | 715 | 2,7 | 1980 - 1989 moyennes n = 10 V _a = 37,3 Mm ³ L _a = 18,7 mm P _a = 648 mm K _a = 2,8 % |
| 1981 | 32,8 | 16,4 | 709 | 2,3 | |
| 1982 | 17,0 | 8,5 | 574 | 1,5 | |
| 1983 | 28,7 | 14,3 | 629 | 2,3 | |
| 1984 | 14,2 | 7,1 | 486 | 1,5 | |
| 1985 | 55,9 | 27,9 | 582 | 5,0 | |
| 1986 | 76,3 | 38,1 | 785 | 4,8 | |
| 1987 | 30,9 | 15,4 | 665 | 2,3 | |
| 1988 | 27,3 | 13,6 | 726 | 1,9 | |
| 1989 | 51,5 | 25,7 | 629 | 4,1 | |

III en appliquant la méthode des polygones de Thiessen aux précipitations observées aux postes pluviométriques situés sur le bassin ou à proximité. Le tableau introduit également le coefficient d'écoulement correspondant K_e .

Il faut rappeler que ces caractéristiques sont liées par les relations suivantes :

$$L_e = 1000. V_e/S$$

$$K_e = 100. L_e/P_m$$

avec S superficie du bassin versant en km^2

V_e volume d'écoulement annuel en $M.m^3$

L_e lame d'écoulement annuel en mm

P_m précipitation moyenne sur le bassin en mm

K_e coefficient d'écoulement en %

L'évolution chronologique des trois caractéristiques P_m , L_e et K_e est montrée par la figure n° 18 tandis que la relation entre L_e et P_m est donnée à la figure n° 19.

L'analyse de ces résultats et graphiques conduit aux observations suivantes :

- la précipitation moyenne sur le bassin accuse une tendance à la baisse assez nette depuis 1956, malgré une légère remontée en 1986. Les moyennes sur les deux périodes déjà considérée, soit 1956-1969 d'une part et 1980-1989 d'autre part, sont respectivement 799 mm et 648 mm . L'écart est de 151 mm et correspond à une diminution de 19 % par rapport à la moyenne de la première période ;

Fig 18: BASSIN DE LOUMBILA .

EVOLUTION DE LA PRECIPITATION ANNUELLE (Pm) , DE LA LAME D'ECOULEMENT (Le)
ET DU COEFFICIENT D'ECOULEMENT (Ke)

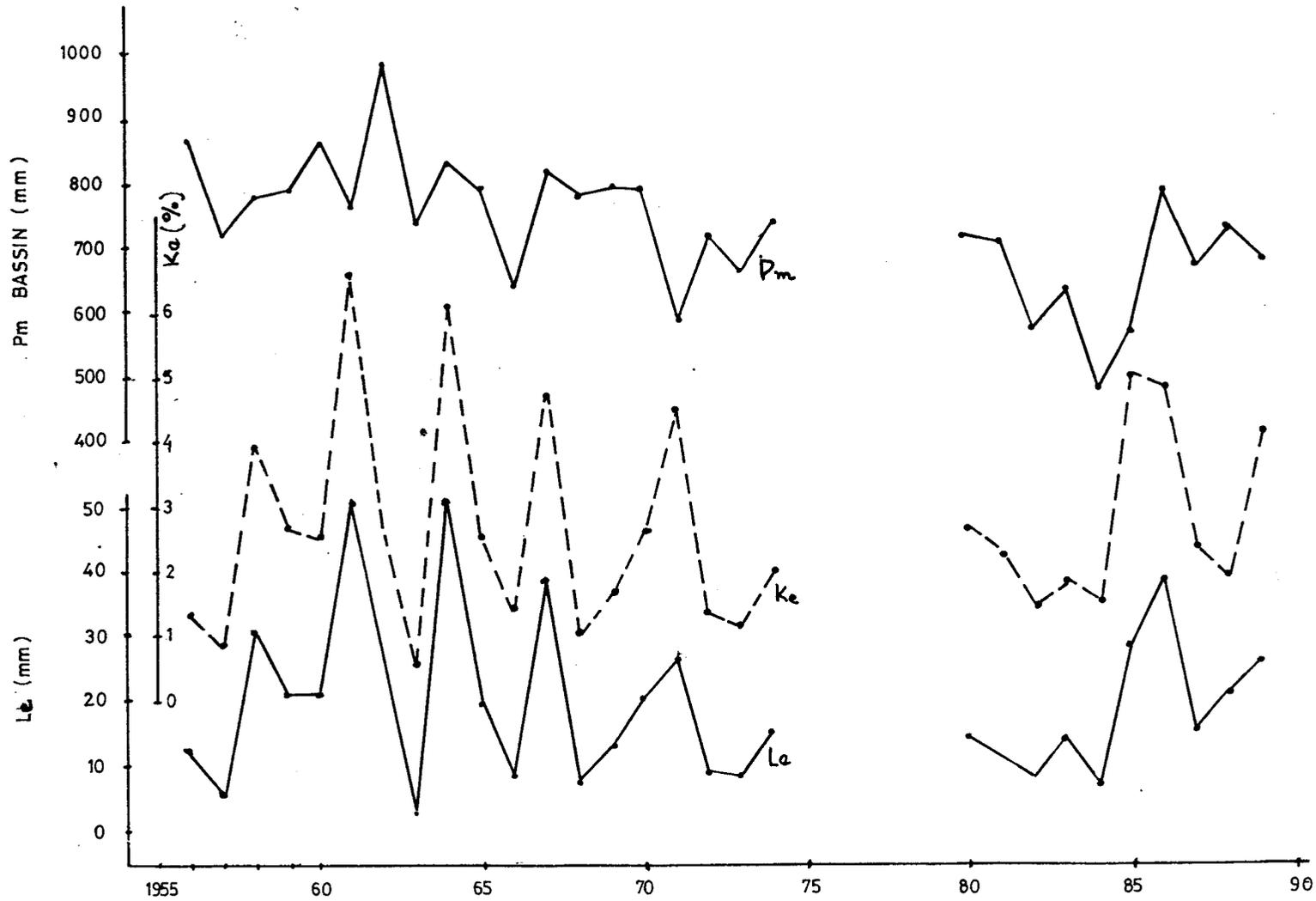
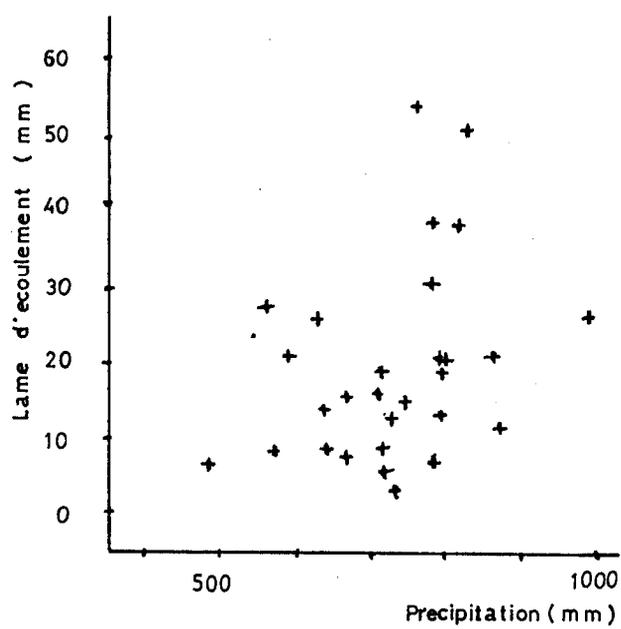


Fig 19: BASSIN DE LOUMBILA .

RELATION ENTRE LA LAME D'ECOULEMENT ANNUEL ET
LA PRECIPITATION ANNUELLE MOYENNE SUR LE BASSIN .



- la lame d'écoulement diminue également mais en proportion moindre (15 %) ;

- en conséquence le coefficient d'écoulement reste stable (2,7 % - 2,8 %). Ceci traduit le fait que les ruissellements sont proportionnellement plus forts pendant la dernière décennie plus sèche et semble confirmer une évolution de la couverture du bassin ;

- la liaison entre la lame d'écoulement annuel et la précipitation annuelle moyenne sur le bassin est assez lâche. Ce phénomène constaté généralement sur les bassins sahéliens traduit le fait que la répartition chronologique des averses au cours d'une saison des pluies influence de façon capitale le ruissellement. Les écoulements de deux saisons dont les totaux annuels de pluie sont voisins peuvent différer notablement si les nombres d'averses importantes et si les séquences de ces averses sont différents.

L'analyse statistique sommaire des grandeurs P_m , V_e , L_e et K_e donne les résultats suivants sur la période globale 1956-1989 (29 ans seulement par suite de la lacune 1975-1979) (tableau n° 28).

TABLEAU 28 : STATISTIQUES DES CARACTERISTIQUES DE
L'ÉCOULEMENT ANNUEL

| 1956 - 1989 (sauf 1975-1979) | Pm mm | Ve M.m3 | Le mm | Ke % |
|---------------------------------|----------|------------|----------|---------|
| Minimum | 486 | 7,9 | 3,9 | 0,5 |
| Moyenne | 730 | 39,7 | 19,8 | 2,7 |
| Maximum | 992 | 101,4 | 50,6 | 6,6 |

3. Caractéristiques des crues

3.1. Rappel de définitions

3.1.1. Caractéristiques d'un hydrogramme de crue

L'hydrogramme est le diagramme donnant en fonction du temps les débits du cours d'eau à l'exutoire du bassin versant. Ce diagramme est obtenu après installation d'une station de mesures de débit, le limnigraphe. Sur un diagramme de crue, on définit les grandeurs suivantes :

* Le débit de base : c'est la fraction du débit dû à l'écoulement de base résultant de la vidange des réserves des couches superficielles du sol ou des réserves souterraines. Le débit de base est sensiblement constant dans l'intervalle de temps considéré. Il peut être nul si les réserves citées sont faibles ou n'ont pas eu le temps de se reconstituer.

* Le volume d'écoulement et de ruissellement : c'est le volume total écoulé pendant la durée de la crue, en incluant l'écoulement de base. Si l'on exclue l'écoulement de base, il s'agit alors du volume de ruissellement (écoulement immédiat).

* Le débit de pointe : c'est le débit maximal instantané de l'hydrogramme compté sans (débit de pointe de ruissellement) ou avec (débit de pointe d'écoulement) le débit de base.

* Le temps de base : durée du ruissellement de la crue (montée et descente comprises).

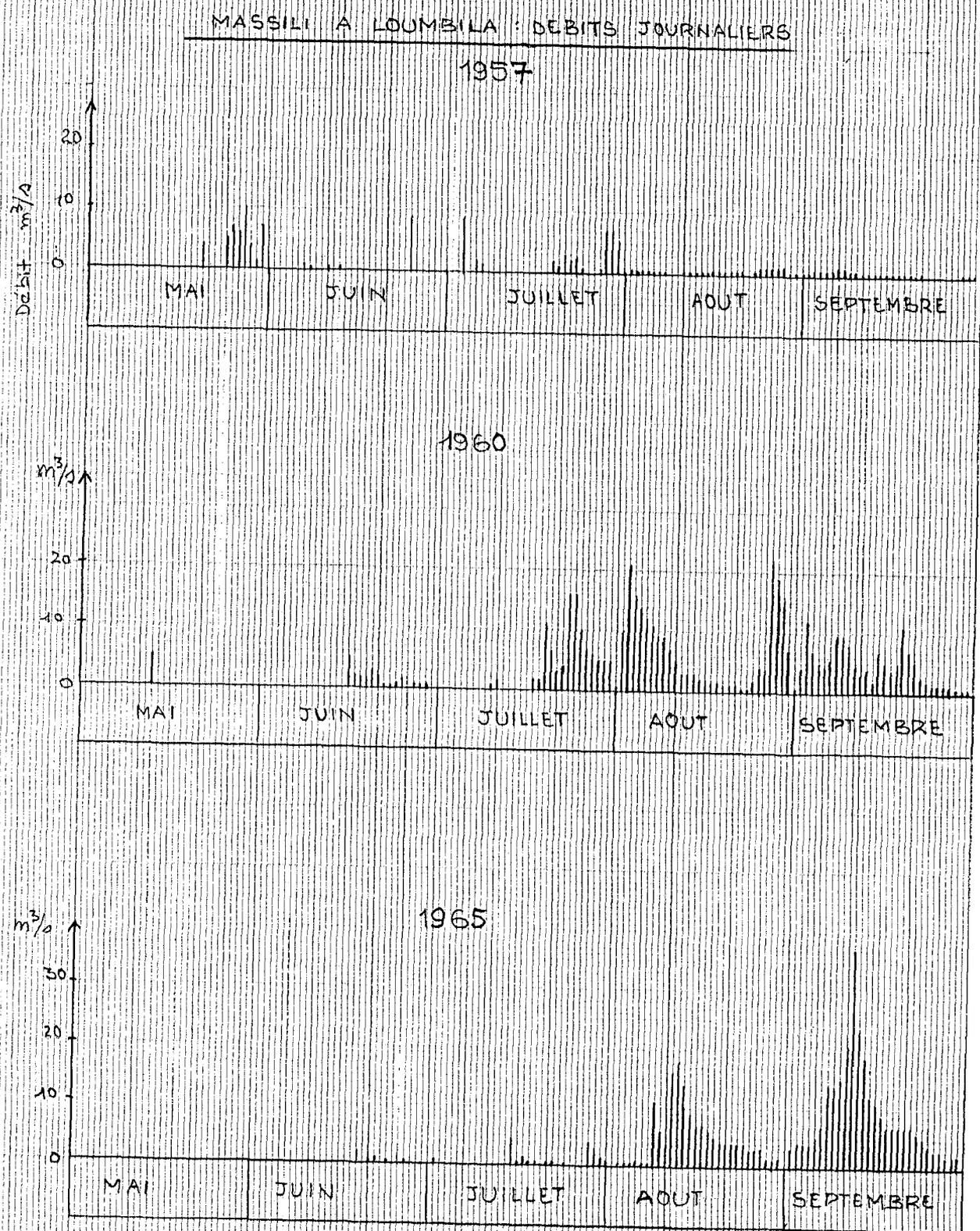
* Le temps de montée : durée de la montée de la crue, du début de ruissellement jusqu'à la pointe de la crue.

* Le temps de réponse : temps de décalage entre la pointe du hétérogramme de pluie ruisselée et la pointe de l'hydrogramme.

3.1.2. Quelques exemples d'hydrogrammes

Pour tracer ces différents hydrogrammes (figure n° 20) nous avons considéré les mois pluvieux, soit les mois de Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre. Pour une bonne analyse des crues antérieures à celle de Septembre 1986, le choix s'est porté sur des années types. Au vu de ces différentes figures, on constate que les années 1961, 1964 et 1967 ont connu des débits de pointe très importants. Le plus important est celui de 1961 avec un débit de 169 m³/s, débit qui se

Fig 20



MASSILI A LOUMBILA: DEBITS JOURNALIERS

1961

Débits m³/s



JUIN

JUILLET

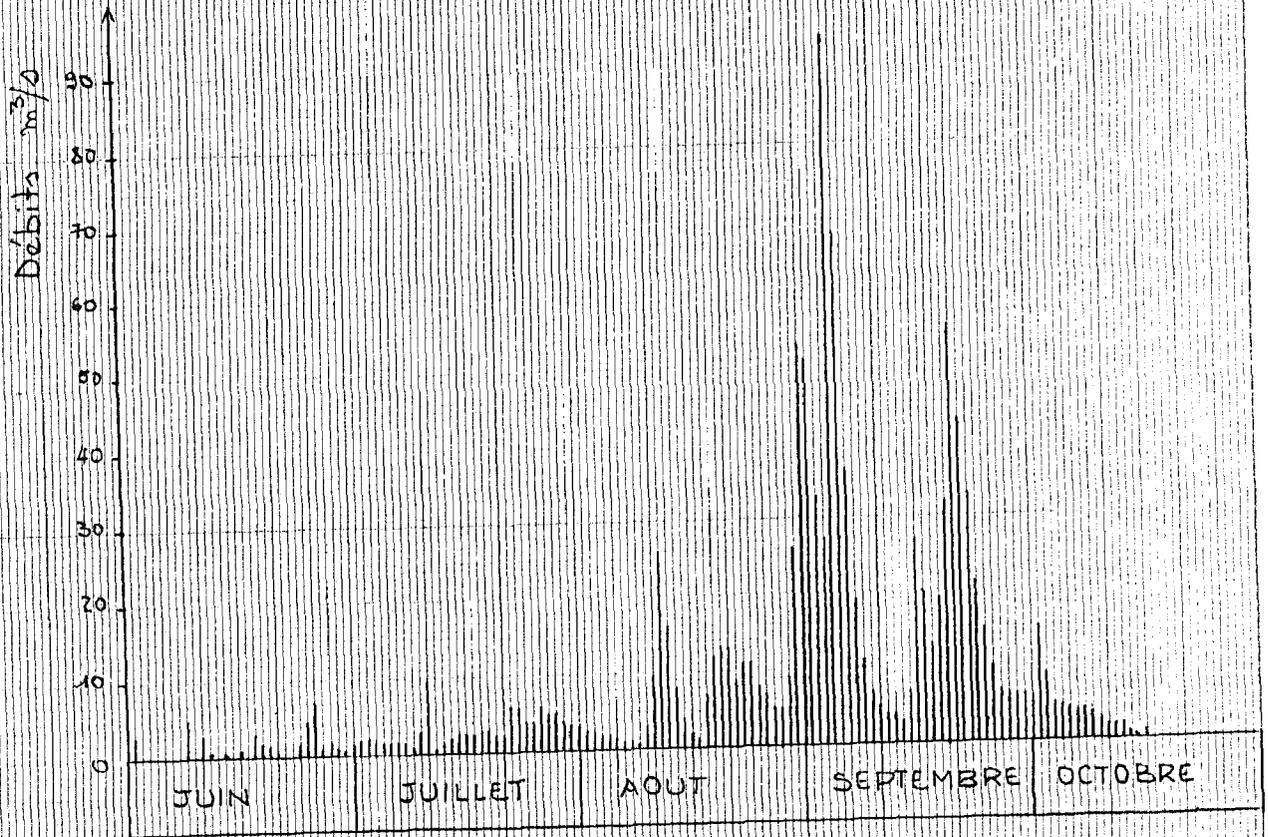
AOUT

SEPTEMBRE

OCTOBRE

MASSILI A LOUMBILA : DEBITS JOURNALIERS

1964



MASSILI A LOUMBILA : DEBITS JOURNALIERS

1967

Débits m³/s



JUIN

JUILLET

AOUT

SEPTEMBRE

OCTOBRE

rapproche de celui qui a engendré la crue de 1986 dans le barrage de LOUMBILA (179 m³/s).

3.2. Débits journaliers maxima annuels

3.2.1. Echantillon

Les débits journaliers maxima annuels disponibles sont les débits de 13 années observées, de 1957 à 1969. De 1970 à 1979, il y a une lacune déjà mentionnée. Pour les années allant de 1980 à 1989 seules les mesures de hauteurs d'eau dans la retenue sont disponibles. Les débits journaliers doivent donc être reconstitués. La méthode assez rustique qui a été utilisée par l'ORSTOM (voir paragraphe 1.3.3) est présentée ci-après.

Grâce à la courbe hauteur - volume, on transforme les hauteurs d'eau des années 1980 à 1989 en volumes stockés. Pour avoir le débit journalier maximal d'une année, on recherche l'accroissement de volume maximal entre deux jours consécutifs. La méthode de calcul est la suivante :

* Calcul de différence de volume entre deux jours

$$\begin{array}{l} \hline : \qquad \qquad \qquad : \\ : \quad dV = V_{j+1} - V_j \quad : \\ \hline : \qquad \qquad \qquad : \end{array}$$

V_j = Volume du jour j ; V_{j+1} = Volume du jour $j + 1$

* Le débit moyen journalier correspondant est alors :

$$\begin{array}{l} \hline : \qquad \qquad \qquad dV \qquad \qquad : \\ : \quad Q_m = \frac{\quad}{\quad} \quad : \\ : \qquad \qquad \qquad T \qquad \qquad : \\ \hline \end{array}$$

T = Une journée = 24 heures = 86400 secondes.

Cette méthode de reconstitution permet d'établir les tableaux des débits journaliers maxima (tableau n° 29, 30 et 31). Il faut souligner que cette méthode dans son ensemble est entachée d'imprécisions dues au phénomène de laminage qui atténue les pointes de crues. La série de débits présentée au tableau n° 31 n'est donc pas d'une précision homogène.

Le débit reconstitué le plus élevé est celui du 6 Septembre 1986 ($Q_m = 164 \text{ m}^3/\text{s}$). Ce débit inclue le débit moyen journalier déversé de $144 \text{ m}^3/\text{s}$ déterminé à partir de la courbe d'étalonnage, elle-même basée sur le jaugeage de $143 \text{ m}^3/\text{s}$ ce même jour. Les débits maxima de la période ancienne ont été observés le 25 Août 1959 avec $Q_m = 100 \text{ m}^3/\text{s}$, le 4 Septembre 1969 avec $Q_m = 169 \text{ m}^3/\text{s}$ et le 23 Août 1968 avec $Q_m = 161 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.2.2. Analyse statistique

L'analyse statistique des débits journaliers maxima annuels a pour but d'estimer la fréquence d'apparition des plus forts débits de crue.

Cette analyse fait appel à la notion de fréquence au dépassement ou au non dépassement et à la notion de période de retour.

Dans un échantillon classé de n valeurs de débits annuels, la fréquence de dépassement du débit de rang r est :

TABLEAU 29 : DEBITS MOYENS JOURNALIERS DE CRUE RECONSTITUES

| DATE | HAUTEUR (cm) | VOLUME (10 ⁶ m ³) | V (10 ⁶ m ³) | Q _m (m ³ /s) |
|----------|-----------------|---|--|---------------------------------------|
| 07/08/80 | 554 | 23,00 | 2,60 | 30 |
| 08/08/80 | 575 | 25,60 | | |
| 14/08/81 | 578 | 26,10 | 2,82 | 33 |
| 15/08/81 | 595 | 28,92 | | |
| 27/08/82 | 546 | 21,80 | 1,80 | 21 |
| 28/08/82 | 560 | 23,60 | | |
| 16/07/83 | 454 | 12,90 | 1,80 | 21 |
| 17/07/83 | 475 | 14,70 | | |
| 10/09/84 | 467 | 13,90 | 3,10 | 36 |
| 11/09/84 | 500 | 17,00 | | |
| 11/07/85 | 407 | 9,50 | 5,75 | 67 |
| 12/07/85 | 480 | 15,25 | | |

TABEAU 30 : CALCUL DES DEBITS MOYENS JOURNALIERS DE CRUE RECONSTITUE (SUITE)

| DATE | HAUTEUR | VOLUME (10 ⁶ m ³) | V (10 ⁶ m ³) | Q _m (m ³ /s) |
|----------|---------|---|--|---------------------------------------|
| 06/09/86 | 707 | 45,40 | 1,70--- | ----- 20 |
| 06/09/86 | 719 | 47,10 | | + 144 |
| | | | | ----- 164* |
| 11/07/87 | 580 | 26,50 | 1,30 | 15 |
| 12/07/87 | 591 | 27,80 | | |
| 09/08/88 | 524 | 19,50 | 3,30 | 38 |
| 10/08/88 | 553 | 22,80 | | |
| 11/07/89 | 468 | 14,10 | 5,00 | 58 |
| 12/07/89 | 526 | 19,10 | | |

* En période de déversement, le volume total d'apport journalier est la somme de l'accroissement du volume stocké et du volume déversé ; le débit moyen déversé le 6/9 est 144 m³/s.

TABLEAU 31 : DEBITS MOYENS JOURNALIERS MAXIMA ANNUELS SUR 23 ANS

| ORDRE | DATE | DEBIT (m ³ /s) |
|-------|---------|------------------------------|
| 1 | 16/9/56 | 19,0 |
| 2 | 26/5/57 | 9,26 |
| 3 | 25/8/58 | 100 |
| 4 | 22/8/59 | 49,0 |
| 5 | 27/8/60 | 21,7 |
| 6 | 04/9/61 | 169,0 |
| 7 | 04/9/62 | 33,3 |
| 8 | 25/7/63 | 7,64 |
| 9 | 04/9/64 | 93,4 |
| 10 | 11/9/65 | 37,7 |
| 11 | 11/6/66 | 10,4 |
| 12 | 23/8/67 | 161 |
| 13 | 14/7/68 | 13,8 |
| 14 | 08/8/80 | 30 |
| 15 | 15/8/91 | 33 |
| 16 | 28/8/82 | 21 |
| 17 | 17/7/83 | 21 |
| 18 | 11/9/84 | 36 |
| 19 | 12/7/85 | 67 |
| 20 | 06/9/86 | 164 |
| 21 | 12/7/87 | 15 |
| 22 | 11/8/88 | 38 |
| 23 | 12/7/89 | 58 |

$$g = \frac{r}{n + 1}$$

et la fréquence au non dépassement est le complément à 1 :

$$f = 1 - g = 1 - \frac{r}{n + 1}$$

La période de retour correspondante est :

$$T = \frac{1}{1 - f}$$

Le tableau n° 32 donne la fréquence f de chaque débit maximal annuel de l'échantillon recueilli à LOUMBILA.

Si l'on porte sur un graphique (dont les échelles sont en abscisse l'échelle des fréquences de GUMBEL et en ordonnée l'échelle logarithmique) le débit en fonction de sa fréquence au non dépassement, on constate que les points s'alignent sensiblement selon une droite. On admet alors qu'une loi de fréquence log - GUMBEL, ou de FRECHET, s'ajuste assez bien à l'échantillon (figure n° 21).

On peut alors déterminer directement sur le graphique les débits de fréquences caractéristiques :

| | | |
|------------|----------|------------------------------|
| T = 5 ans | f = 0,80 | Q5 = 80 m ³ /s |
| T = 10 ans | f = 0,90 | Q10 = 150 m ³ /s |
| T = 20 ans | f = 0,95 | Q20 = 265 m ³ /s |
| T = 50 ans | f = 0,98 | Q50 = 560 m ³ /s. |

Le débit 164 m³/s du 6 Septembre 1986 a une période de retour d'environ 13 ans.

TABLEAU 32 : LOUMBILA - DEBITS JOURNALIERS MAXIMA ANNUELS

| DATE | Dabits (Qm ³ /s) | Ordre r | Q | log Q | $f = 1 - \frac{r}{r + 1}$ |
|-------|--------------------------------|---------|-----|-------|---------------------------|
| 1957 | 19,0 | 1 | 169 | 2,23 | 0,958 |
| 58 | 9,26 | 2 | 164 | 2,22 | 0,917 |
| 59 | 100 | 3 | 161 | 2,21 | 0,875 |
| 60 | 49,0 | 4 | 100 | 2,00 | 0,833 |
| 61 | 21,7 | 5 | 93 | 1,97 | 0,792 |
| 62 | 169,0 | 6 | 67 | 1,83 | 0,750 |
| 63 | 33,3 | 7 | 58 | 1,76 | 0,708 |
| 64 | 7,64 | 8 | 49 | 1,69 | 0,667 |
| 65 | 93,4 | 9 | 38 | 1,58 | 0,625 |
| 66 | 37,7 | 10 | 38 | 1,58 | 0,583 |
| 67 | 10,4 | 11 | 36 | 1,57 | 0,542 |
| 68 | 161 | 12 | 33 | 1,52 | 0,500 |
| 69 | 13,8 | 13 | 33 | 1,52 | 0,458 |
| ----- | | | | | |
| 1980 | 30 | 14 | 30 | 1,48 | 0,417 |
| 81 | 33 | 15 | 22 | 1,34 | 0,375 |
| 82 | 21 | 16 | 21 | 1,32 | 0,333 |
| 83 | 21 | 17 | 21 | 1,32 | 0,292 |
| 84 | 36 | 18 | 19 | 1,28 | 0,250 |
| 85 | 67 | 19 | 15 | 1,18 | 0,208 |
| 86 | 164 | 20 | 14 | 1,15 | 0,167 |
| 87 | 15 | 21 | 10 | 1,18 | 0,125 |
| 88 | 38 | 22 | 9 | 0,95 | 0,083 |
| 89 | 58 | 23 | 8 | 0,90 | 0,042 |

n = 23 23
moyenne = 52,5 1,56
écart-type = 49,6 0,38

debit
m³/s

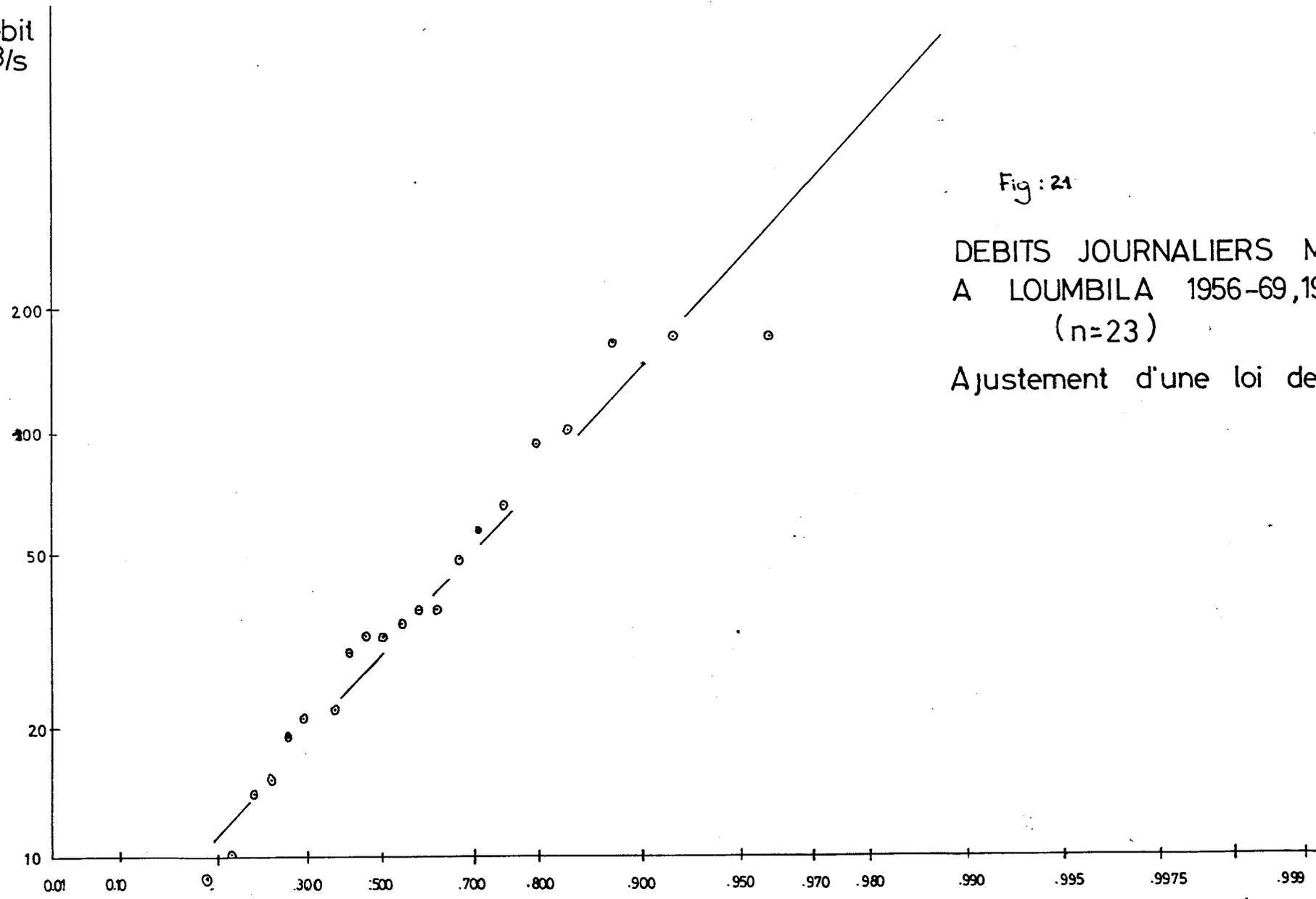


Fig : 21

DEBITS JOURNALIERS MAXIMA
A LOUMBILA 1956-69, 1980-89.
(n=23)

Ajustement d'une loi de FRECHET

Fréquence de non
dépassement

V. LA CRUE EXCEPTIONNELLE DE SEPTEMBRE 1986

1. Présentation de l'évènement

Au cours de la saison des pluies 1986, le premier déversement du barrage de LOUMBILA par le déversoir en bec de canard a eu lieu le 17 août. Le déversement s'est poursuivi de façon à peu près constante jusqu'au 1er septembre (entre 1 et 2 m³/s).

A partir du 31 août une averse affecte certaines parties du bassin et s'étend à tout le bassin du 1er au 2 septembre. La hauteur d'eau précipitée oscille entre 30 et 80 mm selon les postes. A partir du 2 Septembre le niveau d'eau dans le barrage s'élève et se stabilise à la côte 6,66 m (déversement 10 m³/s) les 3 et 4 septembre.

Le 5 Septembre un nouvel épisode pluvieux intense intéresse tout le bassin du Massili, avec des hauteurs ponctuelles qui dépassent 130 mm au coeur du bassin. A partir du même jour, le niveau d'eau dans le barrage monte à nouveau pour culminer à la côte 7,19 m le 6 septembre de 16 à 20 heures. Pour cette côte le débit déversé atteint 180 m³/s.

Après une accalmie de deux jours, une nouvelle averse tombe le 8 septembre, atteint 35 mm par endroits, et donne un regain de ruissellement jusqu'au 10 septembre. Par la suite, les petites pluies n'occasionnent pas de ruissellement important.

Un événement d'une telle importance est le premier observé depuis 1980, année de reprise du suivi continu des niveaux d'eau dans la retenue de LOUMBILA. De surcroît, un réseau dense de pluviomètres fonctionnait sur le bassin cette année là. On dispose donc de mesures particulièrement fournies pour apprécier les différents paramètres caractéristiques de l'évènement et notamment le coefficient de ruissellement.

2. Données pluviométriques

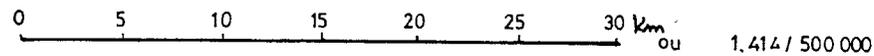
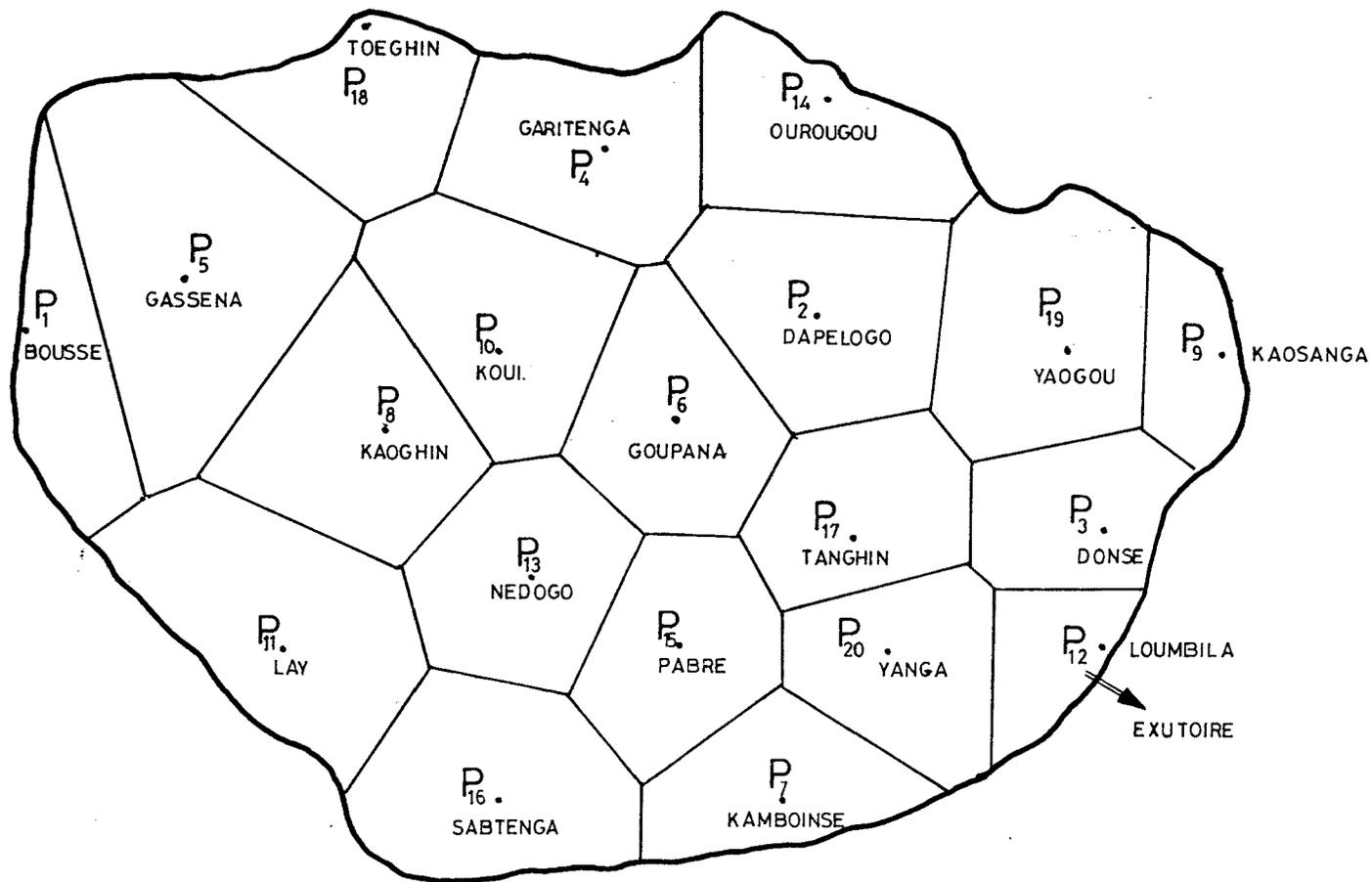
En 1986, le Service d'Hydrologie du Ministère de l'Eau a reçu un appui technique et financier de l'Organisation Météorologique Mondiale et du Programme des Nations Unies pour le Développement, pour installer et exploiter un réseau d'une centaine de postes pluviométriques sur le degré-carré de Ouagadougou (environ 10.000 km² entre 12° et 13° de latitude Nord et 1° et 2° de longitude Ouest). Cette opération, en donnant une bonne estimation de la pluie mesurée au sol, devait permettre d'étalonner des images satellitaires de la couverture nuageuse, et a reçu de ce fait le nom d'EPSAT (Estimation des Pluies par Satellite).

La liste des postes pluviométriques en fonctionnement pendant l'épisode de septembre 1986 est donnée au tableau n° 33. La carte n° 7 donne la situation de ces pluviomètres sur le bassin et le maillage des polygones de Thiessen.

TABLEAU 33 : LISTE DES PLUVIOMETRES DANS LE BASSIN VERSANT DU MASSILI A LOUMBILA EN 1986

| Poste des pluviomètres | Coordonnées | | Zone d'influence (km ²) | Coefficient de Thiessen (%) |
|------------------------|-------------|----------|-------------------------------------|-----------------------------|
| | Longitude | Latitude | | |
| P1 BOUSSE | 1°53' | 12°40' | 76,0 | 0,0379 |
| P2 DAPELOGO | 1°31' | 12°40' | 118,5 | 0,0591 |
| P3 DONSE Mission | 1°23' | 12°34' | 73,8 | 0,0368 |
| P4 GARITENGA | 1°38' | 12°46' | 107,5 | 0,0536 |
| P5 GASSENA | 1°49' | 12°41' | 196,0 | 0,0979 |
| P6 GOUPANA | 1°35' | 12°37' | 98,8 | 0,0493 |
| P7 KAMBOINSE Pluvio | 1°32' | 12°27' | 76,3 | 0,0381 |
| P8 KAONGHIN | 1°43' | 12°37' | 120,0 | 0,0599 |
| P9 KOASANGA | 1°19' | 12°39' | 41,3 | 0,0206 |
| P10 KOUI | 1°40' | 12°39' | 116,4 | 0,0581 |
| P11 LAY | 1°46' | 12°31' | 147,5 | 0,0736 |
| P12 LOUMBILA Village | 1°22' | 12°31' | 43,5 | 0,0217 |
| P13 NEDOGO | 1°39' | 12°33' | 100,0 | 0,0499 |
| P14 DUROUGOU | 1°31' | 12°46' | 90,0 | 0,0449 |
| P15 PABRE Mission | 1°35' | 12°31' | 88,8 | 0,0443 |
| P16 SABTENGA | 1°40' | 12°27' | 125,0 | 0,0624 |
| P17 TANGHIN | 1°30' | 12°34' | 87,5 | 0,0437 |
| P18 TDEGHIN | 1°44' | 12°48' | 83,8 | 0,0418 |
| P19 VOAGA | 1°24' | 12°46' | 122,5 | 0,0611 |
| P20 YAMBA | 1°29' | 12°31' | 88,8 | 0,0443 |

carte n° 7: POLYGONES DE THIESSEN DU RESEAU DE PLUVIOMETRES SUR LE BASSIN DE LOUMBILA EN 1986



Les hauteurs de pluies journalières, mesurées par des observateurs à l'éprouvette pour pluviomètre de 400 cm², sont données dans le tableau n° 34 pour la période allant du 15 Août au 30 septembre 1986. Quelques petites pluies ont été mesurées à certains postes au début du mois d'octobre, mais leur effet sur l'écoulement est négligeable. Les mesures au poste de Yamba semblent quelque peu douteuses. A d'autres postes, on a détecté des erreurs de date de pluie (décalage d'une journée) qui peuvent être corrigées sans risque.

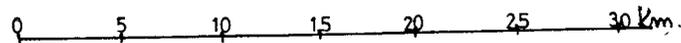
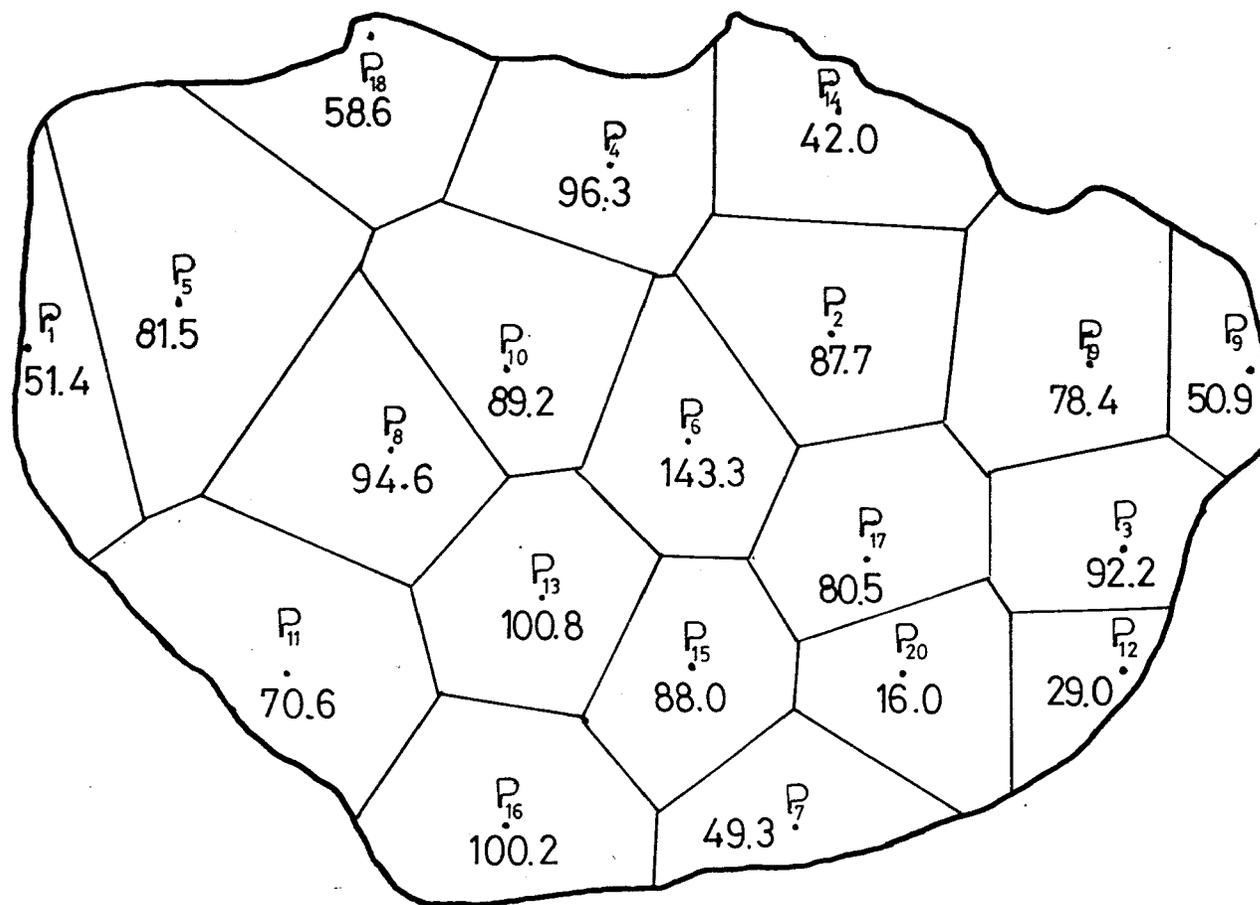
Dans la colonne de droite de ce tableau apparaît la pluie moyenne sur le bassin calculée jour par jour par la méthode de Thiessen. Il faut souligner que cette valeur n'a de réelle signification que pour les seules journées où la pluie est observée sur l'ensemble des postes.

Le tableau n° 35 donne des cumuls partiels pour certaines périodes caractéristiques. D'après ce tableau, on peut voir que les pluies de la deuxième quinzaine d'Août, avec une hauteur comprise entre 50 et 100 mm, ont maintenu une humidité assez forte et bien répartie sur le bassin. L'épisode des 31 Août - 2 Septembre a donc rencontré des conditions favorables au ruissellement et a achevé d'humidifier les sols avec une hauteur moyenne de 54 mm. L'averse du 5 Septembre a couvert l'ensemble du bassin avec une lame d'eau comprise entre 29,0 mm et 143,3 mm (exception faite de Yamba) et dont la moyenne pondérée est 86,3 mm. Les hauteurs de pluie mesurées pour cette journée sont reportées sur la carte n° 8.

**TABLEAU 35: PLUIE CUMULEE (mm) PAR PERIODE ENTRE LE 15 AOÛT
ET LE 30 SEPTEMBRE SUR L'ENSEMBLE DU BASSIN**

| Période | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 | P20 | Pmoy. |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 17 - 30 Août | 94,8 | 83,5 | 87,9 | 63,0 | 70,0 | 96,1 | 38,7 | 73,9 | 95,2 | 53,3 | 81,3 | 46,3 | 66,5 | 79,1 | 45,9 | 49,7 | 50,0 | 50,9 | 64,6 | 56,3 | 67,1 |
| 31 Août - 2 Sept. | 54,4 | 51,0 | 60,6 | 36,4 | 58,0 | 53,5 | 64,7 | 67,5 | 32,1 | 76,6 | 57,8 | 52,8 | 58,0 | 47,0 | 53,4 | 81,8 | 47,2 | 28,6 | 59,1 | 8,3 | 53,4 |
| 5 - 6 Sept. | 51,4 | 87,7 | 94,0 | 99,4 | 85,3 | 145,3 | 50,5 | 96,0 | 56,5 | 89,2 | 140,4 | 29,0 | 100,8 | 42,0 | 90,6 | 100,2 | 80,5 | 88,6 | 78,4 | 16,0 | 87,6 |
| 8 Sept. - 10 Sept. | 34,6 | 17,2 | 19,9 | 10,4 | 8,0 | 16,0 | 32,7 | 34,9 | 44,3 | 19,5 | 31,6 | 24,4 | 18,7 | 23,7 | 15,4 | 23,5 | 10,5 | 7,5 | 18,1 | 20,0 | 21,0 |
| 11 - 30 Sept. | 65,6 | 34,2 | 44,0 | 46,3 | 47,0 | 73,5 | 72,5 | 56,6 | 42,8 | 75,7 | 57,0 | 53,4 | 71,8 | 59,5 | 71,3 | 65,3 | (17,5) | 14,3 | 36,5 | 70,4 | 53,5 |
| Cumul | 300,8 | 273,6 | 306,4 | 255,1 | 268,3 | 384,4 | 259,1 | 328,9 | 270,9 | 314,3 | 368,1 | 205,9 | 315,8 | 251,3 | 276,6 | 320,5 | 205,7 | 189,9 | 256,7 | 171,0 | 282,6 |

Carte n° 2 : PLUIES DU 5 SEPTEMBRE 1986 MESUREES SUR LE BASSIN DE LOUMBILA . (mm)



P₁₅
88.0

3. Données hydrométriques

3.1. Hauteurs d'eau à l'échelle de la retenue de LOUMBILA

L'agent de l'Office National des Eaux et de l'Assainissement (ONEA), qui surveille en permanence la station de pompage alimentant la ville de OUAGADOUGOU, a fait à partir de juillet 1986 une lecture d'échelle toutes les 4 heures. Compte tenu de la taille du réservoir, ce pas de temps est suffisant pour suivre les variations de la lame d'eau déversante et par là connaître avec précision les débits et volumes déversés.

La côte de déversement du bec de canard (6,43 m) a été atteinte le 17 août entre 16 et 20 heures. Le grand déversoir rectangulaire est entré en fonctionnement (H = 6,80 m) le 5 août entre 16 et 20 heures. Le déversement s'est poursuivi jusqu'au 1er octobre.

Un extrait des hauteurs d'eau mesurées à 12h00 et 24h00 est donné dans les tableaux n° 36, 37.

3.2. Débits

Comme cela a déjà été mentionné, les premiers jaugeages à l'aval des déversoirs ont été effectués en 1985 et ont permis d'avoir un début de courbe d'étalonnage pour le bec de canard (hauteur maximale jaugée 6,72 m).

**TABLEAU 36 : HAUTEURS D'EAU ET DEBITS DEVERSES EN AOUT 1986
A LOUMBILA**

| N° d'ordre | 12 heures | | 24 heures | | Volume déversé (10 ⁶ m ³) |
|---------------|-----------|--------------------------|-----------|--------------------------|--|
| | H (cm) | Q (m ³ /s) | H (cm) | Q (m ³ /s) | |
| 1 | 603 | 0 | 602 | 0 | 0 |
| 2 | 602 | 0 | 602 | 0 | 0 |
| 3 | 601 | 0 | 601 | 0 | 0 |
| 4 | 600 | 0 | 600 | 0 | 0 |
| 5 | 600 | 0 | 600 | 0 | 0 |
| 6 | 600 | 0 | 600 | 0 | 0 |
| 7 | 600 | 0 | 600 | 0 | 0 |
| 8 | 600 | 0 | 600 | 0 | 0 |
| 9 | 600 | 0 | 600 | 0 | 0 |
| 10 | 600 | 0 | 601 | 0 | 0 |
| 11 | 602 | 0 | 602 | 0 | 0 |
| 12 | 603 | 0 | 607 | 0 | 0 |
| 13 | 611 | 0 | 615 | 0 | 0 |
| 14 | 620 | 0 | 627 | 0 | 0 |
| 15 | 632 | 0 | 636 | 0 | 0 |
| 16 | 638 | 0 | 638 | | |
| 17 | 640 | 0,000 | 646 | 0,521 | 0,012 |
| 18 | 648 | 0,992 | 650 | 1,56 | 0,083 |
| 19 | 650 | 1,56 | 650 | 1,56 | 1,35 |
| 20 | 650 | 1,56 | 650 | 1,56 | 1,35 |
| 21 | 649 | 1,26 | 649 | 1,26 | 0,113 |
| 22 | 650 | 1,56 | 650 | 1,56 | 0,126 |
| 23 | 649 | 1,26 | 649 | 1,26 | 0,113 |
| 24 | 649 | 1,26 | 649 | 1,26 | 1,109 |
| 25 | 648 | 0,992 | 647 | 0,744 | 0,090 |
| 26 | 647 | 0,744 | 647 | 0,744 | 0,064 |
| 27 | 648 | 0,992 | 649 | 1,26 | 0,086 |
| 28 | 650 | 1,56 | 651 | 1,88 | 0,135 |
| 29 | 652 | 2,23 | 652 | 2,23 | 0,188 |
| 30 | 652 | 2,23 | 652 | 2,23 | 0,193 |
| 31 | 652 | 2,23 | 651 | 1,88 | 0,173 |
| | | | | Cumul | 1,755 |

**TABLEAU 37 : HAUTEURS D'EAU ET DEBITS DEVERSES EN SEPTEMBRE 1986
A LOUMBILA**

| N° d'ordre | 12 heures | | 24 heures | | Volume déversé (106 m3) |
|---------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------------------------|
| | H (cm) | Q (m3/s) | H (cm) | Q (m3/s) | |
| 1 | 652 | 2,23 | 652 | 2,23 | 0,185 |
| 2 | 660 | 5,90 | 664 | 8,59 | 0,416 |
| 3 | 666 | 10,1 | 666 | 10,1 | 0,851 |
| 4 | 666 | 10,1 | 666 | 10,1 | 0,873 |
| 5 | 670 | 13,5 | 689 | 38 | 1,435 |
| 6 | 715 | 150 | 718 | 175* | 11,441 |
| 7 | 714 | 136 | 705 | 94 | 12,060 |
| 8 | 709 | 72 | 694 | 51 | 5,911 |
| 9 | 690 | 40 | 687 | 34 | 3,809 |
| 10 | 683 | 26 | 680 | 22 | 2,362 |
| 11 | 677 | 19 | 674 | 17 | 1,649 |
| 12 | 672 | 15,3 | 671 | 14,4 | 1,315 |
| 13 | 668 | 11,7 | 666 | 10,1 | 1,049 |
| 14 | 664 | 8,59 | 662 | 7,19 | 0,754 |
| 15 | 661 | 6,53 | 660 | 5,90 | 0,574 |
| 16 | 658 | 4,83 | 657 | 4,34 | 0,429 |
| 17 | 655 | 3,42 | 654 | 3,00 | 0,306 |
| 18 | 654 | 3,00 | 653 | 2,60 | 0,256 |
| 19 | 652 | 2,23 | 652 | 2,23 | 0,206 |
| 20 | 651 | 1,88 | 650 | 1,56 | 0,158 |
| 21 | 650 | 1,56 | 650 | 1,56 | 0,135 |
| 22 | 649 | 1,26 | 649 | 1,26 | 0,111 |
| 23 | 649 | 1,26 | 649 | 1,26 | 0,109 |
| 24 | 649 | 1,26 | 649 | 1,26 | 0,109 |
| 25 | 649 | 1,26 | 649 | 1,26 | 0,109 |
| 26 | 648 | 0,992 | 648 | 0,992 | 0,093 |
| 27 | 648 | 0,992 | 647 | 0,744 | 0,079 |
| 28 | 647 | 0,744 | 647 | 0,744 | 0,064 |
| 29 | 646 | 0,521 | 645 | 0,322 | 0,032 |
| 30 | 645 | 0,322 | 644 | 0,149 | 0,023 |
| 1/10 | 644 | 0,149 | 644 | 0,149 | 0,013 |
| 2 | 643 | 0,000 | 643 | 0,000 | 0,000 |
| | | | | Cumul | 46,916 |

* pointe maximale à 180 m3/s entre 16 et 20 h le 6/9
débit moyen journalier déversé 144 m3/s le 6/9 (0 - 24 h).

A l'occasion de la crue 1986, les jaugeages ont repris et ont permis de prolonger la courbe de façon intéressante. Le plus grand débit jaugé est 143 m³/s pour une cote comprise entre 7,00 et 7,17 m.

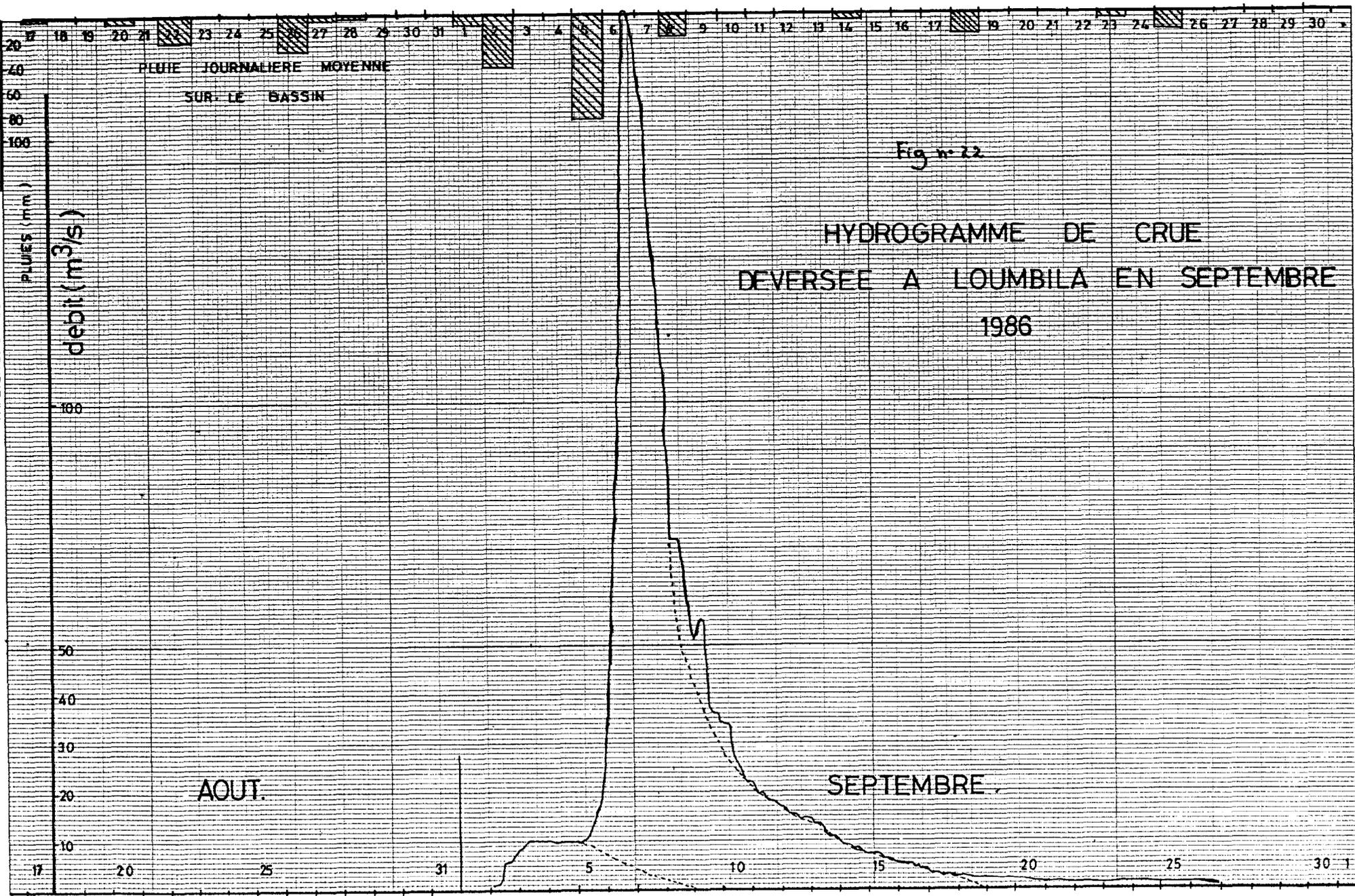
A l'aide de cette courbe d'étalonnage, déjà présentée au chapitre IV, on a pu traduire les hauteurs d'eau en débits à intervalle de 4 heures. Les tableaux 36 et 37 donnent les débits calculés à 12h00 et à 24h00 pour chaque jour de la période de déversement.

Le même tableau donne les volumes journaliers déversés. Ces volumes ont été calculés en multipliant les débits moyens sur les intervalles de 4 heures (demi-somme des débits instantanés au début et à la fin de l'intervalle) par la durée de l'intervalle ($4 \times 3600 = 14400$ secondes).

4. Analyse de la crue

La figure n° 22 visualise la séquence des pluies journalières moyennes sur le bassin ainsi que l'hydrogramme du débit total déversé avec un pas de temps de 4 heures.

La relation entre pluie et débit est bien mise en évidence. Les petites pluies tombées entre le 17 Août et le 1er septembre entretiennent un léger déversement de 1 à 2 m³/s.



La pluie du 2 Septembre (43,8 mm) génère la première crue importante dont la pointe assez aplatie est à 10 m³/s. Avec la pluie intense du 5 Septembre (86,3 mm) apparaît la grande crue qui se superpose à la précédente. La courbe de tarissement de la première crue peut être approximativement reconstituée graphiquement comme indiqué sur la figure n° 22.

Le débit de pointe de la crue principale se présente le 6 septembre entre 16 et 20 heures, avec une valeur de 180 à 185 m³/s.

On constate ensuite qu'une troisième petite crue se superpose à la deuxième pendant la phase de tarissement. Elle est due à la pluie du 8 septembre (19,0 mm). Là encore, la séparation graphique de deux apports est donnée sur la figure.

Finalement le tarissement se poursuit régulièrement jusqu'au 1er octobre sans que les petites pluies suivantes aient une influence sensible.

L'analyse consiste à déterminer les coefficients de ruissellement des différentes crues. On connaît les lames de précipitations par le tableau n° 35. Pour déterminer les lames de ruissellement, on procède graphiquement en planimétrant les différentes composantes de l'hydrogramme et on obtient les résultats suivants :

TABLEAU 38 : CARACTERISTIQUES DU RUISSellement

| Date pluie | Pluie moy. (mm) | Volume déversé (106 m3) | Lr (mm) | Kr (%) |
|---------------|-----------------------|-------------------------------|------------|-----------|
| 17/8 - 30/8 | 61,1 | 1,582 | 0,8 | 1,3 |
| 31/8 - 02/9 | 53,4 | 4,177 | 2,1 | 3,9 |
| 05/9 - 06/9 | 87,6 | 39,540 | 19,8 | 22,6 |
| 08/9 - 10/9 | 21,0 | 2,131 | 1,1 | 5,2 |
| 11/9 - 30/9 | 53,5 | 1,241 | 0,6 | 1,1 |
| 17/8 - 30/9 | 282,6 | 48,671 | 24,3 | 8,6 |

Le volume de ruissellement calculé n'est en toute rigueur pas représentatif du seul ruissellement du bassin versant. D'une part, il inclut le volume de pluie tombé directement sur le lac de retenue, et d'autre part il est amputé du volume évaporé. Sur toute la durée de l'épisode, l'excédent dû à la pluie est de 2 Mm3. En réalité, la superficie du bassin versant doit être aussi diminuée de la superficie du plan d'eau (20 km² à pleine capacité), et les deux corrections qu'il faudrait apporter se compensent globalement.

Les résultats les plus intéressants de cette analyse sont les caractéristiques de l'épisode du 5 septembre. Pour une pluie moyenne sur le bassin de 87,6 mm, qui est probablement

supérieure à la pluie décennale pour un bassin de plus de 2000 km², la lame de ruissellement atteint 19,8 mm et le coefficient de ruissellement est de 22,6 %.

Pour vérifier la représentativité de ces ordres de grandeur, il est possible de les comparer avec d'autres observations antérieures. Le bassin du Massili ayant été de 1961 à 1963 un bassin représentatif suivi par l'ORSTOM, on dispose effectivement de données hydropluviométriques de qualité. Dans le fichier des crues, la crue du 2 septembre 1961 présente des caractéristiques très voisines de celles de la crue de 1986 qui sont résumées ci-dessous.

TABLEAU 29 : COMPARAISON DES CRUES DU 2/9/61 ET DU 6/9/86

| Date | Pm (mm) | Px (mm) | tm (h) | tb (jrs) | Vr (Mm3) | Lr (mm) | Kr (%) | Qmax (m3/s) |
|--------|------------|------------|-----------|-------------|-------------|------------|-----------|----------------|
| 2/9/61 | 75,0 | 128,0 | 36 | 10 | 40,00 | 18,9 | 25,2 | 200 |
| 6/9/86 | 87,6 | 145,3 | 40 | 14 | 39,54 | 19,8 | 22,6 | 180 |

avec Pm pluie moyenne sur le bassin

Px pluie maximale ponctuelle

tm temps de montée de l'hydrogramme

tb temps de base de l'hydrogramme

Vr Volume de ruissellement

Lr lame de ruissellement

Kr Coefficient de ruissellement

Qmax Débit maximal de la pointe.

La comparaison graphique des deux hydrogrammes de crue confirme la similitude des deux événements. L'allongement du temps de base en 1986 peut être dû à l'effet de vidange du réservoir de grande capacité et à l'apport des petites pluies pendant le tarissement.

On peut remarquer que, pour une pluie moyenne un peu plus forte, le débit de pointe de 1986 est un peu inférieur à la pointe de 1961. Cet écart demeure malgré tout relativement minime compte tenu de la précision des courbes d'étalonnage ancienne et nouvelle, et des effets de laminage par les barrages actuellement implantés à l'amont du bassin (atténuation des pointes de crue).

La période de retour de cette crue peut être approchée en utilisant la courbe de fréquence du débit maximal journalier annuel déjà présentée. Le débit moyen journalier maximal déversé est 144 m³/s le 6 Septembre. Le laminage par stockage étant estimé à 20 m³/s en moyenne dans la journée (stockage 1,7 Mm³) le débit journalier maximal de la crue est donc 164 m³/s. La période de retour d'un tel débit est environ 13 ans.

On retiendra que, à vingt cinq ans d'intervalle, le bassin de Loumbila réagit de façon quasi identique à une forte pluie généralisée approchant l'averse décennale.

CONCLUSION GENERALE

Le bassin versant du Massili à LOUMBILA repose sur un substratum imperméable de granite - gneiss recouvert d'une épaisse couche d'altération latéritique. Son relief est très atténué, ceci explique en grande partie que son réseau hydrographique soit peu marqué.

Le climat, élément très important, permet et commande tout le milieu physique. Mais retenons dans le cadre du bassin versant du Massili à LOUMBILA que la végétation a joué un rôle capital dans le bilan hydrique.

Tous les paramètres du climat du bassin (température, humidité, tension, insolation, évaporation, évapotranspiration, précipitation) commandent la vie hydrologique du bassin en particulier la vie de la retenue du barrage de LOUMBILA.

Depuis la création du barrage de LOUMBILA, barrage le plus important du bassin, on avait enregistré une crue exceptionnelle en 1961 présentant à peu près les mêmes caractéristiques que celle de 1986, crue de la présente étude.

Une telle crue est d'une importance capitale car de 1961 à 1986, pour une période de 25 ans, on a enregistré des hauteurs d'eau très élevées. Un tel retour doit retenir l'attention de tout chercheur dans l'élaboration des différents plans d'aménagement. Les projets à venir doivent tenir compte de la situation évolutive dégradante du milieu physique.

BIBLIOGRAPHIE

- ALDECHEBI M. (1979) : Mesure des débits à partir des vitesses
ORSTOM, Paris. 313 pages.
- ANDRE H. ; AUDINET M. ; MAZERAN G. ; RICHIER C. (1976) :
Hydrométrie pratique des cours d'eau
Paris. Egrolles.
- ALBERGEL ; CARBONNEL J. ; GROUZYS (1974) : Pluies, Eaux de Surface
- Production végétale
1920 - 1983 H.V ORSTOM - DGRST -
OUAGADOUGOU.
- BRGM (1984) : Programme d'Hydraulique Villageoise dans la
région centrale du BURKINA FASO : Dossier
villageois de ZITENGA et ZINIARE.
- BRGM (1984) : Programme d'Hydraulique Villageoise dans la
région centrale du BURKINA FASO : Dossier
villageois des préfectures de TANGHIN et
OUAGADOUGOU.
- BRUNE-MORET Y. (1969) : Etude de quelques lois statistiques utili-
sées en hydrologie.
Cahier ORSTOM volume VI N° 3.

CARBONNEL J.P. ; HUBERT P. : Carte de réseau de mesures pluviométriques sur le fond topographique au 1/200.000 de la feuille de OUAGADOUGOU
Echelle 1/37.500 ESPAT 86.

CHARQL J. ; FOREST ; LEGOUPIL J.C. (1983) : L'eau - le sol - la plante. CIEH - IRAT 183 pages.

DIAGANA B. (1984) : Etude des consommations en eau en milieu rural. OUAGADOUGOU CIEH.

DIRECTION DU DEVELOPPEMENT RURAL : Aménagement de la Station Agricole de KAMBOINCE.
Mémoire justificatif + Mémoire explicatif
9 pages.

FRECAUT R. (1967) : Géographie, éléments d'hydrologie continentale. Paris + C.D.U. 233 pages.

GUILCHER A. (1965) : Précis d'hydrologie maritime et continentale
Paris, Masson 385 pages.

GUILLOBEZ J. (1985) : Esquisse physiographique du Burkina Faso.
Carte faite par le service Pédologie -
Cartographie. IRAT.

- GUINAUDEAU M. (1984) : Cours d'hydrologie.
 EIER OUAGADOUGOU. Section Equipement Rural
 130 pages.
- GUYOT C. (1974) : l'Hydrologie
 Que sais-je ? P U F 128 pages.
- IGN (1984) : Carte topographique de OUAGADOUGOU
 au 1/200.000, 3è édition FRANCE.
- JEUNE AFRIQUE (1975) : Atlas de la Haute-Volta
Les Atlas Jeune Afrique
- JENNY F. (1965) : Soils et Problème de fertilité en H.V.
 2è Volume 29 pages.
- KALOGA B. (1968) : Etude Pédologique de la Haute Volta -
Région Centre-Sud.
 Centre ORSTOM DE DAKAR-FANN 95 pages.
- KLEIN J.C. (1964) : Etude hydrologique des bassins versants de
la région de OUAGADOUGOU.
 ORSTOM - 74 p + cartes.
- LEMOINE L. (1970-1971) : Etude des procédés de lutte contre l'éva-
poration sur les plans d'eau.
 CIEH OUAGADOUGOU.

- LARRAS J. (1974) : l'Aménagement des cours d'eau
Que sais-je ? P U F 125 pages.
- LVIA (1987) : Projet Général. Retenues d'eau à GARITENGA
OUAGADOUGOU 30 pages.
- MIHIN J.P. (1987) : Contribution à l'étude hydrologique de la
Kompienga en vue de son aménagement : Essai
d'application d'un modèle simplifié de
transfert Fluide - Débits.
NIAMEY, CRFAA - Hydrologie Opérationnelle
Mémoire de fin d'Etudes d'Ingénieur des
travaux en hydrologie. 82 pages.
- MONIOD F. ; POUYAUD B. ; SECHE P. (1977) : Monographie hydrologi-
que : le bassin du fleuve VOLTA
ORSTOM 513 pages.
- Office National des Puits et Forages. Service hydrologie :
Annuaire hydrologique de 1969 à 1983 et
Archives.
- O N B A H (1987) : Inventaire et reconnaissance générale de
l'état des barrages d'eau au Burkina Faso.
ONBAH - OUAGADOUGOU.
- O N B I (1981) : Aménagement de la plaine de DONSE
Mémoire descriptif + devis estimatif
30 pages.

- O N B I : Réfection du barrage de VOAGA
OUAGADOUGOU 6 pages.
- O N E A : Approvisionnement en eau de la ville de
OUAGADOUGOU - Ministère de l'Eau
128 pages.
- POULAIN J.F. ; FOREST F. (1977) : Etude du ruissellement à la
parcelle et de ses conséquences sur le
bilan hydrique des cultures pluviales en
sols peu profonds
Région centre de la Haute Volta
CIEH - IRAT 37 pages.
- POTTIER J.C. (1982) : Carte pédologique de reconnaissance de la
République de la Haute Volta Ouest-Sud
1/500.000
Service cartographique de l'ORSTOM OUAGA.
- PUECH C. (1983) : Persistance de la sécheresse au Sahel,
conséquence sur les normes hydrologiques et
pluviométriques
CIEH 24 pages.
- PUECH C. (1984) : Méthodes et Références pour la conception
et l'analyse des aménagements hydro-
agricoles au Burkina Faso
Tome 1 : Hydrologie des petits barrages
CIEH 180 pages.

- REMENIERAS G. (1965) : l'Hydrologie de l'Ingénieur
Paris, Erolles 2^o ex 451 pages.
- ROCHE M. (1963) : Hydrologie de surface
ORSTOM ED / Gauthier-Villars.
Paris 390 pages.
- ROGER C. (1977) : Géomorphologie
Paris, Armand Colin 430 pages.
- Secrétariat de l'OMM : Guide des pratiques hydro-météorologiques
2^e éd. O M M N° 168 82 pages.
- SIDIKI SERE BOUBACAR (1987-1988) : Etude des potentialités hydro-
logiques du bassin versant du MOUHOUN à
BOROMO
Mémoire de maîtrise INSHUS.
Département de Géographie, Burkina Faso
122 pages.
- TIERCELIN M. (1972) : Cours d'hydrologie générale. Introduction
CIEH 95 pages.